

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Тернопільський національний економічний університет**  
**Факультет комп'ютерних інформаційних технологій**  
**Кафедра комп'ютерної інженерії**

Ваврейчук Сергій Володимирович

**Звукова технологія автоматичного контролю рідини  
в резервуарах / Sound technology of the automatic  
control of fluid in reservoirs**

спеціальність:123 – Комп'ютерна інженерія  
освітньо-професійна програма – Комп'ютерна інженерія

Випускна кваліфікаційна робота

Виконав студент групи КІм-21  
С. В. Ваврейчук

---

Науковий керівник:  
к.т.н., доцент, Паздрій І. Р.

---

**ТЕРНОПІЛЬ - 2019**

## РЕЗЮМЕ

Магістерська робота містить 84 сторінки пояснюючої записки, 27 рисунків, 2 таблиці, 3 додатки.

Метою роботи є удосконалення технології вимірювання рівня рідини та створення автоматичної системи з використанням звукової технології, що дозволить підвищити ефективність вимірювання рівня рідини.

Об'єктом дослідження є процес вимірювання об'єму рідини.

Предметом дослідження є автоматичні системи моніторингу рідини в резервуарі.

Методи дослідження: теорія проектування комп'ютерних систем, теорія передачі сигналів, методи побудови безпроводних систем, методи побудови автоматизованих систем.

Технологія автоматичного контролю рівня рідини в резервуарах в основному використовується у всіх галузях промисловості. Також цю технологію можна реалізувати для невеликих робочих чи побутових. У даній роботі буде створена система з датчиком рівня рідини, який допомагає нам читати безперервні дані, для контролю рівня рідини. Це дає нам результат, скільки рідини знаходиться в резервуарі. Створена система - це система зворотного зв'язку, яка не тільки дає нам кількість зайнятої рідини, але і контролює її за допомогою насоса.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЗВУКОВА ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ РІДИНИ В РЕЗЕРВУАРІ, ЗВУКОВА ТЕХНОЛОГІЯ, АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ РІДИНИ.

## RESUME

The master's thesis contains 84 pages of explanatory note, 27 drawings, 2 tables, 3 appendices.

The purpose of the work is to improve the technology of measuring the native level and to create an automatic system using sound technology, which will improve the efficiency of measuring the fluid level.

The object of the study is the process of measuring the volume of a liquid.

The subject of the study is automatic fluid monitoring systems in the tank.

Research methods: computer systems design theory, signal transmission theory, wireless systems construction methods, automated systems construction methods.

Automatic level control technology for liquid reservoirs is mainly used in all industries. This technology can also be implemented for small work or home appliances. This work will create a system with a fluid level sensor that helps us read continuous data to control the fluid level. This gives us the result of how much liquid is in the tank. The system created is a feedback system that not only gives us the amount of fluid used, but also controls it with the help of a pump.

**KEYWORDS:** SOUND TECHNOLOGY OF AUTOMATIC LIQUID CONTROL, SOUND TECHNOLOGY, AUTOMATIC LIQUID CONTROL.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| Вступ.....  | 7  |
| 1 Огляд і порівняльний аналіз методів вимірювання рівня рідини..... | 10 |
| 1.1 Методи вимірювання рівня рідини.....                            | 10 |
| 1.2 Огляд безконтактних датчиків.....                               | 21 |
| 1.3 Ультразвукові засоби вимірювання рівня.....                     | 26 |
| 2 Основні елементи систем вимірювання.....                          | 30 |
| 2.1 Аналітичний огляд ультразвукових датчиків.....                  | 30 |
| 2.2 Автоматизація вимірювання.....                                  | 39 |
| 2.3 Загальні технічні вимоги до резервуарів.....                    | 47 |
| 3 Розробка і апаратна реалізація системи.....                       | 51 |
| 3.1 Вибір середовища для розробки пристрою.....                     | 51 |
| 3.2 Розробка структурної схеми пристрою і апаратна реалізація.....  | 59 |
| 3.3 Перешкоди при контролі ультразвуковим методом.....              | 67 |
| 3.4 Бездротовий датчик рівня рідини.....                            | 68 |
| Висновки.....   | 71 |
| Список використаних джерел.....                                     | 72 |
| Додаток А Лістинг коду розробленої системи.....                     | 77 |
| Додаток Б Світлокопії виданих публікацій.....                       | 80 |
| Додаток В Довідка про використання.....                             | 84 |

## ВСТУП

Актуальність роботи. Бурхливий розвиток комп'ютерних технологій в останні десятиліття призвів до того, що вже, напевно, жодна область людського життя не обходиться без комп'ютерної техніки. Медицина, сільське господарство, виробництво, сфера обслуговування, наука, освіта, побут, військові технології, економіка - всюди мікропроцесорна техніка допомагає людині, дозволяючи більш ефективно і економічно організувати свою працю, економити час. Комп'ютери так щільно увійшли в наше життя, що ми вже часом і не помічаємо, що в багатьох пристроях, що оточують нас, використовуються мікрокомп'ютери: будь то цифровий телевізор, музичний центр, кухонний комбайн, пилосос або інший пристрій.

Мікроконтролери на базі комп'ютерів вирішують все більш широке і трудомістке коло завдань. При цьому зростає складність розроблюваних систем, а відповідно і програмного забезпечення по управлінню цими системами. На даному етапі розвитку технологій виробництва різних мікросхем все більшу частину в кінцевій вартості всього проекту становить розробка програмного забезпечення для проектованого пристрою.

Використання мікроелектронних засобів у різних виробках не тільки приводить до підвищення техніко-економічних показників (вартості, надійності, споживаної потужності, габаритних розмірів і т.д.) і дозволяє багаторазово скоротити терміни розробки і відсунути час "морального старіння", але і надає їм принципово нові споживчі якості, розширює функціональні можливості.

В останні роки в мікроелектроніці бурхливий розвиток одержало напрямок, пов'язаний з випуском однокристальних мікроконтролерів, які призначені для інтелектуалізації устаткування різного призначення. ЕОМ є прилади, конструктивно виконані у вигляді ВІС і включають в себе всі складові частини мікроЕОМ: мікропроцесор, пам'ять програм і пам'ять даних, а також програмовані інтерфейсні схеми для зв'язку із зовнішнім середовищем.

Використання мікроконтролерів в системах різного призначення забезпечує досягнення винятково високих показників ефективності при низькій вартості. До теперішнього часу більше двох третин світового ринку мікропроцесорних коштів складають саме однокристальних обчислювальних машин.

Сучасний рівень розвитку енергетичних і інших промислових установок характеризується інтенсифікацією технологічних процесів з використанням агрегатів великої потужності. Наприклад, в теплоенергетиці поодинокі потужності зросли за 30 років в десятки разів, а в атомній енергетиці - в сотні разів. Приблизно так само зросли швидкості протікання технологічних процесів, число вимірюваних параметрів на одному агрегаті, яке в даний час обчислюється тисячами. Тому надійність засобів вимірювання та інформаційно-вимірювальних систем у багатьох випадках визначають надійність агрегату в цілому.

Без достовірних значень параметрів і автоматичного контролю за цими значеннями, в більшості випадків не можна управляти процесом або агрегатом, без засобів вимірювання неможлива автоматизація. Особливо великого значення набувають питання отримання достовірних значень вимірюваних параметрів в зв'язку з завданнями комплексної автоматизації технологічних процесів і більш ефективного використання виробничого потенціалу. Вирішення цих завдань вимагає аналізу процесів і їх техніко-економічних показників, а для цього потрібні надійні і точні засоби вимірювання.

Рівень є одним з важливих параметрів в ряді технологічних процесів. У хімічній промисловості вимір рівня становить до 40% всіх вимірів. Умови вимірювання найрізноманітніші - киплячі рідини при високому тиску і температурах (барабани енергоблоків, випарні установки та ін.), Агресивні рідини (кислоти, луги, рідкий хлор і ін.), Неагресивні рідини в ємностях висотою 20 м і більше. Тому вимірювання рівня рідини що дозволить підвищити ефективність технологічних процесів є актуальною науково-технічною задачею.

Метою роботи є удосконалення технології вимірювання рівня рідини та створення автоматичної системи з використанням звукової технології ,що

дозволить підвищити ефективність вимірювання рівня рідини. Досягнення поставленої мети вимагає постановки і розв'язання таких основних завдань:

- здійснити аналіз методів вимірювання рівня рідини, сипучих матеріалів;
- проаналізувати технології вимірювання рівня рідини;
- запропонувати технологію вимірювання рівня рідини на основі ультразвуку;
- використати вдосконалену ультразвукову технологію для побудови автоматичної системи моніторингу рідини в резервуарах.

Об'єктом дослідження є процес вимірювання об'єму рідини.

Предметом дослідження є автоматичні системи моніторингу рідини в резервуарі.

Методи дослідження: теорія проектування комп'ютерних систем, теорія передачі сигналів, методи побудови безпроводних систем, методи побудови автоматизованих систем.

Практична значущість полягає в удосконаленні технології контролю рівня рідини на основі ультразвукового методу.

Публікація та апробація ВКР. За результатами досліджень підготовлено тези доповідей на II науково-практичній конференції молодих вчених і студентів «Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі»(Тернопіль, 2019) на тему «Система автоматизованого контролю рівня рідини в резервуарі»[1], та «Використання автоматизованих систем»[2].

У першому розділі було проведено огляд і порівняльний аналіз методів вимірювання рівня рідини. Із всіх оглянутих було вибрано безконтактний ультразвуковий метод.

У другому розділі було розглянуто основні елементи систем вимірювання, до яких входять аналітичний огляд ультразвукових датчиків, автоматизація вимірювання, та загальні технічні вимоги.

У третьому розділі проводиться розробка структурної схеми пристрою і апаратна реалізація у середовищі розробки Arduino. Також проведено аналіз перешкод при вимірювання ультразвуковим методом.

# 1 ОГЛЯД І ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ

## 1.1 Методи вимірювання рівня рідини

Під вимірюванням рівня розуміється індикація положення розділу двох середовищ різної щільності щодо будь-якої горизонтальній площині, прийнятої за початок відліку.

Вимірювання рівня – досить поширений вимірювальний процес в нафтопереробній, нафтохімічній, хімічній та інших галузях промисловості, а так само в теплопостачанні. Іноді за результатами вимірювання рівня судять про об'ємну кількість речовини, що міститься в резервуарах (баках, цистернах, танках і ін.). Для цього використовують або мірні ємності постійного (по висоті) поперечного перерізу (наприклад, мірні баки), або спеціальні тарувальні таблиці, що ставлять у відповідність кожному поточного значення рівня значення обсягу резервуара.

Засоби вимірювання рівня називаються рівнемірами. Як і всі засоби вимірювань, рівнеміри складаються з сукупності вимірювальних перетворювачів і допоміжних пристроїв, необхідних для здійснення процесу вимірювань.

Первинний перетворювач (датчик) сприймає вимірювану величину – рівень – і перетворює її в вихідний сигнал (електричний, пневматичний, частотний), що надходить на наступні перетворювачі, або в показання, відраховані за шкалою рівнеміра.

Вимірювання рівня – процес вимірювання висоти рівня рідини від положення, прийнятого за нульове. Рівнемірами називають засоби вимірювань рівня. Таким чином, рівнемір – це прилад для контролю або вимірювання рівня рідини в технологічних апаратах, резервуарах і сховищах. Рівнем називають межу, що відділяє рідину від вище розташованих рідини або газу меншою щільності. Вимірюють рівень в одиницях довжини. За допомогою вимірювання рівня можна витягти інформацію про масу або про обсяг рідини в резервуарах. Подібна інформація необхідна для керування виробничим процесом, а також для



проведення товарних операцій. Розрізняють контактні і безконтактні методи вимірювання рівня.

Вимірювання рівня рідких продуктів необхідні практично у всіх технологічних процесах. До характерних завдань вимірювання рівня відносяться:

- в харчовій, хімічній та нафтохімічній промисловості – вимірювання рівня рідких субстанцій і кінцевої продукції в резервуарах і трубах, облік обсягу та маси при навантаженні і вивантаженні, контроль витоків, контроль аварійних ситуацій;

- в транспорті – вимірювання об'єму та маси палива в паливних баках автомобілів, дизельних локомотивів, облік палива і рідких реагентів в цистернах під час їх перевезення;

- в житлово-комунальному господарстві – визначення обсягу каналізаційних стоків промислових підприємств, контроль рівня і обсягу води в резервуарах насосних станцій, моніторинг балансу води підприємств, міст і селищ;

- в сільському господарстві і системах екологічного моніторингу – визначення рівня води в річках, озерах, зрошувальних каналах для керування системами штучного зрошення, прогнозування повеней, проведення екологічних досліджень.

- в суднобудуванні і мореплаванні – контроль кількості води для побутових, господарських і технологічних потреб, а також брудної (використої) води, вимірювання об'єму та маси палива в паливних резервуарах, сигналізація аварійних ситуацій.

Кожній групі завдань відповідають певні вимоги до методу вимірювання та обладнання. Існують загальні вимоги, які необхідно виконувати при вирішенні більшості практичних завдань, і спеціальні, що пред'являються до окремих груп застосувань. Основними із загальних вимог є:

- великий термін служби вимірювача рівня (не менше 5-15 років) при мінімальній кількості регламентних робіт;

- висока надійність в реальних умовах експлуатації;

- стабільна робота і плавне зниження точності при збільшенні сили впливу дестабілізуючих факторів (температури, щільності рідини, хвилювання поверхні, нахилення резервуара і т.д.);
- забезпечення необхідної точності вимірювання рівня при роботі з реальними рідинами;
- помірна для розв'язуваної задачі вартість;
- зручність експлуатації, технічного обслуговування і ремонту.

Спеціальних вимог існує велика кількість в кожній області застосування вимірювачів рівня. На транспорті – це робота в умовах вібрацій і нахилення резервуара. В житлово-комунальному господарстві - робота в рухомих, сильно забруднених рідинах (вода, каналізаційні стоки). В сільському господарстві і системах екологічного моніторингу – робота від автономних джерел живлення з можливістю передачі інформації по бездротових мережах, мінімальна вартість. В харчовій, хімічній та нафтохімічній промисловості – вимір рівня з малою похибкою, робота при наявності пилу, конденсату, піни. Методів вимірювання рівня рідких продуктів існує більше двадцяти.

Контактний метод вимірювань застосовується в будь-яких середовищах і реалізується зазвичай в ємнісних, гідростатичних, буйкових і поплавкових рівнемірах. Ці прилади легко встановити в резервуарі будь-якої форми і розміру або в безпосередній близькості від нього, вони відрізняються механічною міцністю, простотою монтажу, надійністю вимірювань і низькою вартістю .

Безконтактний метод дозволяє вимірювати рівень без безпосереднього контакту з середовищем і полягають в зондуванні звуком (ультразвукові), зондуванні електромагнітним випромінюванням (радарні) і зондуванні радіаційним випромінюванням. Такі датчики варто використовувати в агресивних, в'язких, кристалічних, пінних середовищах, де є ризик засмічення або корозії елементів приладу. Існує декілька видів рівнемірів для вимірювання рівня рідин.

Існує два основні методи вимірювання рівня рідини: безперервне вимірювання і визначення рівня при досягненні заздалегідь заданого значення.

Прилади, за допомогою яких здійснюється безперервне вимірювання рівня безперервно видають числові показання рівня. Це дозволяє здійснювати безперервний контроль за рівнем.

Іноді, необхідно відстежувати тільки рівні, які досягли критичних точок. Подібний тип вимірювання рівня нерідко називається визначенням рівня в системі з уставками. Коли рівень рідини досягає уставки, прилад надає руху важільний механізм або включає реле, після чого починається здійснення коригування або регулювання.

Механічні рівнеміри підрозділяються на: буйкові, ґрунтуються на вимірі виштовхувальної сили, що діє на буйок і поплавкові, з чутливим елементом (поплавком), плаваючим на поверхні рідини.

У поплавкових рівнемірах (рисунок 1.1) є плаваючий на поверхні рідини поплавок 1, в результаті чого, вимірюваний рівень перетворюється в переміщення поплавка. В таких приладах використовується легкий поплавок, виготовлений з корозійно-стійкого матеріалу. Рівень вимірювання приладу 4 пов'язаний з тросом поплавка 2. Поплавковими рівнемірами можна вимірювати рівень рідини у відкритих ємностях.

Недоліки поплавкових рівнемірів з механічним зв'язком:

- необхідність герметизації резервуару при вимірюванні рівня токсичних, легкокипаровуючих рідин, в резервуарах з надлишковим тиском;
- наявність додаткових похибок, пов'язаних з пружною деформацією і тертям елементів зв'язку;
- використання для фіксації положення поплавка безконтактних слідкуючих систем ускладнює конструкцію рівнемірів, обумовлює, як правило, нелінійність їх характеристик перетворення;
- істотний вплив на точність вимірювання рівня поплавковими рівнемірами надає зміна температури в робочій порожнині резервуару.

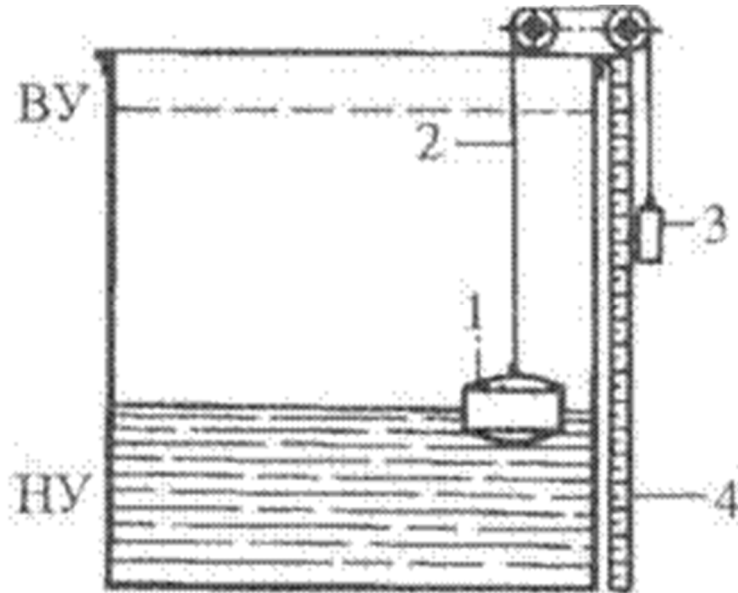


Рисунок 1.1 – Поплавковий рівнемір

Зміни температури зумовлюють температурну деформацію поплавка, тому використовувати ці рівнеміри в таких умовах не доцільно.

