МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
КОМП'ЮТЕРНОЇ ФІЗИКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
Кафедра інформаційних технологій в фізико-енергетичних системах

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем бакалавр
«Розробка лічильника тепла, спожитого із систем водяного опалення»

Виконав: студент 4 курсу, групи НФ-43
Трашин Д. А.
спеціальність:
105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма: Прикладна фізика енергетичних систем
Керівник:
к.ф.-м.н., доцент Сухов Р.В.

Рецензент:

Харків – 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики
Кафедра інформаційних технологій у фізико-енергетичних системах
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) бакалавр
Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Руслан СУХОВ
підпис
"____"_____2021 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Трашин Денис Андрійович

1.Тема роботи "Розробка лічильника тепла, спожитого із систем водяного опалення" керівник роботи: Сухов Руслан Володимирович, кандидат фізико-математичних наук, доцент.
затверджені наказом по університету від 29 грудня 2020 року №0210-05/2127

2. Строк подання студентом роботи 21 травня 2021 р.

3. Перелік питань, які потрібно розробити:

1) Огляд літератури та формулювання задачі про створення програмно-апаратного комплексу вимірювання кількості тепла, спожитого із систем водяного опалення.

2) Теоретичні засади аналого-цифрових перетворювань.

3) Проектування апаратної частини пристрою.

4) Створення програмного забезпечення мікроконтролера.

5) Створення робочого зразку пристрою.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Вибір теми
2	Затвердження теми на кафедрі
3	Робота над літературою та іншими джерелами
4	Написання вступу до роботи та першого розділу
5	Написання другого розділу
6	Написання третього розділу
7	Завершення написання дипломної роботи (висновки та література)
8	Подача науковому керівнику
9	Відгук, рецензія, підготовка до захисту
10	Попередній захист
11	Захист

5.Дата видачі завдання «____»_____ 2021

Студент _____ Трашин Д.А.

підпис

Керівник роботи _____ Сухов Р.В.

підпис

РЕФЕРАТ

Трашин Денис «Розробка лічильника тепла, спожитого із систем водяного опалення»

Кваліфікаційна робота бакалавра з прикладної фізики. – Х.: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2021. – 41 с.

Основною метою даної роботи є розробка програмно-апаратного комплексу для обліку тепла, спожитого з системи водяного опалення.

Розроблений комплекс створений на базі мікроконтролера і має сучасний функціонал.

Створений зразок лічильника тепла може застосовуватися як для визначення кількості тепла, спожитого з системи опалення, так і для вимірювання кількості тепла, відданого теплоносію при охолодженні нагрівальних елементів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МІКРОКОНТРОЛЕР, ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛКЕКС, ОБРОБКА ДАНИХ, ВИМІРЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ТЕПЛА.

РЕФЕРАТ

Трашин Денис «Разработка счетчика тепла, потребленного из систем водяного отопления»

Квалификационная работа бакалавра по прикладной физике. - Х.: Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, 2021. - 41 с.

Основной целью данной работы является разработка программно-аппаратного комплекса для учета тепла, потребленного из системы водяного отопления.

Разработанный комплекс создан на базе микроконтроллера и имеет современный функционал.

Созданный образец счетчика тепла может применяться как для определения количества тепла, потребленного из системы отопления, так и для измерения количества тепла, отданного теплоносителю при охлаждении нагревательных элементов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МИКРОКОНТРОЛЛЕР, ПРОГРАММНО-АППАРАТНИЙ КОМПЛКЕКС, ОБРАБОТКА ДАННЫХ, ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛА.

ABSTRACT

Denis Trashyn "Development of a meter for heat consumed from hot water heating systems"

Qualification work of the bachelor of applied physics. – Kharkiv. – V.N. Karazin Kharkiv National University, 2021. – 41 p.

The main purpose of this work is to develop a hardware and software complex for accounting for heat consumed from a hot water heating system.

The developed complex is based on a microcontroller and has modern functionality.

The created sample of the heat meter can be used both to determine the amount of heat consumed from the heating system, and to measure the amount of heat given to the coolant when cooling the heating elements.

KEYWORDS: MICROCONTROLLER, SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX, DATA PROCESSING, MEASURING THE AMOUNT OF HEAT.

ЗМІСТ

ВСТУП 8

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ 10

1.1 Лічильники тепла та їх класифікація 10

1.2 Використання мікроконтролера 16

1.3 Лічильник тепла на базі мікроконтролера 20

1.4 Формулювання вимог до пристрою, який розроблюється в рамках дипломної роботи 21

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ 22

2.1 Фізичні засади вимірювання кількості тепла 22

2.2 Місце мікроконтролерної техніки у процесі вимірювання кількості тепла 26

2.3 Мова програмування С як мова для створення програмного забезпечення мікроконтролеру 28

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ТА ЇЇ ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ 34

3.1 Опис електронної частини розробленого пристрою 34

3.2 Апробація лічильника тепла 37

ВИСНОВКИ 39

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 40

ВСТУП

Лічильники тепла вимірюють кількість теплової енергії, яка спожита з рідинної системи опалення. Це пристрій, який на подачі або на зворотній стороні теплогенеруючої або теплообмінної установки, вимірює обсяг пройденого теплоносія та зміну його температури між подаючим та зворотним трубопроводом системи. Зазвичай лічильник тепла використовується у промислових установках для вимірювання потужності опалювального котла та кількості тепла, у системах централізованого опалення для вимірювання тепла, що надходить споживачам. Також він може бути використаний для вимірювання охолоджуючої потужності.

Актуальність теми.

Всілякі лічильники (газу, води, електрики) сьогодні є невід’ємною складовою будь-якого об'єкта нерухомості. Основна незручність поки полягає в тому, що свідчення ми все одно передаємо вручну.

Актуальність нашої розробки полягає в тому, що, крім основного її призначення, тобто обліку тепла, в нашому девайсі реалізовані всілякі сучасні функції, що підвищують комфорт використання лічильника тепла та автоматизують рутинні побутові процеси.

Мета роботи - розробка програмно-апаратного комплексу для обліку тепла, спожитого з системи водяного опалення.

Завдання, що були вирішені для досягнення мети роботи:

- Провести аналіз вже існуючих рішень з аналогічною функціональністю;
- Підібрати сучасну елементну базу і розробити апаратну платформу лічильника тепла;
- Розробити програмне забезпечення для мікроконтролера;
- Створити робочий зразок системи.

Об’єкт дослідження - сучасні практичні й теоретичні засади побудови вимірювальних систем.

Предмет дослідження – програмно-апаратні системи для обліку тепла, спожитого з системи водяного опалення.

Структура і обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 41 сторінку, 10 рисунків за текстом, список використаних джерел із 24 найменування на 2 сторінках.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Лічильники тепла та їх класифікація

Лічильник тепла – це пристрій, який вимірює теплову енергію, що забезпечується джерелом тепла (котел або тепловий насос), або подається в радіатор (система центрального опалення або гаряче водопостачання), вимірюючи швидкість потоку рідини, що передає тепло та різницю температур між подачею і зворотним трубопроводом. Ця інформація фіксується та формується для зберігання. Сучасні лічильники тепла ці функції мають, в деяких є додаткові функції, наприклад захист від несанкціонованого доступу, представлення користувачеві результатів вимірювання в різній формі, різні параметри налаштування, ведення статистики та інші. Це є багатофункціональний лічильник, який надає велику кількість корисної інформації та інструменти управління. Він надає дані про використання енергії, скільки, де і коли вона була спожита. Це все сприяє ефективному енергозбереженню. В додаток такий лічильник тепла дозволяє зберігати дані як локально, так і віддалено шляхом відповідного зберігання та передачі даних системи. Завдяки такому функціоналу лічильник може надати точну картину споживання енергії та ефективний енергетичний аудит, який можна провести в короткий час. Лічильники тепла складаються з датчика протоку, пари датчиків температури та калькулятора. Типовим застосуванням лічильників тепла є вимірювання тепла, що постачається споживачам системами централізованого опалення, або вимірювання теплової потужності, скажімо, теплового насоса, або охолоджуючої потужності охолоджувача[3].

Датчики протоку (витратоміри).

Існує кілька типів лічильників, які вимірюють швидкість потоку води, включаючи струминні лічильники (одноструменеві та багатоструменеві), турбінні, ультразвукові та електромагнітні лічильники.

Одноструменеві механічні лічильники. У одноструменевому лічильнику єдиний потік води обертає крильчасте колесо. Завдяки магнітної муфти розрахунковий механізм отримує обертання колеса[4]. Лічильники такого виду забезпечують довготривалу стабільність вимірювань.

