

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра Мікроелектроніки електронних приладів та пристроїв
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

«Використання процесів взаємодії ультразвукових і електромагнітних коливань з рухомим середовищем для створення потокових витратомірів»
(тема)

Виконав: студент 2 курсу II рівня вищої освіти
групи ЕППм –18 –1
спеціальності 171 – «Електроніка»
(код і повна назва спеціальності)

Левченко Є.В.
(прізвище, ініціали)

Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма «Електронні прилади та пристрої»
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. каф. МЕЕПП Бондаренко І.М.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Бондаренко І.М.
(прізвище, ініціали)

2019 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

факультет _____ Електронної та біомедичної інженерії
Кафедра _____ Мікроелектроніки електронних приладів та пристроїв
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський)
спеціальність _____ 171 «Електроніка»
(шифр и назва)
Тип програми _____ освітньо-професійна
Освітня програма _____ «Електронні прилади та пристрої»
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Левченко Євгенію Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ «Використання процесів взаємодії ультразвукових і
електромагнітних коливань з рухомим середовищем для створення
потоків витратомірів»

ЗАТВЕРДЖЕНА наказом по університету від " 04 " _____ 11 _____ 2019р. № 1635 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 10.12.2019

3. Вихідні дані до роботи: Провести теоретичні та експериментальні дослідження щодо
створення потоків витратомірів на основі використання процесів взаємодії
ультразвукових і електромагнітних коливань з рухомим середовищем.

4. Перелік запитань, що потрібно опрацювати в роботі Вступ. 1.Актуальність вимірювання
втрат при поточковому транспортуванні газів та рідин. 2.Принципи дії, конструкції та
технічні характеристики засобів контролю втрат у потоках, напрямки їх удосконалення.
3.Процеси взаємодії ультразвукових і електромагнітних коливань з рухомим середовищем.
4.Функціональні і конструктивні рішення потоків витратомірів на основі використання
процесів взаємодії ультразвукових і електромагнітних коливань з рухомим середовищем.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначеним креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій, слайдів)

Демонстраційний матеріал – 16 шт

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	термін Виконання етапів роботи	Примітка
1	Інформаційно-тематичний пошук та огляд літературних джерел про потокові витратоміри	15.05.19 – 20.06.19	Виконано
2	Інформаційно-тематичний пошук та огляд літературних джерел щодо конструкційних особливостей витратомірів	21.06.19 – 24.07.19	Виконано
3	Інформаційно-тематичний пошук та огляд літературних джерел щодо фізичних та геометричних принципів роботи поточкових витратомірів	25.07.19 – 28.09.19	Виконано
4	Оформлення пояснювальної записки	02.10.19 – 14.11.19	Виконано
5	Оформлення графічних та демонстраційних матеріалів	15.11.19 – 29.11.19	Виконано
6	Проходження нормоконтролю та отримання рецензії	01.12.19 – 11.12.19	Виконано
7	Підготовка та захист атестаційної роботи	12.12.19 – 16.12.19	Виконано

Дата видачі завдання _____ р

студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

проф. каф. МЕЕПП Бондаренко І.М.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка атестаційної роботи: 36 сторінок, 16 рисунків,
3 додатки, 10 джерел.

ВИТРАТОМІР, УЛЬТРАЗВУК, ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ, ВОДА, ГАЗ,
МІКРОКОНТРОЛЛЕР, СХЕМА.

Об'єкт дослідження – потокові витратоміри на хвильових ефектах

Мета роботи – проектування та конструювання розумної системи витратомірів води і газу на основі ультразвукових хвиль.

Метод дослідження – теоретичний: аналіз існуючих систем витратомірів та розгляд принципів їх роботи, а також дискретних елементів з яких складаються системи.

У першому розділі атестаційної роботи розглянуті основні принципи на котрих засновано роботу витратомірів. Дослідженні аналоги серед існуючих пристроїв, заснованих на різноманітних принципах дії.

У другому та третьому розділах обрано основні принципи для подальшої побудови елементів системи. Подана інформація щодо конструювання основних елементів витратомірів, електричних принципових схем, друкованих плат та програмного забезпечення для витратомірів води, газу, а також спроектовано електричну принципову схему та друковану плату.

ABSTRACT

Certificate of attestation: 59 pages, 16 drawings, 3 applications, 10 sources.

WINDOWS, ULTRASONIC, ELECTROMAGNETIC, WATER, GAS,
MICROCONTROLLER, DIAGRAM.

The object of study is the flowmeters of the wave effects

The purpose of the work is to design and construct a reasonable system of water and gas flow meters based on ultrasonic waves.

The research method is theoretical: analysis of existing systems of flowmeters and consideration of the principles of their operation, as well as the discrete elements that make up the systems.

The first section of the appraisal paper discusses the basic principles behind the operation of flowmeters. The research is analogous to existing devices based on various principles of action.

The second and third chapters outline the basic principles for further construction of system elements. Information is provided on the design of the main elements of flowmeters, wiring diagrams, printed circuit boards and software for water, gas flowmeters, as well as the electrical wiring diagram and circuit board.

ЗМІСТ

ВСТУП	
1 МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТ РІДИНИ ТА ГАЗУ.....	7
2 УЛЬТРАЗВУКОВІ ВИТРАТОМІРИ.....	11
2.1 Імпульсно – часові витратоміри.....	12
2.2 Частоті витратоміри.....	14
2.3 Витратоміри засновані на ефекті Доплера.....	15
3 ПРОЕКТУВАННЯ ВИМІРЮВАЧІВ РІДИНИ ТА ГАЗУ.	
РОЗРОБКА СИСТЕМ ЗВ’ЯЗКУ.....	21
3.1 Комплексна система.....	21
3.1.1 Розробка електричної принципової схеми.....	24
3.1.2 Розробка друкованої плат.....	25
3.1.3 Розробка програмного забезпечення.....	26
3.2 Витратомір рідини та газу.....	30
3.2.1 Розробка електричної принципової схеми.....	30
3.2.2 Розробка друкованої плати.....	31
ВИСНОВКИ.....	33
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	34
ДОДАТОК А.....	37
ДОДАТОК Б.....	38
ДОДАТОК В.....	42

ВСТУП

У зв'язку з перспективою глобальної нестачі природних ресурсів та невідворотним зростанням їх ціни, постає необхідність використовувати найсучасніші системи контролю і вимірювання спожитих ресурсів.

Як відомо, одними з найцінніших ресурсів на планеті є вода, що складає понад 70% усієї поверхні планети, але не більше 15% використовується для споживання людини. Також до вичерпних ресурсів відноситься електроенергія.

У сучасному світі стали популярними системи «розумного дому», що доцільні як для промислового, так і для побутового використання. Вони включають в собі безліч датчиків, сенсорів та актюаторів. Серед них є і витратоміри.

За основними критеріями витратоміри поділяються:

- за принципом дії (механічні, електромеханічні, електричні);
- за взаємодією з речовиною (прямий та непрямий контакт з речовиною).

Механічні витратоміри – це прилади принцип дії котрих, найчастіше, заснований на обертанні гвинта під дією зустрічного потоку рідини. В свою чергу гвинт приводить у дію редуктор, що зв'язаний з індикаторним барабаном.

Електромеханічні являють собою прилади, котрі мають цифровий дисплей та датчик температури, що надає можливість контролювати показники приладу в залежності від температури води.

Електричні витратоміри поділяються на ультразвукові та електромагнітні. Ультразвукові вимірювачі, в залежності від конфігурації вимірюють фазу, швидкість або амплітуду електричного сигналу.

До витратомірів з прямим контактом можна віднести механічні та електромеханічні прилади. Вони набули високої популярності у побутовому використанні через свою невисоку ціну, достатню точність та простоту конструкції. Нажаль досить висока похибка приведених витратомірів не дає

можливості використовувати їх у якості рішення для промисловості. Але електромеханічні витратоміри можуть входити у систему «розумного будинку» як більш доступна альтернатива.

З іншого боку в безконтактних витратомірах, вони ж витратоміри на хвильових ефектах, найчастіше у якості випромінювачів використовують джерела ультразвукових або електромагнітних коливань. У першому випадку роль активного елементу виконує п'єзоелектричний елемент, у другому, це може бути будь-яка періодична структура. Такі витратоміри мають високу точність, але за рахунок важкості реалізації і досить габаритних розмірів, недоступні для застосування вдома. На підприємствах системи вимірювання витрат на хвильових ефектах застосовуються, як в одиничних випадках, так і як мережеве рішення. Також безконтактність сприяє реалізації портативного витратоміра, що також надає свої переваги і в тому числі може знайти застосування на підприємствах [1].

Також існує велика кількість систем, котрі включають в себе комплекс витратомірів, наприклад, одночасно води та газу. Проте, лише в малій кількості таких систем присутня можливість віддаленого опитування показників приладів, що призводить до значних затрат людино-годин та несвоєчасного визначення збоїв у роботі або неполадок системи.

Отже, метою даного дослідження є розробка пристрою, що поєднає у собі можливість промислового так побутового застосування на основі принципів роботи та конструктивних особливостей потокових витратомірів. Зокрема, створення комплексної системи, котра надає можливість побудувати мережу з декількох витратомірів та дозволить дистанційне опитування, а також зберігання статистики витрат ресурсів.

Приведене рішення буде корисним, як для промисловості, так і для домашнього використання – дозволить скоротити затрати робочого часу на роботу з вимірювальними приладами, а також оптимізувати витрати ресурсів за допомогою зберігання статистики.