При ретельному градуюванні і правильній експлуатації поплавкових рівнемірів їх основна похибка може бути зведена до значення порядку  $\pm 1$  мм в діапазоні вимірювань до 15-20 м. Внаслідок цього поплавкові рівнеміри знаходять застосування в якості зразкових. Це можна віднести до переваг поплавкових рівнемірів.

У буйкових рівнемірах застосовується нерухомий, занурений в рідину буйок. Принцип дії буйкових рівнемірів заснований на тому, що на занурений буйок діє з боку рідини виштовхувальна сила. Згідно із законом Архімеда ця сила дорівнює вазі рідини, витісненої буйком. Кількість витісненої рідини залежить від глибини занурення бую, тобто від рівня в ємності. Таким чином, в буйкових рівнемірах вимірюваний рівень перетворюється в пропорційну йому виштовхуючу силу. Тому залежність сили, що виштовхує від вимірюваного рівня – лінійна. Буйковий рівнемір зображений на рисунку 1.2.

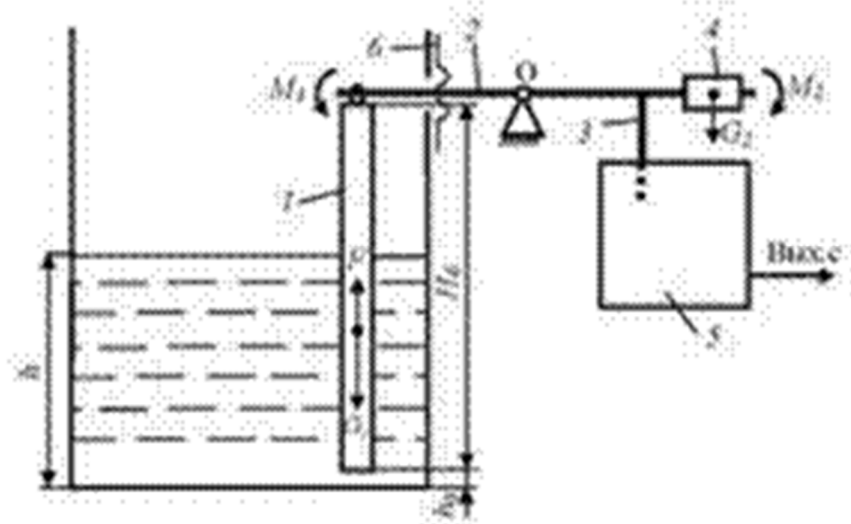


Рисунок 1.2 – Буйковий рівнемір

Буйкові рівнеміри мають ряд переваг.

Вони відмінно справляються з вимірюванням рівня в разі пінення рідин. Типове середовище застосування для такого рівнеміру – різні масла, паливо і легкі нафтопродукти.

Принцип дії буйкових рівнемірів дозволяє в широких межах змінювати їх діапазон виміру. Це досягається як заміною буйка, так і зміною передавального відношення важільного механізму проміжного перетворювача.

Крім переваг, у буйкових рівнемірах також є і недоліки.

Буйкові рівнеміри дуже чутливі до в'язких рідин. Не застосовується буйковий рівнемір в агресивних середовищах, здатних викликати корозію і руйнування буйка.

Даний тип вимірювання рівня потребує великих витрат і часу на встановлення, а також витрат на подальшу їх експлуатацію.

Гідростатичний спосіб (рисунок 1.3) вимірювання рівня заснований на тому, що в рідині існує гідростатичний тиск, пропорційний глибині. Тому для вимірювання рівня гідростатичним способом можуть бути використані прилади для вимірювання тиску або перепаду тисків. Такі прилади зазвичай застосовують дифманометри.

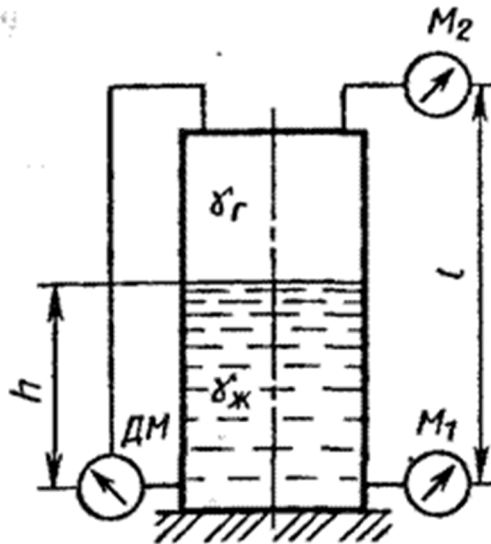


Рисунок 1.3 – Гідростатичний рівнемір

При включенні дифманометра перепад тиску на ньому буде дорівнювати гідростатичному тиску рідини, яка пропорційна вимірюваному рівню.

Суть процесу полягає в тому, що одна мембрана датчика встановлюється на резервуарі, до того місця, де йде подача вимірюваного середовища. Друга мембрана встановлюється безпосередньо на подачі атмосферного тиску – це виконання може бути застосовано для вимірювання рівня у відкритих резервуарах. У закритих же резервуарах друга мембрана встановлюється в області надлишкового тиску.

Переваги:

- простота монтажу та обслуговування;
- висока надійність;
- гідростатичні рівнеміри відмінно працюють з в'язкими рідинами і при великому надлишковому тиску;
- точність;
- реалізація методу не передбачає використання рухливих механізмів.

Недоліки:

- рух рідини викликає зміна тиску і призводить до помилок вимірювання (тиск щодо площини відліку залежить від швидкості потоку рідини - наслідок закону Бернуллі);
- атмосферний тиск повинен бути компенсований;

- зміна щільності рідини може бути причиною помилки вимірювання;
- чутливий елемент знаходиться в безпосередньому контакті з вимірюваним середовищем, що вимагає для датчиків спеціальних матеріалів, істотно звужуючи область їх використання.

Електричні рівнеміри – величини електричних параметрів залежать від рівня рідини. Дані рівнеміри підрозділяються на такі види: вібраційні і ємнісні.

Принцип дії електричних рівнемірів заснований на розходженні електричних властивостей рідин і газів. При цьому рідини, рівень яких вимірюється, можуть бути як провідниками, так і діелектриками. Гази, що знаходяться в надрідкому середовищі, завжди діелектрики. Основним параметром, що визначає електричні властивості провідників, є їх електропровідність, а діелектриків – відносна діелектрична проникність, що показує, у скільки разів у порівнянні з вакуумом зменшується в даній речовині сила взаємодії між електричними зарядами.

Залежно від того, який вихідний параметр (опір, ємність або індуктивність) первинного перетворювача реагує на зміну рівня, електричні рівнеміри підрозділяються на ємнісні і індуктивні.

Акустичні (ультразвукові) рівнеміри – засновані на залежності інтенсивності поглинання або часу поширення акустичних коливань від висоти рівня рідини.

В ультразвукових рівнемірах (рисунок 1.4) використовується явище відбиття ультразвукових коливань (імпульсів) від площини розподілу рідина-газ (зазвичай повітря). Час між моментом подачі первинного імпульсу і моментом повернення відбитого імпульсу є функцією висоти вимірюваного рівня. Ці прилади дозволяють вимірювати рівень без контакту з контрольованим середовищем в важкодоступних місцях. Акустичний рівнемір зображений на рисунку 1.4, де : 1, 2 – генератори, керуючий імпульс; 3 – п'єзоелектричний випромінювач; 4 – підсилювач імпульсів; 5 – вимірювач часу; 6 – вторинний прилад.

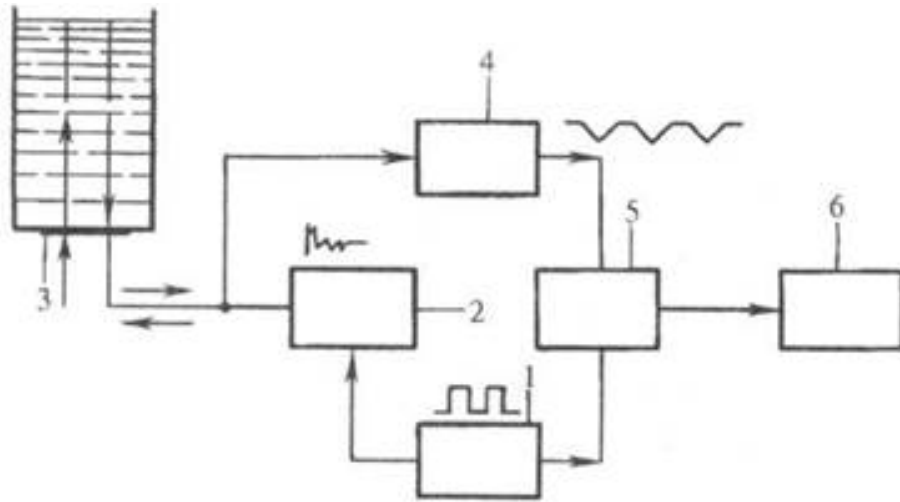


Рисунок 1.4 – Акустичний рівнемір

Радіолокаційні (радарні, хвильові) рівнеміри (рисунок 1.5) – засновані на принципі відображення поверхні сигналу високої частоти.

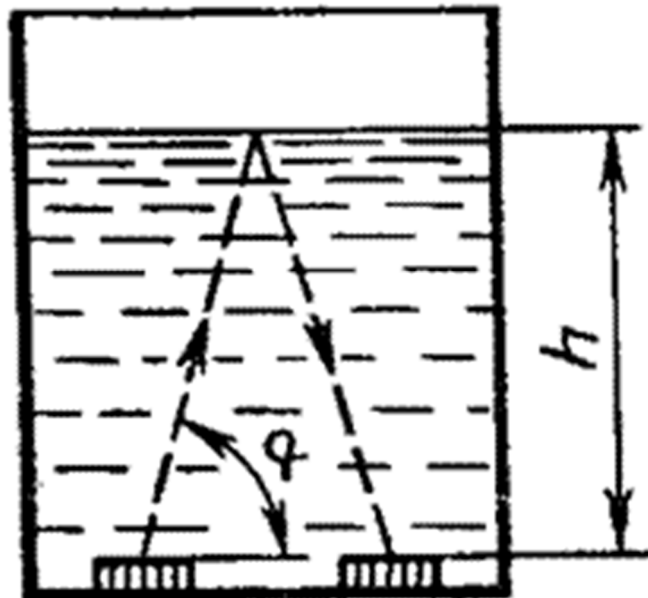


Рисунок 1.5 – Радіолокаційні рівнеміри

Вони реалізують ефект відображення звукової хвилі від поверхні розділення середовищ. Генератор випромінює в рідину блок імпульсів високої (ультразвукової) частоти. Відбитий від кордону поділу рідина-газ сигнал вловлюється приймачем ультразвукових коливань. Час між моментом подачі зонduючого імпульсу і моментом приходу відбитого від рівня імпульсу



пов'язаний з поточним значенням рівня. Час фіксується до відповідної вимірювальної схеми і перетворюється у вихідний сигнал рівнеміра, пропорційний поточному значенню рівня.

У радіолокаційних рівнемірах є ряд недоліків, наприклад:

- підвищена чутливість до стану рідини ( бульбашки газу);
- основними факторами (крім похибок вимірювальної схеми), що

впливають на точність локаційних рівнемірів, є теплове розширення і зміна швидкості звуку в середовищі.

Вибір методики вимірювання рідких середовищ слід починати з аналізу технологічного процесу і визначення необхідної інформації. Вимірювання рівня може бути безперервним, тобто не прив'язаним до якоїсь конкретної точки. При цьому відображається наповнення ємності в процентному співвідношенні щодо реального обсягу вимірюваного середовища до загального обсягу ємності, яка приймається за 100%.

Рідке середовище вимірювання може бути агресивним, в'язким. Також в рідинах можуть з'явитися проблеми осідання, пов'язані з утворенням суспензій або вмістом в них нерозчинного залишку. Більш того, піна, і навіть пил можуть ввести в оману при використанні відбиваючих методів вимірювань, а діелектричні характеристики можуть вплинути на показання ємнісних датчиків.

Тип ємності, форма, матеріал, а також розташування, тобто доступ до неї - важливі показники вибору системи вимірювання і способу монтажу.

Зазвичай питання про точність вимірювань відноситься тільки до безперервного вимірювання. Залежно від розмірів резервуару вимірювання можуть бути дуже точними ( $\pm <1\%$ ), але при цьому будуть потрібні значні витрати. Необхідність виконувати точні вимірювання в великому резервуарі в широких межах зустрічаються рідко. Одним з найпростіших і найбільш надійних способів визначення ступеня наповнення резервуара є його зважування. Підсумовуючи наведені дані, можна сформулювати таблицю основних характеристик, переваг та недоліків усіх видів рівнемірів (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Основі характеристики рівнемірів

| Тип рівнемірів   | Об'єкт вимірювання  | Діапазон вимірювань: глибина (м) | Переваги рівнемірів   | Недоліки рівнемірів   |
|------------------|---|----------------------------------|---|---|
| 1.Буйкові        | Паливо,масла, нафтопродукти                                   | До 10 м                          | Точність вимірювання в пінних рідинах   | Залежність результату від щільності рідини, затратне встановлення і подальша експлуатація |
| 2.Поплавкові     | Рідини з низькою щільністю                                    | До 25 м                          | Висока точність, незалежність результату вимірювань від стану поверхні продукту | Складність монтажу, залежність вимірювання від щільності середовища                       |
| 3.Гідростатичні  | Однорідні, в'язкі рідини                                      | Від 2 до 100 м                   | Низька вартість, простота конструкції   | Низька точність вимірювання   |
| 4.Ємнісні        | Масла   | Від 0.2 до 20 м                  | Надійність, висока точність   | Неможливість роботи у в'язких рідинах   |
| 5.Акустичні      | Паруючі, киплячі, димові рідини, рідини з піною               | Від 0.2 до 20 м                  | Висока перешкодозахищеність зручність розташування на резервуарі                | Незручність вимірювань пінних рідин   |
| 6.Радіолокаційні | Нафтопродукти, в'язкі, неоднорідні, вибухонебезпечні продукти | Від 0.5 до 50 м.                 | Висока точність, стабільність вимірювання.                                      | Незручність вимірювань при кипінні поверхні продукту                                      |

Різноманіття виготовлених в даний час рівнемірів пояснюється наявністю великої кількості завдань з контролю і виміру рівня: це вимірювання рівня рідких середовищ в різних робочих умовах, з різною точністю і діапазоном вимірювань. Кожен виготовлений вимірювальний прилад має велику кількість різних модифікацій і опцій, що дозволяють підібрати найбільш оптимальний варіант для вирішення будь-якого вимірювального завдання в області вимірювання рівня рідини. Тому дуже важливо підібрати потрібний рівнемір для вимірювання рівня рідини в певних умовах, щоб уникнути великих похибок вимірювань.

## 1.2 Огляд безконтактних датчиків

Вимірювання рівня потрібно для того, щоб забезпечувати заздалегідь заданий стандарт обслуговування для пристрою. Відхилення від необхідного рівня можуть викликати збої в роботі і навіть виведення пристрою з експлуатації.

Датчики рівня рідини діляться на два типи: контактні (весь датчик або його частина контактує з вимірюваним середовищем) і безконтактні (вимір відбувається без контакту з рідким середовищем). Кожен з цих типів має переваги і недоліки і знаходить своє застосування в тій чи іншій області.

Контактний тип датчиків, як правило застосовується в процесах, які мають фактори, що ускладнюють роботу обладнання.

До таких факторів можна віднести:

- температури понад  $+ 90^{\circ} \text{C}$ ;
- тиск понад 3 бар.

У тому числі переважно контактні датчики використовують для вимірювання рівня пінних рідин (молоко, пиво, соки, газ, вода та ін.). З огляду на розсіювання сигналу і отримання некоректних результатів при вимірі безконтактним методом, рівень рідини в високих вузьких резервуарах також рекомендовано контролювати за допомогою контактних приладів.

Безконтактні датчики рівня рідини застосовуються там, де необхідно уникнути згубного впливу фізико-хімічних властивостей вимірюваної рідини. На процес вимірювання і працездатність датчика можуть впливати:

- в'язкі рідини (згущене молоко, варення, нафтопродукти, гліцерин і ін.);
- агресивні рідини (лугу, кислоти).

Хоча саме безконтактний тип датчиків рекомендований при контролі рівня агресивних середовищ і тим не менш, контактні датчики, виготовлені з нержавіючих сталей і пластиків, також застосовуються спільно з агресивними рідинами.

Датчики рівня застосовуються з різними матеріалами, проте можна виділити дві групи датчиків рівня: «для рідин» і «для сипучих середовищ». Кожна з груп має свої особливості, які повинні бути враховані при виборі датчика.

Визначившись з функціоналом датчика рівня і середовищем застосування, на наступному етапі необхідно вибрати тип датчика: контактний або безконтактний. Контактні датчики представлені широкою лінійкою пристроїв і мають більшою точністю і меншою вартістю. Однак, такі фактори як пінення, висока в'язкість середовища і наявність суспензій в рідині може привести до некоректних результатів вимірювання. Контактний тип датчиків найбільш стійкий до високих температур і тиску середовища. Для контролю рівня агресивних середовищ в хімічному виробництві, що контактують із середовищем частини датчика виготовляють з хімічно стійких пластмас і нержавіючої сталі. Разом з тим, саме безконтактні датчики рівня за рахунок відсутності контакту з вимірюваним середовищем знаходять широке застосування в хімічній промисловості, несприйнятливі до пінення і налипання.