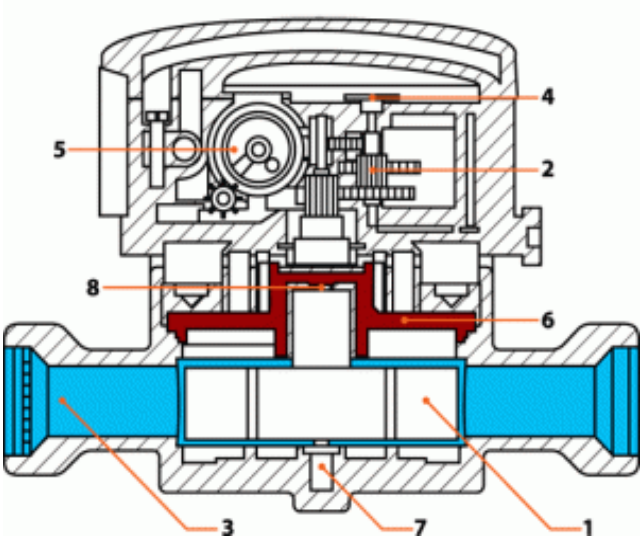


Рис. 1.1. Конструкція механічного лічильника.

На Рис.1.1 зображені внутрішні деталі механічного лічильника, де 1 – крильчатка, 2 – механізм лічильника, 3 – вода, 4 -механічний редуктор, 5 - індикатор, 6 – герметична перегородка, 7 - часові каміння.

Багатоструменеві лічильники відрізняються від одноструменевіх лічильників, тим що крильчасте колесо обертається не одним струменем води, а декількома. Також мають трохи кращі метрологічні характеристики, але має більші габарити. Як правило, мають внутрішній фільтруючий елемент, який може захистити отвори від потрапляння засмічення.

Турбінні лічильники відрізняються тим, що в них крильчатка має знаходитися на одній осі з трубопроводом. Напрямок потоку загалом іде прямо через лічильник, це представлено на Рис. 1.2. Одному обороту крильчатки пропорційна певна кількість води. Сітчасті фільтри зазвичай потрібно встановлювати перед лічильником для захисту вимірювального елемента від гравію або іншого сміття, яке могло потрапити у систему розподілу води. Турбінні лічильники точні в нормальних робочих умовах[2].

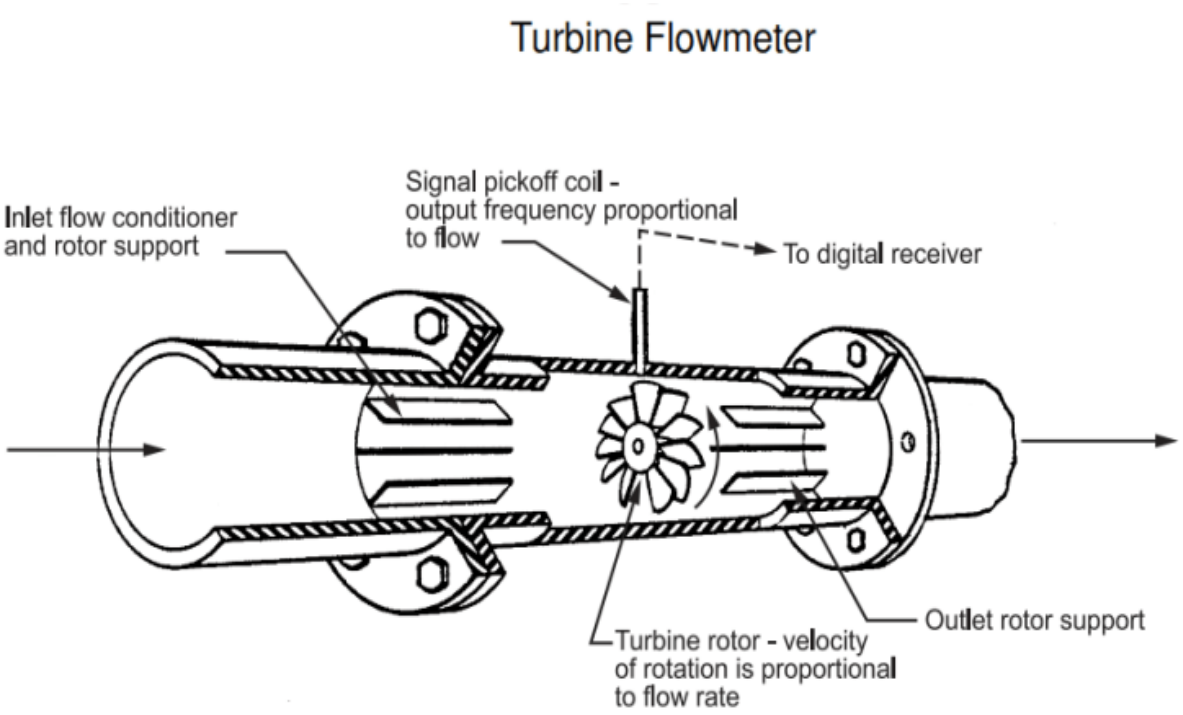


Рис. 1.2. Принцип роботи турбінного витратоміру.

Переваги механічного лічильника: Вони надійні та забезпечують досить точні засоби вимірювання, якщо лічильник встановлений належним чином; Початкова вартість порівняно низька; Просте технічне обслуговування.

Недоліки механічного лічильника: Механічні деталі можуть бути пошкоджені, що потребує частого проведення перевірки точності; Схильний до зношування при використанні в неякісній воді, що призводить до втрати точності та частої необхідності заміни; Відносно недовгий термін служби.

Загальні особливості механічного лічильника води: Лічильник повинен бути герметичним і повністю закритий металевим зовнішнім корпусом; Він повинен мати знімний механізм, що забезпечує легке обслуговування; Робоче колесо повинно бути захищене металевою кришкою, яка захищає від несанкціонованого доступу.

Електромагнітні лічильники для визначення потоку рідини використовується закон Фарадея про електромагнітну індукцію[4]. У електромагнітному витратомірі генерується магнітне поле і направляється в рідину, що протікає по трубі. Дотримуючись закону Фарадея, струмопровідна

рідина протикаючи через магнітне поле призведе до сприйняття сигналу електродами, які розташовані на стінках труб. Принцип вимірювання в тому, що коли рідина рухається швидше, створюється більше напруги, Рис.1.3. Закон Фарадея стверджує, що генерована напруга пропорційна руху рідини, що тече[5]. Електронний передавач обробляє сигнал напруги для визначення потоку рідини. Цей витратомір не перешкоджає потоку. Електромагнітні витратоміри можна застосовувати тільки для рідини, яка є електропровідною[2].

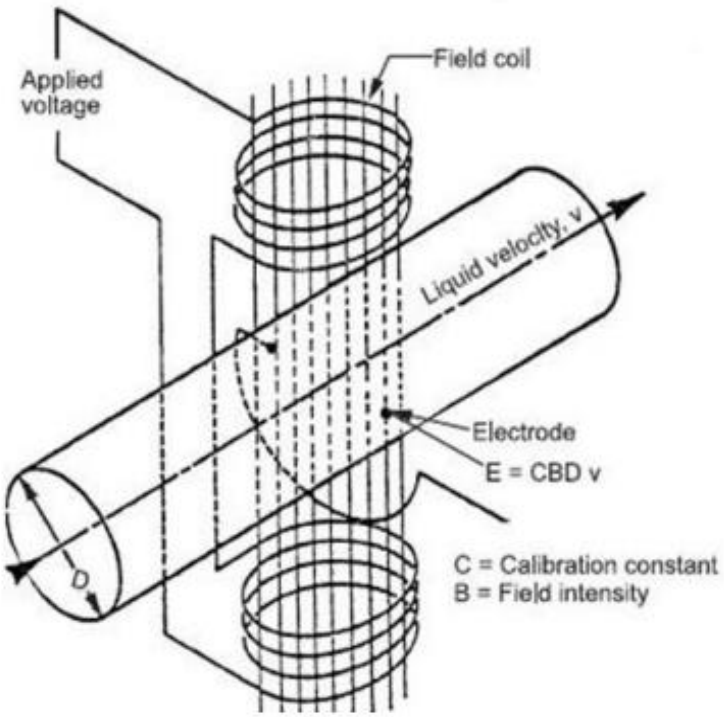


Рис. 1.3. Принцип роботи електромагнітного витратоміру.

Ультразвукові лічильники, Рис. 1.4.. Для вимірювання використовується ультразвуковий випромінювач і приймач, вони встановлюються на трубі один навпроти одного. Випромінювач посилає сигнал, який проходить у протилежному напрямі від потоку крізь рідину і через деякий час приймач отримує його. Фіксуючи час проходження сигналу від випромінювача до приймача вимірюється швидкість потоку рідини в трубі[4]. Ультразвукові лічильники встановлюються на поверхні труб і не мають рухомих частин.