1 МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТ РІДИНИ ТА ГАЗУ

Розглянемо кожен тип витратомірів як окрему групу.

Серед витратомірів можна виділити декілька принципово різних підходів:

- механічний(електромеханічний);
- витратоміри на основі хвильових явищ.

Конструкція механічних і електромеханічних витратомірів представляє собою систему з редуктора та вимірювального інструменту. Інструмент має вигляд гвинта, котрий приводить до руху потік води у трубі. Обертання гвинта приводить до руху редуктор, котрий в свою чергу обертає роторний барабан з вимірювальною шкалою. У випадку електромеханічних витратомірів на гвинті можуть бути розташовані магніти на котрі, в свою чергу, буде реагувати датчик Холла, і виводити на цифровий дисплей значення витрат, вирахованих на основі швидкості обертання гвинта [2].

Перевагами цього приладу є:

- надійність;
- простота монтажу;
- невисока вартість.

Серед недоліків можна відмітити наступне:

- відносно невисока точність;
- необхідність порушувати цілісність трубопроводу;
- неможливість регулювати показники лічильника зважаючи на якісні властивості ресурсу.

До витратомірів на основі хвильових явищ відносять: ультразвукові та електромагнітні.

В ультразвукових витратомірах ефективна швидкість звуку в рухомому середовищі дорівнює швидкості звуку в цьому середовищі плюс швидкість середовища відносно джерела звуку. Таким чином, поширення звукової хвилі проти руху потоку середовища призведе до зменшення ефективної швидкості

звуку, а вздовж потоку – до збільшення. Різниця між цими двома ефективними швидкостями звуку дорівнює подвоєній швидкості потоку середовища. Тому ультразвукові датчики для визначення швидкості потоку вимірюють швидкість звуку вздовж і проти течії [3].

Конструктивно, два ультразвукових генератора розташовані на двох протилежних кінцях труби, по якій тече потік рідкого середовища. У ролі ультразвукових генераторів, як правило, використовуються п'єзоелектричні кристали. Кожен кристал може використовуватися, як для створення ультразвукових коливань, так і для їх прийому та перетворення у електричні імпульси.

До переваг ультразвукових систем можна віднести:

- можливість їх застосування для вимірювання витрат забруднених і агресивних середовищ,
- відсутність інерційності вимірювання;
- безконтактність вимірів;
- відсутність рухомих частин в потоці;
- неможливість втрат тиску в трубопроводах.

Серед недоліків даного типу витратомірів виділяють:

- висока вартість системи;
- необхідне джерело живлення;

Електромагнітний витратомір – витратомір, принцип дії якого побудований на явищі електромагнітної індукції, згідно з яким при протіканні електропровідного середовища (наприклад, вода – середовище з іонною провідністю, провідник другого роду) у магнітному полі, у ньому виникає електрорушійна сила (ЕРС), що пропорційна до середньої швидкості середовища та індукції магнітного поля.

Електромагнітні витратоміри мають низку переваг:

- майже повна без інерційність приладу, що дуже важливо для вимірювання витрат, котрі швидко змінюються при використанні їх у складі систем автоматичного регулювання;

- на результат вимірювань не впливає наявність сторонніх часток у рідині і бульбашок газу;
- покази витратоміра не залежать від властивостей контрольованої рідини (в'язкості, густини) і характеру потоку (ламінальний, турбулентний);
- при відповідному підборі матеріалу із застосуванням антикорозійного та інших покриттів електромагнітні витратоміри можна застосовувати для вимірювання витрат агресивних рідин, а також рідин і паст з абразивними властивостями;
- на основі лінійної залежності наведеної ЕРС від витрат шкала приладу є лінійною;
- цим витратомірам властивий достатньо широкий діапазон вимірювання;
- перетворювачі електромагнітних витратомірів не мають рухомих елементів.

До недоліків електромагнітних витратомірів слід віднести необхідність компенсації завад, що виникають при змінному полі у колі електродів, а також неможливість вимірювання витрат газів і рідин з малою електропровідністю (спирти, мастила, бензин та інші легкі нафтопродукти). Неприпустимо застосовувати електромагнітні витратоміри поблизу електросилових пристроїв, які утворюють сильні електромагнітні поля, а також для потоків рідини із завислими феромагнітними частками [4].

Через складність стабільного підсилення постійної напруги витратоміри з постійним магнітним полем використовують у виняткових випадках.

Зважаючи на усі вище перераховані переваги та недоліки, було обрана технологія ультразвукового потокового вимірювання. Серед існуючих аналогів даний спосіб поєднує у собі найважливіші переваги конкурентів, серед котрих можна виділити: безконтактність вимірювання та універсальність застосування методу.

2 УЛЬТРАЗВУКОВІ ВИТРАТОМІРИ

Конструктивно, ультразвуковий витратомір представляє собою перетворювач ультразвукового сигналу в електричний і складається з відрізка труби, на якому встановлені п'єзоелементи.

Діаметр п'єзоелемента знаходиться в межах 5–20 міліметрів, а його товщина обирається залежно від частоти. У частотних і час-імпульсних витратомірах для підвищення точності вимірювань використовують частоти 5–20 МГц. Зазвичай в рідинях застосовуються частоти (50 кГц – 2 МГц. В газових середовищах необхідно зменшувати частоти до сотень і десятків КГц, це викликано складністю створення в газах інтенсивних акустичних коливань, особливо високої частоти [5]).

Для захисту п'єзоперетворювачів від умов агресивного середовища і механічних домішок в рідині використовують схему, представлену на рисунку 2.1. У даному випадку хвиля подається від передавачів-випромінювачів і, відбиваючись від стінок відбивача, потрапляє на приймач.

На рисунку 2.1 зображено принцип роботи витратоміра з двонаправленим випроміненням. Конструкція на відміну від рисунку 2.2 доповнена відбивачами В1 та В2 для того, щоб зробити залежність часу передачі імпульсу від приймача до передавача більш лінійною. Витратомір проводить вимірювання зважаючи на різницю у часі між прямим та зворотнім проходженням імпульсу відносно напрямку потоку.

П'єзоелемент П1 генерує ультразвукові затухаючі коливання котрі відбиваються під кутом 90^0 від відбивача В1 після чого проходить вздовж потоку до відбивача В2 де змінює свою траєкторію під кутом 90^0 у напрямку до п'єзоелемента П2 котрий генерує сигнал на виході, що свідчить про завершення першої фази вимірювання та дає команду на формування зворотного сигналу від П2 через відбивачі В1 та В2 до п'єзоелемента П1 на котрому в свою чергу реєструється завершення вимірювального циклу. В результаті ми отримуємо два

часові інтервали, і визначивши різницю між ними можемо розрахувати швидкість руху потоку у трубопроводі.

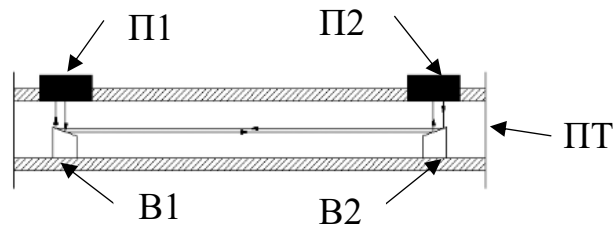


Рисунок 2.1 – Конструкція витратомірів на спрямованих акустичних коливаннях

Метод заснований на факті, що ультразвуковому сигналу, спрямованому проти руху потоку, для проходження відстані від випромінювача до приймача потрібно більше часу, ніж сигналу, що був надісланий вздовж руху потоку. Розуміючи, що визначити час за допомогою секундомірів неможливо для даного методу, так як тимчасова різниця знаходиться в межах нано- або пікосекунд, були реалізовані такі принципи інтерпретації сигналу як: імпульсно-часові, фазові, частотні.

2.1 Імпульсно-часові витратоміри

На рисунку 2.2 показані однопроменеві конструкції витратомірів. Як видно, трубопровід забезпечується особливими западинами – кишнями, в глибині яких знаходяться п'єзоелементи. Дані конструкції застосовуються для чистих і неагресивних середовищ, так як можливе засмічення даних порожнин. Також внаслідок вільних порожнин можлива поява вихорів, що впливають на показання витратоміра. Для позбавлення цих недоліків порожнечу може бути заповнена металом або органічним склом, або можна розташувати п'єзоелементи зовні трубопроводу. Вони передають акустичні коливання через металеві стінки труби і вимірювальну речовину. Чутливість сигналу набагато гірша через

паразитні сигнали і перешкоди, викликані проходженням коливань по стінці труби.