Найперші безконтактні датчики відстані видавали інформацію тільки про наявність чи відсутність предмета перед датчиком у вигляді дискретного сигналу ON / OFF. Ці найпростіші датчики досі знаходять велике застосування в різних галузях промисловості. У той же час для вирішення більш складних завдань автоматизації технологічних процесів інженерам потрібна додаткова інформація про стан об'єктів вимірювання. Для цих цілей були розроблені датчики, що дозволяють визначати відстань до об'єкта і його положення за допомогою аналогового виходу, сигнал на якому пропорційний відстані до вимірюваного об'єкта. Такі датчики можуть бути використані в безлічі застосувань, таких як визначення відстані до об'єкта, вимірювання товщини, вимірювання нахилу і деформації, вимір профілю виробу, центрування і вимірювання діаметру.

Датчики для вимірювання відстані можуть використовувати різні принципи вимірів: індуктивний, ультразвукової або оптичний, проте всі вони мають електричний вихідний сигнал, величина якого пропорційна відстані до вимірюваного об'єкта.

Індуктивні датчики. Індуктивні датчики відстані визначають відстані до провідних металевих об'єктів, таких як сталь, алюміній, латунь. Оскільки принцип роботи індуктивних датчиків заснований на визначенні струмів взаємної індукції, такі датчики дуже стійкі до впливу неметалевих предметів і перешкод, таких як, наприклад, пил або машинне масло. Сучасні технології дозволяють створити індуктивний датчик з аналоговим виходом, має діаметр всього 6 мм і вимірювана відстань 2 мм. Такі датчики з високою роздільною здатністю і швидким часом відгуку знаходять застосування в більшості високошвидкісних завдань.

Разом з тим, незважаючи на прекрасну точність, дозвіл і час відгуку, істотна нелінійність, що становить 3% - 5%, представляє певну проблему. Щоб подолати це, деякі виробники визначають вихідний сигнал датчика, як поліномну функцію, яка математично описує сигнал, і тим самим дає можливість запрограмувати за допомогою такої функції більшість сучасних контролерів для більш точного алгоритму вимірювання.

Тим самим, наприклад, на відстані 0,4638 мм вихідний сигнал буде 5 мА. Проблеми з лінійністю можуть бути так само вирішені з використанням інтегрованого в датчик мікропроцесора. Такий метод дозволяє провести контроль вихідних характеристики датчика і істотно знизити нелінійність. Наприклад, індуктивний датчик діаметром 12 мм і відстанню вимірювання 0 - 4 мм., з вбудованим мікропроцесором має лінійність краще, ніж 0,4%.

Безконтактні ультразвукові датчики безперервного виміру рівня рідини в більшості випадків мають у своєму розпорядженні вгорі резервуара, рівень рідини визначається, як різниця відстаней від кришки до дна резервуара і від випромінювача – приймача ультразвукових хвиль по поверхні вимірюваного середовища, а відстань від випромінювача - приймача ультразвукових хвиль по поверхні вимірюваного середовища – за часом проходження ультразвукової хвилі від передавача датчика до поверхні середовища і назад до приймача-реєстратору.

Ультразвукові датчики. Такі датчики досить компактні. Їх відрізняє якісна конструкція і відсутність різних рухливих деталей. Це обладнання не боїться

забруднень, що досить актуально в умовах виробництв, а також майже не потребує обслуговування.

У складі ультразвукового датчика знаходиться п'єзоелектричний обігрівач, який є одночасно і випромінювачем, і приймачем. Дана конструктивна деталь відтворює потік звукових імпульсів, приймаючи його і перетворюючи отриманий сигнал в напругу. Далі вона подається на контролер, який обробляє данні і обчислює ту відстань, на якій знаходиться об'єкт. Подібна технологія називається ехолокаційною.

Принцип дії ультразвукових датчиків відстані заснований на випромінюванні імпульсів ультразвуку і вимірюванні, поки звуковий імпульс, відбившись від об'єкта вимірювання, повернеться назад в датчик. При цьому досягається дозволу до 0,2 мм.

Завдяки тому, що п'єзорезистивний перетворювач може служити як випромінювачем, так і приймачем ультразвукових імпульсів, з'являється можливість створити ультразвукові датчики відстані з одним перетворювачем. Такий перетворювач спочатку випромінює короткий ультразвуковий імпульс. Одночасно з цим, в датчику запускається внутрішній таймер. Коли відбитий від об'єкта ультразвуковий імпульс повернеться назад в датчик, таймер зупиняється. Час, що минув між моментом випромінювання імпульсу і моментом, коли відбитий імпульс повернувся в датчик, служить основою для обчислення відстані до об'єкта. Повний контроль за процесом вимірювання проводиться за допомогою мікропроцесора, що забезпечує високу лінійність вимірювань.

Найбільш важливими особливостями застосувань ультразвукових датчиків служить їх можливість вимірювати відстані до таких складних об'єктів таких як, наприклад, сипучі речовини, рідини, гранули, прозорі або навпаки так, які сильно відображаються від поверхні. На додаток ультразвуковими датчиками можна вимірювати порівняно великі відстані, при цьому, зберігаючи їх невеликі розміри, що може бути істотно для ряду застосувань.

Однак і ультразвукові датчики мають ряд обмежень. Перш за все, це піна і інші об'єкти, які сильно поглинають ультразвукові коливання. Таке поглинання сильно зменшує вимірювану дистанцію. Сильно вигнуті поверхні так само

знижують відстань і точність вимірювань, оскільки розсіюють ультразвукові коливання в різних напрямках. Ультразвукові датчики випромінюють імпульс у вигляді широкого конуса, що так само обмежує можливість вимірювання відстані до невеликих об'єктів, збільшуючи рівень перешкод від інших об'єктів, які так само можуть перебувати в полі зору датчика. Деякі ультразвукові датчики мають конус з кутом всього 5 градусів. Це дозволяє використовувати їх для вимірювання набагато менших об'єктів, наприклад таких, як пляшки або ампули.

Оптичні датчики. Існує безліч різних способів виміряти відстань до предмета за допомогою оптики: наприклад лазерні інтерферометри, датчики з розсіяним відбиттям світла і оптичні датчики радарного типу. Кожен з видів датчиків має свої сильні і слабкі сторони. Лазерні інтерферометри мають великий діапазон вимірювань і точність кілька нанометрів, однак, ці прилади дуже дорогі і складні в експлуатації. Датчики з розсіяним відображенням і аналоговим виходом можуть вимірювати відстані в широких межах, однак оскільки вони працюють з відбитим світлом, то можуть бути проблеми з вимірюванням відстаней до забарвлених або відбиваючих об'єктів. Оптичні датчики радарного типу, переважно лазерні. Вони можуть вимірювати великі відстані, однак принцип їх роботи, заснований на вимірюванні часу поширення світла від датчика до об'єкта і назад, дозволяє вимірювати з обмеженим дозволом в 2-3 мм.

Переважає більшість завдань по вимірюванню в промисловості припадає на діапазон від мікрону до декількох десятків метрів. При цьому датчики повинні працювати з об'єктами, далекими від ідеальних: малого розміру, що мають різний колір, складну структуру поверхні і переміщуються з високою швидкістю. Для таких цілей найбільш підходять лазерні датчики відстані, що працюють за принципом оптичної тріангуляції.

Принцип роботи оптичного сенсора відстані наступний: лазер посиляє через лінзу промінь, який відбивається від об'єкта і фокусується на лінійці з фотодіодів, яка є перетворювачем світлового сигналу в електричний. Будь-яку зміну відстані до об'єкта викликає зміна кута відбитого променя і, отже, позиції, яку відбитий промінь займає на лінійці фотодіодів. Мікроконтролер обробляє

сигнал від лінійки фотодіодів і перетворює його в аналоговий електричний сигнал.

Найбільш важлива якість таких датчиків відстані полягає в поєднанні високої точності вимірювання і великих вимірюваних відстанях. Більшість виробників пропонують датчики з дозволом від 1 мкм до 1 мм. Однак висока точність можлива тільки на відносно коротких відстанях.

Для зниження впливу шумів всі лазерні датчики відстаней дозволяють проводити інтегральні виміри. При цьому проводиться безліч вимірів відстані до об'єкта і знаходиться потім середнє значення результатів, тим самим підвищується точність вимірювань. Однак велика точність вимагає великої кількості вимірювань, збільшуючи при цьому загальний час вимірювання.

### 1.3 Ультразвукові засоби вимірювання рівня

Сенсорні пристрої, що перетворюють електричний струм в хвилі ультразвуку, називаються ультразвуковими датчиками. Їх принцип дії аналогічний роботі радара, вони вловлюють мету по відбитому сигналу. Швидкість звуку - величина постійна. На підставі цього таким датчиком обчислюється відстань до деякого об'єкта, відповідно діапазону часу між виходом сигналу і його поверненням.

В ультразвукових рівнемірах, використовується метод, заснований на відображенні ультразвукових коливань від границі розділу середовищ з боку рідини. Залежно від використовуваного параметру звукової хвилі для вимірювання рівня рідини розрізняють частотний, фазовий та імпульсний способи вимірювання рівня.

Мірою рівня рідини  $h$  є час проходження ультразвукових коливань  $t$  від п'єзOMETричного перетворювача (випромінювача) до площини кордону розподілу середовища і назад до приймача. Час проходження ультразвукових коливань  $t$  визначається виразом (формула 2.1):



$$t = \frac{2h}{a} \quad (2.1)$$

де  $a$  – швидкість поширення звуку в рідині.

Пауза  $t_n$  між двома послідовними надісланими імпульсами визначається виразом (формула 2.2):

$$t_n \geq 10t = \frac{20h}{a} \quad (2.2)$$

Рівнемір (рисунок 2.1) складається з п'єзOMETричного перетворювача 1, електронного блоку 7 і вторинного приладу 5. Електронний блок включає в себе генератор 6, який задає частоту повторення імпульсів; генератор імпульсів 2, що посиляються в рідину, рівень якої вимірюється; приймального пристрою - підсилювача 3; схеми вимірювання часу 4. Генератор, що задає частоту повторення імпульсів, керує роботою генератора імпульсів і схемою вимірювання часу. Генератор 2 виробляє електричні імпульси з певною частотою повторення, які перетворюються в ультразвукові за допомогою п'єзOMETричного перетворювача, встановленого із зовнішнього боку дна резервуара.

Поширюючись в рідкому середовищі, ультразвукові імпульси відбиваються від площини кордону поділу рідини та газу, і надходять на той ж самий п'єзOMETричний перетворювач. Відбиті імпульси після зворотнього перетворення в електричні посилюються, формуються підсилювачем 3 і подаються на схему вимірювання часу. Вихідним сигналом вимірювальної схеми є постійна напруга, яка надходить на вхід вторинного приладу 5.

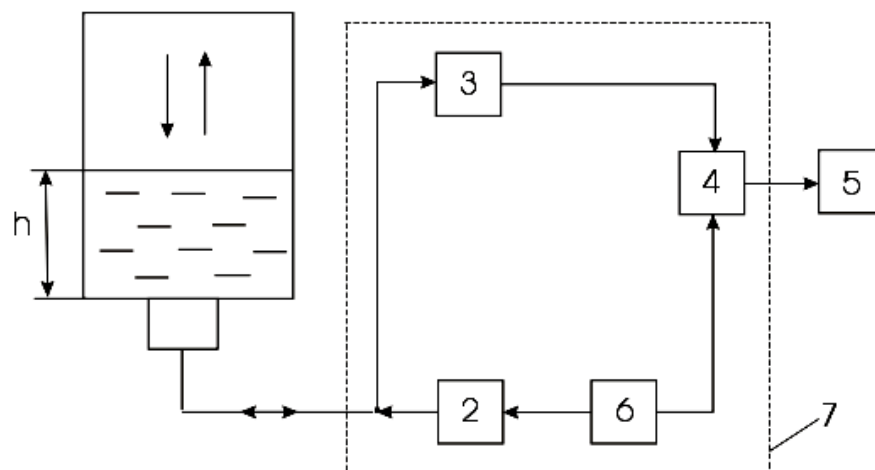


Рисунок 2.1 – Схема ультразвукового рівнеміра

До основних переваг ультразвукового методу відносять те, що він є безконтактним, застосовується для забруднених рідин. Реалізація методу не представляє високих вимог до зносостійкості і міцності обладнання. Цей метод не залежить від щільності контролюваного середовища.

Крім переваг, в ультразвуковому методі також є і недоліки. Один з них – це велике розходження конусу випромінювання. Відбивання променя від нестационарних перешкод можуть викликати помилки вимірювання, також на сигнал впливають пил, пар, газові суміші та піна. Цей метод застосовується лише в резервуарах з нормальним атмосферним тиском.

У зоні дії датчика можна встановлювати комутаційну зону. Комутуючий вихід датчика можна налаштувати таким чином, щоб він спрацьовував лише при появі будь-якого об'єкту у встановленій комутаційній зоні.

Придушення паразитного сигналу зменшує потужність корисного сигналу, і в деяких випадках доводиться оцінювати це зменшення, щоб не втратити корисний сигнал.

Датчик оснащений засобами для компенсації впливу зміни температури, пригнічує паразитні ехо-сигнали. Крім того, можна встановити зовнішні зонди, які контролюють температуру вимірюваної поверхні незалежно від умов в місці монтажу датчика, що мінімізує похибки, викликані температурними коливаннями рідинами.

Датчики вимірювання методом спрямованого електромагнітного випромінювання працюють на основі вимірювання коефіцієнту відбивання методом поєднання прямого і відбитого випробувальних сигналів і визначення часу проходження випущеного імпульсу до поверхні контрольованого середовища.

Повторювані імпульси наносекундного діапазону тривалості випромінюються з інтервалом 1 мкс. Принцип вимірювання нагадує ультразвуковий метод визначення рівня. Тільки в системі з направленим електромагнітним випромінюванням імпульси поширюються не рівномірно в межах кордонів діаграми спрямованості, а локалізовані вздовж троса датчика.

Даний метод базується на новітніх технологіях і доповнює собою список контактних методів вимірювання. Через надзвичайно низьку потужність і спрямованість випромінювання імпульсів мікрохвилі не розсіюються в просторі, тому застосування цих пристроїв не вимагає узгоджень з комітетами по радіочастотах.

Завдяки низькому енергоспоживанню досить двопровідної системи підключення мікрохвильового датчика з живленням через інформаційний канал. В силу цієї ж причини датчики є вибухобезпечними, що дозволяє встановлювати їх у вибухонебезпечних зонах аж до зон класу 0.

Для забезпечення електромагнітної сумісності ультразвукових датчиків запропонований спеціальний метод зі стрибкоподібною перебудовою частоти, який дозволяє виявляти електромагнітні перешкоди і маскувати їх в динамічному режимі.

Підсумовуючи наведені дані, можна сформулювати й інші переваги – незалежність методу від виду матеріалу (рідкий / сипучий), щільності, значення діелектричної постійної, хімічної агресивності середовища, провідності, зміни властивостей матеріалу. Надійне вимірювання порошкоподібних матеріалів навіть в процесі наповнення ємності. Вимірювання рівня рідини можливе при утворенні піни в умовах підвищення тиску. Цей метод абсолютно не залежний від впливів таких факторів технологічного процесу, як тиск, температура, наявність рухомих поверхонь, піна / туман / пил.

## 2 ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ

### 2.1 Аналітичний огляд ультразвукових датчиків

В даному розділі описані методи вимірювання відстані за допомогою ультразвукових датчиків, засновані на принципі вимірювання часу проходження сигналу.

При цьому обробка відбитого від об'єкта сигналу проводиться в тій же точці, що і випромінювання, такий метод відноситься до методів безпосереднього виявлення.

У момент часу  $T_0$  (рисунок 2.1) ультразвуковий передавач випромінює сигнал – блок імпульсів тривалістю  $\Delta t$ , який поширюється в навколишньому середовищі зі швидкістю звуку  $C$ . Коли сигнал досягає об'єкта, частина сигналу відбивається і приходить в приймач в момент часу  $T_1$ . Електронна схема пристрою обробки сигналу визначає відстань до об'єкта, вимірюючи час  $T_1 - T_0$ .

Для вимірювань відстані може застосовуватися як схема, що використовує одну і ту ж головку датчика для випромінювання і прийому, так і схема, в якій випромінювання і прийом виробляють дві різні головки.

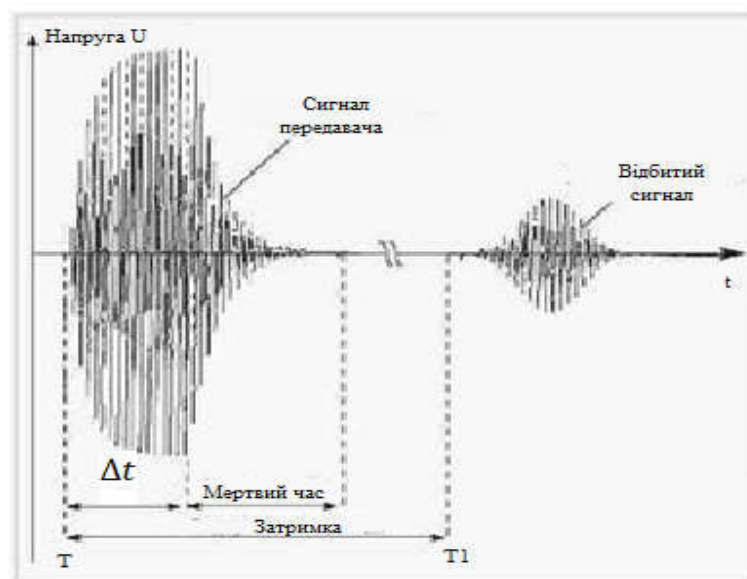


Рисунок 2.1 – Сигнал на чутливому елементі УЗ датчика вимірювальної схеми з однієї голівкою

Вимірювальна схема з однієї голівкою. Схема з однієї голівкою має істотний недолік, який полягає в тому, що після випромінювання імпульсів має пройти деякий час, перш ніж мембрана випромінювача заспокоїться і зможе працювати на прийом. Цей інтервал називається «мертвим» часом датчика.