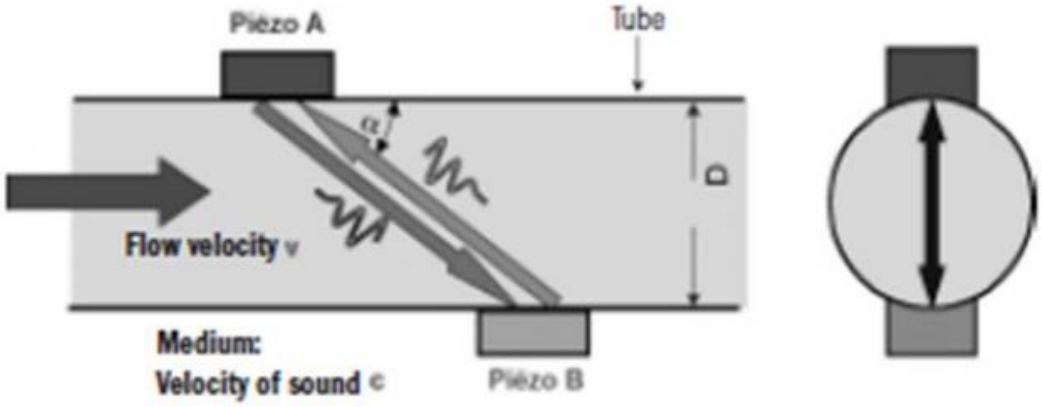


Рис. 1.4. Принцип роботи ультразвукового витратоміру.

Вихрові лічильники, Рис. 1.5. У лічильниках такого типу рідина у витратомірі з певною швидкістю протікає через тіло обтікання, яке часто має форму трапеції в перетині, за ним утворюється система вихорів. Вимірювана частота вихорів прямо пропорційна швидкості потоку рідини[2].

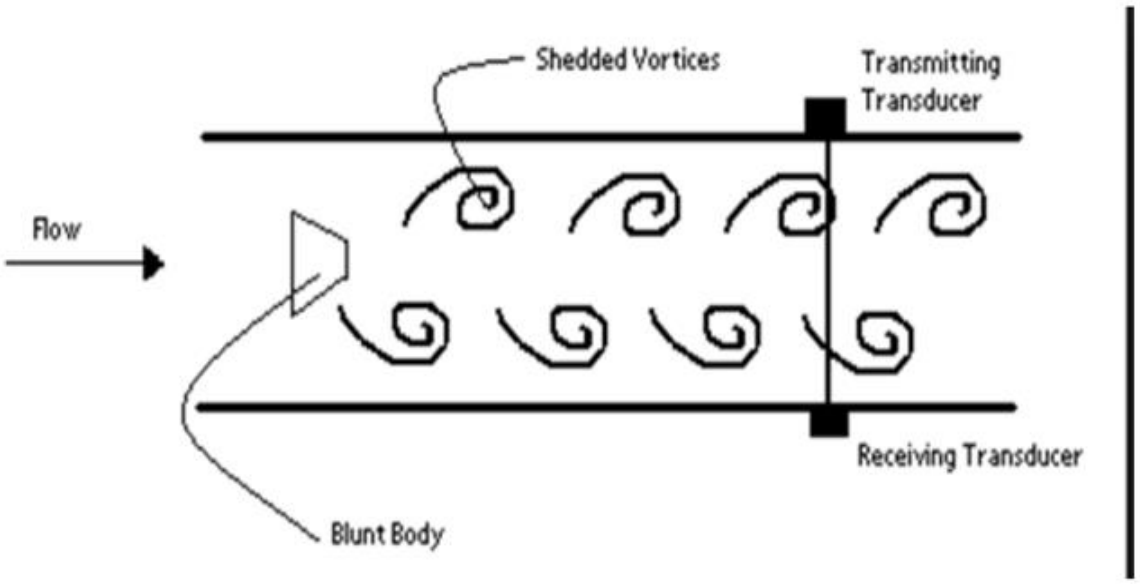


Рис. 1.5. Принцип роботи вихрового витратоміру.

Датчики температури.

Температура є однією з основних фізичних змінних. Точне та надійне вимірювання температури є важливим у складі лічильника тепла. Взагалі датчики температури можуть бути аналоговими або цифровими. Деякі з часто

використовуваних датчиків температури є: термопари, датчики температури опору та терморезистори. Цифрові датчики мають форму інтегральних мікросхем. Вибір датчика залежить від точності, температурного діапазону, швидкості реакції, теплової муфти, навколишнього середовища та вартості.

Термопари найкраще підходять для вимірювань дуже низьких і дуже високих температур. Типовий діапазон вимірювань - від -270 ◦C до +2600 ◦C. Точність термопари становить ± 1 ◦C.

Датчики температури опору використовуються при вимірюванні температури середнього діапазону, від -200 ◦C до +600 ◦C. Їх можна використовувати в більшості хімічних середовищ, але вони не такі міцні, як термопари. Типова точність датчиків температури опору становить ± 0,2 ◦C.

Термістори використовуються при низьких та середніх температурах, від -50 ◦C до близько +200 ◦C. Вони не настільки міцні, як термопари або датчики температури опору. Термістори є недорогими пристроями і вони мають точність ± 0,2 ◦C[12].



Рис. 1.6. Типовий платиновий датчик (Pt500) температури опору, вбудований у сталеву трубку, придатний для установки в труби.

Термометри опору або терморезистори, є датчиками для вимірювання температури шляхом співвіднесення опору елемента з температурою. Більшість таких елементів складаються з дроту, обмотаного навколо керамічної або

скляної серцевини. Елемент зазвичай досить крихкий, тому його поміщають всередину захисної оболонки. Елемент виготовляється із чистого матеріалу, як правило, це платина, нікель або мідь. Як приклад такого датчику представлений на Рис. 1.6. Матеріал передбачувано міняє свій опір залежно від зміни температури, і саме ця передбачувана зміна використовується для визначення температури[9]. Платинові термометри опору забезпечують чудову точність при широкому діапазоні температур (від –200 до +850 °C).

1.2 Використання мікроконтролера

Мікроконтролер зіграв фундаментальну роль у технологічній революції, яка сформувала сучасне життя. Мікроконтролери використовуються в автоматично керованих пристроях, наприклад, автомобільні системи управління двигуном, військові та аерокосмічні системи, медичне обладнання, пульти дистанційного керування, офісні пристрої, електроінструменти, промислові пристрої та інші вбудовані системи.

Мікроконтролер - це пристрій з інтегральною схемою, що використовується для управління іншими частинами електронної системи, як правило, через мікропроцесор, пам’ять та деякі периферійні пристрої. Ці пристрої оптимізовані для вбудованих систем, що вимагають як функціональних можливостей обробки, так і гнучкої реагуючої взаємодії з цифровими, аналоговими або електромеханічними компонентами. Функціональність мікроконтролера є результатом поєднання цифрового процесора та цифрової пам'яті з додатковим обладнанням, яке спеціально розроблено для взаємодії мікроконтролера з іншими компонентами[13].

Мікроконтролери використовуються у великій кількості систем і пристроїв. Складні пристрої часто використовують одразу кілька мікроконтролерів, які працюють разом. Всі мікроконтролери взаємодіють один з одним, щоб повідомити правильні дії. Вони відправляють і отримують дані, використовуючи свої периферійні пристрої введення-виведення, і обробляють ці дані для виконання призначених їм завдань.

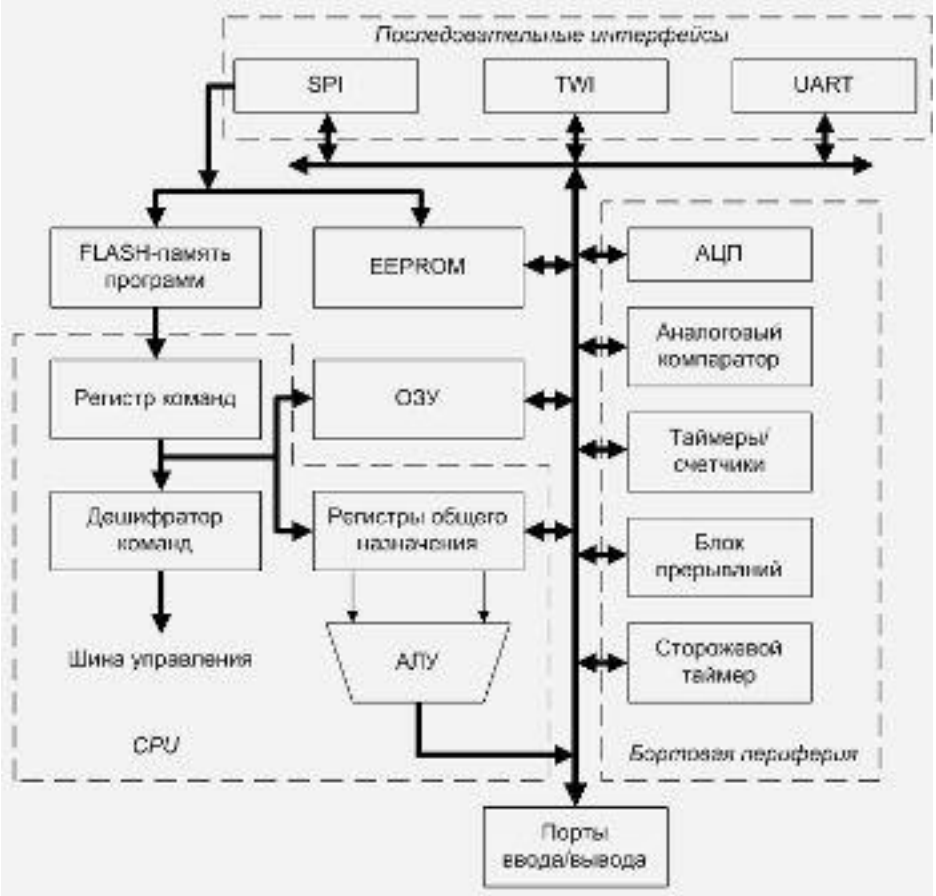


Рис.1.7. Схема влаштування мікроконтролера.

