

Їх конструкцію, МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОНОТОПСЬКИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра електронних
приладів і автоматики

Кваліфікаційна робота бакалавра
АВТОНОМНИЙ ДАВАЧ РІВНЯ

Студент групи ЕІс3-71к

В.В Якубець

Науковий керівник,
доцент, к.ф.-м.н.

В.В. Бібик

Конотоп 2021

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є огляд і аналіз сучасних технічних рішень для автономного давача рівня.

Мета роботи полягає у вивченні різних видів автономних давачів рівня, та в огляді сучасних сенсорів. Зокрема, принципів електричних схем, розрахунків їх параметрів, методики використання.

При виконанні роботи було проаналізовано стан рівня техніки для даного виду приладів, порівняння різних варіантів рішень щодо обирання найкращого датчику рівня.

Сучасні датчики рівня містять все більше різноманітних матеріалів та сплавів для роботи в агресивних середовищах, таких як масла, кислоти та різкі температури та тиск.

Нові матеріали дозволяють технологічним інструментам також працювати в складних умовах, таких як вузли, виготовлені з матеріалу з покриттям з ПТФЕ для корозійних навантажень та електрошліфованої нержавіючої сталі для забезпечення чистоти.

Робота викладена на 34 сторінках, у тому числі включає 16 рисунків, список цитованої літератури із 24 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДАТЧИК РІВНЯ, ТИСК, ЄМНІСНЕ ЗОНДУВАННЯ, МАГНІТОТЕНЗО ВЛАСТИВОСТІ.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 4 |
| РОЗДІЛ 1 СЕНСОРИ РІВНЯ | 5 |
| 1.1 Розвиток аналізації рівня | 5 |
| 1.2. Створені технології зондування рівня | 7 |
| 1.3 Гідростатичні прилади | 8 |
| РОЗДІЛ 2 ДАТЧИКИ РІВНЯ НА ОСНОВІ ЗОВНІШНЬОГО ВПЛИВУ | 12 |
| 2.1 Тензо та магнітодатчики | 12 |
| 2.2 Ємнісні передавачі | 15 |
| 2.3 Сучасні технології | 16 |
| РОЗДІЛ 3 ДАТЧИКИ РІВНЯ FDC1004EVM | 22 |
| 3.1 Техніка ємнісного зондування | 22 |
| 3.2 Система FDC1004EVM | 23 |
| 3.3 Принцип роботи зондування рівня..... | 24 |
| 3.4 Макет датчика..... | 28 |
| ВИСНОВКИ | 31 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 32 |

ВСТУП

Основу сучасної електроніки становить твердотіла електроніка, головними напрямками розвитку якої є максимальне зменшення габаритів напівпровідникових приладів і мікросхем за одночасного підвищення їх надійності, розширення функціональних можливостей та поліпшення технічних характеристик і властивостей.

Сучасний стан розвитку твердотілої електроніки характеризується значним обсягом науково-дослідних робіт як фізичного, так і технологічного характеру, які спрямовані на подальше вдосконалення наявних і створення нових напівпровідникових приладів та мікросхем.

Датчики рівня рідини існують десятки років на таких ринках, як продукти харчування та напої, промислові, медичні та побутові, поліграфія, сільське господарство, автомобільна та біла техніка для виявлення витоків або вимірювання рівня. Ми часто дивуємось, чому клієнти вибирають одну технологію над іншою, і це поширене запитання, яке нам задають. Деякі виробники обладнання також можуть бути здивовані різноманітністю та інтелектуальністю альтернативних засобів зондування рівня, доступних на ринку.

Процеси, які раніше використовували дорогі частини обладнання, тепер можна досягти за допомогою креативних, інноваційних та інтелектуальних технологій, які можуть бути економічно вигідними, надійними, високоточними та простими в установці. Рідини, історично відомі як надзвичайно складні для виявлення, такі як мило, що містить бульбашки / піну, молоко та липкі речовини, такі як клей та чорнило, тепер виявляються можливими та простішими для виявлення за допомогою різноманітних доступних технологій зондування рівня[1].

РОЗДІЛ 1

СЕНСОРИ РІВНЯ

1.1 Розвиток аналізації рівня

Найпростішим і найстарішим промисловим приладом для вимірювання рівня є, звичайно, оглядове скло. Ручний підхід до вимірювання, окуляри завжди мали ряд обмежень. Матеріал, що використовується для його прозорості, може зазнати катастрофічних руйнувань, що спричинить екологічну шкоду, небезпечні умови для персоналу, або пожежу та вибух. Ущільнення схильні до витоків, і накопичення, якщо вони є.

Без застережень можна стверджувати, що звичайні оглядові окуляри є найслабшою ланкою будь-якої установки. Тому їх швидко замінюють більш передовими технологіями.

Інші пристрої виявлення рівня включають такі, що базуються на питомій вазі - фізичній властивості, яка найчастіше використовується для відчуття рівня рівня. Простий поплавков, що має питому вагу між рівнем технологічної рідини та паровою простору, буде плавати на поверхні, точно слідуючи її підйомам і падінням. Гідростатичні вимірювання головки також широко використовуються для визначення рівня[1]

Коли задіяні більш складні фізичні принципи, нові технології часто використовують комп'ютери для виконання обчислень. Це вимагає надсилання даних у машиночитаному форматі від датчика до системи управління або моніторингу.