Наявність «мертвого» часу призводить до того, що ультразвукові вимірювальні датчики відстані з однієї голівкою мають так звану «сліпу» зону, тобто, коли об'єкт знаходиться надто близько, відображені пімпульси приходять до вимірювача так скоро, що він не встигає перебудуватися з передачі на прийом і об'єкт не може бути виявлений.

Тривалість перехідних процесів випромінювача-приймача залежить від багатьох факторів, таких як сумарна коливальна маса, внутрішнє загасання сигналу, особливості механічної конструкції датчика. Так, наприклад, межа сліпої зони для ультразвукових датчиків фірми Pepperl + Fuchs традиційних конструкцій з зонами реагування 1 м і 6 м дорівнює 0,2 м і 0,8 м. Це відповідає «мертвому» часу 1 мс і 5 мс.

Функціональна схема датчика безпосереднього виявлення приведена на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Функціональна схема ультразвукового датчика з суміщеними випромінювачем і приймачем

«Мертва» зона може бути істотно скорочена шляхом застосування схеми, в якій в якості випромінювача і приймача використовуються дві окремі головки датчика. При цьому слід забезпечити максимальну чутливість схеми за рахунок

правильного вибору однієї і тієї ж резонансної частоти для випромінювача і приймача.

Так як величина сліпої зони – найважливіший параметр ультразвукового датчика, багато в чому визначає його успіх на ринку, особлива увага приділяється зменшенню даного параметра. Для цього використовується спосіб відстеження значення порога. На дуже близьких відстанях за час перехідного процесу сигнал встигає багаторазово пройти шлях між сенсором і об'єктом. Точність виявлення істотно знижується через спотворення, що вносяться цим багаторазово відбитими сигналами. При цьому помилка методу зростає дуже швидко зі зменшенням відстані до об'єкта. Це призводить до необхідності компромісу між чутливістю виявлення, ймовірністю «помилкової тривоги» і точністю вимірювання відстані.

Діапазон налаштування – це діапазон діяльностей, в якому забезпечується можливість регулювання датчика «за місцем» з метою його оптимального використання в конкретному застосуванні (з урахуванням характеристик об'єкта і його орієнтації щодо чутливого елемента датчика).

Ультразвукові датчики безпосереднього виявлення забезпечуються набором засобів, що дають можливість гнучкої установки ближньої і дальньої межі вимірювального вікна.

Після виявлення об'єкта у вікні спостереження наступні відбиті сигнали можуть привести до помилкових спрацьовувань. Для усунення цього підсилювач приймального пристрою, який має можливість регулювання посилення, замикається після виявлення об'єкта. (При зондуванні вікна спостереження на граничних дальностях посилення, навпаки, максимально.)

Наявність в датчиках багатьох компаній – регульованого порога перемикачання – дозволяє заодно, і організувати відбудову від перешкод – ехосигналів, що надходять від паразитних об'єктів навколишнього середовища. Ефект придушення ехосигналів показаний на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Придушення завад від збурюючих об'єктів за допомогою регульованого порогу перемикання

Функція придушення ехосигналів від збурюючих об'єктів є одним з переваг сучасних ультразвукових датчиків.

Використовуючи ці можливості, слід враховувати можливі побічні ефекти регульованого порога перемикання, зокрема, зниження чутливості, викликане зменшенням звукового конуса (променя), і скорочення зони реагування.

Додатковим заходом придушення численних відбитих і фонових сигналів є збільшення тривалості пускового імпульсу і, отже, випромінюваних імпульсів. Це призводить до того, що амплітуда коливань випромінювача збільшується не миттєво, а протягом деякого часу. Співвідношення між тривалістю випромінюваного імпульсу і максимальним тиском пружного середовища поширення використовується для узгодження енергії випромінювача з відстанню до об'єкта.

Для невеликих відстаней до об'єкта тривалість пускового імпульсу зменшується. Тим самим зменшується вплив відбитих сигналів від сторонніх об'єктів, розташованих в зоні спрацювання на великих відстанях від чутливої поверхні (торця датчика).

Результати визначення часу проходження сигналу від об'єкта можуть мати деякий розкид, обумовлений зміною стану середовища поширення. Вплив

перешкод може бути ослаблене шляхом статистичної обробки результатів вимірювань – обчислення середньої величини і дисперсії, і відкидання результатів із занадто великим відхиленням від середнього.

У тих застосуваннях, де потрібна висока швидкість вимірювань, може використовуватися спрощений алгоритм відбивання від перешкод. Наприклад, обчислюється і запам'ятовується різниця значень двох останніх вимірювань. Вимірювання відстаней вважається дійсним, коли дві останні вимірні різниці відрізняються незначно. Таким способом можуть бути достовірно виявлені прискорюванні об'єкти. Якщо різниця вимірювань дорівнює нулю, це говорить про те, що об'єкт нерухомий; постійна різниця вказує на рух з постійною швидкістю; змінна різниця вказує на те, що об'єкт рухається з прискоренням.

Для додаткового придушення перешкод при відомій відстані до виявленого об'єкту проводиться узгодження за часом фаз передачі і прийому. Така ж синхронізація використовується при ретрореф-колективному способі виявлення, коли відома відстань від джерела до рефлектора. Сигнали синхронізації керуються підсилювачем приймального тракту датчика, який має змінний коефіцієнт посилення.

Загальною проблемою вимірювань дальності, які базуються на оцінці часу проходження сигналу, є залежність виміряного часу від швидкості поширення звуку. На швидкість звуку в повітрі впливає ряд факторів, таких як температура, атмосферний тиск, вологість і склад повітряного середовища. Для повного врахування всіх цих факторів можна було б використовувати набір датчиків стану повітря і на підставі отриманих даних обчислювати швидкість поширення сигналу в повітрі. Однак це складно і дорого. На практиці досить компенсувати вплив температури, так як саме температура має найбільший вплив на швидкість поширення звуку. Але таким способом можна врахувати перепади температури в межах вимірювального вікна.

Кращі результати дає застосування еталонного датчика, який визначає реальну швидкість звуку, виходячи з часу поширення відбитого сигналу в межах еталонного діапазону. Певна таким способом швидкість поширення звуку може



бути передана через засоби сполучення робочими датчиками або зовнішньому (головному) пристрою обробки інформації.

У тих випадках, коли ультразвукові датчики з близькою робочою частотою розташовані один навпроти одного, пристрій обробки не може розрізнити, чи є ухвалений сигнал його відлуння, або сигналом іншого випромінювача. Звідси випливає, що датчики, змонтовані в межах зони реагування один одного, можуть один одному заважати. Існують різноманітні методи зменшення цього виду взаємних впливів.

Одним з таких методів є застосування вузькосмугових датчиків, що працюють на різних частотах передачі. Однак цей спосіб не вигідний тим, що вимагає проектування вузькосмугового перетворювача для кожної з набору робочих частот.

Кращим способом уникнути взаємного впливу є метод кодування імпульсу. Він полягає в тому, що різні ультразвукові датчики випромінюють зондувальні імпульси не рівномірно в часі, а в певній часовій послідовності, причому кожен ультразвуковий датчик має свою власну часову послідовність. Ці послідовності формуються відповідно до чітко визначених кодів. Кожен приймач вибирає код «свого» передавача.

Цей спосіб хороший тим, що кілька поруч розташованих датчиків з однієї робочою частотою можуть працювати без взаємного впливу. Недоліком способу є те, що передача кодів вимагає більше часу в порівнянні з передачами звичайних блоків імпульсів і максимальна частота зондування зони контролю зменшується.

Ще однією можливістю уникнути взаємного впливу датчиків є застосування постійних, але різних тактових частот (частот проходження блоків імпульсів).

Існують правила визначення безпечних експлуатаційних відстаней, з яких слід дотримуватися для того, щоб уникнути взаємних впливів датчиків. Реально необхідну відстань  $X$ , на яку потрібно розставляти датчики, може залежати від орієнтування і положення об'єкта, який знаходиться в звуковому конусі. Якщо орієнтування об'єкта несприятлива (скажімо, відбитий промінь «засвічує»

сусідній датчик), відстань  $X$  слід збільшити. У разі коли датчики розташовані один навпроти одного, рекомендується інтервал  $XX$  відповідно до рисунку 2.4

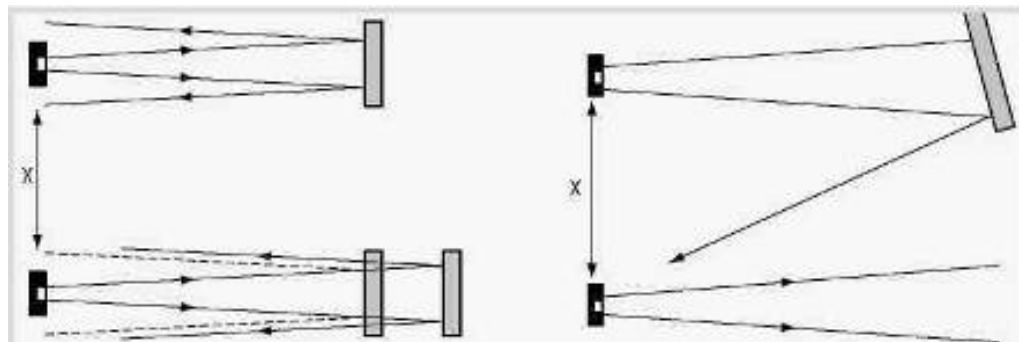


Рисунок 2.4 – Розташування датчиків

Синхронізація фаз прийому і передачі датчика при відомій відстані до об'єкта, допомагає відбиватися також і від перехресних перешкод.

Додатковим засобом боротьби з перехресними перешкодами від безлічі датчиків є синхронізація роботи самих датчиків в паралельному або мультиплексному режимі. У паралельному режимі входи синхронізації всіх датчиків з'єднуються і керуються одночасно. У мультиплексному режимі датчики активізуються по черзі, за циклічним законом. В цьому режимі час циклу зондування дорівнює сумі часів циклів окремих датчиків (якщо датчики однотипні, час циклу просто зростає у стільки разів, скільки датчиків працюють в мультиплексному режимі).

Об'єкти, які виявляються ультразвуковими датчиками, можуть бути твердими, рідкими або порошковими. Характеристики поверхні об'єкта впливають на його здатність, що відбиває і є важливими для обробки датчиком відбитого сигналу. Ідеальне відображення забезпечують всі гладкі поверхні, розташовані під прямим кутом до ультразвукового конусу і мають площу, яка перевищує певний мінімум, зазначений в довідкових даних. Надійне виявлення можливо при розкіді кутів відображення в межах  $\pm 3^\circ$ . Форма об'єкта не має значення. Важливо тільки, щоб площа поперечного перерізу об'єкта, що потрапляє в зону реагування звукового конуса, була не меншою зазначеної в технічних параметрах датчика.

На практиці ультразвуковими датчиками добре виявляються такі об'єкти:

- гладкі і тверді предмети, встановлені під прямим кутом до звукового конусу;
- тверді шорсткі об'єкти, що викликають дифузне відображення, незалежно від орієнтації їх поверхні, поверхні рідких матеріалів, якщо вони відхиляються не більше ніж на  $3^\circ$  від перпендикуляра до осі звукового конуса.

Основною причиною перешкод при застосуванні ультразвукових датчиків є перешкоди реєстрації ехосигналів від об'єктів поблизу датчика або несприятливі параметри об'єкта. У зв'язку з цим виробники приводять в каталозі детекторні характеристики для найбільш відповідальних датчиків. За допомогою детекторних характеристик можливо оцінити, які об'єкти і в яких зонах можуть ініціювати сигнал виявлення.

Для забезпечення належного функціонування датчика потрібно, щоб в межах зони виявлення не було сторонніх предметів. Об'єкт, який необхідно виявити, повинен перебувати в межах гарантованої зони виявлення, при цьому враховуються його форма, розміри і властивості поверхні.

Для впевненого виявлення об'єкта повинен бути забезпечений якісний відбитий сигнал на приймальній мембрані датчика, тому створення хороших умов відбиття від об'єкта істотно покращує надійність функціонування всієї системи виявлення.

Значення часу проходження ультразвукового сигналу формується в приймальному тракті датчика у вигляді аналогового сигналу. Виробниками пропонуються комбіновані датчики виявлення, мають як комутаційний, так і аналоговий вихід. У них є можливість завдання кордонів вимірювального вікна всередині діапазону виявлення.

Аналоговий вихід в різних моделях датчиків може забезпечувати вихідний струмовий сигнал 4 ... 20 мА або вихідний рівень напруги 0 ... 10 В. Є також датчики з можливістю автоматичного перемикавання типу виходу (струм / напруга) в залежності від виду навантаження.

Межі вимірювального вікна в різних моделях датчиків можуть регулюватися:

- двома потенціометрами;
- за допомогою кодуєчих перемикачів;
- завданням параметрів через інтерфейс.

Існують датчики з цифровою обробкою сигналу, в яких передбачений цифровий інтерфейс із зовнішнім пристроєм обробки інформації. Зазвичай використовується інтерфейс RS-232. Наявність цифрового інтерфейсу уможливорює змістовний діалог між датчиком і керуючим пристроєм, що підвищує гнучкість застосування датчика і дозволяє повніше використовувати його можливості.

Цифровий інтерфейс забезпечує введення параметрів, необхідних для обробки сигналу. Параметрами можуть бути, скажімо, межі діапазону виявлення, тип перемикача виходу (нормально закритий або нормально відкритий), режим зондування (безперервний або разовий), параметри середовища (наприклад, температура, виміряна в зоні виявлення).

За допомогою одного датчика можна проконтролювати наявність об'єкта в зоні виявлення і визначити відстань до нього. Датчики мають також два додаткових перемикачів виходу.

Крім датчиків з регульованими параметрами, які налаштовуються контролером в залежності від оточуючих умов, існують датчики, що мають можливість самонавчання. Вони здатні запам'ятовувати діаграму відбитого сигналу при включенні або при активізації процесу конфігурації. Після закінчення конфігурації (процес teach-in) знову надходять відбиті сигнали, і порівнюються з успішною реєстрацією. Датчик реагує тільки на ті відбиті сигнали, які відмінні від запам'ятованих. Таким способом вплив сторонніх об'єктів в діапазоні виявлення може бути виключено.

Новітнє покоління ультразвукових датчиків завдяки максимальному використанню можливостей і досягнень мікроелектроніки характеризується дуже малими обсягами і можливістю установки в корпусах типорозмірів M12 і M18, що мають довжину всього 70 і 75 мм. В такому невеликому обсязі реалізовано безліч складних функцій: teach-in (попереднє конфігурування),

синхронізація, температурна компенсація та інші. Датчики забезпечують безконтактне виявлення об'єктів в діапазонах 30 ... 400 мм і 50 ... 500 м.

Приклад застосування інтелектуальних датчиків: пристрої, розроблені спеціально для визначення рівня заповнення резервуара, запам'ятовують відбитий сигнал при порожньому резервуарі. При цьому фіксуються всі відображення від технологічної оснастки, вбудованої в резервуар, такий як мішалки, нагрівальні спіралі або аварійні трапи. При зміні рівня заповнення картина відображень порівнюється з вихідною. Виявленими вважаються об'єкти, які не були присутні при попередньому конфігурації. Випадкові сигнали перешкод виключаються в ході перевірки на достовірність.

## 2.2 Автоматизація вимірювання

Зростання кількості вимірювань, наростання складності апаратури, підвищення вимог до точності, розширення використання математичних методів обробки результатів вимірювань і виявлення помилок призводить до значного зростання трудомісткості і вартості вимірювань і вимагає створення спеціалізованих автоматизованих засобів вимірювань.

Сучасні об'єкти досліджень досить складні. Складність визначається зростанням числа контрольованих і вимірюваних сигналів і параметрів, вибором їх діапазонів, підвищенням вимог до точності і швидкодії. Можливості оператора обмежені при сприйнятті і обробці великих обсягів інформації. Дані проблеми призводять до необхідності автоматизації вимірювань і, отже, до зниження навантаженості і ролі оператора в процесі вимірювань, при контролі якості процесів і продукції, при випробуваннях об'єктів і керуванні.

Перехід до побудови цифрових засобів вимірювань привів до створення автоматизованих вимірювальних систем з використанням мікропроцесорів, використання яких дозволило не тільки збільшити точність і швидкодію приладів нового покоління, а й розробити «інтелектуальні» пристрої

вимірювань. Ці пристрої здатні виробляти управління процесом вимірювання, здійснювати автокалібрування, вибирати межі вимірювання, обробляти результати вимірювання і представляти їх оператору в впорядкованій і зручній формі.

Автоматизація вимірювань і контролю виробничого процесу забезпечує не тільки високу швидкість і точність вимірювань, але також виключає можливі суб'єктивні помилки оператора і дає іноді можливість мати певний документ реєстрації вимірювання і контролю. Вона складається з двох розділів: автоматизація власне вимірювань і автоматизація запису результатів вимірювань.

Концепція автоматичного керування розвивалася як один з розділів технічної механіки. Зокрема, фахівці в цьому напрямку розробляли принципи керування електричними машинами і паровими котлами, але не виходячи за рамки електротехніки. У міру свого розвитку теорія систем автоматичного керування стала визначати функціональні органи робочої структури в якості повноцінних об'єктів, що впливають на виробничий процес. Таким чином була виявлена ціла спільність взаємозалежних процесів керування, укладених в одну динамічну модель. На сучасному етапі розвитку теоретики автоматичних систем вивчають принципи їх побудови, а також закономірності процесів, що протікають всередині готових моделей. На якість роботи, точність і гнучкість в плані адаптації систем впливають такі фактори, як умови роботи, призначення пристрою, конструкційні особливості.

Автоматика – галузь науки і техніки, що охоплює теорію і принципи побудови систем керування, що діють без безпосередньої участі людини; у вузькому сенсі - сукупність методів і технічних засобів, що виключають участь людини при виконанні операцій конкретного процесу.