Нижче приведений опис основних частин мікроконтролера, а також принцип роботи та особливості окремих частин. Схема представлена на Рис.1.7.

Центральний процесор (ЦП) виконує арифметичні операції, управляє потоком даних і формує керуючі сигнали відповідно до послідовності програмно записаних вказівок[11]. Для написання коду для мікроконтролерів часто використовують інтегровані середовища розробки та мови високого рівня, такі як C.

Пам’ять. Енергонезалежна пам’ять використовується для зберігання списку інструкцій на машинній мові мікроконтролера, які точно вказують ЦП, що робити. Зазвичай така пам’ять позначається «Flash» (певна форма енергонезалежного зберігання даних). Енергозалежна пам’ять (тобто оперативна пам’ять RAM) використовується для тимчасового зберігання даних.

Ці дані втрачаються, коли мікроконтролер втрачає живлення. Інтегровані в ЦП внутрішні реєстри також забезпечують тимчасове зберігання даних.

EEPROM схожа на флеш-пам’ять, є енергонезалежною пам’яттю і зберігає свої дані навіть після вимкнення. Різниця полягає в тому, що, поки флеш-пам’ять перезаписує “блок” байтів, EEPROM може перезаписати будь-який конкретний байт у будь-який час. Це подовжує термін служби EEPROM порівняно з флеш-пам’яттю[10].

Послідовні інтерфейси передачі даних - це послідовний зв’язок у мікроконтролері, що надсилає дані по одному біту за раз. За допомогою мікроконтролерних плат він з’єднує мікросхеми зі слідами сигналів на друкованій платі. В інтегрованих схемах вони використовують послідовну шину для передачі даних, щоб зменшити кількість контактів, що робить їх більш економічними. Прикладами послідовних шин в мікросхемах є SPI або I2C.

Периферія - апаратні модулі, які допомагають мікроконтролеру взаємодіяти із зовнішньою системою. Різні категорії периферійних пристроїв та їх приклади:

- Перетворювачі даних: аналого-цифровий перетворювач, цифро-аналоговий перетворювач, генератор опорної напруги.
- Тактова генерація: внутрішній осцилятор, фазове автопідстроювання частоти.
- Таймінг: загальний таймер, годинник реального часу, лічильник зовнішніх подій, імпульсна модуляція.
- Обробка аналогового сигналу: операційний підсилювач, аналоговий компаратор.
- Вхід / вихід: введення-виведення загального призначення, паралельний інтерфейс пам'яті.
- Послідовний зв’язок: UART, SPI, I2C, USB.

Мікроконтролери містять різноманітні функціональні блоки, які не можна класифікувати як периферійні пристрої, оскільки їх основне призначення не

керування, моніторинг або взаємодія із зовнішніми компонентами, а підтримка внутрішньої роботи пристрою, спрощення впровадження та покращення процесу розробки.

Схема налагодження дозволяє розробнику ретельно контролювати мікроконтролер. Це важливий, а іноді і незамінний метод відстеження помилок та оптимізації роботи прошивки.

Переривання є надзвичайно цінним аспектом функціонування мікроконтролера. Переривання генеруються зовнішніми або внутрішніми апаратними подіями, і вони змушують процесор негайно реагувати на ці події, виконуючи певну групу інструкцій. Програми мікроконтролера, написані на мові С, організовані за функціями. Переривання призводить до того, що виконання програми «переноситься» в підпрограму обслуговування переривання, і після того, як підпрограма завершує свої завдання, процесор повертається до функції, яка виконувалася, коли відбулося переривання.

Модуль генерації тактової частоти можна вважати периферійним пристроєм, якщо він призначений для створення сигналів, які будуть використовуватися поза мікросхеми, але в багатьох випадках основною метою внутрішнього генератора мікроконтролера є подача тактового сигналу для центрального процесора та периферійних пристроїв[14].

Мікроконтролери можуть включати різні типи схем живлення. Вбудовані регулятори напруги дозволяють генерувати на мікросхемі необхідні напруги живлення, модулі управління живленням можуть використовуватися для значного зменшення споживання струму пристрою під час неактивних станів, а модулі контролю можуть переводити процесор у стабільний стан скидання, коли напруга живлення не досить висока, щоб забезпечити надійну роботу.

Біти: 8-бітний мікроконтролер виконує логічні та арифметичні операції. 16-бітний мікроконтролер працює з більшою точністю та продуктивністю на відміну від 8-бітного. 32-бітний мікроконтролер вимагає використання 32-бітних інструкцій для виконання будь-якої логічної або арифметичної функції.

У сучасному світі практично всі електронні пристрої створюються з використанням мікроконтролера. Зменшуючи розмір та вартість порівняно з конструкцією, яка використовує окремий мікропроцесор, пам’ять та пристрої введення-виведення, мікроконтролери роблять економічним цифровий контроль ще більшої кількості пристроїв та процесів.

1.3 Лічильник тепла на базі мікроконтролера

З розвитком технологій механічні лічильники води поступово замінюються електронними або розумними лічильниками. Зазвичай у електронних лічильниках тепла інтегруються електронні датчики. Після обробки мікроконтролером в електронному модулі дані про витрати води, температури передаються на рідкокристалічний дисплей або виводяться в систему управління інформацією.

Лічильник тепла на базі мікроконтролера повинен забезпечувати обробку результатів вимірювань з вимірювальних перетворювачів, обчислення звітного параметра по одному з алгоритмів, зберігання архіву даних, а також індикацію запитуваних або миттєвих значень і можливість експорту поточної і архівної інформації за потребою в зовнішні пристрої. Для реалізації лічильника тепла на базі мікроконтролера з сучасним набором функцій необхідно в якості обчислювача тепла використовувати мікропроцесорну систему. В мікропроцесорній системі необхідно передбачити безперервне введення даних в систему з вимірювальних перетворювачів (аналого-цифрові перетворювачі), узгодження вхідних АЦП і порту введення даних мікропроцесора (реєстр даних), зовнішню пам'ять пристрою (мікросхеми пам'яті), індикацію результатів (реєстр даних, схема узгодження і індикатор), схему управління (порт управління процесора).

Лічильник тепла на базі мікроконтролера, це сучасне та зручне рішення, яке відрізняється високою точністю, стабільною роботою, тривалим терміном експлуатації, великим сучасним цифровим функціоналом та низькими витратами на обслуговування.

1.4 Формулювання вимог до пристрою, який розроблюється в рамках дипломної роботи

Далі описані необхідні характеристики та функції приладу, відповідно до завдання на дипломний проект.

Необхідна функціональність приладу:

- Вимірювання об’єму пройденого теплоносія
- Вимірювання температури теплоносія в подаючому патрубку
- Вимірювання температури теплоносія в зворотному патрубку
- Визначення кількості тепла, відібраного з системи опалення
- Параметри налаштування, а саме зазначення діаметру подаючого та зворотного патрубка і тип теплоносія
- Ведення статистики: журнал показань в бажаний час, статистика перевірок, журнал несанкціонованого доступу всередину приладу.
- Можливість підключення в домашню комп'ютерну мережу по інтерфейсу WiFi з метою дистанційного збору свідчень авторизованим користувачем.

Необхідні характеристики приладу:

- Діаметр умовного проходу трубопроводу (мм), 32;
- Діапазон вимірювання масової витрати (м3 / год), від 0,19 до 34,99;
- Діапазон вимірювання температури (℃), від 0 до 180;
- Діапазон вимірювання різниці температур в подаючому та зворотному трубопроводах (℃), 3-180.

Висновок до розділу.

У розділі було проведено аналітичний огляд предметної області, були розглянути види та класифікації лічильників тепла, принцип роботи датчиків лічильника. Розібрано використання мікроконтролерів у сучасній електроніці. Сформовано поняття, лічильника тепла на базі мікроконтролера, а також основні характеристики та функції, якими повинен володіти пристрій

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ

2.1 Фізичні засади вимірювання кількості тепла

У термодинаміці тепло - це енергія, яка передається в термодинамічну систему або від неї за допомогою інших механізмів, окрім термодинамічної роботи або переносу речовини.

Як і термодинамічна робота, теплообмін - це процес, що включає більше ніж одну систему, а не властивість деякої системи. У термодинаміці енергія, що передається як тепло, сприяє зміні основній енергетичній змінній стану системи, наприклад, її внутрішньої енергії або ентальпії. Це слід відрізняти від звичайної концепції тепла як властивості ізольованої системи.

Кількість енергії, переданої як тепло в процесі - це кількість переданої енергії, за винятком будь-якої термодинамічної роботи, яка була зроблена, і будь-якої енергії, що міститься в речовині. Для точного визначення теплоти необхідно, щоб воно відбувалося шляхом, який не включає перенесення речовини[16].