Корисними форматами вихідних сигналів перетворювача для автоматизації роботи на комп'ютері є струми, аналогові напруги та цифрові сигнали. Аналогові напруги прості в налаштуванні та вирішенні, але можуть мати серйозні проблеми з перешкодами.

Найпростішим і найдавнішим промисловим комунікаційним сигналом є струми силою 4-20 мА (де струм циклу змінюється залежно від вимірювання рівня) є найпоширенішим на сьогодні вихідним механізмом.

Струмові петлі можуть передавати сигнали на більші відстані з меншою деградацією. Цифрові сигнали, можуть бути закодовані в таких протоколах:

- FoundationFieldbus;
- Hart;
- HoneywellDE;
- Profibus;
- RS-232.

Такі протоколи є найбільш надійними, але старіші технології, такі як RS-232, можуть обробляти лише обмежені відстані. Нові можливості бездротового зв'язку можна знайти в сигналах останніх передавачів, що дозволяє передавати їх на величезні відстані практично без погіршення якості.

Що стосується більш досконалих технологій вимірювання таких як:

- ультразвукових;
- радіолокаційних;
- лазерних.

Для більш складних форматів цифрового кодування для форматування кодів потрібен цифровий комп'ютерний інтелект.

Поєднання цієї вимоги з необхідністю розширених комунікаційних можливостей та схем цифрового калібрування пояснює тенденцію до впровадження комп'ютерів на базі мікропроцесорів практично у всі продукти вимірювання рівня на рис. 1.1 це зображено.



Рис. 1.1. Вимірювання рівня визначає положення рівня відносно верхньої частини дна посудини для зберігання технологічної рідини [2]

Можуть бути використані різноманітні технології, що визначаються характеристиками рідини та умовами її процесу.

1.2 Створені технології зондування рівня

Вважається, що густина пари в просторі (як правило, повітря) незначна порівняно з щільністю технологічної рідини. Припустимо також, що в резервуарі є лише одна рівномірна технологічна рідина. Деякі з цих технологій можуть бути використані для багаторівневих застосувань, коли дві або більше рідин, що не змішуються, мають спільний посудину.

Скляні рівнеміри доступні у різноманітних конструкціях, як броньовані, так і незахищені, скляні датчики використовуються понад 200 років як простий метод вимірювання рівня рідини. Перевагою цієї конструкції є можливість бачити справжній рівень через прозоре скло. Недоліком є можливість розбиття скла, що призведе до розливу та небезпеки для персоналу.

Поплавки працюють за простим принципом, розміщуючи плавучий предмет із питомою вагою середнього значення між рівнем технологічної рідини та парою простору в резервуарі, а потім приєднують механічний пристрій для зчитування його положення.

Поплавок опускається в ємність з рідиною і плаває поверх технологічної рідини. Хоча сам поплавок є основним рішенням проблеми розташування поверхні рідини, зчитування положення поплавців (тобто проведення фактичного вимірювання рівня) все ще є проблематичним. Ранні плавучі системи використовували механічні компоненти, такі як кабелі, стрічки, шків та шестерні для зв'язку. Поплавці, оснащені магнітами, які популярні сьогодні.

Ранні передавачі рівня плаваючого потоку забезпечували змодельоване аналогове або дискретне вимірювання рівня за допомогою мережі резисторів та кількох герконових перемикачів, що означає, що вихідний сигнал передавача змінюється на дискретних кроках. На відміну від пристроїв безперервного вимірювання рівня, вони не можуть розрізняти значення рівнів між кроками.

1.3 Гідростатичні прилади

Перетворювачі диференціального тиску - це всі гідростатичні вимірювальні прилади. Тому будь-яка зміна температури спричинить зміну питомої ваги рідини, як і зміна тиску, що впливає на питому вагу пари над рідиною. Обидва результати призводять до зниження точності вимірювань. Сенсори переміщення працюють за принципом Архімеда. Як показано на рис. 1.2, у посудині підвішена колона з твердого матеріалу (витіснювач).

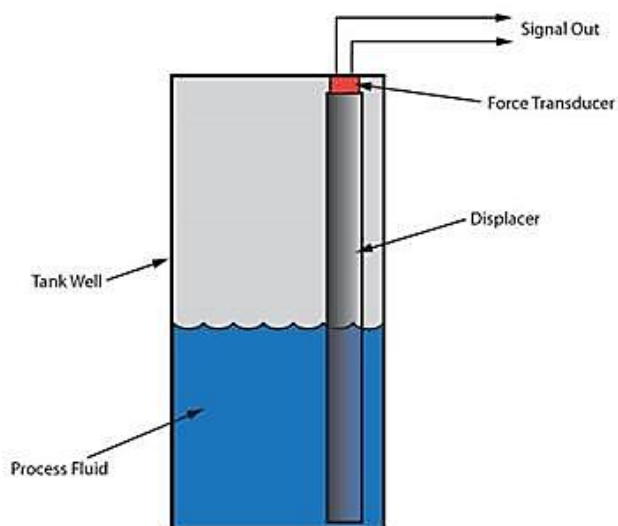


Рис 1.2. Вимірювачі рівня переміщення працюють за принципом Архімеда[3]

Зусилля, необхідне для підтримки стовпа матеріалу (витіснювача), зменшується на вагу витісненої технологічної рідини. Перетворювач сили вимірює силу опору та повідомляє про неї як про аналоговий сигнал.