Як наука автоматика виникла на базі теорії автоматичного регулювання. Історія атоматики. як галузі техніки тісно пов'язана з розвитком автоматів, автоматичних пристроїв і автоматизованих комплексів. У стадії становлення вона спиралася на теоретичну механіку і теорію електричних ланцюгів і систем і вирішувала завдання, пов'язані з регулюванням тиску в парових котлах, ходу

поршня парових і частоти обертання електричних машин, керування роботою верстатів – автоматів, пристроями релейного захисту. Відповідно і технічні засоби в цей період розроблялися і використовувалися стосовно систем автоматичного регулювання. Інтенсивний розвиток усіх галузей науки і техніки в кінці 1-ої половини 20 ст. викликало також швидке зростання техніки автоматичного керування, застосування якої стає загальним.

Друга половина 20 ст. ознаменувалася подальшим вдосконаленням технічних засобів автоматики і широким, хоча і нерівномірним для різних галузей народного господарства, поширенням автоматичних керуючих пристроїв з переходом до більш складних автоматичних систем, зокрема в промисловості – від автоматизації окремих агрегатів до комплексної автоматизації цехів і заводів. Суттєвою рисою є використання автоматизації на об'єктах, територіально розташованих на великих відстанях один від одного, наприклад великі промислові та енергетичні комплекси, системи управління космічними літальними апаратами та інше. Для зв'язку між окремими пристроями в таких системах застосовуються засоби телемеханіки, які спільно з пристроями керування і керованими об'єктами утворюють телеавтоматичні системи. Велике значення при цьому набувають технічні засоби збору і автоматичної обробки інформації. Багато завдань в складних системах автоматичного керування можуть бути вирішені тільки за допомогою обчислювальної техніки. Нарешті, теорія автоматичного регулювання поступається місцем узагальненій теорії автоматичного управління, що об'єднує всі теоретичні аспекти і становить основу загальної теорії керування.

Автоматизація – один із напрямів науково-технічного прогресу, з застосуванням саморегулюючих технічних засобів, економіко-математичних методів і системам управління, які звільняють людини від участі у процесах отримання, перетворення, передачі й використання матеріалів чи інформації, які зменшують ступінь участі людини у виконанні цих операцій, чи трудоємність виконуваних операцій. Потребує додаткового застосування датчиків (сенсорів), пристроїв введення, управляючих пристроїв (контролерів), виконавчих

пристроїв, пристроїв виведення, використовують електронну техніку й методи обчислень, іноді копіюють нервові і мислені функції людини.

Мета автоматизації – підвищення продуктивності праці, поліпшення якості продукції, оптимізація управління, усунення людини від виробництв, небезпечних для здоров'я, підвищення надійності і точності виробництва, збільшення конвертованості і зменшення часу обробки даних.

Автоматизована система керування – комплекс апаратних і програмних засобів, призначених для керування різними процесами в рамках технологічного процесу, виробництва, підприємства. Ця система застосовується в різних галузях промисловості, енергетиці, транспорті тощо. Автоматизована система управління – це сукупність математичних методів, технічних засобів і організаційних комплексів, що забезпечують раціональне керування складним об'єктом або процесом, відповідно до вказаної мети.

Найважливіше завдання автоматизованої системи керування – підвищення ефективності керування об'єктом на основі зростання продуктивності праці і вдосконалення методів планування процесу керування.

Узагальненою метою автоматизації керування є підвищення ефективності, використання потенційних можливостей об'єкта керування. Таким чином, можна виділити ряд цілей автоматизації керування:

- прискорення виконання окремих операцій зі збору та обробки даних;
- підвищення рівня контролю та виконачої дисципліни;
- підвищення оперативності керування;
- зниження затрат особи, яка приймає рішення на виконання допоміжних процесів;
- підвищення ступеня обгрунтованості прийнятих рішень.

До складу автоматизованих систем керування входять наступні види забезпечень:

- інформаційне;
- програмне;
- технічне;
- організаційне.



Умовно модель будь якої діяльності можна представити як систему, що складається з об'єкта (пізнання, управління, трансформації) і деякої впливаючої на нього системи – системи керування. Система керування може бути повністю автоматичною, (тобто взаємодіяти з об'єктом без участі людини), неавтоматизованою (тобто не має в складі компютера), і автоматизованою (тобто містить як людей, так і комп'ютери).

Точність системи, одна з найважливіших характеристик систем автоматичного керування, яка визначає ступінь наближення реального керованого процесу до необхідного. Відхилення цього керованого процесу від необхідного викликається динамічними властивостями об'єкта керування, помилками вимірювальних і виконавчих пристроїв, що входять в систему, внутрішніми шумами в деяких її елементах і зовнішніми перешкодами. Воно складається з систематичної і випадкової помилок. Систематична помилка є математичним очікуванням випадкового відхилення керованого процесу від необхідного. Випадкова помилка зазвичай характеризується дисперсією, середнім квадратичним відхиленням (в разі одновимірного процесу) або кореляційною матрицею (в разі багатовимірного керованого процесу). Співвідношення між систематичною і випадковою помилками визначається смугою пропускання системи (діапазоном частот коливань вхідного сигналу, на які система помітно реагує). З розширенням смуги пропускання система стає менш інерційною і систематична помилка зменшується, однак при цьому збільшується дисперсія випадкової помилки. Тому при проектуванні такої системи шукають деяке компромісне рішення задачі вибору смуги пропускання.

Автоматизованими засобами вимірювань вважають автономні непрограмовані прилади та гнучкі вимірювальні системи, побудовані на базі цифрової техніки. Автономні непрограмовані прилади працюють за жорсткою програмою і призначені для вимірювань певних параметрів сигналів. Такі системи дозволяють програмним способом перебудувувати систему для вимірювання різних фізичних величин і міняти режим вимірювань. При цьому апаратна частина вимірювальної системи не змінюється.

Найбільш потужні типи гнучких вимірювальних систем – вимірювально-обчислювальні комплекси – створюються шляхом об'єднання в одну вимірювальну систему комп'ютера, вимірювальних приладів і пристроїв відображення інформації. Зв'язок між комп'ютером і всіма іншими вузлами і їх сумісність забезпечуються за допомогою сукупності апаратних, програмних і конструктивних засобів.

В даний час в багатьох вимірювальних системах застосовуються персональні комп'ютери. Це перш за все пов'язано з тим, що комп'ютер робить вимірювальну систему виключно гнучкою, так як користувач може легко змінити його програмне забезпечення. Комп'ютерні вимірювальні системи об'єднують засоби вимірювання, обробки, обчислень і керування на власній шині персонального комп'ютера.

Під автоматизацією обробки вимірювальної інформації розуміють автоматизацію отримання, зберігання і аналізу даних.

Для автоматизації збору інформації необхідно забезпечити уніфікацію вихідних сигналів вимірювальних перетворювачів фізичних величин, програмно-керовану комутацію цих сигналів на загальний канал зв'язку, автоматичний вибір діапазонів вимірювання.

Включення в вимірювальний ланцюг обчислювальних засобів дозволяє значно підвищити точність вимірювальних пристроїв. Обчислювальні засоби можуть бути виконані на основі як універсальних, серійно випущених персональних комп'ютерів, так і шляхом розробки спеціалізованих машин. Для мети вимірювання можуть застосовуватися як аналогові, так і цифрові обчислювальні засоби, причому останні придбали в даний час більш широке поширення в зв'язку з розвитком мікропроцесорних засобів.

В процесі розробки керуючих систем на базі автоматики центральне місце відводиться створенню алгоритму функціональної структури. На першому етапі побудови збираються необхідні вихідні дані, серед яких властивості керованого об'єкта, завдання керування, характер зовнішніх впливів, вимоги до точності контролю і та інше. Далі опрацьовуються техніко-експлуатаційні якості контролера керування автоматичними системами. Пристрій цієї частини як

центрального функціонального органу нагадує технічний виконавчий механізм, який буде повідомляти команди керованому об'єкту. На даній інфраструктурі замикається ланцюг робочих елементів системи, властивості якої визначаються один раз спочатку і можуть змінювати окремі значення також в заданих діапазонах. На цьому і ґрунтується принцип незмінної структури системи керування. Вона залишається незмінною в тому сенсі, що її характеристики встановлюються до безпосередньої побудови керуючого алгоритму.

Принцип компенсації закладається в алгоритм системи керування з метою підвищення точності контролю і скорочення ймовірності помилок. Необхідність реалізації компенсуючих контурів в алгоритмі пов'язана з недосконалістю прямого автоматичного контролю. Наприклад, в процесі подачі сигналів оператор може регулярно міняти конфігурацію діючих команд відповідно до урахування найдрібніших впливів на систему. Автоматика, в свою чергу, прораховує лише обмежені набори умов і поточні властивості об'єкта.

Як же будується робота системи автоматичного керування з ефектом компенсації. Можливі відхилення регульованої величини від необхідних значень нівелюються шляхом впливу через зворотний зв'язок. Спеціально для виконання подібних коригувань керуючі контури доповнюються допоміжними командними лініями, які в постійному режимі стабілізують динамічні властивості системи. На цих принципах працюють багатоконтурні системи з багатозв'язаним керуванням або одночасним регулюванням декількох параметрів цільового об'єкта.

Керуючі системи в основному розрізняються за цілями контролю, способом передачі команд і видам контурного зв'язку. Спочатку ставилися завдання підтримки певних законів вимірювання. У цій групі можна виділити системи програмного керування, відстежувальні пристрої та інші механізми, що функціонують строго за певними параметрами. Сьогодні ж, у міру розвитку інтелектуальних принципів контролю, ускладнилися і завдання технічних засобів – це може бути цілий комплекс завдань, для вирішення яких використовуються не тільки закладені оператором дані, але і динамічні показники, виведені за алгоритмами із застосуванням і значень від сполученого вимірювального обладнання .

За способами трансляції команд і керування в цілому виділяють самонастроювані, самоорганізуючі і ті системи, які самонавчаються. Безпосередньо взаємодія між компонентами керуючого пристрою може базуватися на аналогових контурах і сучасних бездротових модулях.

В результаті аналізу цілей керування формується набір конкретних технологічних функцій, які можуть бути представлені у вигляді окремих завдань або комплексу операцій. У загальному вигляді елементи функціональної дії ґрунтуються на таких завданнях, як прогнозування і планування, контроль, облік, аналіз, регуляція і координація. На нижчих структурних ланках реалізується точковий функціонал автоматичної системи керування – це операції формування конкретних впливів на підконтрольний об'єкт. Зокрема, завдання обробки інформації можуть бути представлені зберіганням, пошуком, відображенням і перетворенням даних.

Хоча головною метою побудови автоматичних контролерів є керуючий функціонал, навіть найпростіші системи в обов'язковому порядку включають засоби вимірювання та обліку. Від інформаційних датчиків, обчислювальних машин і сенсорів на контролери надходять робочі дані. Це показники, на основі яких мікропроцесори, зокрема, дають команди виконавчим механізмам. Наприклад, автоматичне керування технічними системами на фізичному рівні може реалізовуватися через електромагнітні пристрої з елементами запірної арматури.

Зміна умов роботи більшості систем в сучасному світі виникає нагальна потреба створення моделей їх адаптації. Звичайно, подібні завдання можуть виконуватися і вручну, але такий підхід суперечить самій концепції автоматичного керування. Тому створюються нові теорії навчання, адаптації та самоорганізації контролюючих систем. Найбільш перспективними напрямками в цій області можна назвати системи зворотного зв'язку, пристрої розпізнавання образів і теорію штучного інтелекту. Об'єднуються ж принципи навчання в кожному з цих випадків тим, що система самостійно вибирає тактику подальших дій виходячи з широкого спектру даних про свій стан - на сьогоднішній день вже стандартними стали відомості про температуру, вологість, вібрації та інші.

Цілі, які ставлять перед собою розробники сучасних пристроїв контролю і керування, вийшли далеко за межі простих завдань саморегуляції механізмів. У сьогоденнішньому розумінні перспективна автоматична система керування – це багатофункціональний комплекс, здатний виконувати завдання проектування і обслуговування процесів колективної комунікації між групами співробітників. Подібні системи вимагають чималих витрат на впровадження і подальше навчання, але зниження виробничих витрат вже в процесі експлуатації виправдовує такі вкладення.

### 2.3 Загальні технічні вимоги до резервуарів

Кожен резервуар, що входить в експлуатацію повинен відповідати проекту, мати технічний паспорт та бути оснащений повним комплектом справного обладнання, передбаченого проектом і відповідає відповідним нормативним документам.

Для кожного резервуара повинна бути визначена базова висота.

Базову висоту перевіряють:

- щорічно в літній час;
- після зачистки резервуару;
- після капітального ремонту.

До вимірювального люка, який встановлений на даху резервуара, прикріплюють табличку, на якій вказують:

- номер резервуара;
- значення базової висоти;
- номер свідоцтва про повірку, після якого через вертикальну або горизонтальну риску вказують рік проведення повірки.

Табличку виготовляють з металу, стійкого до впливу нафтопродуктів, атмосферних опадів, і кріплять таким чином, щоб її неможливо було зняти без

руйнування провірного тавра. Встановлюють табличку після первинної перевірки і змінюють після кожної періодичної перевірки резервуара.

Резервуар, після закінчення монтажних робіт і гідравлічних випробувань, підлягає первинному калібруванню (визначення місткості). Калібрування резервуара проводиться також при внесенні до резервуара конструктивних змін, що впливають на його місткість, після капітального ремонту, а також після закінчення терміну дії градуовальної таблиці (періодична калібрування). Інтервал між перевіркою для всіх типів резервуарів повинен бути не більше 5 років. Результати перевірки резервуара оформлюються свідоцтвом про перевірку, до якого додається:

- градуовальна таблиця;
- протокол калібрування;
- ескіз резервуара;
- журнал обробки результатів вимірювань при калібруванні.

Резервуари поділяються на типи в залежності від призначення і умов експлуатації.

В якості основних типів застосовуються резервуари сталеві вертикальні і горизонтальні.

Залежно від обсягу та місця розташування резервуари поділяються на три класи:

- клас I – особливо небезпечні резервуари: обсягами 10000 м<sup>3</sup> і більше; резервуари обсягами 5000 м<sup>3</sup> і більше, розташовані безпосередньо на берегах річок, великих водойм і в межах міської забудови;
- клас II – резервуари підвищеної небезпеки: обсягами від 5000 м<sup>3</sup> до 10000 м<sup>3</sup>;
- клас III – небезпечні резервуари: обсягами від 100 м<sup>3</sup> до 5000 м<sup>3</sup>.

Горизонтальні резервуари можна розташовувати на поверхні або під землею. Горизонтальні резервуари встановлюють і кріплять так, щоб при заповненні та спорожненні не виникали істотні зміни місткості, наприклад, внаслідок деформації, прогинів або зсуву резервуара, міток відліку і вбудованих деталей.

При першому заповненні резервуара з понтоном нафтопродуктом необхідно заповнити його до рівня, що забезпечує відрив понтона від опорних стійок, і витримати в такому положенні 24 години, зробити огляд понтона і переконатися в його герметичності. Після чого ввести резервуар в експлуатацію.

Резервуари з захисною стінкою складаються з основного (внутрішнього резервуара), призначеного для зберігання продукту, і захисного (Зовнішнього резервуара), призначеного для утримання продукту в разі аварії або порушення герметичності основного резервуара.

Основний резервуар може виконуватися зі стаціонарним дахом або з плаваючим дахом.

Захисний резервуар виконується у вигляді відкритої «склянки», в якій встановлений основний резервуар. При наявності на захисному резервуарі атмосферного козирка, що перекриває міжстінний простір між зовнішньою і внутрішньою стінками, повинна бути забезпечена вентиляція міжстінного простору шляхом встановлення вентиляційних патрубків, рівномірно розташованих по периметру на відстані не більше 10 м один від друга.

Висота стінки захисного резервуара повинна становити не менше 80% від висоти стінки основного резервуара.

Випробування резервуарів із захисною стінкою повинні виконуватися в два етапи:

- перший – випробування основного резервуара;
- другий – випробування захисного резервуара.

Гідравлічне випробування захисного резервуара слід проводити при заповненні основного резервуара на висоту стінки захисного резервуара шляхом подачі води в міжстінний простір до проектного рівня.

Сталеві двостінні резервуари для наземного і підземного зберігання нафтопродуктів мають найбільшу експлуатаційною надійністю.

Резервуари оснащені необхідною арматурою для приєднання до технологічних систем, а також системами і приладами контролю герметичності міжстінного простору.

Міжстінний простір резервуара може бути заповнений інертним газом - азотом або спеціальною рідиною – етиленгліколь.

Рідиною має бути заповнено весь міжстінний простір резервуара. Міжстінний простір повинен оснащуватися системою відкачування з нього рідини закритим способом. Можливість утворення повітряного простору при збільшенні щільності рідини за рахунок зниження температури навколишнього повітря повинна бути виключена (наприклад за рахунок пристрою розширювального бака).

Резервуари обладнуються відповідно до проектів.

Для сталевих вертикальних циліндричних резервуарів застосовується наступне обладнання:

- дихальні клапани;
- запобіжні клапани;
- стаціонарні знижені пробовідбірники;
- вогневі запобіжники;
- прилади контролю та сигналізації;
- протипожежне обладнання;
- сифонний водоспускарний крап;
- вентиляційні патрубки;
- приймальні патрубки;
- люки-лази;
- люки світлові;
- люки вимірювальні.

Для контролю тиску в резервуарах рекомендується встановлювати автоматичні сигналізатори граничних значень тиску і вакууму та інші прилади.

Резервуари, які в холодний період року заповнюються нафтопродуктами з температурою вище 0 ° С, слід оснащувати непромерзаючими дихальними клапанами.



## 3 РОЗРОБКА І АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ

### 3.1 Вибір середовища для розробки пристрою

Arduino являє собою досить простий інструмент для створення електронних пристроїв і втілення в життя різних ідей. Це платформа побудована на друкованій платі з інтегрованим середовищем для написання програмного забезпечення. Платформа може приймати цифрові і аналогові сигнали з різних пристроїв і має можливість керування різними виконуваними модулями.