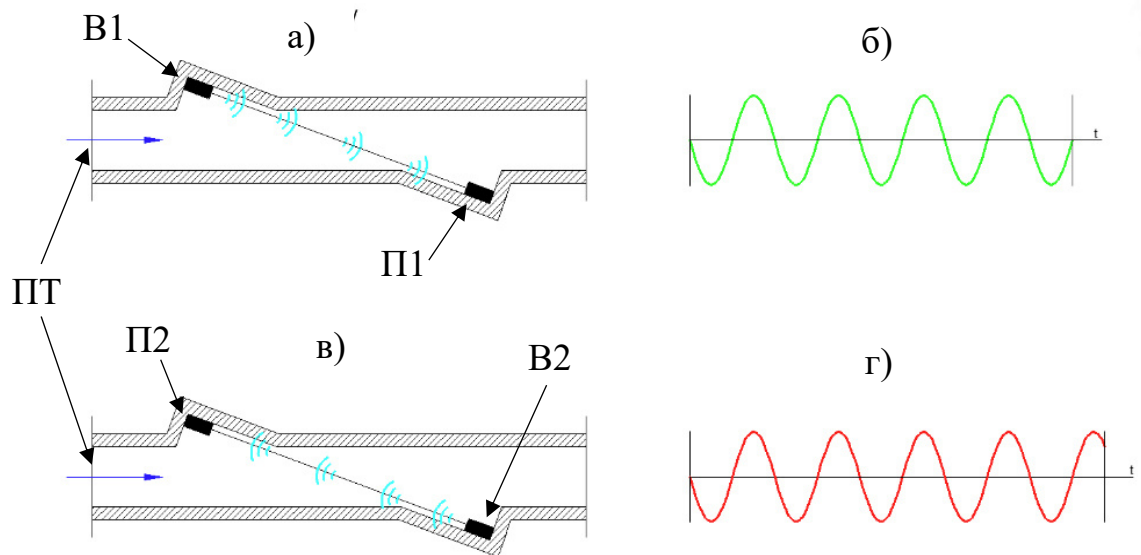
Щодо фазового методу, то порівнюючи два сигнали, однакових по частоті і амплітуді, отримаємо залежність, представлену на рисунку 2.3, завдяки якій можна визначити фазовий зсув $\Delta\varphi$ одного сигналу відносно іншого, після чого визначити час і потік.

На рисунку 2.2а випромінювач В1 генерує затухаючі ультразвукові коливання та посиляє їх через середовище вздовж потоку ПТ на приймач П1 який в свою чергу формує на виході електричний сигнал, величина котрого залежить від амплітуди сигналу з В1 та фізичних параметрів ПТ. За рахунок співнаправленості векторів швидкості ПТ і ультразвукових коливань час, за котрий сигнал пройде від В1 до П1 зменшується, знаючи за який імпульс передається у нерухомому середовищі, можна визначити швидкість потоку у трубопроводі.

Аналогічна ситуація представлена на рисунку 2.2в випромінювач В2 генерує затухаючі ультразвукові коливання та посиляє їх через середовище проти потоку ПТ на приймач П2 який в свою чергу формує на виході електричний сигнал, величина котрого залежить від амплітуди сигналу з В2 та фізичних параметрів ПТ. За рахунок відмінної направленості векторів швидкості ПТ і ультразвукових коливань час, за котрий сигнал пройде від В2 до П2 збільшується.

Часові діаграми сигналу до співнаправленого випромінювання представлена на рисунку 2.2б і відповідно для випромінювання направленного проти потоку на рисунку 2.2г.

На рисунку 2.3 зображено різницю сигналів що містяться на рисунках 2.2б та 2.2г, де $\Delta\varphi$ показує фазовий зсув, між сигналами направленими вздовж потоку від В1 до П1 та назустріч потоку від В2 до П2. Визначивши величину $\Delta\varphi$ ми можемо розрахувати швидкість руху потоку. Чим більшим буде фазовий зсув ти швидше буде рухатись і навпаки. Приведений не чутливий до напрямку руху потоку.



а - конфігурація ультразвукового витратоміра спрямованого вздовж потоку, б - часова діаграма сигналу ультразвукового витратоміра спрямованого вздовж потоку, в - конфігурація ультразвукового витратоміра спрямованого проти потоку, г - часова діаграма сигналу ультразвукового витратоміра спрямованого проти потоку.

Рисунок 2.2 – Принцип дії ультразвукового витратоміра

Данна схема заснована на ефекті вимірювання швидкості руху звукової хвилі вздовж потоку і проти нього. Визначена різниця дозволяє отримати данні, щодо швидкості потоку. Знаючи геометричні розміри конструкції можна визначити витрати речовини за період часу.

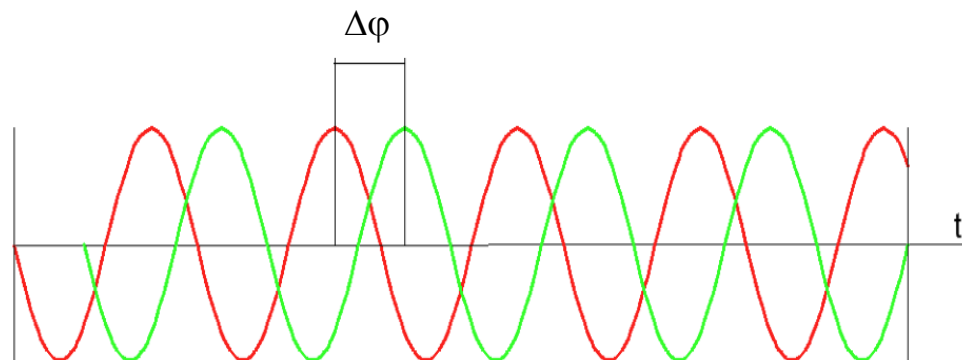


Рисунок 2.3 – Порівняння сигналів

Для визначення часу проходження імпульсу вздовж потоку, генератор подає імпульс на п'єзоелемент, який посиляє в рідину затухаючі коливання. У момент передачі звукових коливань вмикається зарядний пристрій, який починає виробляти напругу. У момент приходу сигналу на п'єзоелемент, зарядний пристрій вимикається. Максимальне значення напруги пропорційне до часу проходження ультразвукової хвилі крізь потік рідини. Таким чином, за час проходження ультразвукового імпульсу проти потоку від випромінювача до приймача виробляється напруга, пропорційна часу. Різниця напруг вимірюється пристроєм [6].

Визначимо значення часу проходження акустичного сигналу вздовж потоку та проти нього:

$$t_1 = \frac{L_D - L_a}{C_0} + \frac{L_a}{C_0 + V \cdot \cos \alpha}, \quad (2.1)$$

$$t_2 = \frac{L_D - L_a}{C_0} + \frac{L_a}{C_0 - V \cdot \cos \alpha}, \quad (2.2)$$

де t_1, t_2 – час поширення ультразвукового імпульсу по потоку і проти потоку, с;

L_D – відстань між мембранами п'єзоперетворювачів, мм;

L_a – довжина активної частини акустичного каналу, мм;

C_0 – швидкість ультразвуку в нерухомій воді, м / с;

V – швидкість руху потоку, м / с;

α – кут між осями трубопроводу і датчиками, градуси.

Скориставшись формулами (2.1) та (2.2) знайдемо швидкість руху потоку:

$$V = \frac{\Delta t \cdot C_0^2}{2 \cdot L_a \cdot \cos \alpha}, \quad (2.3)$$

де V – швидкість руху потоку, м / с;

C_0 – швидкість ультразвуку в нерухомій воді, м / с;

L_a – довжина активної частини акустичного каналу, мм;

α – кут між осями трубопроводу і датчиками, градуси.

Δt – різниця часу між рухом акустичних коливань вздовж потоку та проти нього.

$$\Delta t = t_2 - t_1, \quad (2.4)$$

За допомогою приведеної формули можна визначити витрати:

$$F = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot K}{4} \cdot \frac{\Delta t \cdot C_0^2}{2 \cdot L_a \cdot \cos \alpha}, \quad (2.5)$$

де F – витрати вимірювального ресурсу;

D – діаметр трубопроводу;

K – коефіцієнт щільності рідини;

C_0 – швидкість ультразвуку в нерухомій воді, м / с;

L_a – довжина активної частини акустичного каналу, мм;

α – кут між осями трубопроводу і датчиками, градуси.

Δt – різниця часу між рухом акустичних коливань вздовж потоку та проти нього.

2.2 Частотні витратоміри

Суть роботи частотного витратоміра полягає в наступному: синтезатор частоти підбирає таке значення частоти ультразвукового сигналу, щоб у напрямку потоку вкладалося ціле число хвиль ультразвукових коливань. Потім напрямок випромінювання реверсують, і підбирається значення частоти, яке забезпечує ціле число хвиль проти потоку. Величина витрат в цьому випадку пропорційна різниці частот сигналів вздовж потоку і проти нього. Частотні

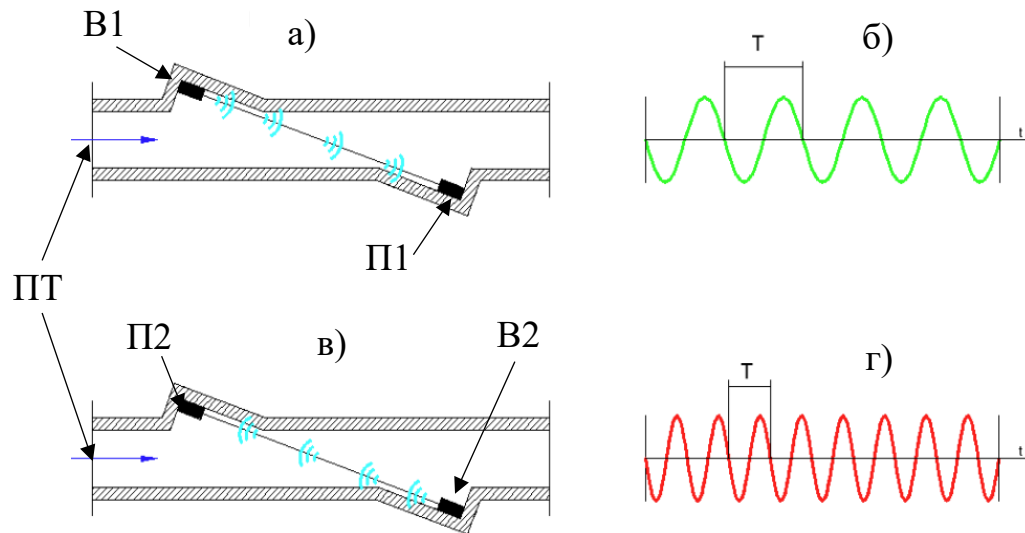
витратоміри в порівнянні з імпульсними і фазовими, більш стійкі до забруднення вимірюваного середовища, так як припиняють вимір тільки тоді, коли досягнуто результату, а не коли закінчився час імпульсу або період T , як зображено на рисунку 2.4 [7].