Густина витіснювача завжди більша, ніж густина технологічної рідини (вона потоне в технологічній рідині), і вона повинна простягатися від найнижчого необхідного рівня до принаймні найвищого рівня, що вимірюється[4]

Коли рівень технологічної рідини підвищується, колонка витісняє об'єм рідини, рівний площі перерізу колони, помноженій на рівень технологічної рідини в витіснювачі. Плавуча сила, що дорівнює цьому зміщеному об'єму, помножена на густину технологічної рідини, штовхає вгору на витіснювач, зменшуючи силу, необхідну для підтримки його проти сили тяжіння.

Перетворювач, який приєднаний до передавача, контролює та передає цю зміну сили рівню.

Датчик рівня барботажного типу показаний на рис.1.3.

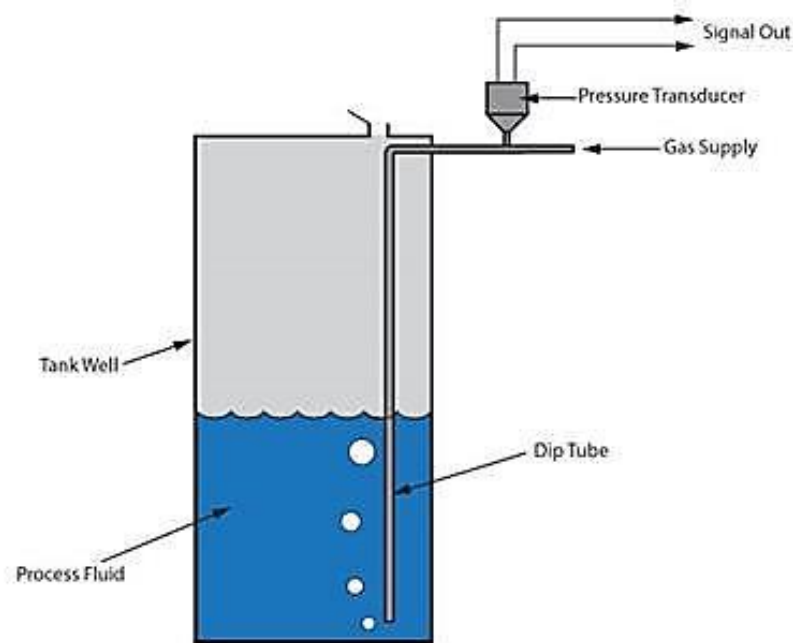


Рис.1.3. Сенсор барботажного типу[5]

Ця технологія застосовується в посудинах, які працюють під атмосферним тиском.

Занурювальна трубка, що має відкритий кінець біля відкритої посудини, подає продувний газ (як правило, повітря, хоча інертний газ, такий як сухий азот, може використовуватися у випадках, коли існує небезпека забруднення або окисної реакції з технологічною рідиною) у резервуар.

Коли газ стікає до виходу з трубки занурення, тиск у трубці зростає, поки він не перевищує гідростатичний тиск, що створюється рівнем рідини на виході [6]

Тиск дорівнює щільності технологічної рідини, помноженій на її глибину від кінця занурювальної трубки до поверхні, і контролюється датчиком тиску, підключеним до трубки.

Датчик рівня перепаду тиску (DP) показаний на рис.1.4.

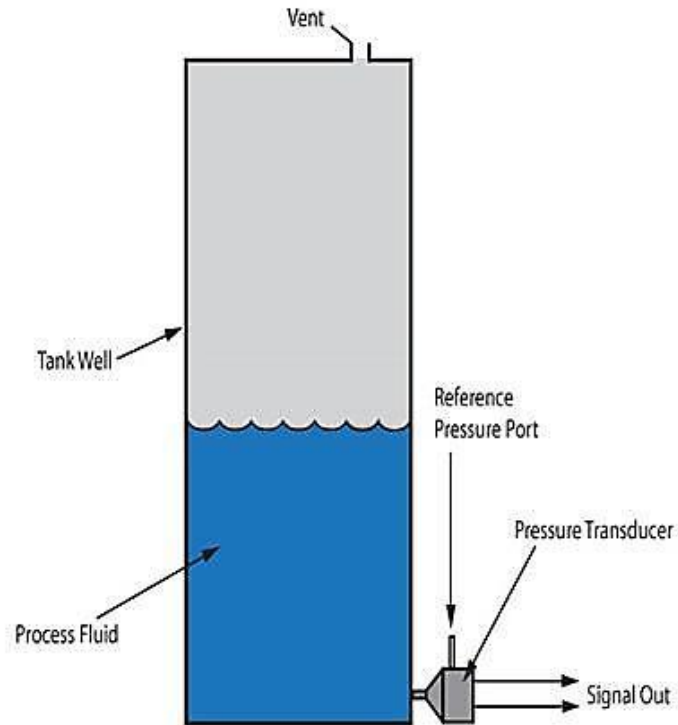


Рис.1.4. Датчики перепаду тиску контролюють рівень технологічної рідини, вимірюючи загальну різницю тиску між рідиною на дні резервуара та тиском у посудині [7]

Основним виміром є різниця між загальним тиском на дні бака (гідростатичний напор рідини плюс статичний тиск у посудині) та статичним або напором в судно. Як і у барботера, різниця гідростатичного тиску дорівнює густині технологічної рідини, помноженій на висоту рідини в посудині.