Хоча не відразу за визначенням, але в особливих видах процесів, кількість енергії, що передається у вигляді тепла, можна виміряти за її впливом на стани взаємодіючих тіл. Наприклад, відповідно, за особливих обставин, тепловіддачу можна виміряти за кількістю розтопленого льоду або за зміною температури тіла в оточенні системи. Такі методи називаються калориметрією.

Кількість теплоти, що передається, можна виміряти калориметрією або визначити за допомогою розрахунків на основі інших величин. Калориметрія є емпіричною основою ідеї передачі кількості теплоти в процесі. Передане тепло вимірюється змінами відомих властивостей в тілі, наприклад, підвищенням температури, зміною об'єму чи довжини або зміною фази, наприклад, таненням льоду. Розрахунок переданої кількості теплоти може спиратися на гіпотетичну кількість енергії, переданої як адіабатична робота, і на перший закон термодинаміки. Такий розрахунок є основним підходом багатьох теоретичних досліджень передачі кількості теплоти.

Символом, що використовується для позначення кількості теплоти, що передається в термодинамічному процесі, є «Q». Кількість переданої енергії одиницею теплоти у системі СІ є джоуль «J».

Механізми передачі енергії, що визначають тепло, включають провідність, через безпосередній контакт нерухомих тіл, або через стінку, або бар'єр, які не проникають у речовину, випромінювання між розділеними тілами або тертя внаслідок ізохорних механічних, електричних, магнітних чи гравітаційних робіт, виконуваних оточенням у системі. Коли існує відповідний шлях між двома системами з різною температурою, тепловіддача відбувається обов'язково, негайно і мимовільно від більш гарячої до більш холодної системи.

Теплопровідність відбувається шляхом випадкового руху мікроскопічних частинок, таких як атоми або молекули. Визначення теплопередачі не вимагає, щоб процес у будь-якому сенсі був плавним. Теплопровідність матеріалу є мірою його здатності проводити тепло. Його зазвичай позначають «k». Визначальним рівнянням теплопровідності є:

$$q = -k\nabla T \tag{2.1}$$

де q - тепловий потік, k - теплопровідність, і ∇T- градієнт температури . Це відомо як закон Фур'є для теплопровідності. Зазвичай виражається як скаляр. Теплообмін відбувається з меншою швидкістю в матеріалах з низькою теплопровідністю, ніж у матеріалах з високою теплопровідністю. Наприклад, метали, як правило, мають високу теплопровідність і дуже ефективно проводять тепло. Відповідно, матеріали з високою теплопровідністю широко використовуються в системах тепловідведення, а матеріали з низькою теплопровідністю використовуються як теплоізоляція. Взаємна теплопровідність називається тепловим опором[17].

Конвекція - це передача тепла з одного місця в інше за рахунок руху рідини. Конвекція може бути примусовою, коли рух рідини відбувається за допомогою інших засобів, наприклад, водяного насоса.

Конвективна циркуляція дозволяє одному тілу нагрівати інше через проміжну циркулюючу рідину, яка переносить енергію від однієї межі до іншої.

Фактичний теплообмін відбувається за рахунок провідності та випромінювання між рідиною та відповідними тілами.

Як форма енергії тепло має одиницю вимірювання джоуль «J» у міжнародній системі одиниць СІ. Однак у багатьох галузях часто використовують британську теплову одиницю та калорійність. Стандартною одиницею швидкості передачі тепла є ватт «Вт», що визначається як один джоуль ділений на секунду. Тепло, що виділяється системою в її оточення, за умовою є негативною величиною ($Q < 0$), а коли система поглинає тепло з навколишнього середовища, позитивною ($Q > 0$).

Визначення теплоємності. Теплоємність об’єкта, позначається С:

$$C = \lim_{\Delta T \to 0} \frac{\Delta Q}{\Delta T} \tag{2.2}$$

де ΔQ - кількість тепла, яке необхідно додати до об’єкта (масою М), щоб підвищити його температуру на дельта ΔT. Значення цього параметра зазвичай значно змінюється залежно від стартової температури Т об’єкта і тиску Р. Зокрема, він, як правило, різко змінюється залежно від фазових переходів, таких як плавлення або випаровування. Тому це слід вважати функцією С (Р, Т) з двома змінними. Теплоємність зазвичай можна виміряти методом, передбаченим його визначенням: починати з об’єкта при відомій рівномірній температурі, додавати до нього відому кількість теплової енергії, чекати, поки його температура стане рівномірною, і вимірювати зміну температури . Цей метод може дати помірно точні значення для багатьох твердих речовин, однак він не може забезпечити дуже точних вимірювань, особливо для газів.

Питома теплоємність це кількість енергії у вигляді тепла, яку потрібно додати до одиниці маси речовини, щоб викликати підвищення температури на одну одиницю, а також кількість теплоти яка виділяється при охолоджені одиниці маси речовини. Позначається:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \tag{2.3}$$

де Q - кількість тепла, що речовина отримала речовиною при нагріванні або, та кількість, що виділилася при охолодженні, m - маса речовини, яку нагрівають чи охолоджують, ΔT - різниця температур речовини, кінцевої і початкової відповідно.

Коефіцієнт тепловіддачі стінки труби. Опір потоку тепла матеріалом стінки труби може бути виражений як коефіцієнт тепловіддачі стінки труби. Однак потрібно вибрати, чи базується тепловий потік на внутрішньому або зовнішньому діаметрі труби. Вибравши для основи теплового потоку внутрішній діаметр труби і припустивши, що товщина стінки труби мала в порівнянні з внутрішнім діаметром труби, тоді коефіцієнт тепловіддачі можна розрахувати так, якби стінка була без вигину:

$$h_{\text{стінки труби}} = \frac{k}{x} \tag{2.4}$$

де k - ефективна теплопровідність матеріалу стіни, а x - товщина стінки. Якщо наведене вище припущення не виконується, то коефіцієнт тепловіддачі стіни можна обчислити, використовуючи такий вираз:

$$h_{\text{стінки труби}} = \frac{2k}{d_i \ln(d_o/d_i)} \tag{2.5}$$

де d_i та d_o - внутрішній і зовнішній діаметри труби відповідно. Теплопровідність матеріалу труби зазвичай залежить від температури, часто використовується середня теплопровідність.

Тепло є важливою складовою фазових змін, пов’язаних з роботою та енергією. Теплообмін можна визначити як процес передачі тепла від об’єкта при більш високій температурі до іншого об’єкта при більш низькій температурі. Тому тепло - це міра кінетичної енергії, якою володіють частинки в даній системі. Коли температура системи зростає, тоді її кінетична енергія частинок також зросте. Таким чином, показник тепла об’єкта змінюється з часом в силу багатьох причин[16].

Концепція теплопередачі. Коли одна система контактує з іншою системою з низькою температурою, тоді енергія передається від частинок першої системи

до другої. Отже, є багато випадків, коли тепло передаватиметься від одного об’єкта до іншого. Згідно з визначенням питомої теплоємності, що це загальна кількість теплоти, яка повинна подаватися на одиницю маси системи для збільшення температури на один градус Цельсія. Для того, щоб обчислити залежність між підвищенням або зниженням температури та кількістю теплоти, що подається або виділяється, ми повинні помножити питому теплоємність на масу та різницю температур.

Основна формула кількості тепла:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \tag{2.6}$$

де m – маса речовини, c – питома теплоємність, ΔT – різниця температур.

Передача тепла відбувається за допомогою трьох різних процесів, а саме: провідності, конвекції та випромінювання.

Тепло, що передається в процесі провідності:

$$Q = \frac{kA(T_{hot} - T_{cold})t}{d} \tag{2.7}$$

де k - теплопровідність, A – площа поверхні, T_{hot} - гаряча температура, T_{cold} - холодна температура, t – час, d – товщина матеріалу.

Тепло, що передається в процесі конвекції:

$$Q = H_C A(T_{hot} - T_{cold}) \tag{2.8}$$

де H_C – коефіцієнт теплопередачі, A - площа поверхні, T_{hot} - гаряча температура, T_{cold} - холодна температура.

Тепло, що передається в процесі випромінювання:

$$Q = \sigma\ (T_{hot} - T_{cold})A \tag{2.9}$$

де σ – константа Больцмана, A - площа поверхні, T_{hot} - гаряча температура, T_{cold} - холодна температура.

2.2 Місце мікроконтролерної техніки у процесі вимірювання кількості тепла

Алгоритмізація вимірювання та обчислення кількості тепла розробляється опираючись на формулу обчислення теплової енергії 2.6, яка для вимірювання

кількості тепла спожитого із системи водяного опалення за допомогою лічильника тепла на базі мікроконтролера має наступний вигляд:

$$Q = m \cdot \text{с} \cdot (T_1 - T_2)\text{ , де} \qquad (2.10)$$

Q - кількість тепла (Гкал /год);

m – маса витрати теплоносія на об'єкт теплопостачання (тон /год), (кг);

с – питома теплоємність теплоносія (Гкал / (кг · ℃)), згідно таблиці питомої теплоємності речовин, значення для води при 20 ℃ складає 4,187 кДж/кг · ℃;

T_1 і T_2 - температура теплоносія в подаючому і зворотному трубопроводі системи теплопостачання (℃).