На рисунку 2.4а випромінювач В1 генерує затухаючі ультразвукові коливання та посиляє їх через середовище вздовж потоку ПТ на приймач П1 який в свою чергу формує на виході електричний сигнал, величина якого залежить від амплітуди сигналу з В1 та фізичних параметрів ПТ. За рахунок співнаправленості векторів швидкості ПТ і ультразвукових коливань частота сигнал пройде від В1 до П1 збільшується, знаючи за який імпульс передається у нерухомому середовищі, можна визначити швидкість потоку у трубопроводі.

Аналогічна ситуація представлена на рисунку 2.4в випромінювач В2 генерує затухаючі ультразвукові коливання та посиляє їх через середовище проти потоку ПТ на приймач П2 який в свою чергу формує на виході електричний сигнал, величина якого залежить від амплітуди сигналу з В2 та фізичних параметрів ПТ. За рахунок відмінної направленості векторів швидкості ПТ і ультразвукових коливань частота, за котрий сигнал пройде від В2 до П2 зменшується.

Часові діаграми сигналу до спів направленого випромінення представлена на рисунку 2.4б і відповідно для випромінення направленого проти потоку на рисунку 2.4г.

Значення періоду T на рисунку 2.4б та 2.4г відрізняються, що свідчать про різне значення частоти коливань. Отримавши значення різниці між двома періодами T ми можемо визначити швидкість руху потоку. Чим більшою буде різниця між періодами двох виміряних сигналів, тим більшим буде значення швидкості руху вимірювальної речовини. Серед приведених двонаправлених методів ультразвукового вимірювання імпульс – часовий має найбільшу чутливість вимірювань.



а - конфігурація ультразвукового витратоміра спрямованого вздовж потоку, б - часова діаграма сигналу ультразвукового витратоміра спрямованого вздовж потоку, в - конфігурація ультразвукового витратоміра спрямованого проти потоку, г - часова діаграма сигналу ультразвукового витратоміра спрямованого проти потоку.

Рисунок 2.4 – Порівняння періоду сигналів

2.3 Витратоміри засновані на ефекті Доплера

Метод Доплера, рисунок 2.5, використовує ефект зміни частоти звуку, що відбивається від рухомих частинок. Датчик витратоміра випромінює сигнал, спрямований в потік рідини. Цей сигнал відбивається присутніми в рідині твердими частинками або газовими бульбашками. Частота відбитого сигналу відрізняється від вихідної через рух рідини (ефект Доплера). Контролер витратоміра вимірює зсув частоти і визначає значення швидкості рідини, яка використовується для розрахунку витрат.

Відбитий від рухомих частинок ультразвуковий сигнал, за допомогою швидкого перетворення Фур'є – ШПФ (Fast Fourier Transform – FFT) трансформується з часової області в частотну.

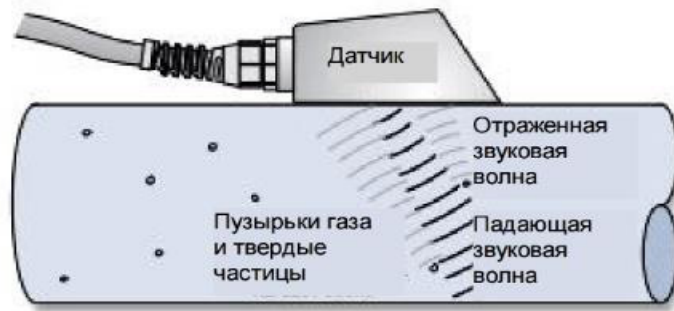


Рисунок 2.5 – Витратомір на ефекті Допплера

Оскільки спектр відбитого сигналу досить широкий, то знаходиться середня частота. Далі обчислюється різниця частоти вихідного сигналу (сигналу передавача) і отриманої середньої частоти відбитих сигналів.

Ця різниця частот в подальшому використовується для визначення швидкості руху потоку і, потім, для обчислення витрат.

У порівнянні з іншими ультразвуковими витратомірами, доплерівські мають найменшу точність з огляду на те, що вихідний сигнал являє цілий спектр частот, що виникають внаслідок зсуву вихідної частоти не однієї часткою – відбивачем, а поруч частинок, що мають різні швидкості. Тому відносна похибка вимірювання витрат зазвичай не менше 2–3% [8].

Незважаючи на досить невисоку точність серед конкурентів, доплерівські ультразвукові витратоміри знаходять все більш широке поширення за рахунок простоти і надійності реалізації. Вони застосовуються головним чином для вимірювання витрат різних гідросумішей, в тому числі суспензій і емульсій, що містять частинки, що відрізняються по щільності від навколишньої речовини. Але і природних неоднорідностей (в тому числі газових бульбашок), наявних в різних рідинах, буває досить для прояву ефекту Допплера. При їх відсутності рекомендується вдувати в потік повітря або газ через трубку з отворами 0,25–0,5 мм на відстані перед перетворювачем витрат. Витрата газу становить 0,005–0,1% від витрат вимірюваного речовини [9].

2.4 Витратоміри перпендикулярного випромінення

Витратоміри перпендикулярного випромінення відрізняються від раніше розглянутих тем, що в них не використовуються акустичні коливання, направлені вздовж потоку і проти нього. В даних витратомірах звукові коливання спрямовані перпендикулярно потоку. При цьому відбувається вимір ступеня відхилення променя, що залежить від швидкості і хімічного складу вимірюваного речовини, спрямованого перпендикулярно потоку. При цьому лише один п'єзoeлемент випромінює акустичні коливання. Реєструються ці коливання одним або двома п'єзoeлементами (П1, П2) рисунок 2.6.

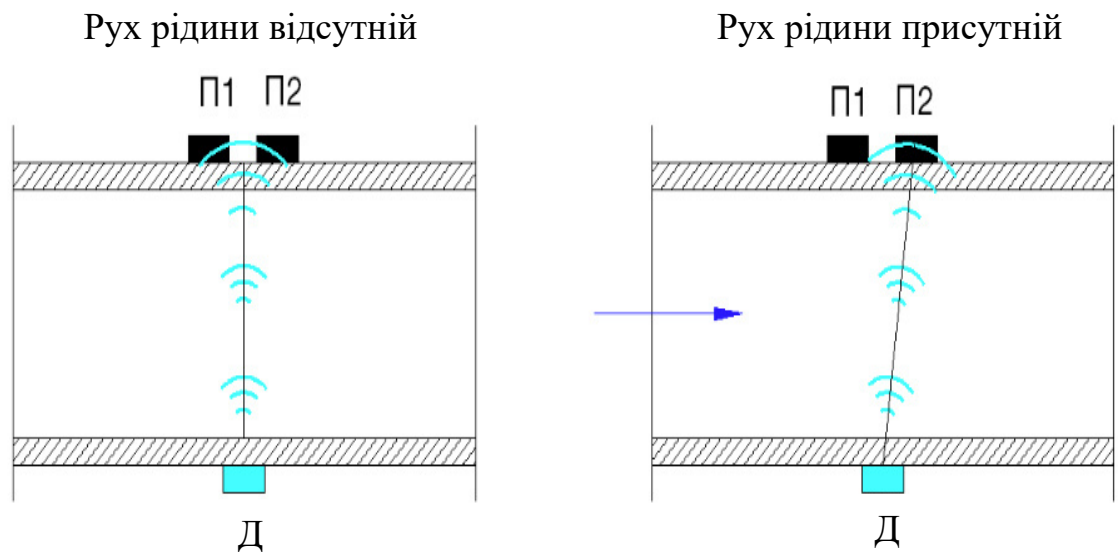


Рисунок 2.6 – Сенсор з перпендикулярним випроміненням

При відсутності руху потоку вихідний сигнал дорівнює нулю, завдяки рівності акустичної енергії, що надходить на п'єзoeлементи П1 і П2, включених назустріч один одному. При русі рідини правий приймальний п'єзoeлемент П2, в порівнянні з лівим П1, отримує більше випромінювання. В даному методі точність вимірювання витрат обмежена малою чутливістю самого методу [10].

Зі збільшенням середньої швидкості потоку v_{cp} ультразвуковий промінь все більше буде відхилятися в напрямку спрямування вектору швидкості.

$$\theta = \arcsin(v_{cp} / c) \approx v_{cp} / c, \quad (2.6)$$

де c – швидкість звуку у середовищі;

θ – кут відхилення променя від впливом руху середовища;

Лінійне відхилення у приймачів п'єзоелементів визначається формулою:

$$\delta = Dtg\theta \approx D(v_{cp} / c), \quad (2.7)$$

де δ – похибка вимірювань.