РОЗДІЛ 2

ДАТЧИКИ РІВНЯ НА ОСНОВІ ЗОВНІШНЬОГО ВПЛИВУ

2.1 Тензо та магнітодатчики

Пристрій на рис.2.1 використовує атмосферний тиск як еталон. Вентиляційний отвір у верхній частині підтримує тиск у просторі рівним атмосферному.

На відміну від барботерів, датчики DP можна використовувати в посудинах без вентиляції (під тиском). Все, що потрібно, це підключити контрольний порт (сторона низького тиску) до отвору в посудині вище максимального рівня заповнення.

Промивання рідини або барботери можуть все ще знадобитися, залежно від фізичних умов процесу та / або розташування передавача щодо з'єднань із процесом.

Тензодатчик або тензорезистор є, по суті, механічним опорним елементом або кронштейном, оснащеним одним або декількома датчиками, які виявляють невеликі спотворення в опорному елементі. У міру зміни сили на тензодатчику кронштейн злегка згинається, викликаючи зміни вихідного сигналу. Калібровані тензодатчики були виготовлені з силовою ємністю, що варіюється від дробових унцій до тонн.

Для вимірювання рівня тензодатчик повинен бути вбудований в опорну конструкцію посудини. Коли технологічна рідина заповнює посудину, сила на тензодатчик збільшується. Знаючи геометрію ємності (зокрема, її площу поперечного перерізу) та питому вагу рідини, перетворити відомий вихід навантажувальної комірки на рівень рідини досить просто.

Незважаючи на те, що навантажувальні комірки є вигідними в багатьох додатках через їх безконтактну природу, вони дорогі, і опорна конструкція посудини та сполучні трубопроводи повинні бути сконструйовані з урахуванням вимог навантажувальної комірки плаваючої

підструктури. Загальна вага ємності, трубопроводів та сполучної конструкції, що підтримується посудиною, буде зважуватися системою завантаження додатково до бажаної ваги нетто або продукту.

Ця загальна вага часто створює дуже поганий відсоток до ваги нетто, що означає, що вага нетто становить дуже малий відсоток від загальної ваги. Нарешті, зростання опорної конструкції, спричинене нерівномірним нагріванням, може відобразитися як рівень, як і бічне навантаження, вітрове навантаження, жорсткі трубопроводи та зв'язки з апаратних засобів запобігання перекиданню (для навантажувальних комірок, встановлених знизу).

Магнітосенсори рівня схожі на поплавкові пристрої, але вони магнітно передають розташування поверхні рідини. Поплавок, несучи набір сильних постійних магнітів, їде у допоміжній колоні (поплавковій камері), прикріпленій до ємності за допомогою двох технологічних з'єднань. Ці датчики зображені на рис.2.1 і вони є найкращою заміною окулярів.



Рис.2.1. Магнітометри рівня використовують магнітно зчеплений човник для визначення положення поплавця в камері[8]

Колона обмежує поплавок збоку, так що він завжди знаходиться близько до бічної стінки камери.

У міру того, як поплавок їде вгору-вниз за рівнем рідини, разом з ним рухається намагнічена човникова або гістограма, яка показує положення поплавця і тим самим забезпечує індикацію рівня. Система може працювати тільки в тому випадку, якщо допоміжні колонки та стінки камери виготовлені з немагнітного матеріалу.

Багато виробників пропонують конструкції поплавків, оптимізовані для питомої ваги вимірюваної рідини, будь то бутан, пропан, олія, кислота, вода або межі розділу між двома рідинами, а також великий вибір поплавоквих матеріалів.

Це означає, що манометри здатні обробляти високі температури, високий тиск та їдкі рідини. Великі поплавокві камери та поплавці з високою плавучістю доступні для додатків, де передбачається накопичення.

Камери, фланці та технологічні з'єднання можуть бути виготовлені з інженерних пластмас, таких як Kynar, або екзотичних сплавів, таких як HastelloyC-276. Спеціальні конфігурації камер можуть обробляти екстремальні умови, такі як обробка паром для рідкого асфальту, негабаритні камери для блискавки, температурні конструкції для рідкого азоту та холодоагентів

Численні метали та сплави, такі як титан, інколой та монель, доступні для різних комбінацій високотемпературних, високих тисків, низької питомої ваги та агресивних середовищ.

Сучасні магнітні вимірювачі рівня також можуть бути оснащені магнітострикційними та радіолокаційними передавачами з керованою хвилею, що дозволяє перетворити локальну індикацію датчика на виходи 4-20 мА та цифровий зв'язок, який можна надіслати на контролер або систему управління.

2.2 Ємнісні передавачі .

Ці пристрої рис.2.2 діють на принципі, що технологічні рідини, як правило, мають діелектричні константи ϵ , що суттєво відрізняються від таких, або повітря, що дуже близько до 1,0.