Мікроконтролер - це програмована інтегральна схема, яка здатна виконувати безліч функцій залежно від того, як її запрограмовано. Існує багато різних видів мікроконтролерів які пропонують широкий спектр функціональних можливостей. Універсальність мікроконтролера робить його одним із найпотужніших інструментів сучасних електронних пристроїв.

Без мікроконтролерної техніки реалізувати алгоритм вимірювання кількості тепла спожитого із системи водяного опалення практично неможливо.

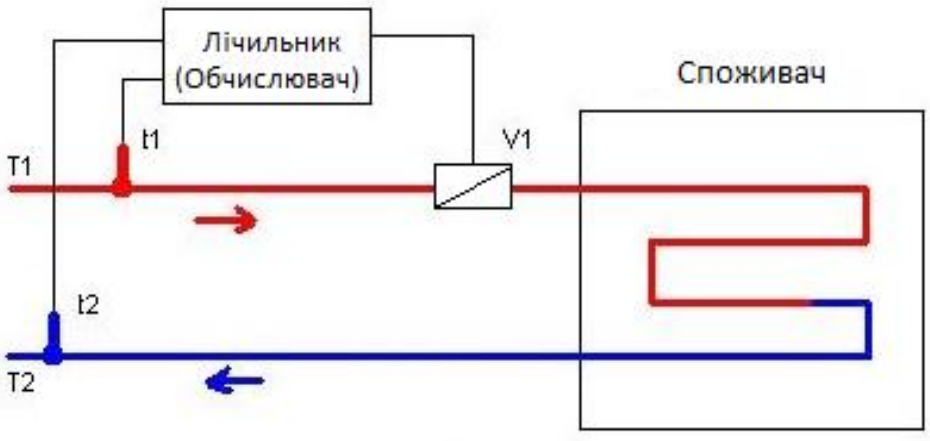


Рис. 2.1. Схема принципу роботи обчислювача тепла у системі водяного опалення.

На Рис.2.1 видно, як у системі взаємодіють між собою витратомір V1, та датчики температури на подаючому t1 та зворотному t2 патрубках, T1 і T2 температури теплоносія[3].

Алгоритм вимірювання лічильником кількості тепла спожитого із системи водяного опалення наступний:

Витратомір V1 на подачі міряє масу теплоносія, що потоком проходить крізь нього, у той же час датчики температури на подаючому t1 та зворотному t2 патрубках міряють температуру теплоносія. Мікроконтролер у лічильнику тепла постійно опитує датчик протоку та відповідні датчики температури. Далі отриману з датчиків інформацію обчислювач на мікропроцесорній системі обробляє та обчислює по заданій у програмному коді формулі, яка відповідає фізичній 2.10, кількість спожитого тепла.

2.3 Мова програмування С як мова для створення програмного забезпечення мікроконтролеру

У цій главі розглядаються основні характеристики мови програмування С, яка широко використовується для програмування мікроконтролерів.

Мікроконтролери зазвичай програмуються мовами вищого рівня, такими як С. Одним з основних інструментів, необхідних для програмування мікроконтролера, є інтегроване середовище розробки (ICP). Це програмне забезпечення, яке містить корисні інструменти, які призначені для програмування мікроконтролера. Поширені інструменти в ICP включають редактори коду, компілятори та налагоджувачі. Також, залежно від застосування мікроконтролерів, додаткові функції[21].

За мірками сучасних технологій, С є досить старою мовою. Її розробка відбулася на початку 70-х років та стандартизація в 80-х. Тим не менше, вона дуже актуальна у сучасному світі. Це середовище програмування підходить для вирішення багатьох питань – від програмування простих пристроїв на базі мікроконтролера до складної цифрової обробки сигналів.

Основи програмування мікроконтролерів на мові С.

Основна ідея написання програми мовою С полягає в тому, щоб розбити велику операцію на кілька менших частин. Припустимо, потрібно написати програму для мікроконтролера, яка збирається вимірювати температуру і відображати результати на РК-дисплеї. Процес вимірювання виконується датчиком, який перетворює температуру в напругу. Мікроконтролер використовує свій АЦП, щоб перетворити цю напругу (аналогове значення) в число (цифрове значення), яке потім надсилається на РК-дисплей через кілька провідників. Відповідно, програма розділена на чотири частини, які вам доведеться пройти згідно з таким порядком:

1. Активувати та налаштувати вбудований цифровий перетворювач;
2. Виміряти аналогове значення;
3. Обчислити температуру;
4. Надіслати дані у належній формі на РК-дисплей.

Як видно, вищі мови програмування, такі як С, дозволяють вам легко вирішити цю проблему, записавши чотири функції для виконування циклічно знову і знову.

При написанні програми для мікроконтролера мовою асемблерів, в архітектурі RISC відсутні інструкції. Наприклад, немає відповідної інструкції для множення цифри на два. Але кожна проблема має рішення, потрібно виконувати складні операції, розбиваючи їх на кількість простих. Конкретно множення можна замінити послідовним додаванням. У мовах програмування, таких як С, ці та багато інших проблеми вже вирішені[14].

Препроцесор є невід’ємною частиною компілятора С, і його функція полягає у розпізнаванні та виконанні інструкцій препроцесора. Це спеціальні інструкції, які не належать до мови С, але є частиною пакету програмного забезпечення, що постачається з компілятором. Кожна команда препроцесора починається з "#". До компіляції програми, компілятор С активує препроцесор, який проходить програму в пошуках цих ознак. Якщо знаходить, то препроцесор просто замінить їх іншим текстом, який залежно від типу команди,

це може бути вмістом файлу або просто короткою послідовністю символів. Потім процес компіляції може розпочатися. Інструкції препроцесора можуть бути де завгодно у вихідній програмі і стосуватися лише тієї частини програми, яка знаходиться після них і до кінця програми.

Директиви препроцесора #include та #define[14].

Багато програм часто повторюють один і той же набір команд кілька разів. З метою пришвидшення процесу при написанні програми ці команди зазвичай групуються у певні файли, які легко можуть бути включені в програму за допомогою цієї директиви. Якщо бути точнішим, команда #include імпортує текст із іншого документу, який би він не був (команди, коментарі тощо), до програми.

Команда #define забезпечує розширення макросів, замінюючи ідентифікатори в програмі на їх значення. Мова програмування С насправді являється мовою загального призначення. Однак саме цей факт може спричинити деякі проблеми під час роботи з програмуванням мікроконтролерів, тому як мова С дещо змінюється залежно від застосування.

Коментарі в С є частиною програми, яка використовується для уточнення роботи програми або надання додаткової інформації. Коментарі ігноруються компілятором. Простіше кажучи, компілятор може розпізнавати спеціальні символи, що використовуються для позначення місця початку та закінчення коментарів та повністю ігнорує текст між ними під час компіляції.

Будь-яке число, що змінює своє значення під час роботи програми, називається змінною. Константа - це число або символ із фіксованим значенням, які неможливо змінити під час виконання програми. На відміну від змінних, константи зберігаються у пам'яті флеш-програми мікроконтролера з метою економії цінного простору оперативної пам'яті. Компілятор розпізнає їх за іменем та префіксом const.

Іноді процес написання програми мовою С вимагає частин коду, який слід написати в асемблері. Це дозволяє складним частинам програми, бути виконаними точно визначеним способом для точного періоду часу. Наприклад,

коли необхідно мати дуже короткі імпульси (кілька мікросекунд) які з'являються періодично на контакті мікроконтролера. У таких і подібних випадках найпростіші рішення полягають у використанні коду асемблера для частини програми, що контролює тривалість імпульсу.

Коди, написані мовою асемблера, можуть використовувати константи та змінні, визначені раніше мовою С. Звичайно, оскільки вся програма написана мовою С, при їх застосуванні застосовуються правила констант та змінних[14].