Переваги ультразвукових витратомірів:

- висока точність;
- відсутність обертових частин;
- широкий діапазон робочих температур;
- низькі втрати тиску;
- можливість вимірювання як рідких, так і газоподібних продуктів;
- наявність врізних та накладних моделей;
- стабільність показань;
- висока надійність;
- низьке споживання енергії, в результаті чого виробляються моделі,

що живляться від батарейок, підвищеної ємності (портативні).

3 ПРОЕКТУВАННЯ ВИМІРЮВАЧІВ РІДИНИ, ГАЗУ ТА СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

Зважаючи на наступні переваги: висока точність, відсутність обертових частин, широкий діапазон робочих температур, низькі втрати тиску, можливість вимірювання як рідких, так і газоподібних продуктів, наявність врізних та накладних моделей, стабільність показань, висока надійність, низьке споживання енергії, в результаті чого виробляються моделі, що живляться від батарейок, підвищеної ємності (портативні), доцільним буде використовувати метод ультразвукового вимірювання витрат.

Принцип роботи розробленого витратоміра заснований на основі перпендикулярного випромінювання, що описано у розділі 2 підрозділі 2.4. Конструкція сенсорного модуля складається з двох сенсорних модулів та одного випромінювача як зображено на рисунку 3.1.

Джерело Д генерує електричний імпульс, що збуджує ультразвукові затухаючі коливання у випромінювачі В, далі сигнал проходить трактом з неоднорідним середовищем представленим потоком рідини що рухається і приймається п'єзоелектричними приймачам С1 та С2. На цьому етапі ультразвукові сигнали конвертуються у електричний імпульс та подаються на вимірювальну систему ВС. Вимірювальна система представлена у вигляді групи елементів котрі включають в себе: програмовані підсилювачі сигналів, аналого - цифрові перетворювачі, компаратори та контролер інтерфейсів передачі даних.

На першому етапі обидва сигнали підсилюються та відцифровуються, а вже після цього порівнюються за допомогою вбудованого, програмного компаратору. Котрий на вихід відправляє значення різниці між сигналами. І вже на найвищому рівні роботи програми відбувається розділення інформації на пакети та передача за допомогою контролера зовнішніх інтерфейсів.

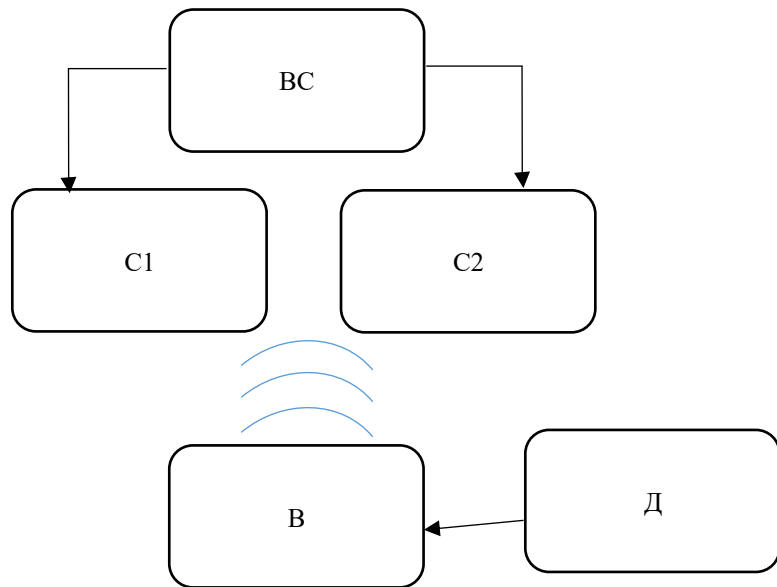


Рисунок 3.1 – Структурна схема розробленого
ультразвукового витратоміра

На рисунку 3.1 BC – вимірювальна система, C1 та C2 – п’єзоелектричний приймач, В – випромінювач, Д – джерело.

На рисунку 3.2 зображено розміщення В, C1 та C2 безпосередньо на трубопроводі з урахуванням тракту для підключення виводів що будуть підключені до Д та BC. Також зображено корпус пристрою що одночасно грає захисну, від зовнішніх завад, та фіксуючу функції.

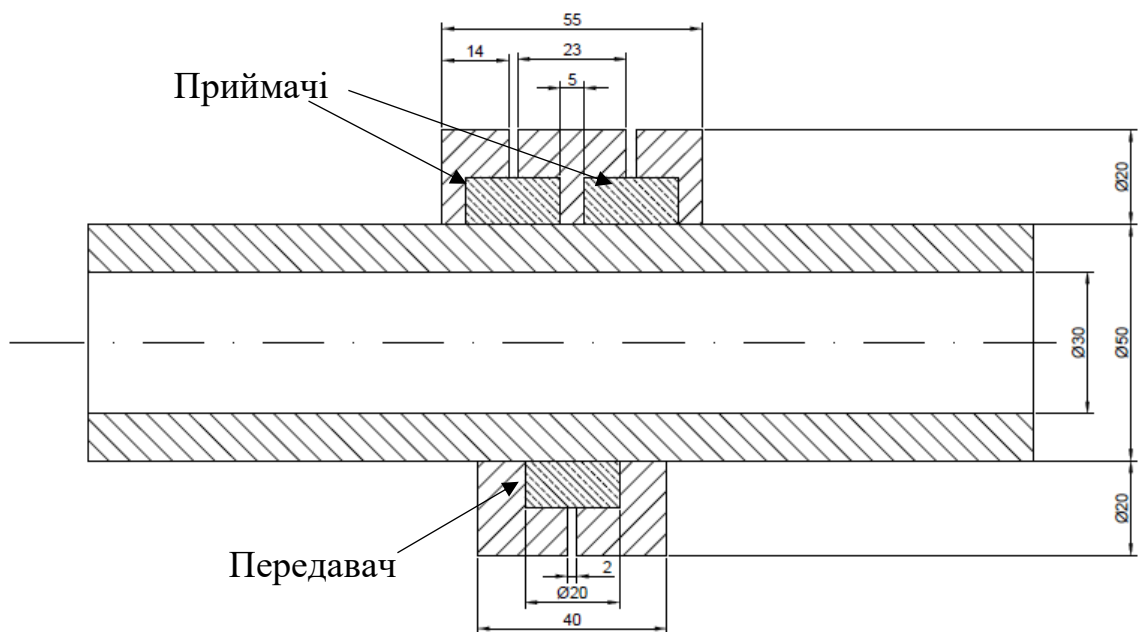


Рисунок 3.2 – Розроблений пристрій, вигляд у розрізі

Для визначення кута відхилення будемо користуватися формулою 2.6.

За допомогою мови програмування Python виконано симуляцію формування вихідних параметрів: резонансна частота випромінювача та сенсорів 1 МГц, напруга живлення 5В, швидкість звуку 1500 м/с. Метою експерименту є визначення значення амплітуди сигналу на сенсорах в залежності від швидкості потоку рідини.

Результати симуляції формування вихідних параметрів ВС витратоміра приведені на рисунку 3.3

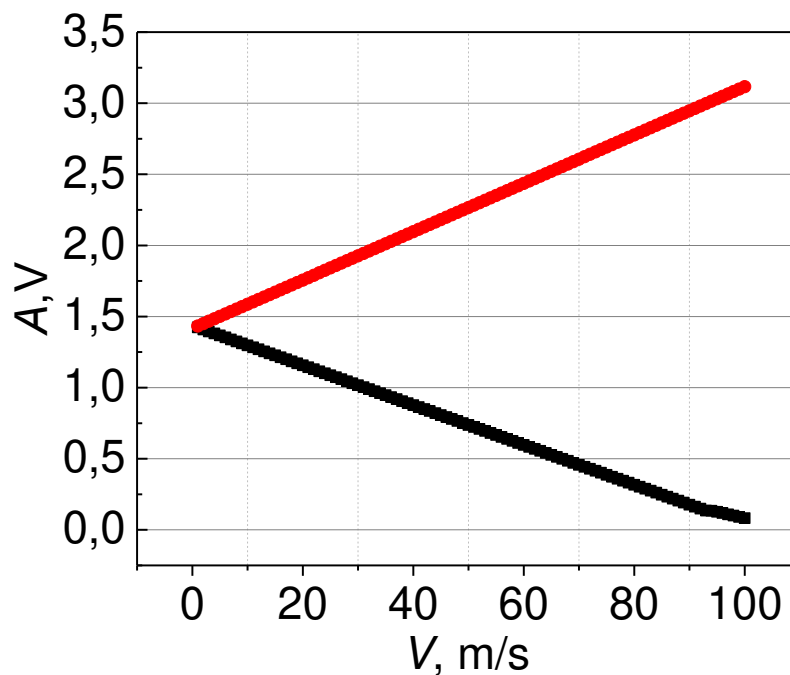


Рисунок 3.3 – Результат моделювання при збільшенні швидкості потоку

Як видно з рисунка 3.3., при русі потоку ультразвуковий промінь відхиляється від прямої траєкторії і зміщується в бік лівого або правого приймача, внаслідок чого амплітуда вихідного сигналу на одному приймачі зменшується, а на іншому зростає, що ми і спостерігаємо на графіку.

Для проектування системи будемо використовувати наступні готові рішення:

- STM32WB55 як основний мікроконтролер для кожного сенсору, зокрема, його можна використовувати як передавач інформації.
- Raspberry pi, що використовується в якості основного хабу/сервера.
- MSP430FR6043 – спеціалізований контролер для ультразвукових вимірювань, містить у собі блок живлення USS (UUPS), силовий секвенсор (PSQ), програмований генератор імпульсів (PPG), фізична мережа драйверів (PHY), програмований підсилювач посилення (PGA), високошвидкісний АЦП сигма-дельта (SDHS).
- TIDM-MSP430AFE253SUBMETEREV – контролер для вимірювання струму, напруги, а також активної та реактивної потужності.