Arduino – це ефективний засіб розробки програмованих електронних пристроїв, які, на відміну від персональних комп'ютерів, орієнтовані на тісну взаємодію з навколишнім світом. Це відкрита програмована апаратна платформа для роботи з різними фізичними об'єктами, яка являє собою просту плату з мікроконтролером, а також спеціальне середовище розробки для написання програмного забезпечення мікроконтролера.

Платформа може використовуватися для розробки інтерактивних систем, керованих різними датчиками і перемикачами. Такі системи, в свою чергу, можуть керувати роботою різних індикаторів, двигунів та інших пристроїв. Проекти Ардуіно можуть бути як самостійними, так і взаємодіяти з програмним забезпеченням, що працює на персональному комп'ютері (наприклад, додатками Flash, Processing, MaxMSP). Будь-яку плату Ардуіно можна зібрати вручну або ж купити готовий пристрій; середовище розробки для програмування такої плати має відкритий вихідний код і повністю безкоштовна.

Існує безліч інших мікроконтролерів і мікропроцесорних пристроїв, призначених для програмування різних апаратних засобів: Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, Phidgets, MIT's Handyboard і багато інших. Всі ці пристрої пропонують схожу функціональність і покликані звільнити користувача від необхідності заглиблюватися в дрібні деталі внутрішнього світу мікроконтролерів, надавши йому простий і зручний інтерфейс для їх програмування. Ардуіно також спрощує процес роботи з мікроконтролерами,

але на відміну від інших систем надає ряд переваг для викладачів, студентів і радіоаматорів. Одна з них це – низька вартість. У порівнянні зі схожими апаратними платформами, плати Ардуіно мають відносно низьку вартість: готові модулі Ардуіно коштують не дорожче 50 \$, а можливість зібрати плату вручну дозволяє максимально заощадити кошти і отримати Ардуіно за мінімальну ціну.

Кросплатформеність – програмне забезпечення Ардуіно працює на операційних системах Windows, Macintosh OSX і Linux, в той час, як більшість подібних систем орієнтовані на роботу тільки в Windows.

Середовище програмування зрозуміле і просте для початківців, але при цьому досить гнучке для просунутих користувачів. Воно засноване на середовищі програмування Processing, що може бути зручно для викладачів. Завдяки цьому, студенти, які вивчають програмування в середовищі Processing, зможуть легко освоїти Ардуіно.

Розширюване програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом. Програмне забезпечення Ардуіно має відкритий вихідний код, завдяки цьому досвідчені програмісти можуть змінювати і доповнювати його. Можливості мови Ардуіно можна також розширювати за допомогою C++ бібліотек. Завдяки тому, що вона заснована на мові AVR C, просунуті користувачі, що бажають розібратися в технічних деталях, можуть легко перейти з мови Ардуіно на C або вставляти ділянки AVR-C коду безпосередньо в програми.

Завдяки тому, що всі схеми модулів Ардуіно опубліковані під ліцензією Creative Commons, досвідчені інженери і розробники можуть створювати свої версії пристроїв на основі існуючих. І навіть звичайні користувачі можуть збирати дослідні зразки Ардуіно для кращого розуміння принципів їх роботи і економії коштів.

Arduino Uno контролер побудований на ATmega328. Платформа має 14 цифрових входів / виходів (6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ), 6 аналогових входів, кварцовий генератор 16 МГц, роз'єм USB, силовий роз'єм, роз'єм ICSP і кнопку перезавантаження. Для роботи необхідно підключити

платформу до комп'ютера за допомогою кабелю USB, або подати живлення за допомогою адаптера AC / DC або батареї.

На рисунку 3.1 зображено плату Arduino Uno.

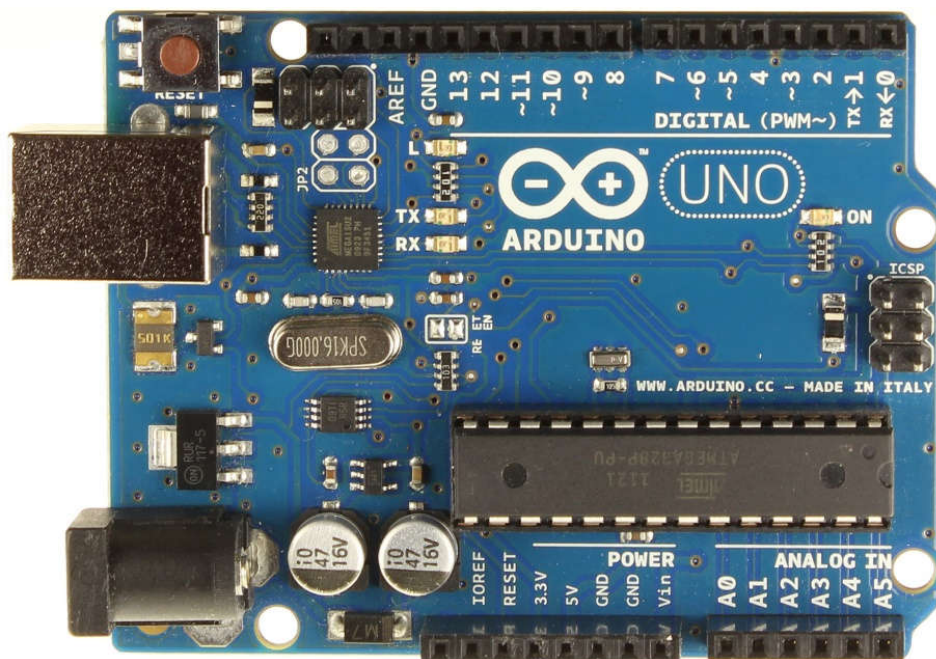


Рисунок 3.1 – Вигляд плати Arduino Uno

На відміну від всіх попередніх плат, які використовували FTDI USB мікроконтролер для зв'язку з USB, новий Ардуіно Uno використовує мікроконтролер ATmega8U2.

"Uno" перекладається як один з італійського і розробники тим самим натякають на прийдешній вихід Arduino 1.0. Нова плата стала флагманом лінійки плат Ардуіно. Для порівняння з попередніми версіями можна звернутися до повного списку плат Arduino .

Таблиця 3.1 – Характеристики плати Arduino Uno.

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Мікроконтролер                | ATmega328   |
| Робоча напруга                | 5 В   |
| Вхідна напруга(рекомендована) | 7-12 В  |
| Вхідна напруга(гранична)      | 6-20 В  |
| Цифрові входи/виходи          | 14(6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ) |

### Продовження таблиці 3.1

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Аналогові входи                     | 6  |
| Постійний струм через вхід/вихід    | 40 мА  |
| Постійний струм для виведення 3.3 В | 50 мА  |
| Флеш пам'ять                        | 32 Кб (Atmega328) з яких 0.5 кб використовується для завантажувача |
| ОЗУ                                 | 2 Кб (Atmega328)   |
| EEPROM                              | 1 Кб (Atmega328)   |
| Тактова частота                     | 16 МГц   |

Arduino Uno може отримувати живлення через підключення по USB або від зовнішнього джерела живлення. Джерело живлення вибирається автоматично.

Зовнішнє живлення (Не USB) може подаватися через перетворювач напруги AC / DC (блок живлення) або акумуляторною батареєю. Перетворювач напруги підключається за допомогою роз'єму 2.1 мм з центральним позитивним полюсом. Провід від батареї підключаються до висновків Gnd і Vin роз'єму живлення.

Платформа може працювати при зовнішньому живленні від 6 В до 20 В. При напрузі живлення нижче 7 В, вивід 5V може видавати менше 5 В, при цьому платформа може працювати нестабільно. При використанні напруги вище 12 В регулятор напруги може перегрітися і пошкодити плату. Рекомендований діапазон від 7 В до 12 В.

Виводи живлення:

– VIN – вхід використовується для подачі живлення від зовнішнього джерела (за відсутності 5 В від роз'єму USB або іншого регульованого джерела живлення). Подача напруги живлення відбувається через даний вивід.

– 5V – регульоване джерело напруги, що використовується для живлення мікроконтролера і компонентів на платі. Живлення може подаватися від виведення VIN через регулятор напруги, або від роз'єму USB, або іншого регульованого джерела напруги 5 В.

- 3V3 – напруга на виводі 3.3 В генерується вбудованим регулятором на платі. Максимальне споживання струму 50 мА.
- GND – вивід заземлення.

Вибір датчика є складним завданням для будь-якої системи проектування.

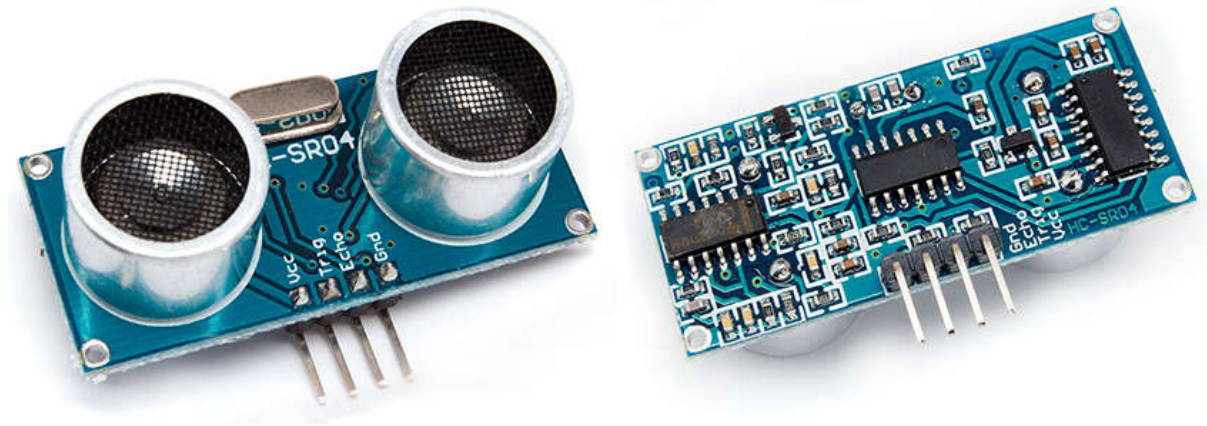


Рисунок 3.2 – Модуль HC-SR04

Модуль HC-SR04 – це безконтактний ультразвуковий далекомір, що вимірює відстань від модуля до будь-якого об'єкта(рисунок 3.2). За командою, модуль генерує вісім ультразвукових імпульсів частотою 40кГц, після чого переходить в режим прослуховування, і фіксує час за яке ці імпульси відбилися від об'єкта і повернулися назад. Далі, шляхом нескладних обчислень, це час переводиться в відстань до об'єкта. Таким чином, чим швидше повернуться імпульси назад, тим ближче об'єкт до модуля.

Як і будь-який інший пристрій, модуль HC-SR04 володіє як перевагами над іншими дальномерами, так і недоліками.

До переваг можна сміливо віднести ціну, простоту і доступність. Так само на свідчення далекоміра не впливають засвічення від сонця, колір і прозорість об'єкта.

Недоліком цього датчика є те, що він погано реагує на пухнасті і тонкі предмети. Відсутність різних режимів і інтерфейсів.

Точність датчика залежить від декількох факторів:

- температури і вологості повітря;
- відстані до об'єкта;

- розташування щодо датчика (згідно діаграми випромінювання);
- якості виконання елементів модуля датчика.

В основу принципу дії будь-якого ультразвукового датчика закладено явище відображення акустичних хвиль, що поширюються в повітрі. Але як відомо з курсу фізики, швидкість поширення звуку в повітрі залежить від властивостей цього самого повітря (в першу чергу від температури). Датчик ж, випускаючи хвилі і заміряючи час до їх повернення, не здогадується, в який саме середовищі вони будуть поширюватися і бере для розрахунків деяку середню величину. В реальних умовах через фактора температури повітря HC-SR04 може помилятися від 1 до 3-5 см.

Фактор відстані до об'єкта є важливим, тому що росте ймовірність відбиття від сусідніх предметів, до того ж і сам сигнал загасає з відстанню.

Також для підвищення точності треба правильно направити датчик: зробити так, щоб предмет був в рамках конуса діаграми спрямованості. Простіше кажучи, "очі" HC-SR04 повинні дивитися прямо на предмет.

Для зменшення помилок і похибки вимірювань зазвичай за допомогою датчиків (наприклад, DHT11 або DHT22 ) визначається температура і вносяться поправочні коефіцієнти.

Характеристики HC-SR04 модуля:

- робоча напруга: 5 В;
- робочий струм: 15 мА;
- споживання в режимі тиші: 2 мА;
- робоча частота: 40Гц;
- діапазон вимірювань: 2-400 см;
- ефективний кут: 15 °;
- робочий кут спостереження: 30 °;
- діапазон робочих температур: 0 ° С до 60 ° С ( $\pm 10\%$ );
- розміри: 45x20x15 мм.

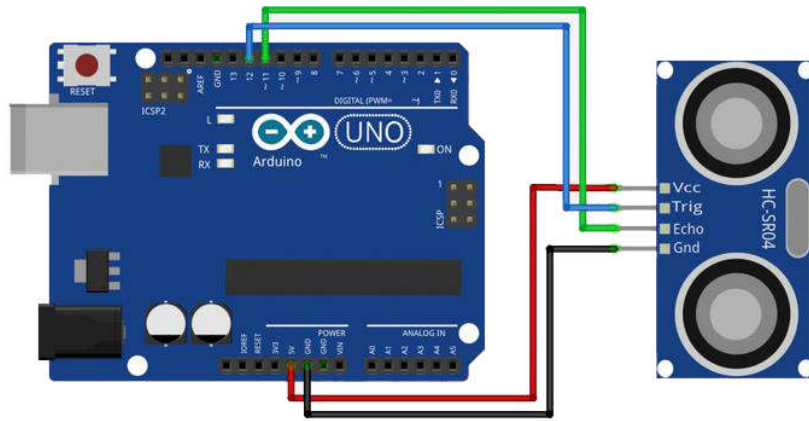


Рисунок 3.3 – Підключення HC-SR04 модуля до Arduino

Виводи підключення модуля(рисунок 3.3):

- vcc – живлення 5В;
- trig – цифровий вхід. Для запуску вимірювання необхідно подати на цей вхід логічну одиницю на 10 мкс. Наступне вимірювання рекомендується виконувати не раніше ніж через 50 мс;
- echo – цифровий вихід. Після завершення вимірювання, на цей вихід буде подана логічна одиниця на час, пропорційне відстані до об'єкта.
- GND – земля.

Принцип роботи модуля HC-SR04 показаний на рисунку 3.4.

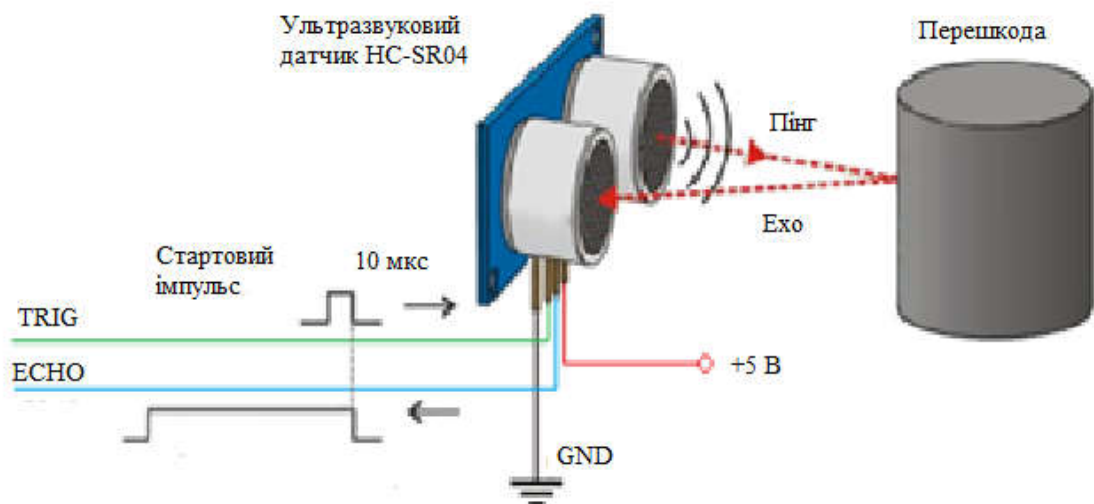


Рисунок 3.4 – Принцип роботи

Якщо подати позитивний імпульс на вхід датчика TRIG тривалістю 10 мкс, то датчик відправить звукову хвилю (8 імпульсів на частоті 40 кГц - ультразвук) і встановить рівень логічної «1» на виході ЕСНО. Звукова хвиля відіб'ється від перешкоди і повернеться на приймач датчика, після чого він скине рівень на виході ЕСНО в логічний «0» (те ж саме датчик зробить, якщо звукова хвиля не повернеться в перебігу 38 мс.) В результаті час наявності логічної «1» на виході ЕСНО одно часу проходження ультразвукової хвилі від датчика до перешкоди і назад. Знаючи швидкість поширення звукової хвилі в повітрі і час наявності логічної «1» на виведенні ЕСНО, можна розрахувати відстань до перешкоди.

Ультразвукові датчики відстані досить універсальні і точні, що дозволяє їх використовувати для більшості проектів. Датчик HC SR04 легко підключається до плати Ардуіно (для цього слід відразу передбачити два вільних Піна, але є варіант підключення і з одним піном). Для роботи з датчиком існують кілька безкоштовних бібліотек, але можна обійтися і без них - алгоритм взаємодії з внутрішнім контролером датчика досить простий.

Arduino IDE – програмне забезпечення для користувачів операційної системи Windows, що дозволяє писати свої програми (скетчі) для платформи Arduino. Arduino IDE складається з досить простого текстового редактору коду, менеджера проектів, компілятора та модуля для завантаження прошивки в мікроконтролер. Це інтегроване середовище написане на Java і базується на Processing та іншому програмному забезпеченні з відкритим кодом. На відміну від онлайн-версії редактора коду (Arduino Web Editor), настільною версією можна користуватися за відсутності інтернету.