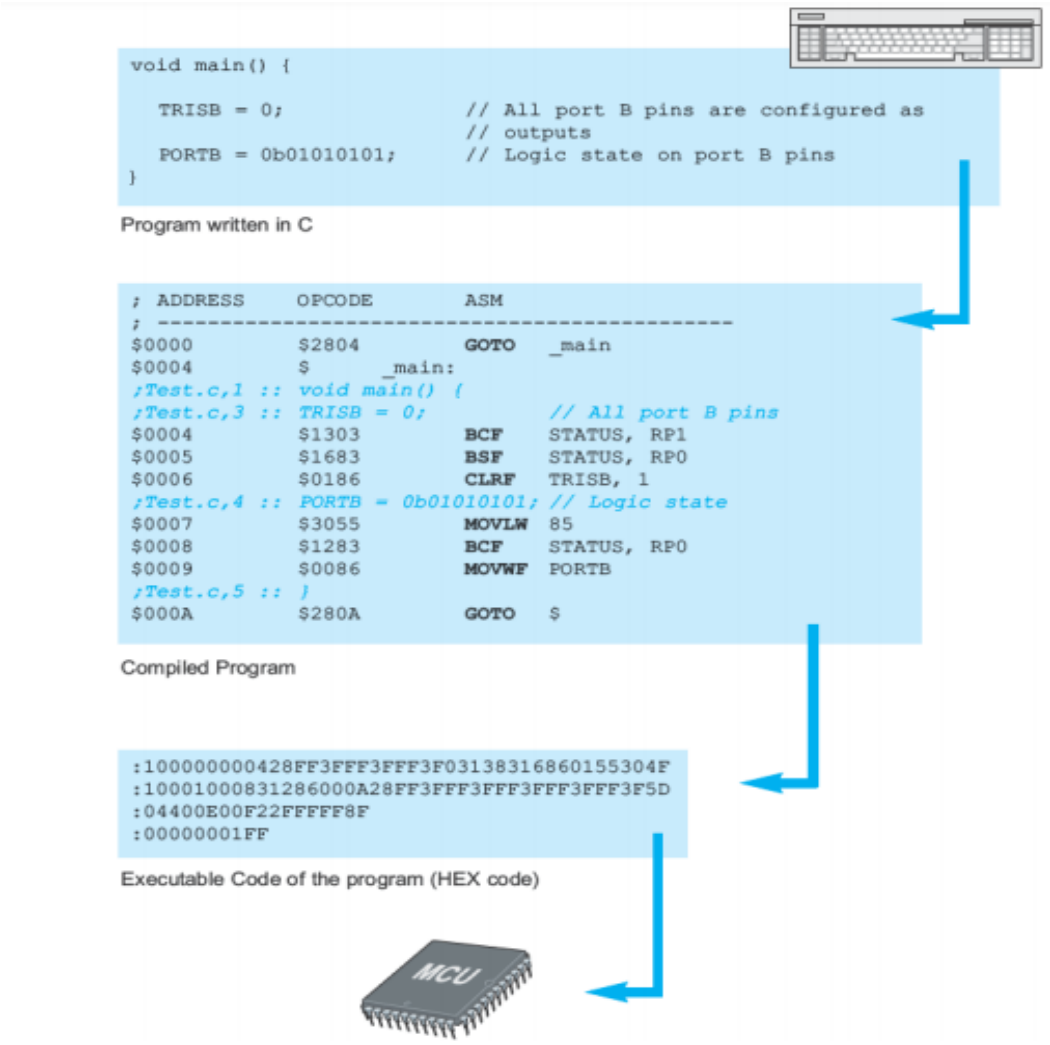


Рис. 2.2. Приклад простої програми для мікроконтролера, написаної мовою С.

Кожна програма, написана мовою С, складається з деякої кількості функцій, Рис. 2.2. Головна ідея - це розділити програму на кілька частин, використовуючи ці функції, для легшого вирішення актуальної проблеми. Крім

того, функції дозволяють використовувати вже готові фрагменти коду. Наприклад, якщо це необхідно надіслати рядок на РК-дисплей, набагато простіше використовувати вже написану частину програми, ніж починати спочатку. Функції складаються з команд, що вказують, що слід робити із змінними. Їх можна порівняти з підпрограмами. Як правило, набагато краще мати програму, що складається з великої кількості простих функцій, ніж з декількох великих функцій. Тіло функції зазвичай складається з декількох команд, що виконуються за порядком, за яким вони вказані.

Кожна функція повинна бути належним чином оголошена, щоб бути правильно інтерпретована під час компіляції. Оголошення містить такі елементи: назва функції, тіло функції, список параметрів, оголошення параметрів, тип результату функції. Функція не повинна мати параметрів, але повинна мати дужки, щоб використовувати їх для введення. В іншому випадку компілятор неправильно прочитає функцію. Якщо після виконання функція не повертає результату ні до основної програми, ні до функції, яку вона викликає, програма продовжує виконання після зіткнення із фінальною фігурною дужкою. Такі функції використовуються, коли необхідно змінити стан вихідних контактів мікроконтролера під час передачі даних через послідовний зв’язок, під час запису даних на РК-дисплей, тощо. Компілятор розпізнає ці функції за типом їх результату, визначеного як void. Функції може бути присвоєно довільне ім'я. Єдиним винятком є назва main, яка має особливе призначення. А саме, програма завжди починає виконання з цієї функції. Це означає, що кожна програма написана на мові С повинна містити одну функцію з назвою main, яку не потрібно розміщувати на початку програми. Якщо необхідно, щоб викликана функція повертала результати після виконання, є команда return. Якщо функція містить команду return,, функція зупиняє її виконання і програма продовжує виконання з першої команди після закриваючої фігурної дужки[22].

Імена всіх функцій, що використовуються мовою С, зберігаються у файлі, який називається заголовком (header). Ці функції, залежно від їх призначення, сортуються у файли, які називаються бібліотеками. До використання будь-

якого з них, у програмі необхідно вказати відповідний файл заголовка, використовуючи команду #include на початку програми. Якщо компілятор зустріне невідому функцію під час виконання програми, він спочатку шукатиме її в зазначених бібліотеках.

Висновок до розділу.

У даному розділі розглянуто основні фізичні засади вимірювання кількості тепла, від чого залежить тепло і методи його вимірювання та обчислювання. Розглянуто місце мікроконтролерної техніки у процесі вимірювання кількості тепла та алгоритм процесу вимірювання лічильником. Також розглянуто особливості мови програмування С для створення програмного забезпечення для мікроконтролерів.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ТА ЇЇ ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ

3.1 Опис електронної частини розробленого пристрою

В якості головного керуючого мікроконтролера в пристрої використовується 32-бітний мікроконтролер nrf52832 з ядром Cortex-M4. Принципова схема пристрою приведена на рис. 3.1.

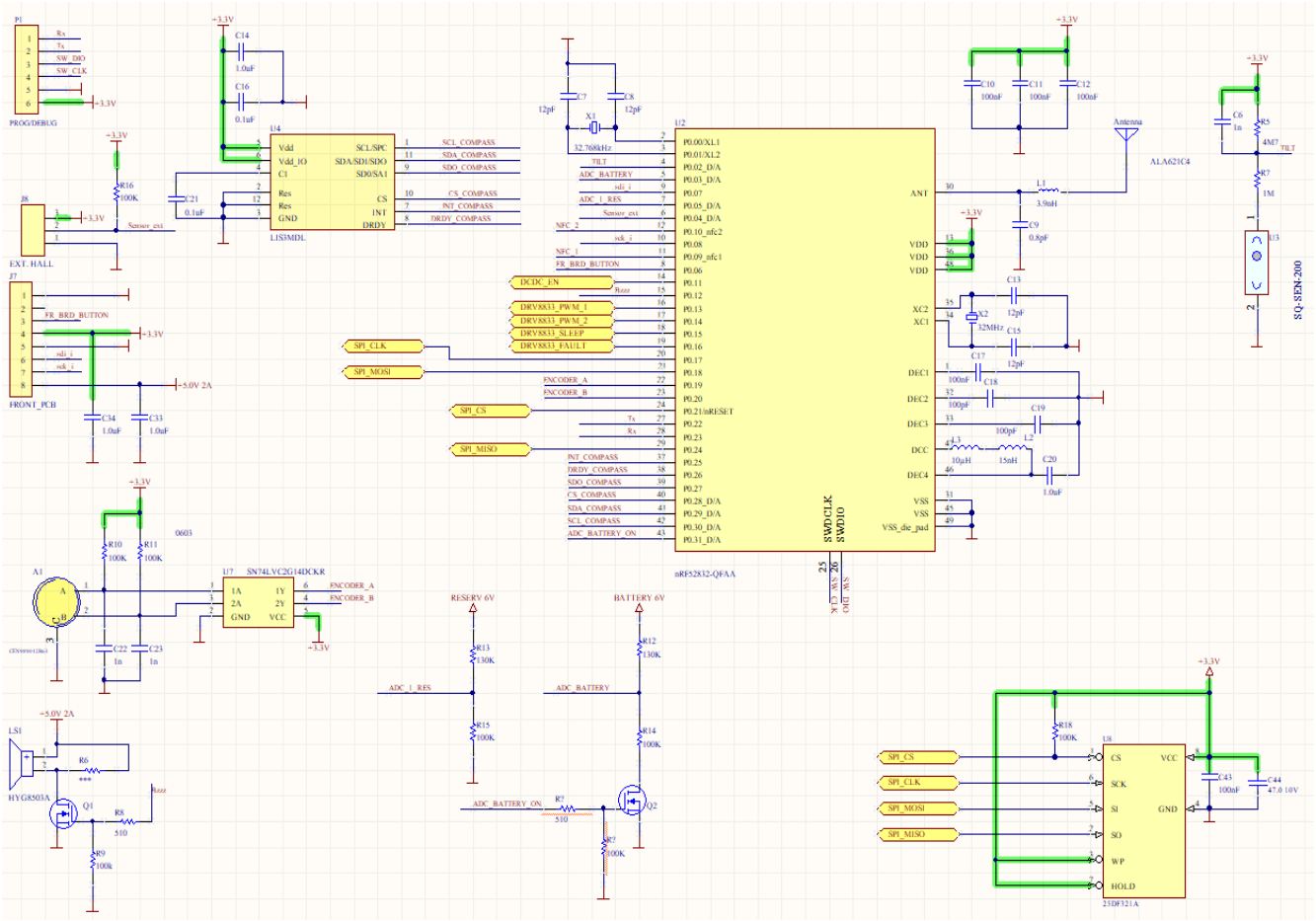


Рис. 3.1. Електронна схема мікроконтролерної частини.