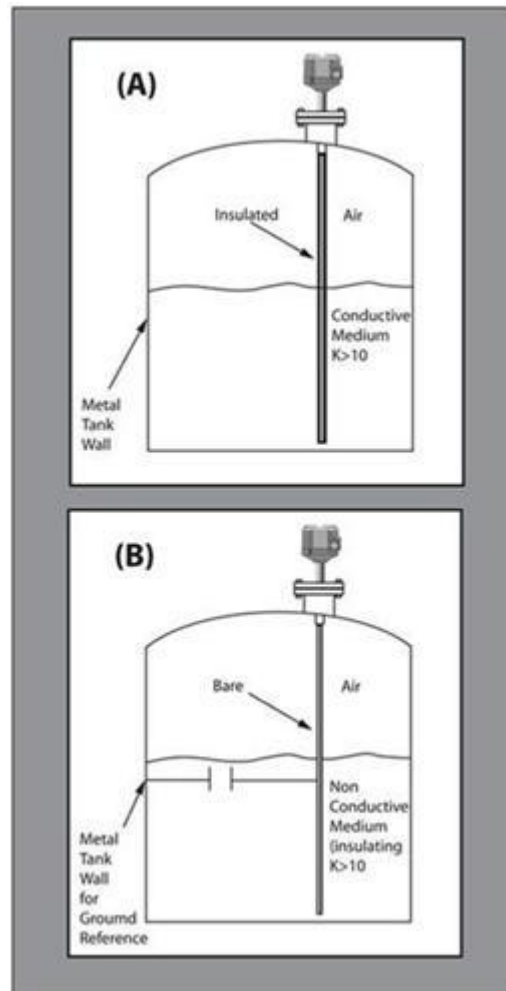


Рис.2.2. Ємнісні датчики рівня вимірюють зміну ємності між двома пластинами, спричинену зміною рівня. Доступні дві версії, одна для рідин з високими діелектричними постійними (А), а інша для тих, що мають низьку діелектричну проникність (В)[9]

Масла мають діелектричну проникність від 1,8 до 5. Чистий гліколь – 37, водних розчинів між 50 і 80. Ця технологія вимагає зміни ємності, яка змінюється залежно від рівня рідини, створюється або ізольованим

стрижнем, прикріпленим до передавача, і технологічною рідиною, або неізолюваним стрижнем, прикріпленим до передавача, стінка судини або еталонний зонд.

Коли рівень рідини піднімається і заповнює більший простір між пластинами, загальна ємність пропорційно зростає. Електронна схема, що називається місткою ємності, вимірює загальну ємність і забезпечує безперервне вимірювання рівня.

2.3 Сучасні технології

Мабуть, найсуттєвішою різницею між попередніми технологіями безперервного вимірювання рівня рідини та тими, що зараз набувають актуальності, є використання вимірювань часу прольоту (TOF) для перетворення рівня рідини у звичайний вихід. Ці пристрої, як правило, працюють шляхом вимірювання відстані між рівнем рідини та контрольною точкою на датчику або передавачі біля верхньої частини посудини.

Система, як правило, генерує імпульсну хвилю в опорній точці, яка передається або через паровий простір, або через провідник, відбивається від поверхні рідини і повертається до датчика в опорній точці. Електронна схема хронометражу вимірює загальний час у дорозі. Поділивши час подорожі на подвоєну швидкість хвилі, ви отримаєте відстань до поверхні рідини. Технології відрізняються в основному типом імпульсу, який використовується для вимірювання [10]

Магніострикційні передавачі рівня мають переваги при використанні магніту, що містить поплавок, для визначення рівня рідини вже встановлені, а магніострикція є перевіреною технологією для дуже точного зчитування місця розташування поплавця.

Замість механічних зв'язків магніострикційні передавачі використовують швидкість крутильної хвилі вздовж дроту, щоб знайти поплавок і повідомити про його положення.

У магнітострикційній системі рис.2.3 поплавець несе ряд постійних магнітів.

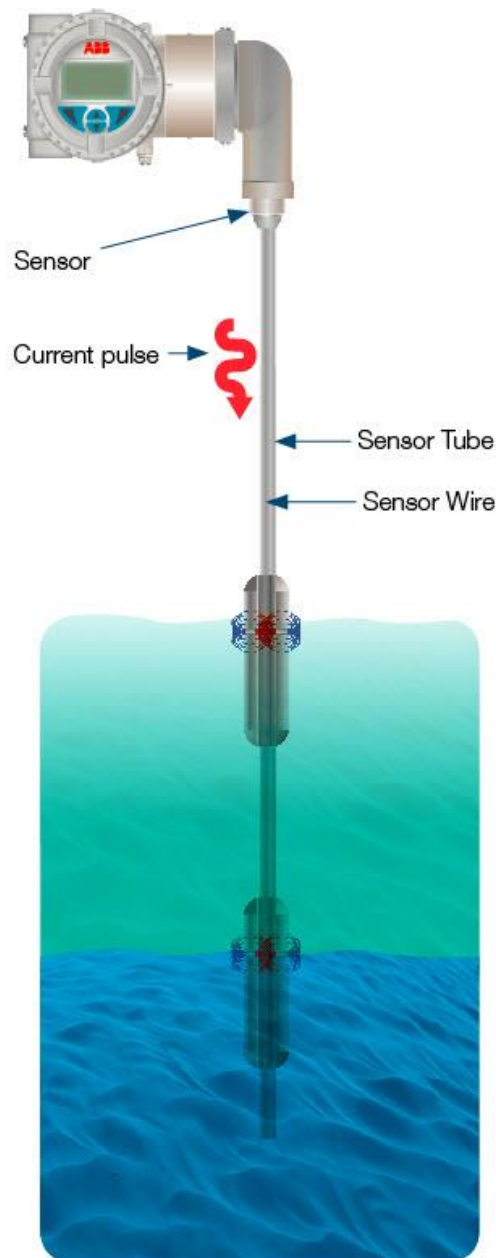


Рис.2.3. Магнітострикційні передавачі рівня використовують швидкість крутильної хвилі в дроті для вимірювання рівня[11]

Провід датчика підключений до п'єзокерамічного датчика на передавачі, а натяжний пристрій прикріплений до протилежного кінця трубки датчика. Трубка або проходить через отвір у центрі поплавця, або примикає до поплавця за межами немагнітної поплавкової камери.