Також з сервісів використовувались:

- AWS – amazon web service;
- Mongodb – data base (база даних);

Серед мережевих інтерфейсів та протоколів використали:

- BLE – bluetooth low energy
- MESH BLE – мережа для комунікації приладів.

3.1 Комплексна система

В наш час існує безліч пристроїв, котрі можна використовувати для передачі даних. Серед найпопулярніших рішень можна виділити наступні:

- Wireless RF
- Bluetooth
- Wi-fi
- Z-wave
- ZigBee

А також безліч протоколів котрі можна реалізувати на даних інтерфейсах. Розглянемо кожен інтерфейс окремо і визначимо їх переваги та недоліки.

Бездротові радіодатчики (Wireless RF) і виконавчі механізми відрізняються ультранизьким енергоспоживанням. Дальність дії досягає 100 м в прямій видимості. Працюють вони, зазвичай, на частоті 315 або 433 МГц зі швидкістю 10–115,2 кбіт / с.

Bluetooth Low Energy (BLE) є бездротовою персональною мережевою технологією, розробленою Bluetooth Special Interest Group. Ця технологія добре підтримується і застосовується в основному на коротких відстанях – до 10 м. Крім обмежень в діапазоні сигналу, має певні норми за кількістю пристроїв, що підключаються і не дозволяє об'єднувати їх в мережу.

Переваги BLE:

- широке поширення в світі;
- висока швидкість передачі даних;
- висока надійність.

Недоліки BLE:

- деякі проблеми з аутентифікацією і приватних даних;
- місцезнаходження пристрою не визначається;
- обмеження за кількістю пристроїв, що підключаються.

Wi-Fi – локальна бездротова мережева технологія, яка дозволяє електронним пристроям підключатися до мережі, зазвичай на частоті 2,4 і 5 ГГц ISM-радіодіапазоні. Технологія Wi-Fi Alliance розвивається на базі стандарту IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11. Основний недолік технології полягає у високому рівні енергоспоживання. Якщо для пристроїв, постійно підключених до електромережі, це допустимо, то для мініатюрних засобів радіочастотної ідентифікації – недоцільно.

Переваги Wi-Fi:

- широке поширення в світі;
- висока швидкість передачі даних;
- високий рівень надійності.

Недоліки Wi-Fi:

- інтерференція і перешкоди;

- висока енергоємність;
- ряд проблем з безпекою;
- для багатьох країн необхідна наявність реєстрації мереж Wi-Fi, що працюють поза приміщеннями.

ZigBee – специфікація мережевих протоколів верхнього рівня, регламентованих стандартом IEEE 802.15.4, який з'явився в 2003 році. ZigBee і IEEE 802.15.4 описують бездротові персональні обчислювальні мережі (WPAN, wireless personal area networks).

Даний протокол функціонує за принципами самоорганізуючі і само відновлювальні коміркової топології: відомості передаються на великі відстані за рахунок поділу довгого маршруту на серію коротких. На практиці це виглядає так: «розумні» пристрої посилають сигнал по ланцюжку, якщо один з них випадає, система може самоорганізуватися і побудувати альтернативний маршрут.

Переваги ZigBee:

здатність до самоорганізації і самовідновлення;

- простота розгортання;
- висока стійкість до перешкод;
- високий рівень безпеки;
- неліцензовані частоти;
- низьке енергоспоживання (в тому числі режим сну для пристроїв).

Недоліки ZigBee: невисока швидкість; велика частина трафіку витрачається безпосередньо на передачу пакетів. Найдоцільніший варіант – поєднати два інтерфейси BLE та ZigBee, а саме використовувати BLE як основний інтерфейс, а ZigBee як протокол.

Комплексна система буде складатися з центрального серверу та трьох сенсорів, блок-схема якої представлена на рисунку 3.4.

Центральний сервер, це одноплатний комп'ютер та контролер з передавачем, що буде під'єднано до Raspberry pi через SPI інтерфейс.

Кожен із сенсорних блоків представляє собою окрему систему, котра складається з спеціалізованого контролера, вторинного контролера, передавача та сенсора.

Розроблено два сенсорних блоки:

- вимірювач витрат води;
- вимірювач витрат газу;

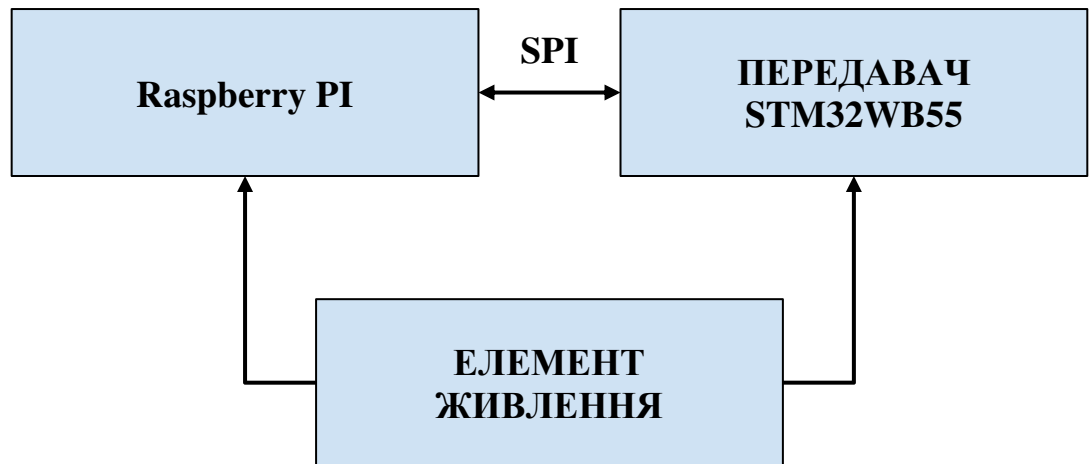


Рисунок 3.4 – Блок-схема центрального сервера

3.1.1 Розробка електричної принципової схеми

Розробку електричної принципової схеми проведено у програмному забезпеченні Eagle від Autodesk, результат наведено на рисунку 3.5.

Основними елементами являються Raspberry pi, контролер – передавач STM32WB55, перетворювач напруги MAX710 та обв’язка.

Обраний передавач є одним з найсучасніших і найдосконаліших рішень у своєму сегменті. У активному режимі його споживання досягає максимуму в 5.2 мА, а відстань на яку він здатен транслювати данні понад 200м прямої видимості. Ці якості дозволяють його використовувати як у портативних так і у стаціонарних пристроях. А також від має стек технологій для роботи один з одним, що значно скорочує час на розробку ПО для передачі даних та побудови МЕШ мережі.

3.1.2 Розробка друкованої плати

Друкована плата спроектована за допомогою програмного пакету Eagle від компанії Autodesk. Типорозмір елементної бази для пасивних елементів обрано SMD 0603, що в свою чергу дозволить виконувати монтаж як на автоматичній лінії, так і вручну. Виконана у двошаровому вигляді. Макет друкованої плати зображено на рисунку 3.6

Ширина провідника 0.5 мм та 0.2 мм для під'єднання виводів інтерфейсу SPI. Діаметр отворів 0.2 мм 1мм та 1.5 мм.

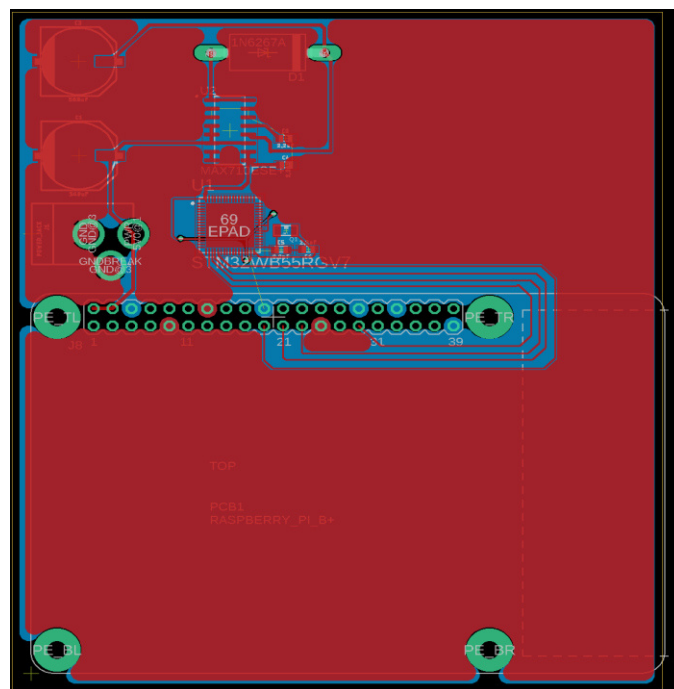


Рисунок 3.6 – Друкована плата сервера

3.1.3 Розробка програмного забезпечення

Алгоритм роботи програми заснований на роботі двох потоків даних. Перший відповідає за отримання даних від SLAVE пристроїв, сенсорних блоків, другий за відправку даних. На початку роботи програми відбувається ініціалізація основної периферії та інтерфейсів. Після чого по таймеру відбувається перевірка переривання, якщо воно присутнє, перевіряється наявність пакету інформації у разі його наявності відбувається відправка даних. Якщо він відсутній алгоритм повертається на попередній крок.