Недоліки Arduino IDE:

- програма не розрахована на роботу зі складними системами;
- робота окремих версій, за словами користувачів, характеризується нестабільністю.

Мова програмування Arduino є стандартним C++ (використовується компілятор AVR-GCC) з деякими особливостями, що полегшують написання програм новачкам у цій справі.

Інтерфейс Arduino IDE зображено на рисунку 3.5.



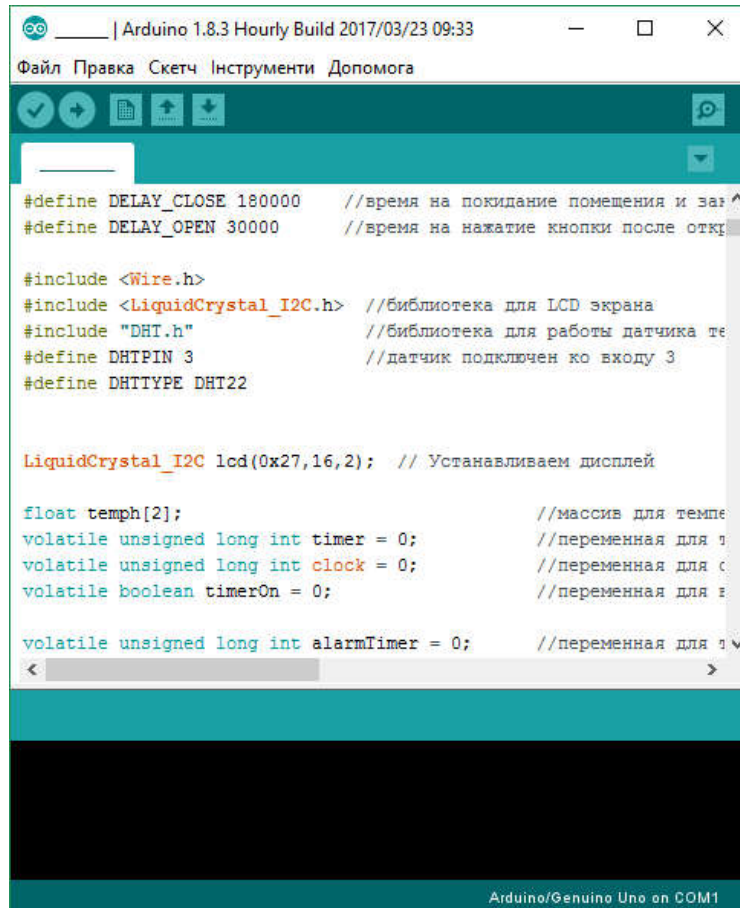


Рисунок 3.5 – Интерфейс Arduino

Мікроконтролер ATmega328 поставляється з записаним завантажувачем, що полегшує запис нових програм без використання зовнішніх програматорів. Зв'язок здійснюється оригінальним протоколом STK500.

Є можливість не використовувати завантажувач і запрограмувати мікроконтролер через висновки ICSP (внутрішньосхемне програмування).

### 3.2 Розроблення структурної схеми пристрою і апаратна реалізація

Технологія автоматичного контролю рівня рідин в резервуарах в основному використовується у всіх галузях промисловості. Також цю технологію можна реалізувати для невеликих робочих чи побутових. У даній роботі буде створена система з датчиком рівня рідини, який допомагає нам

читати безперервні дані, для контролю рівня рідини. Це дає нам результат, скільки рідини знаходиться в резервуарі. Створена система – це система зворотного зв'язку, яка не тільки дає нам кількість зайнятої рідини, але і контролює її за допомогою насоса. Блок – схема розробленої системи зображена на рисунку 3.6.

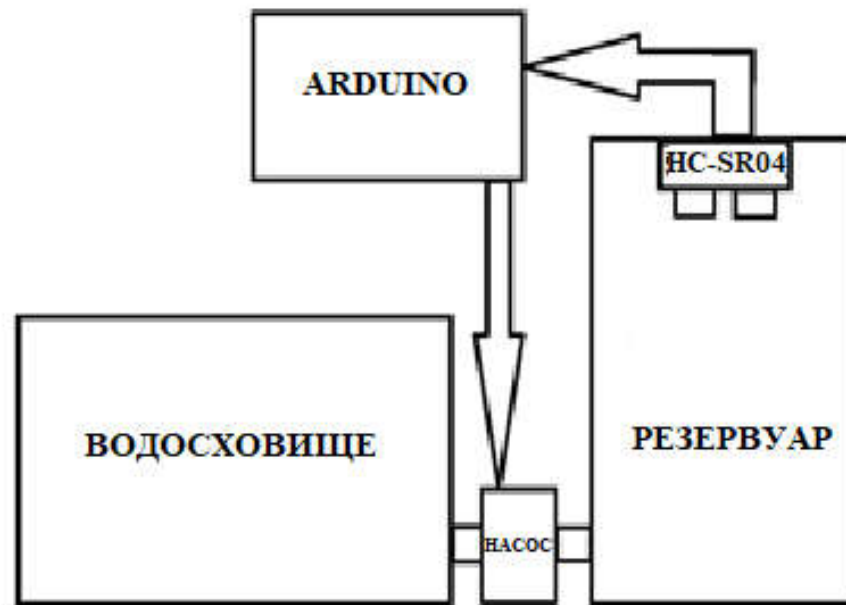


Рисунок 3.6 – Структурна схема пристрою

Даний рисунок – це спрощена блок-схема створеної системи. Arduino – це мікроконтролер, який ми використовуємо. Ультразвуковий датчик HC-SR04 підключений до Arduino. Датчик встановлений у верхній частині бака. У системі використовуються два погрузні насоси для моделі. Погрузні насоси є однонаправленими, тобто вони можуть транспортувати рідину лише з одного напрямку в інший. Ми можемо використовувати двонаправлений насос, який може працювати в обох напрямках. Обидва насоси отримують сигнал від Arduino. Насосам потрібна робоча напруга – 12 В, тому нам також потрібно використовувати драйвер двигуна. (На блок-схемі драйвер двигуна не показаний.)

Для кращого розуміння можна поділити модель на два розділи:

- система зондування;
- система керування.

Система зондування має ультразвуковий датчик HC-SR04. Діапазон ультразвуку перевищує 20 кГц. Цей датчик має передавач і приймач. Передавач виробляє частоту 40 кГц; ця ультразвукова хвиля відштовхується від рівня рідини і приймається приймачем. Датчик має 4 штирі: заземлення подається на землю Arduino, а VCC може становити + 3,3 В або 5 В. Спусковий штир використовується для подачі тригерного сигналу на передавач. Ехо-штифт використовується для отримання відлуння від ультразвукового датчика. З цього ми отримуємо часовий проміжок ультразвуку для виробництва та прийому. Нам потрібно перетворити час на відстань(формула 3.1):

$$v=340 \text{ m/s} , \quad (3.1)$$

$$v=0,034 \text{ cm}/\mu\text{s} . \quad (3.2)$$

Знаходимо час за формулою 3.3:

$$t=s/v=10/0,034=294 \mu\text{s} . \quad (3.3)$$

Дистанцію розраховуємо за формулою 3.4:

$$s=t \times 0,034/2 . \quad (3.4)$$

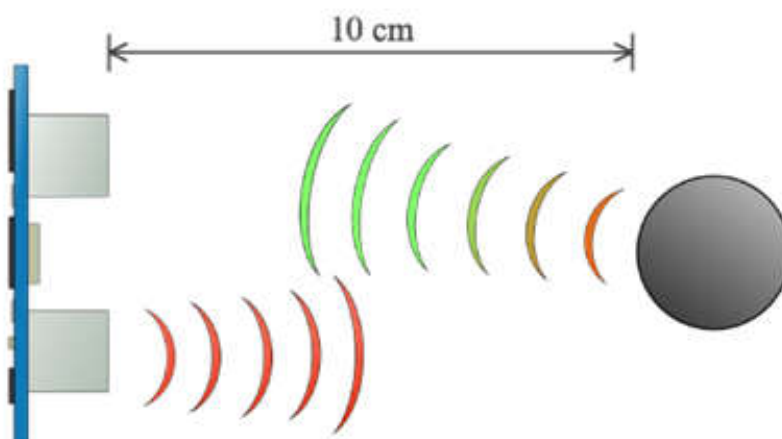


Рисунок 3.7 – Розрахунок відстані до об'єкту

Arduino отримує дані з датчика, а потім передає насосам потрібний сигнал. Також можна встановити заданий рівень з коду. Якщо рівень перетне заданий поріг, на насос в баку подається сигнал, і він починає викачувати воду з бака до тих пір, поки не буде заданий рівень. Коли рівень падає нижче згаданого порогу, насос у резервуарі починає перекачувати рідину в бак.

Перш за все розробимо схему підключення розробленого пристрою. В даному випадку схема дає загальне представлення про розроблений пристрій, відображає роботу системи автоматичного управління механізмом, служить джерелом для створення принципових схем та підключень, розробки конструктивних вузлів та оформлення переліку елементів(рисунок 3.8).

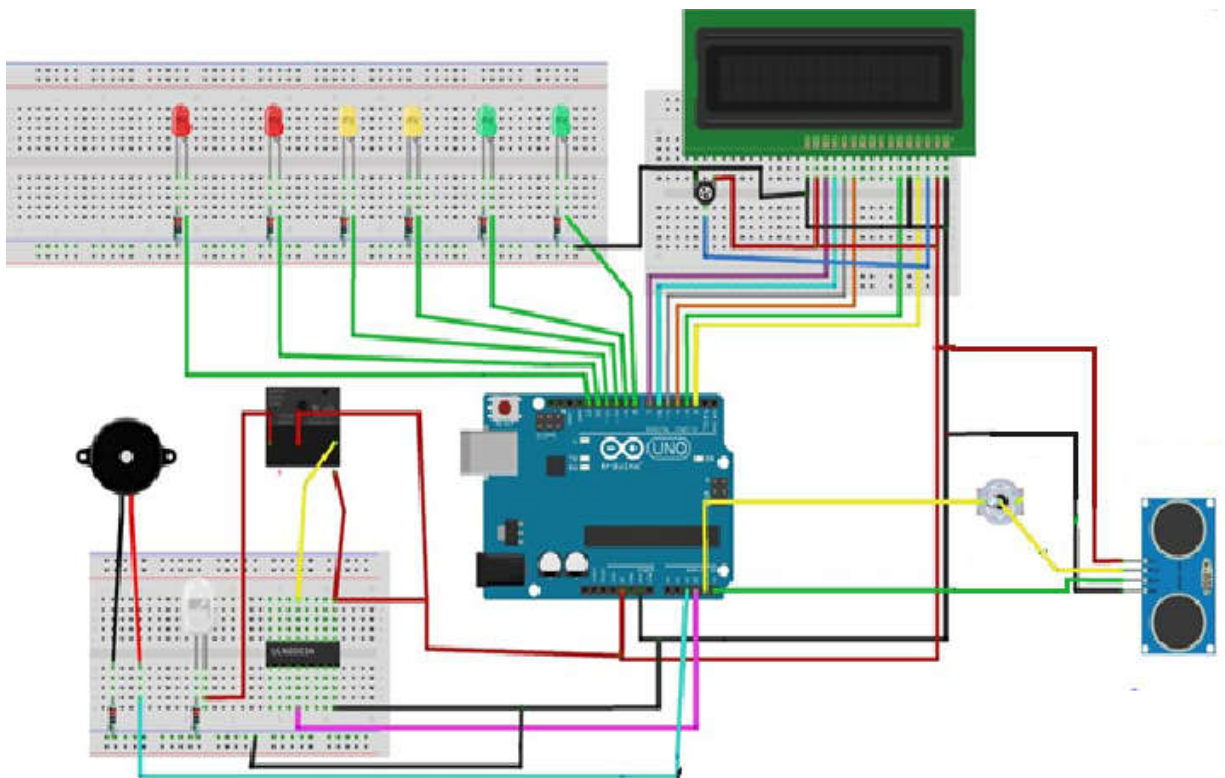


Рисунок 3.8 – Схема підключення модулів до контролера Arduino

Підключаємо пристрої на монтажну плату так, як зображено на схемі підключення(рисунок 3.9).

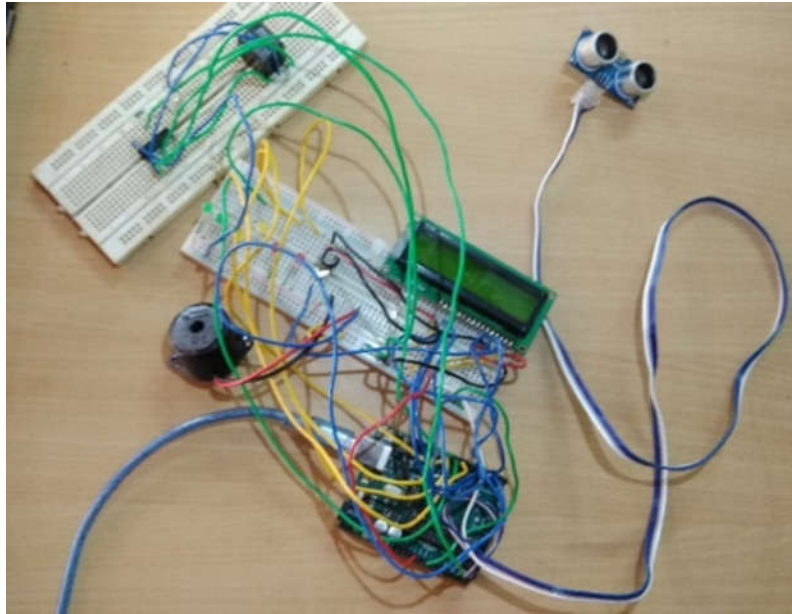


Рисунок 3.9 – Підключення пристроїв

Система зібрана, далі потрібно її вмонтувати у бокс так, щоб все було герметично закрито. Для цього візьмемо лист пластику, виріжемо у ньому отвори під дисплей, тумблер і світлодіоди (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Встановлення компонентів на пластиковий аркуш

Наступним кроком буде підготовка дисплея. Потрібно взяти декілька проводів, припаяти їх до ніжок дисплея (рисунок 3.11).

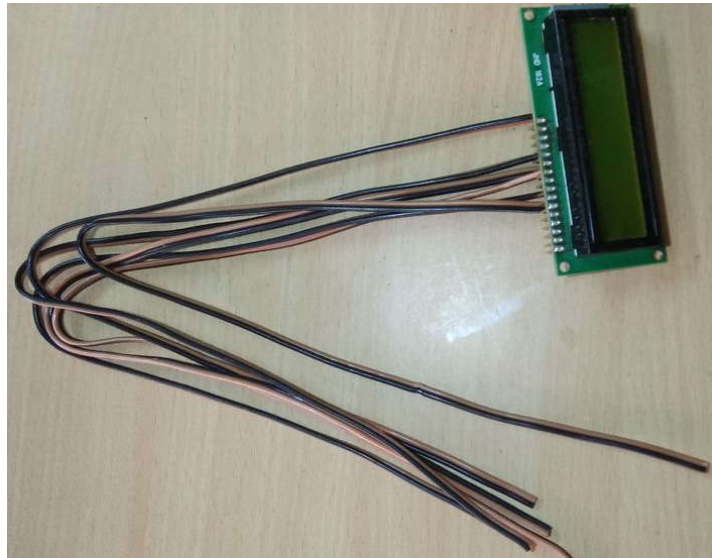


Рисунок 3.11 – Дисплей

Для того, щоб зібрати всі компоненти до купи, нам знадобиться друкована плата. Зробимо 4 отвори по краях у ній щоб можна було прикріпити на болти до пластикового контейнера. Після цього розмістимо компоненти на плату, припаяємо їх (рисунок 3.12).

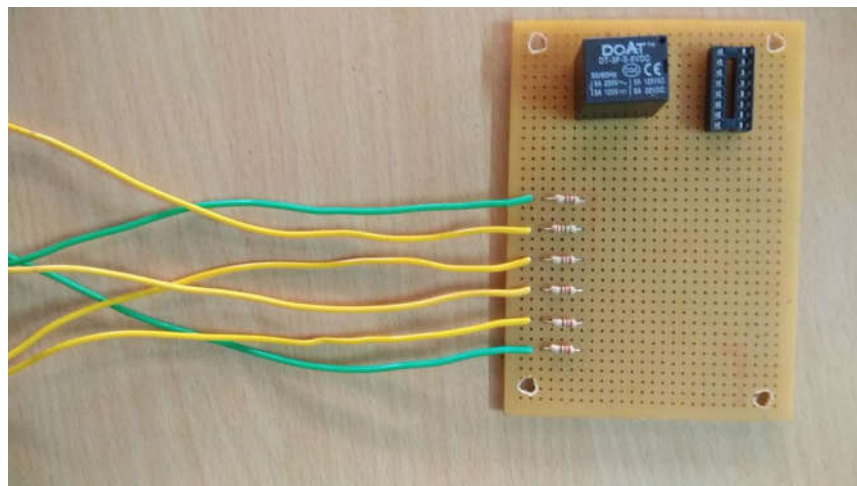


Рисунок 3.12 – Розміщення компонентів на друкованій платі

Прикріпимо зумер на пластиковий аркуш, припаяємо його до монтажної плати. Наступним кроком у нас буде встановлення всіх деталей на свої місця. Друковану плату і власне сам пристрій Arduino ми розмістимо у пластиковий контейнер, зафіксуємо все за допомогою болтів і термоклею (рисунок 3.13).