Щоб знайти поплавок, передавач посилає короткий імпульс струму по дроту датчика, встановлюючи магнітне поле по всій довжині. Одночасно спрацьовує ланцюг синхронізації. Поле негайно взаємодіє з полем, генерованим магнітами в поплавці. Загальний ефект полягає в тому, що протягом короткого часу протікання струму в дроті створюється сила кручення, подібна до ультразвукової вібрації або хвилі[12]

Ця сила рухається назад до п'єзокерамічного датчика з характерною швидкістю. Коли датчик виявляє напружену хвилю, він виробляє електричний сигнал, який повідомляє синхронізацію, що хвиля надійшла, і зупиняє схему синхронізації. Схема синхронізації вимірює інтервал часу (TOF) між початком імпульсу струму та приходом хвилі. З цієї інформації місце розташування поплавця дуже точно визначається і передається передавачем як сигнал рівня. Ключовими перевагами цієї технології є те, що швидкість сигналу відома і постійна з такими змінними процесу, як температура і тиск, і на сигнал не впливає піна, розбіжність променя або помилкові відлуння. Ще однією перевагою є те, що єдиною рухомою частиною є поплавок, який їде вгору-вниз поверхнею рідини.

Ультразвукові датчики рівня рис.2.3 вимірюють відстань між датчиком і поверхнею, використовуючи час, необхідний для проходження ультразвукового імпульсу від датчика до поверхні рідини та назад (TOF).

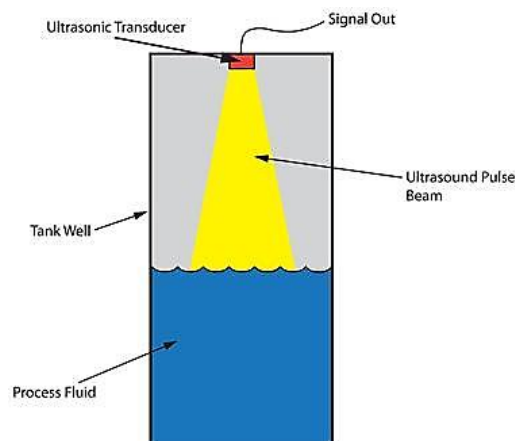


Рис.2.3 Ультразвукові передавачі рівня використовують швидкість звуку для розрахунку рівня[13]

Ці датчики використовують частоти в діапазоні десятків кілогерц, час транзиту становить ~ 6 мс / м. Швидкість звуку (340 м / с у повітрі при 15 градусах С, 1115 кадрів в секунду при 60 градусах за Фаренгейтом) залежить від суміші газів у головному просторі та їх температури.

Хоча температура датчика компенсується (припускаючи, що датчик має ту саму температуру, що і повітря в головному просторі), ця технологія обмежується вимірюванням атмосферного тиску в повітрі або азоті[14]

Лазерні перетворювачі рівня, призначені для сипучих речовин, суспензій та непрозорих рідин, таких як брудні відстійники, молоко та рідкий стирол, працюють за принципом, дуже подібним до принципу ультразвукових датчиків рівня. Замість того, щоб використовувати швидкість звуку для пошуку рівня, вони використовують швидкість світла рис.2.4.

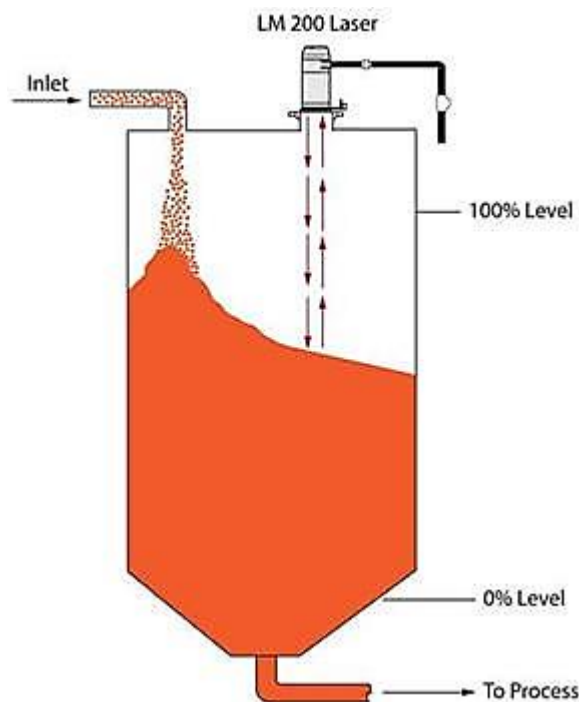


Рис.2.4 Лазерний передавач використовує короткий спалах лазерного світла для вимірювання рівня[15]

Лазерний передавач у верхній частині посудини випромінює короткий імпульс світла до поверхні технологічної рідини, яка відбиває його назад до детектора. Схема хронометражу вимірює минулий час (TOF) і обчислює

відстань. Ключовим є те, що лазери практично не мають розповсюдження променя (розбіжність пучка 0,2 градуса) і не мають помилкових відлунь, і їх можна спрямовувати через простір настільки, наскільки лазери точні, навіть у парі та піні. Вони ідеально підходять для використання на судах з численними перешкодами і можуть вимірювати відстань до 1500 футів.