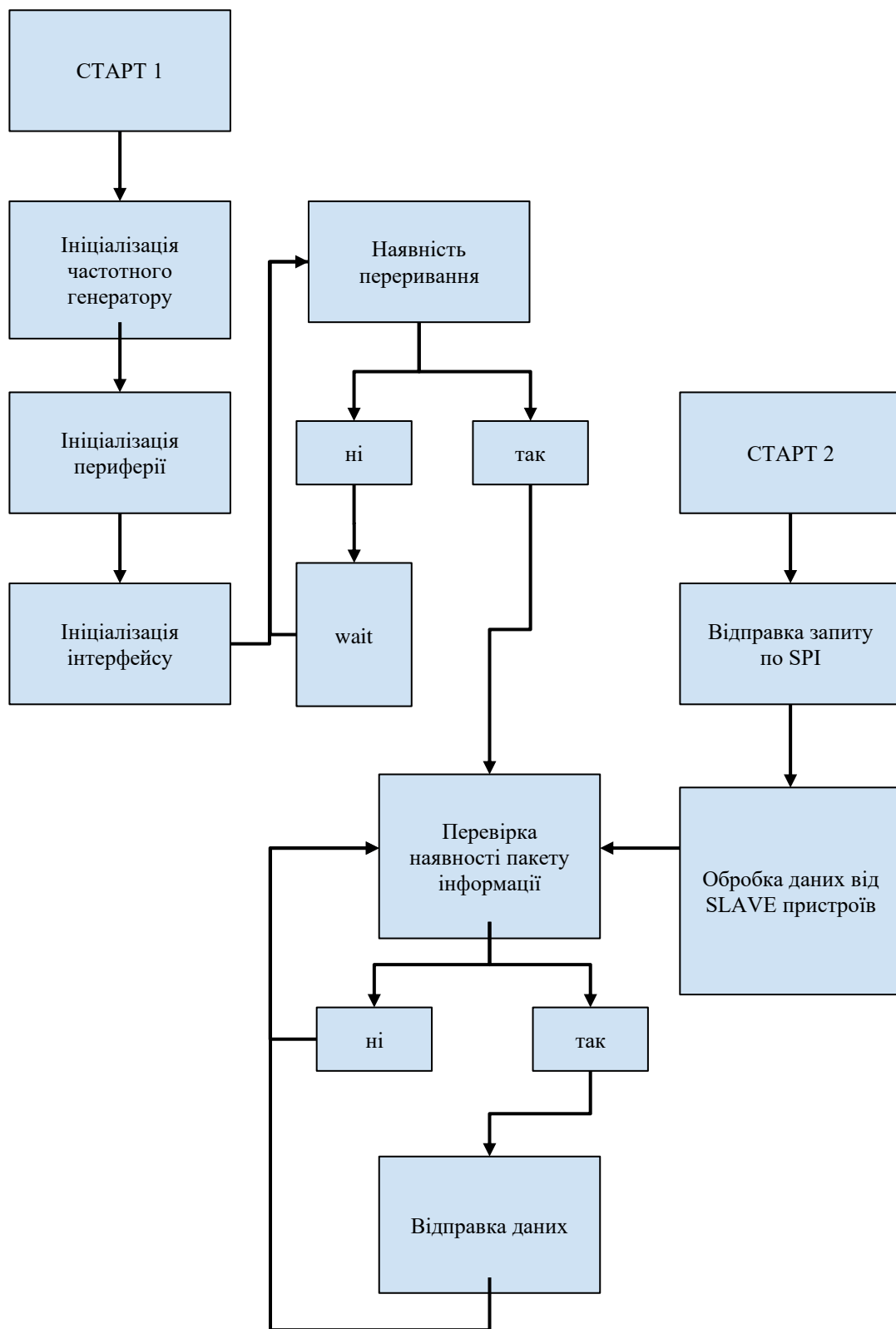


Рисунок 3.7 – Алгоритм роботи сервера

Код реалізації програмного алгоритму приведено у додатку А.

Основною задачею сервера є обробка та отримання інформації від SLAVE пристроїв (витратомірів), а також відправлення на отримання http запитів на віддалений сервер.

3.2 Витратомір рідини та газу

Робота витратоміру рідини та газу заснована на роботі ультразвукових сенсорів та вимірювання диференціальної напруги між двома приймачами п'єзокристалами. На рисунку 3.8 представлена блок-схема витратоміра рідини та газу.

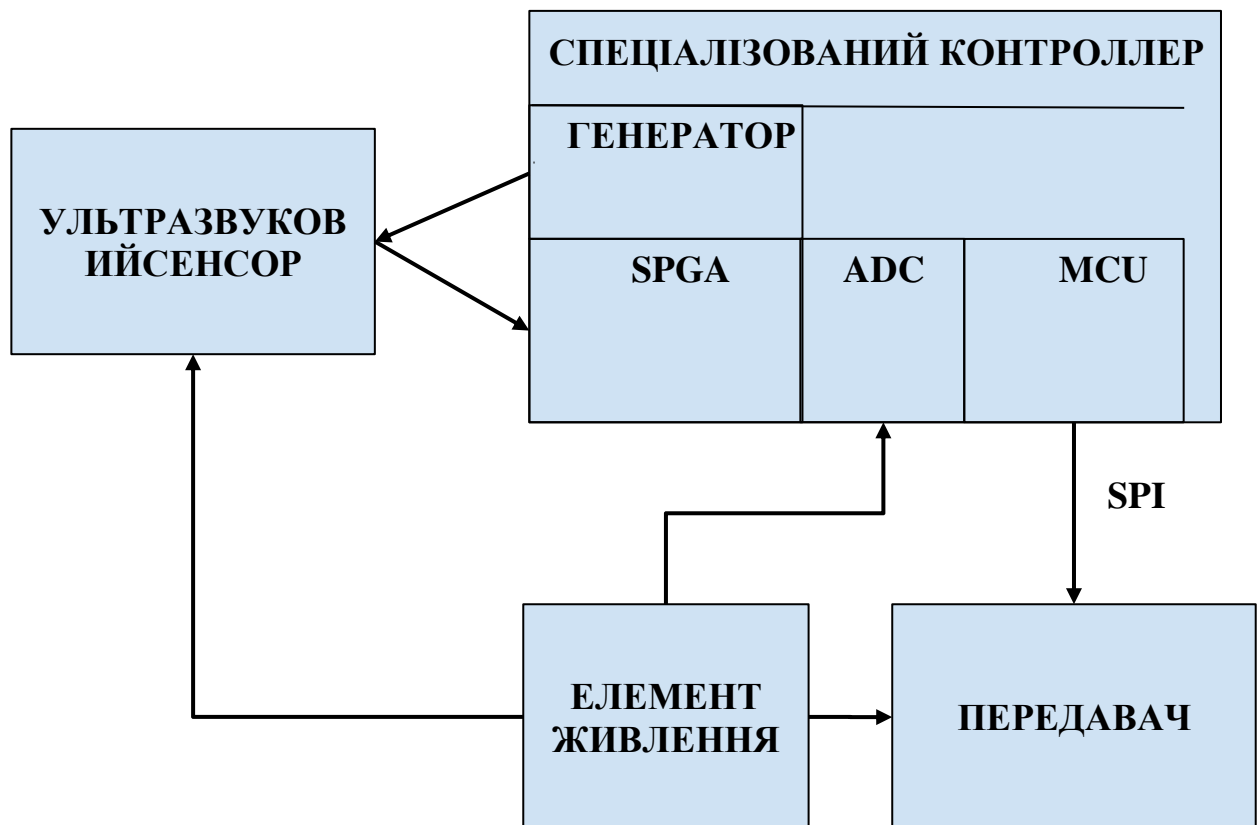


Рисунок 3.8 – Блок-схема вимірювача витрат води та газу

3.2.1 Розробка електричної принципової схеми

Розробку електричної принципової схеми також проведено у програмному забезпеченні Eagle від Autodesk, результат наведено на рисунку 3.9.