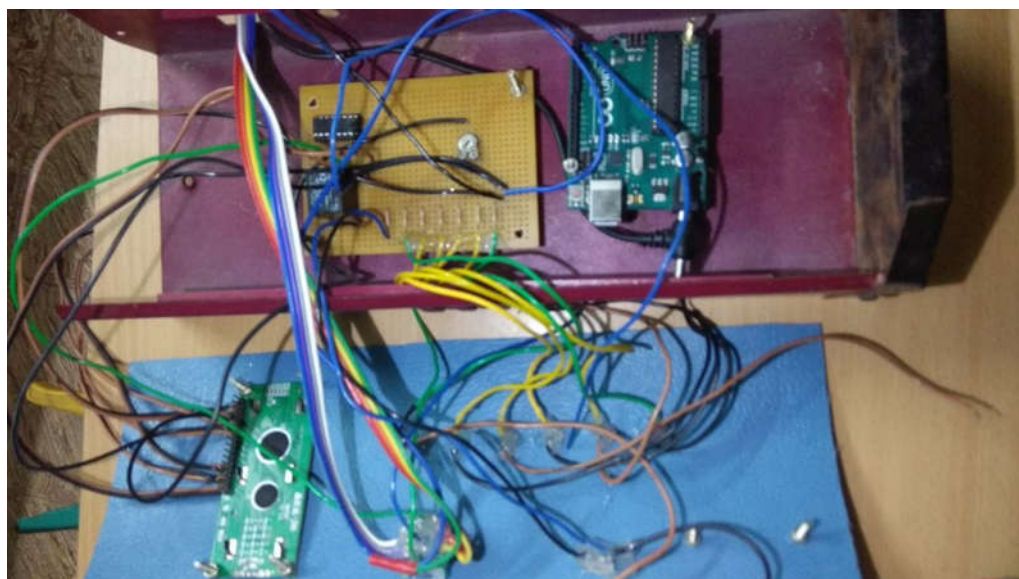


Рисунок 3.13 – Розміщення компонентів у пластиковому контейнері

Отже, одна частина схеми у нас готова, переходимо до ультразвукового датчика. До нього ми теж припаємо 4 проводи. Розмістимо цей датчик у маленьку пластикову коробку, прикріпимо його за допомогою термоклею (рисунок 3.14).



Рисунок 3.14 – Ультразвуковий датчик

Після того, як ультразвуковий датчик було підключено до монтажної плати, потрібно розмістити у резервуар з водою. У нашому випадку це буде діжка з водою(рисунок 3.15).



Рисунок 3.15 – Розміщення ультразвукового датчика у резервуарі

Отже, наша система звукової технології автоматичного контролю рівня рідини в резервуарі повністю готова до використання (рисунок 3.16).



Рисунок 3.16 – Контроль рівня рідини



### 3.3 Перешкоди при контролі ультразвуковим методом

При контролі відлуння методом важливо, щоб прийнятий сигнал був набагато вище фону перешкод, шумів. Існує кілька видів перешкод. Розглянемо основні з них.

Електричні перешкоди пов'язані з роботою різних контактних пристроїв, та іншої апаратури. Від електричних перешкод можна боротися шунтуванням шин харчування керамічними конденсаторами, екрануванням приладу (підсилювача і фільтрів).

Акустичні зовнішні перешкоди виникають в результаті тертя або ударів по контрольованому виробі (для дефектоскопів). Для рівнемірів вони не настільки сильно важливі.

Перешкоди приймача рівнеміра (дефектоскопа) пов'язані з шумами елементів підсилювального тракту. Ці перешкоди перешкоджають збільшенню коефіцієнта посилення і обмежують значення реєстрованого приладом сигналу. Для їх придушення застосовують диференціальні підсилювачі на операційних підсилювачах або на дискретних елементах, а також знімають вхідний опір підсилювача, ставлять фільтри.

Шуми перетворювача з'являються в зв'язку з багаторазовим відображенням УЗ в п'єзоеlementі, протекторі, шарі контактної рідини і затягують дію зондуєчого імпульсу. У міру віддалення від зондуєчого імпульсу ці перешкоди зникають. Найменшим рівнем перешкод володіють перетворювачі роздільного типу.

Помилкові сигнали виникають в результаті відображення УЗК від стінок резервуара. Ці сигнали заважають виявленню істинного сигналу на екрані осцилографа.

Структурні перешкоди пов'язані з розсіюванням УЗК на структурних неоднорідностях, крупинках сипучого матеріалу. Ці перешкоди називають структурної реверберацією. Сигнали в результаті розсіювання УЗК на різних неоднорідностях, приходять до приймача в один і той же момент часу і

складаються. Залежно від фаз окремих сигналів вони можуть взаємно посилитися або послабити один одного. Відмінною особливістю структурних перешкод є наявність великої кількості імпульсів на всій лінії розгортки екрану осцилографа або на значній її ділянці. Ці імпульси часто називають «травною». Такі сигнали швидко змінюють своє положення, зникають і з'являються при невеликих переміщеннях перетворювача (випромінювача).

### 3.4 Бездротовий датчики рівня рідини

Моноблочний ультразвукової рівнемір з вбудованим модемом стільникового зв'язку GSM - вимірює відстань до поверхні вмісту, температуру в ємностях і перераховує в рівень або обсяг. GaugerGSM (рисунок 3.17) виявляє такі події, як досягнення верхнього рівня, перетин рівнів, поповнення, втрати та інші.



Рисунок 3.17 – бездротовий ультразвуковий рівнемір Gauger GSM

Крім вимірювання наповненості датчик рівня рідини може вимірювати і відображати зразкову температуру рідини, показувати максимальну і мінімальну температуру. Крім цього датчик може включати «тривогу» при вкрай високому або низькому рівні рідини в резервуарі, а так же сповіщати про порожньому баку. Вимірні і розрахункові дані датчик пересилає обраному одержувачу. Інформація передається по мережі GSM у вигляді SMS або GPRS повідомлень. Підтримувані частоти за стандартом GSM: 850, 900, 1800, 1900 МГц. Кожне повідомлення містить подробиці одного результату вимірювань.

Одержувачем SMS і GPRS повідомлень, як правило, є персональний комп'ютер або сервер. Користувач може бачити прийняті дані за допомогою програми моніторингу, що поставляється компанією SolidAT - GaugerNET.

Gauger GSM підтримує два режими потужності: нормальний і знижений.

У нормальному режимі пристрій постійно споживає енергію і виробляє безперервний вимір відстані, посилає періодичні повідомлення, а також, екстрені сигнали в разі нештатних ситуацій. Періодичність передачі повідомлень встановлюється при початковому налаштуванні пристрою і може складати від 3 хвилин до 45 днів.

У режимі зниженого споживання прилад знаходиться в стані очікування і періодично включається для зняття і передачі вимірювань. В даному режимі не підтримується передача екстрених сигналів. Можливо вибрати один з трьох інтервалів очікування.

Якщо обрати SMS, датчик передає повідомлення на один, заздалегідь обраний номер стільникового зв'язку. Цей номер може належати ПК або сервера, обладнаному модемом стільникового зв'язку зі встановленою SIM-картою. Моніторинг датчиків здійснюється за допомогою програмного забезпечення, встановленого на ПК.

Якщо обрати GPRS, то виступає в якості TCP- клієнта і передає повідомлення на заздалегідь визначений сервер. Визначення сервера включають IP-адреса і номери портів. Програма моніторингу повинна бути підключена до Інтернету і мати власну статичну IP-адреса і дозволений номер порту.

Карта GaugerNET дозволяє відстежувати місце розташування кожного резервуару з оновлюваною інформацією стану рівня рідини.

Перелік основних сфер застосування бездротових датчиків контролю рівня рідини ультразвуковим методом:

- водопостачання та водовідведення;
- моніторинг рівня води у відкритих джерелах – меліорація, захист від повеней;
- контроль рівня рідин в різних ємностях;
- вогнебезпечне застосування – контроль рівня займистих рідин, відстеження цистерн з паливом.

У віддалених резервуарах рівнемір може бути підключений до автономного акумуляторного живлення. Рівнемір підтримує режим зниженого споживання електроенергії для продовження терміну служби акумуляторів. В цьому режимі необхідно підключити програмоване реле часу між рівнеміром і акумулятором. Для інформування про зниження заряду в джерелі, він передає екстрений сигнал при зменшенні напруги живлення на клеммах до 6 вольт. Також він може бути підключений до станції автономного живлення на сонячних батареях.

Бездротовий датчик рівня рідини буде максимально корисний як в побутових, так і в виробничих потребах. У побуті з його допомогою можна контролювати наповненість резервуару для поливу саду (городу). На виробництві за допомогою даного датчика можна контролювати наповненість величезних резервуарів з водою, соняшниковою олією і іншими рідинами.

## ВИСНОВКИ

1. Описано основні методи вимірювання рівня рідини в резервуарах.
2. Визначено основні переваги та недоліки кожного з описаних методів вимірювання.
3. Описано принцип дії кожного з рівнемірів. Проведено огляд безконтактних датчиків вимірювання.
4. З усіх описаних методів вимірювання рівня рідини було вибрано ультразвуковий метод. До основних переваг ультразвукового методу відносять те, що він є безконтактним, застосовується для забруднених рідин. Реалізація методу не представляє високих вимог до зносостійкості і міцності обладнання. Цей метод не залежить від щільності контрольованого середовища.
5. Розроблена структура пристрою контролю рівня рідини з використанням Arduino, на основі модуля HC-SR04.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ваврейчук С.В. Система автоматизованого контролю рівня рідини в резервуарі.зб.матеріалів доп.учасн. II наук. -практ. конф. Молодих вчених і студентів “Інтелектуальні комп’ютерні системи та мережі” Частина I:Тернопіль,2019.С 15-16.

2. Ваврейчук С.В. Вибір давачів автоматизованих систем керування технологічним процесом доп.учасн. II наук. -практ. конф. молодих вчених і студентів “Інтелектуальні комп’ютерні системи та мережі” Частина I:Тернопіль,2019.С 15-16.

3. Методичні рекомендації до виконання випускної кваліфікаційної роботи з освітнього ступеня “Магістр”. Спеціальність: 123 - Комп’ютерна інженерія. Магістерська програма - Комп’ютерна інженерія" / О.М. Березький, Л.О. Дубчак,Г.М. Мельник /Під ред. О.М. Березького – Тернопіль: ТНЕУ, 2019.– 41 с.

4. Методичні вказівки до оформлення курсових проектів, звітів про проходження практики, випускних кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Комп’ютерна інженерія» / І.В. Гураль, Л.О. Дубчак / Під ред. О.М. Березького. - Тернопіль: ТНЕУ, 2019. 33 с.

5. Щоденник: веб-сайт.URL: <http://company.shodennik.ua/functions> (дата звернення: 12.08.2019).

6. Хоменко, А. Д. Основы современных компьютерных технологий: учебник М.: Гардарики, 2005. 415 с.

7. Білоус О., Скаленко О., Ярова Н. Можливості та шляхи інтеграції України у світовий ринок інтелектуальних продуктів // Економічний часопис, 2002. 210 с.

8. Ванштейн Г. Интернет как фактор общественных трансформаций // МЭиМО. 2002. № 7. 80 с

9. Коломієць В. Міжнародні інформаційні системи. К., 2012. 30 с

10. Лук'яненко Є. Світовий інформаційний простір і Україна // Віче. 1997. - № 11 (68). С.25-31.
11. Іванова Н. Українське слово в Інтернеті // Урок української. 2003. № 4. С.8-12.
12. Коноплицький С. Інтернет як предмет соціологічного аналізу // Соціологія: теорія, методи, маркетинг. 2005. № 3. С.188 - 193.
13. Капустін, М. М. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні: Учеб. для вузів / Під ред. М. М. Капустіна. М.: Вищу школу, 2004. 415 с.
14. Шувалов В.В, Огаджанов Г.А., Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. М.: Химия, 1991. С.18 – 93.
15. Стефани Е.П. Основы построения АСУ ТП. М.: Энергоиздат, 1982. С.30 – 52.
16. Теория автоматического управления: учеб. пособие / М.М. Савин, В.С. Елсуков, О.Н. Пятина; под. ред. д. т. н., проф. В.И. Лачина. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 227 с.
17. Лепіх, Я.І. Інтелектуальні вимірювальні системи на основі мікроелектронних датчиків нового покоління: монографія/Я.І. Лепіх, Ю.О. Гордієнко, С.В. Дзядевич [та ін.]/ Одеса: Астропринт, 2011. 352 с.
18. Лепіх, Я.І. Мікроелектронні датчики нового покоління для інтелектуальних систем: основні технічні характеристики /Я.І. Лепіх, Ю.О. Гордієнко, С.В. Дзядевич [та ін.]/ Одеса: Астропринт, 2011. 92 с.
19. Рябіченко А.В., Стенцель Й.І. Математичні моделі ультразвукового рівнеміра рідини з компенсатором вихідних сигналів //Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Прилади та методи неруйнівного контролю. – Харків: НТУ «ХПІ» - № 48. –2008. С. 61-65.
20. Скороспешкин В.Н. Технические средства систем автоматизации и управления. 2010 г. Стр. 134-151.

21. Khmelev, V.N. Automation of Advanced Cavitation Mode Obtaining Process in Liquid Mediums [Text] / V.N. Khmelev [и др.] // Siberian Russian Student Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2003: Workshop Proceedings / NSTU. Novosibirsk, 2003. P. 222–226.

22. Бородин И.Ф., Судник Ю.А. Автоматизация технологических процессов (2004). С.93 – 120.

23. Рудяк В.Я. Статистическая аэрогидромеханика гомогенных и гетерогенных сред [Текст] / В II т. Т. 1. Кинетическая теория. / В. Я. Рудяк. – Новосибирск: НГАСУ, 2004. 320 с.

24. V.S. Andyk, Automatic Control Theory: (Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 2005). 180 p.

25. Хмелев, В.Н. Моделирование процессов в ультразвуковом поле при липосакции [Текст] / В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, А.В. Шалунов // Известия Тульского государственного университета. Серия «Технологическая системотехника». 2004. Вып. 2. С. 124–133.

26. Antanwu C.N., Mbajiorgu C. C. and Anoliefo E. C. (2012), Design and Implementation of a Water Level Controller. Nigerian Journal of Technology, Vol. 31, No, 1. P 200-240.

27. Лепіх, Я.І. Інтелектуальні вимірювальні системи на основі мікроелектронних датчиків нового покоління: монографія/Я.І. Лепіх, Ю.О. Гордієнко, С.В. Дзядевич [та ін.]/ Одеса: Астропринт, 2011. 352 с.

28. Стенцель Й.Ф.І., Рябіченко А.В., Літвінов К.А. Фізичні моделі перетворень в ультразвукових засобах контролю рівня рідинних середовищ. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. «Електроенергетика и преобразовательная техника». – Харків: НТУ «ХПІ» №19. 2011. С. 3-18.

29. Хмелев, В.Н. Управление работой электронного генератора при ультразвуковом воздействии на кавитирующие технологические среды [Текст] / В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, А.В. Шалунов // Известия Тульского государственного университета. Серия «Технологическая системотехника». – 2004. Вып. 2. С. 32–40.



30. Бесекерский В.А. Попов Е.П. «Теории систем автоматического регулирования». 50 с.
31. Промышленное оборудование. Сборник № 6. Москва 2008 г. 24 с.
32. Воронов А.А. и др. Основы теории автоматического регулирования и управления. Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 2007. С.188 – 193.
33. Стенцель Й.І., Євсюков В.В., Шаповалов О.І. Математичні моделі ультразвукового засобу контролю рівня рідинних середовищ за реперним каналом. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. «Электроэнергетика и преобразовательная техника». Харків: НТУ «ХПИ» №19. 2011. С. 19-30.
34. Измерения в промышленности: Справочник / В. Бастль и др. Под ред.П. Профоса. М.: Металлургия, 1990.
35. Belone, S., & Graw, H. W. (2004). Electronic Circuit Discrete & Integration, (23rd Edition). 30 p.
36. Рябіченко А.В., Стенцель Й.І. Математичні моделі ультразвукового рівнеміра рідини з компенсуючим входним сигналом. Вестник национального технического университета «ХПИ», 2008, № 48. С. 61 – 65.
37. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник / Под ред., С.В. Якубовского. М.: Радио и связь, 2005. С.38 – 53.
38. Cara Elmer, H. Schweinzer, H (2004) Ultrasonic Distance Measurement system. 55p.
39. Мельников В. И., Иванов В. В., Тепляшин И. А. Исследование волноводного акустоимпедансного уровнемера в водяном теплоносителе высоких параметров // Датчики и системы. 2015. № 11.
40. Вуколов Н.И., Михайлов А.Н. Знакосинтезирующие индикаторы: Справочник / Под ред.В.П. Балашова. М: Радио и связь, 1997.
41. Клаассен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. М.: Постмаркет, 2010.
42. Мельников В. И., Дробков В. П., Контелев В. В. Акустические методы диагностики газожидкостных потоков. М.: Энергоатомиздат, 2006.

43. Мельников В. И., Тепляшин И. А., Иванов В. В. Исследование ультразвукового рефлекс-радарного волноводного уровнемера теплоносителя ядерной энергетической установки // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2015. № 4.
44. V.S. Andyk, Automatic Control Theory: (Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 2005). pp 70-88.
45. William, J. Fleming (2001). Overview of Automotive Sensors. IEEE Sensors Journal, Vol. 1, No.4, pp.297-308.
46. Ugata, K. (2002) Modern Control Systems, 10 th ed. Upper Saddle River, NJ: PrenticeHall.
47. Скороспешкин В.Н. Технические средства систем автоматизации и управления. 2010 г. С. 134-151.
48. Хмелев, В.Н. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве [Текст] / В.Н. Хмелев, Г.В. Леонов, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов. Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2007. 414 с.
49. Sanket Shukla ,Amit Saxena ,Sadiq Ali Khan, Rohit Sharma & Rohit Kanyawal (2006),Automatic Water Level Controller for Residential Applications,Int.Scientific Research and Management,Vol. 2.Issue 2, pp.57-86.
50. Donald P. Massa (2011) Choosing an Ultrasonic Sensor for Proximity or Distance Measurement, Massa Products Corp.
51. Скороспешкин В.Н. Технические средства систем автоматизации и управления. 2010 г. С. 134-151. pp.47-68.
52. M. Javanmard , Abbas, K. A., & Arvin, F. (2009). A Microcontroller-Based Monitoring System for Batch Teas Dryer, Journal of Agricultural Sciences, Vol.1,No. 209 p.