Алгоритм роботи програми мікроконтролера наступний. Для визначення кількості тепла, відібраного з системи опалення, нам необхідно знати обсяг теплоносія, що протік по системі опалення, і температуру теплоносія на вході в систему опалення та на її виході. Кількість тепла, спожите з системи опалення визначається за формулою:

$$Q = \rho V C \Delta T \text{ , де} \qquad (3.1)$$

Q - кількість тепла, спожите з системи опалення,

ρ - щільність теплоносія,

V - об'єм теплоносія, що протік по системі опалення,

C - питома теплоємність теплоносія,

ΔT – різниця температур теплоносія в подаючому та зворотному контурі.

Як датчики температури на подаючому і зворотному патрубках використовуються платинові терморезистивні датчики. Залежність опору датчика від температури обчислюється за формулою:

$$R = R_0(1 + \alpha T)\text{, де} \qquad (3.2)$$

R - опір при температурі T,

R0 - опір при 0 ° C,

α - температурний коефіцієнт електричного опору,

T - температура в Цельсіях.

Через терморезистори протікає фіксований струм, створюючи на датчику падіння напруги, пропорційне температурі. За допомогою вбудованого у мікроконтролері багатоканального АЦП періодично відбувається оцифровка падіння напруги на обох датчиках температури.

Для визначення обсягу теплоносія, що протік, в першу чергу необхідно було, визначитися з типом витратоміра. Розглядаючи основні конструкції лічильників за принципом їх влаштування і роботи можна виділити такі види витратомірів:

Тахометричні витратоміри. У корпус таких витратомірів встановлена лопатева крильчатка, яка обертається за рахунок переміщення води і передає кількість зроблених обертів на зчитуючий пристрій. Завдяки їх простоті і дешевизні, конкретно такі лічильники дуже часто використовуються в якості побутових водомірів на малих діаметрах трубопроводів. У промисловості, де мають місце великі обсяги, такі лічильники не застосовуються через їх масивну конструкцію і вмісту у собі металу, а також створення гідравлічного опору для руху потоку і ймовірності можливих механічних несправностей.

Електромагнітні повнопрохідні витратоміри. Відрізняються високою точністю, це прилади об’ємного обліку витрати рідини, що використовуються у системах де має місце надмірний тиск рідини у трубопроводі.

Штангові електромагнітні. Такими витратомірами робляться заміри швидкості в середині потоку у трубах, які закриті та заповнені повністю рідиною, яка знаходиться під тиском. Використовуються для різних діаметрів.

Ультразвукові. Такі витратоміри поділяються за принципом методу вимірювання на метод Доплера, час-імпульсний і крос-кореляційні. На зчитуючий пристрій подається сигнал з ультразвукових датчиків. Такі витратоміри частіше за інші використовуються у промисловості. Виходячи з виду датчиків, які застосовуються у витратомірі можна пристосовувати для самопливних, а також напірних системах.

Лазерні і радарні витратоміри. Це витратоміри які працюють безконтактно. Такий вид витратоміру також часто можна зустріти в промисловості. Застосовуються для самопливних потоків.

Лічильники на основі рівнеміра. Такі витратоміри застосовуються у системах, які не мають напору, на лотках Вентурі або Паршаля, на каналах з малим водоспоживанням або для технологічного обліку. За допомогою бездротових рівнемірів можна зняти показання з важкодоступних об’єктів.

Виходячи з дешевизни, простоти конструкції і простоти монтажу / демонтажу при перевірках, нами для застосування в приладі був обраний тахометричний тип витратоміра.

Об'єм теплоносія, що пройшов через систему опалення, визначається наступним чином. Як датчик використовується лопатева крильчатка, яка механічно пов'язана з енкодером. Кількість оборотів крильчатки, а отже і кількість сигнальних імпульсів з енкодера, прямо пропорційно кількості теплоносія, який протік уздовж осі опалювальної труби. Причому кожен імпульс енкодера відповідає абсолютно певному обсягу теплоносія, що протік. Помноживши отриману величину на площу перетину опалювальної труби, ми отримуємо обсяг теплоносія, що протік.

Крім обсягу і різниці температур, інші параметри у формулі (3.1) є константними табличними величинами.

Архітектура і обчислювальна потужність обраного мікроконтролера, крім основної функції - вимірювання кількості тепла, відібраного з теплоносія, дозволяє реалізувати в розробленому лічильнику ряд корисних і зручних функцій:

- Ведення статистики:
  - журнал показань в бажаний час;
  - статистика перевірок;
  - журнал несанкціонованого доступу всередину приладу.
- Можливість підключення в домашню комп'ютерну мережу по інтерфейсу WiFi;
- Web-інтерфейс для дистанційного збору свідчень авторизованим користувачем.

Розробка системи велася на всіх рівнях, починаючи з підбору елементної бази для апаратної частини комплексу, закінчуючи написанням ПО для керуючого мікроконтролера. Для трасування і створення плат ми використовували програмний пакет Altium Designer, розробка ПО велася в середовищі Keil.

3.2 Апробація лічильника тепла

Спочатку розроблений нами комплекс є лічильником тепла відібраного з системи водяного опалення. Але як показала практика його раціонально використовувати і в якості лічильника тепла, відданого теплоносію. Наш прилад пройшов апробацію в рамках реалізації проекту по установці охолоджуючої градирні в лабораторії електронної мікроскопії, необхідно було оцінити, яка потужність градирні необхідна для охолодження існуючої техніки, в першу чергу всіляких вакуумних насосів.

Незважаючи на те, що був розроблений лічильник тепла, спожитого з системи опалення, пристрій пройшов апробацію в ході оцінки, яка кількість тепла виділяється при охолодженні пічок дифузійних вакуумних насосів.

Крім того, побічно нашу розробку можна використовувати і як звичайний лічильник протоки.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи був спроектований і розроблений лічильник тепла, відібраного з системи рідинного опалення.

Робота програмно-апаратного комплексу спрямована на підвищення комфорту використання подібного роду пристроїв шляхом реалізації додаткових актуальних функцій.

Розроблений програмно-апаратний комплекс володіє наступною функціональністю:

- вимірювання кількості теплової енергії, спожитої з системи рідинного опалення;
- ведення статистики обліку, зняття показань, перевірок, несанкціонованого доступу;
- підключення до комп'ютерної мережі по протоколу WiFi;
- Web-інтерфейс для дистанційного зняття показань.

Система пройшла успішну практичну апробацію.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] В.М. Левін: Витратоміри малих витрат для схем промислової автоматики, 1972

[2] David Butler, Alan Abela, Chris Martin,: Heat meter accuracy testing, November 2016

[3] L.Celenza, M.Dell'Isola, R.D'Alessio, G.Ficco, P.Vigo, A.Viola: Metrological analysis of heat meters, Sep 2013

[4] Bela G. Liptak: Flow Measurement, Sep 1993

[5] Richard Phillips Feynman, Leighton RB & Sands ML: The Feynman Lectures on Physics, 2006

[6] Dogan Ibrahim: Microcontroller Based Applied Digital Control, February 2006

[7] А.Ш. Кіясбейлі, Л.М. Ліфшиц: Первинні перетворювачі систем вимірювання витрати та кількості рідини, 1980.

[8] J. P. Bentley, Principles of Measurement Systems. Pearson Education Ltd., 3rd ed., 1995

[9] А. Г. Шашков: Терморезистори і їх застосування, 1997

[10] Miguel Gudino: Introduction to Microcontrollers, Feb 2018

[11] Marshall Brain: How Microprocessors Work, 2002

[12] Dogan Ibrahim: Microcontroller Based Applied Digital Control, February 2006

[13] Robert Keim: What Is a Microcontroller. The Defining Characteristics and Architecture of a Common Component, March, 2019

[14] Milan Verle: PIC Microcontrollers - Programming in C, 2009

[15] Charles Kittel, Herbert Kroemer: Thermal Physics, 1969

[16] Claus Borgnakke, Richard E. Sonntag: Fundamentals of Thermodynamics, 1983

[17] Lindon C. Thomas: Heat Transfer, 1992

[18] Brij Lal, Subrahmanyam. N, Hemne, P. S.: Heat, thermodynamics, and statistical physics, 2008

[19] Ю. С. Магда: Программирование и отладка C/C++ приложений для микроконтроллеров ARM, 2012

[20] Michael Barr: Programming Embedded Systems in C and C++, 1999

[21] V. P. Nelson: C programming for embedded microcontroller systems, Fall 2014

[22] Ted Van Sickle: Programming Microcontrollers in C, 2001

[23] G. Jack Lipovski: Introduction to Microcontrollers: Architecture, Programming, and Interfacing, 2004

[24] nRF52832 Технічна документація [Електронний ресурс]

https://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF52832_PS_v1.4.pdf