Для застосувань з високою температурою або високим тиском, наприклад, в корпусах реакторів, лазери часто використовуються разом із спеціалізованими вікнами для ізоляції передавача від процесу. Ці скляні вікна ізолюють передавач від процесу. Ці скляні вікна значно пропускають лазерний промінь з мінімальною дифузією та загасанням і повинні містити умови процесу.

Передавачі рівня РЛС. Повітряні радіолокаційні системи пускають мікрохвилі вниз від рупор або стрижневої антени у верхній частині судна. Сигнал відбивається від поверхні рідини назад до антени, і схема синхронізації обчислює відстань до рівня рідини, вимірюючи час зворотного руху (TOP).

Ключовою змінною в радіолокаційній технології є діелектричний контакт рідини. Причина полягає в тому, що кількість відбитої енергії на НВЧ (радіолокаційних) частотах залежить від діелектричної проникності рідини, і якщо ϵ_r низький, велика частина енергії радара надходить або проходить через нього. Вода ($\epsilon_r = 80$) дає чудове відбиття при зміні або розриві в ϵ_r .

Радіолокаційні передавачі з керованою хвилею рис.2.5 також дуже надійні та точні. Жорсткий зонд або гнучка система кабельних антен направляють мікрохвилі вниз від верхньої частини бака до рівня рідини і назад до передавача. Як і у повітряному РЛС, зміна від нижчого до більш високого ϵ_r спричиняє відображення.

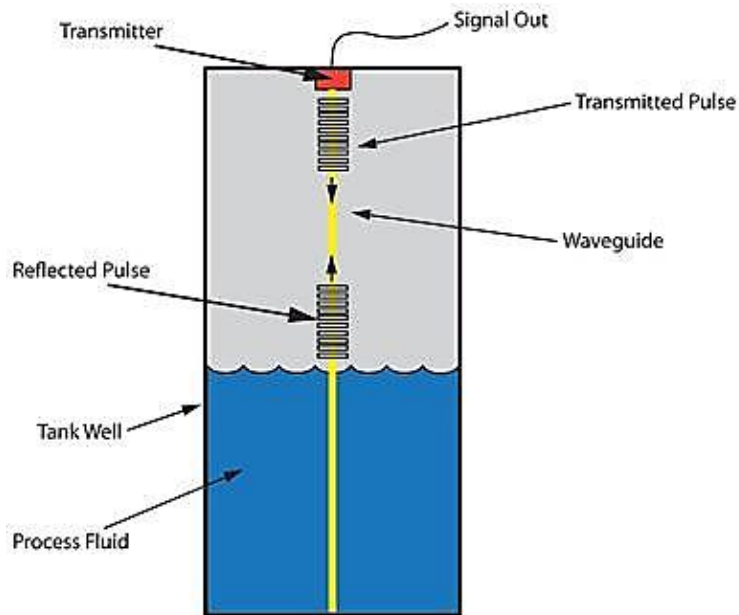


Рис.2.5 РЛС із керованою хвилею використовує хвилевід для проведення мікрохвильової енергії та з поверхні рідини[16]

Радар з керованою хвилею в 20 разів ефективніший, ніж радіолокаційний, оскільки напрямок забезпечує більш сфокусований енергетичний шлях. Різні конфігурації антен дозволяють вимірювати до $ER = 1,4$ і нижче. Більше того, ці системи можуть бути встановлені як вертикально, так і в деяких випадках горизонтально з напрямком, зігнутим на 90 градусів під кутом, і забезпечують чіткий сигнал вимірювання.

GWR демонструє більшість перевагпо відношенню до ультразвукових, лазерних та радіолокаційних систем під відкритим небом. На швидкість хвилі радіолокатора значною мірою не впливає склад газового простору, температура або тиск. Він працює у вакуумі без необхідності повторного калібрування і може вимірювати більшість шарів піни. Обмеження хвилі за зондом або кабелем усуває проблеми розповсюдження променя та помилкові відлуння від стінок та конструкцій резервуарів.

РОЗДІЛ 3

ДАТЧИКИ РІВНЯ FDC1004EVM

3.1 Техніка ємнісного зондування

Для визначення висоти рівня рідини в ємностях для води використовувались різні методи, але нещодавно, ємнісне зондування набуло популярності завдяки точності та роздільній здатності вимірювань.

Звичайна ємнісна техніка має обмеження щодо надійності, оскільки будь-які зовнішні перешкоди (дляприклад - рука людини) спричиняє зміщення ємності.

Ми пропонуємо альтернативний підхід до звичайної ємнісної техніки зондування для рівня рідини. Він забезпечує необхідний бар'єр для мінімізації будь-яких перешкод до максимуму сигналу, коефіцієнт шуму та загальну надійність системи. Цей підхід називають поза фазовим (OoP) методом.

Техніка OoP спирається на симетричну компоновку датчика, а також на використання драйверів екрану унікальний спосіб стабілізації вимірювань.

Ця конструкція датчика в парі з FDC1004EVM та графічним інтерфейсом дозволяє в простий і швидкий спосіб створити прототип та оцінити цей метод рідини.