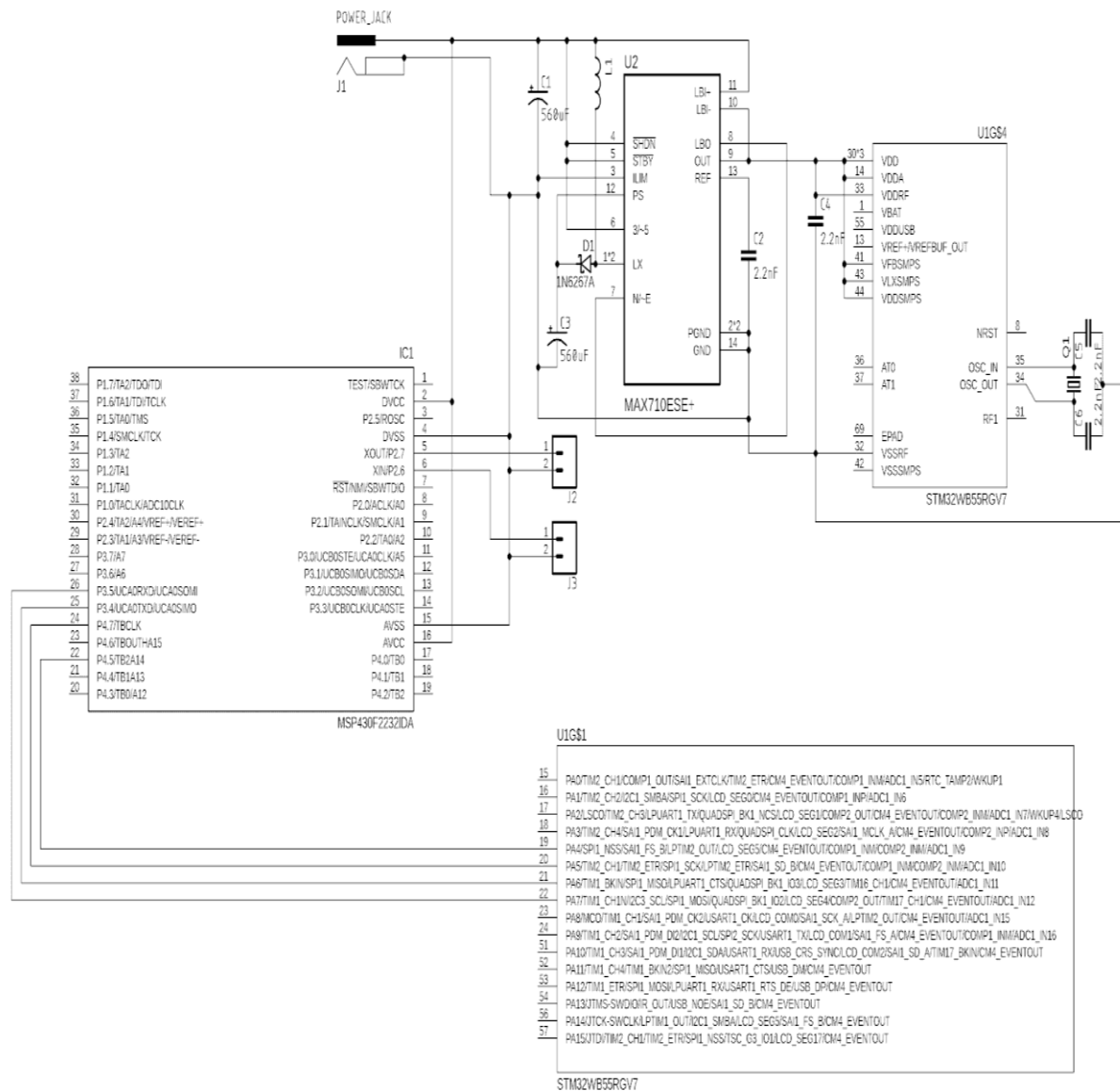


Рисунок 3.9 – Схема електрична принципова витратоміра води та газу

Вибір контролеру MSP430FR6043 зумовлений тим, що серед аналогів він має мінімальне споживання. Така особливість дає можливість застосування цього елемента як в портативних, так і у стаціонарних рішеннях. Також в приведеній моделі присутні усі необхідні інтерфейси для комунікації з зовнішніми приладами, ця особливість робить процес розробки системи більш гнучким.

3.2.2 Розробка друкованої плати

Друкована плата також спроектована за допомогою програмного пакету Eagle від компанії Autodesk. Типорозмір елементної бази для пасивних елементів обрано SMD 0603, що в свою чергу дозволить виконувати монтаж як на автоматичній лінії так і вручну. Виконана у двошаровому вигляді. Макет друкованої плати зображено на рисунку 3.10

Ширина провідника 0,5 мм та 0,2 мм для під'єднання виводів інтерфейсу SPI. Діаметр отворів 0,2 мм 1мм та 1,5 мм.

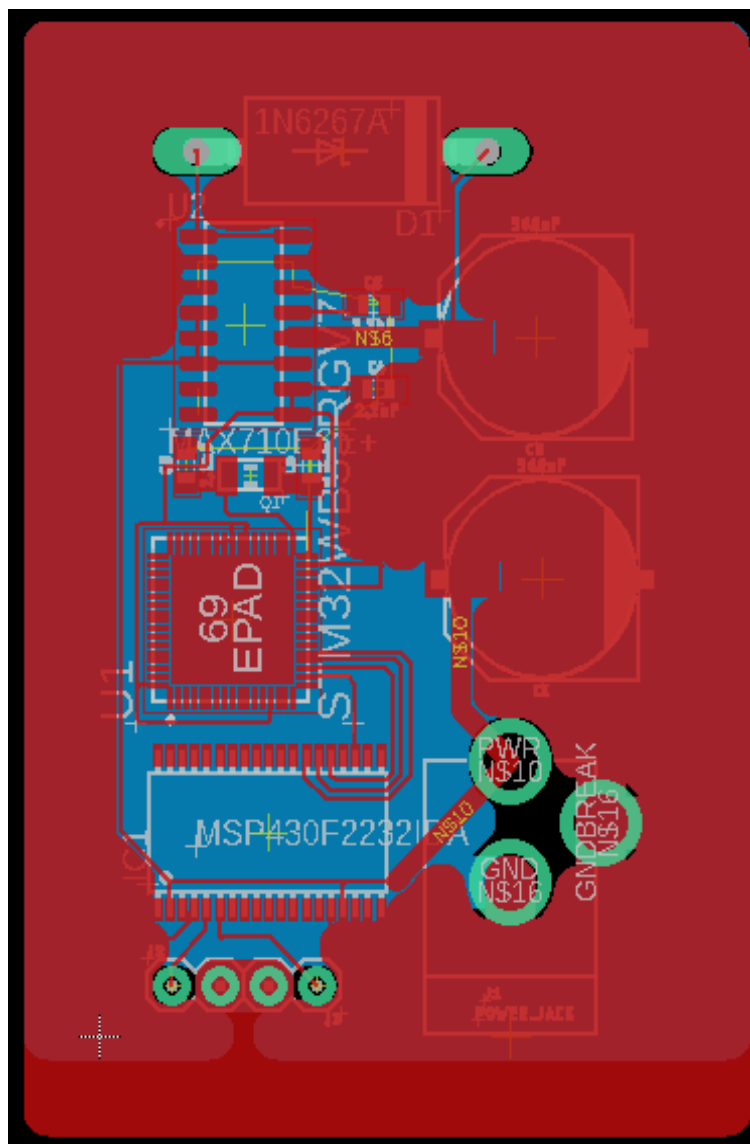


Рисунок 3.10 – Друкована плата сервера

ВИСНОВКИ

У даній атестаційній роботі проведено аналіз потокових витратомірів, серед яких особливу увагу приділено ультразвуковим витратомірам. Вказано переваги, недоліки та причини використання таких витратомірів для створення систем потокових вимірювачів рідини та газу.

Досліджено та спроектовано систему, що включає в себе декілька неврзних ультразвукових витратомірів, мікроконтролер, одноплатний комп'ютер, контролери для ультразвукових вимірювань та струму (у тому числі напруги, реактивної та активної потужностей), сервіси, мережеві інтерфейси та протоколи.

Проведено моделювання роботи системи при різній швидкості руху середовища за допомогою мови програмування Python. Отримані данні свідчать про відповідність поведінки моделі до приведених у роботі розрахунків з урахуванням помилки розрахунків, що зумовлена неоднорідністю звукового тракту поширення ультразвукового сигналу.

Проаналізовано принцип роботи такої системи, взаємодію та зв'язок компонентів системи між собою. Показано, що для її повноцінного функціонування достатньо одноплатного комп'ютера, системи датчиків та аналізаторів, а також використаного програмного забезпечення.

Представлено електричну принципову схему сервера, зображення друкованих плат, відповідні блок-схеми.

Отриманні данні дають можливість запровадити розроблений пристрій у промислових підприємствах, де є необхідність отримувати данні про витрати з великої кількості трубопроводів, оскільки представлена система витратомірів дозволяє організовувати мережу більш ніж із ста приладів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Levchenko.Y.L, Zolotuhin A.A. Bondarenko I.M. COMPUTER MODELING OF THE ULTRASONIC FLOW METER SYSTEM BASED ON THE WAVE DEFLECTION PRINCEPLE– Kyiv SPO-2019 26-29, 2019
2. Бобровников Г.Н., Новожилов Б.М., Сарафанов В.Г. Бесконтактные расходомеры - М.: Машиностроение, 1985.-128с.
3. Гордюхин А.И., Гордюхин Ю.А. Измерение расхода и количества газа и его учет - Л.: Недра, 1987.-213с.
4. Кремлевский П.П. Расходомеры - М.-Л.: Машгиз, 1964.-656с.
5. Кузьмин С.Т., Липавский В.Н., Смирнов П.Ф. Промышленные приборы и средства автоматизации в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности - М.: Химия, 1987.-272с
6. Куцин П.В. Охрана труда в нефтяной и газовой промышленности - М.: Недра, 1987.-247с.
7. Плотников В.М., Подрешетников В.А., Тетеревятников Л.Н. Приборы и средства учета природного газа и конденсата - Л.: Недра, 1989. 238с.
8. Подрешетников В.А., Тетеревятников Л.Н. Расходомер - счетчик ультразвуковой УРСВ-010М "Взлет РС". Техническое описание и инструкция по эксплуатации - М.: Машиностроение, 2001.-181с.
9. Расходомер ультразвуковой. Техническое описание и инструкция по эксплуатации - М.: Измерительная техника, 2014.-210с.
10. Филатов В.И. Выбор типа преобразователя ультразвукового расходомера, Измерительная техника, 1998. - № 7. - 18с.