Розглянемо теорію, що лежить в основі техніки OoP, розміщення датчика та датчика мірювання щодо проектування змін системного середовища. Інформація дає систему, розробники передають інтеграції ємнісної технології зондування в новий рівень рідини програми, які вимагають надійності та високої роздільної здатності.

Еталонна конструкція зондування рівня рідини на основі ємності базується на перетворювачі ємності та цифрових сигналів FDC1004. Однак він зосереджений на компонованні датчика. Він був розроблений для поєднання з FDC1004EVM та графічним інтерфейсом як модульна система.

3.2 Система FDC1004EVM

FDC1004EVM - це система plug and play для тестування та оцінки датчика FDC1004, 4-канальної ємнісної цифровий перетворювач. EVM - це гнучка друкована плата, яка складається з 3 розділів:

- мікроконтролер MSP430F5528, який виконує роль моста між USB та I2C між ПК та ПКFDC1004;

- FDC1004;

- безконтактний датчик для демонстрації чутливості FDC1004.

Основні переваги FDC1004EVM:

- не потребує додаткового обладнання, калібрування та будь-якого програмного забезпечення;

- потрібен лише графічний інтерфейс FDC1004EVM, який повинен бути встановлений на хост-ПК;

- GUI може налаштовувати регістри FDC1004, відображати ємнісні значення на чотирьох графіках(по одному для кожного вимірювання) та експортувати дані у форматі CSV.

Зондування рівня рідини базується на теорії раціометричного вимірювання з використанням трьох датчиківпоказано на рис.3.1

Рівень - ємність електрода рівня пропорційна висоті рідини (hw). Він повинен бути таким високим, як максимально допустимий (MAX) рівень рідини.

Контрольна рідина (PL) - на досильний рідкий електрод припадаєдодаткові одиничні виміри електрода рівня. Рівень рідини повинен бути вищимніж висота RL, щоб мати незалежно від рідини та температури вимірюваннясистеми.

Контрольне середовище (RE) - другий (необов'язковий) рахунок опорних електродівдля властивостей контейнера. Він повинен бути розміщений вище максимально допустимого рівня (MAX) рівня рідини

щоб ізолювати його від рівня рідини, дозволяючи йому відстежувати фактори навколишнього середовища, а не первинну мішень (рідина в контейнері).

Ключовим аспектом цього підходу є те, що всі три датчики працюють з однаковим збудженням сигналу. Зміни сигналу збудження внаслідок зміни ємності вимірюються та використовуються для розрахунку відповідного рівня рідини.

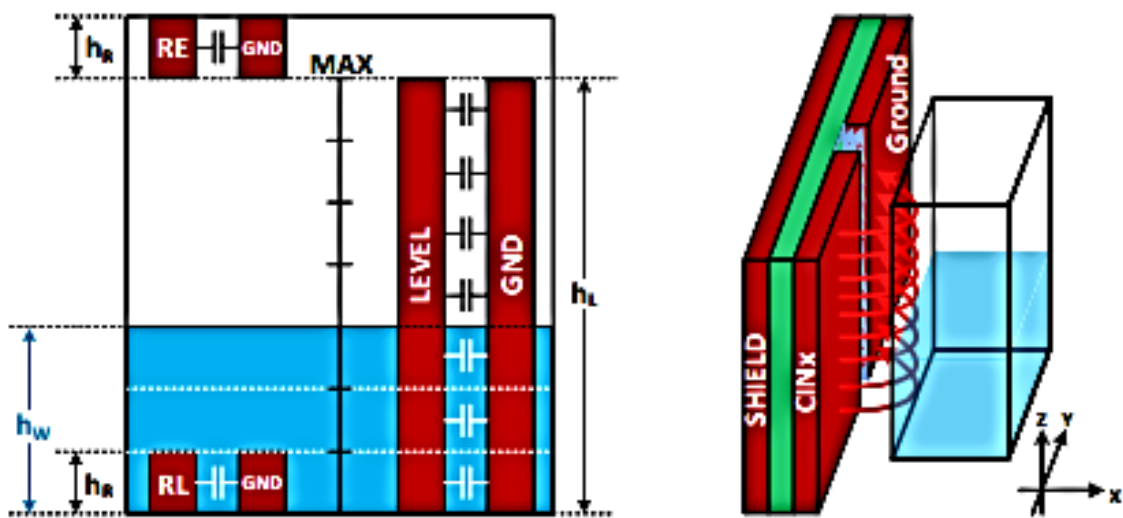


Рис.3.1. Налаштування раціометричного вимірювання[17]

3.3 Принцип роботи зондування рівня

Принцип роботи зондування рівня рідини включає вимірювання ємності канту між первинним електродом рівня (CINx) та заземлюючим електродом (GND) в паралельній топології пальців. Ємність канту стає функцією зміни діелектрика в напрямку осі x і пропорційна висоті рідини.

Рис.3.1 також ілюструє використання екрану за обома електродами, який фокусує напрямок зондування до рідинної мішені і створює бар'єр від будь-яких перешкод, що впливають на вимірювання з тильної сторони. FDC1004 оснащений двома виділеними драйверами екрану, які можуть наближатись до ємності до 400 пФ кожен.

Екран приводиться в дію з тим же сигналом збудження, що й інші датчики. Оскільки він заряджений до того самого потенціалу, що й інші датчики, на стороні екрану датчиків немає електричного поля, тому єдине активне поле знаходиться у напрямку рідини.

Розмір датчика РЕ повинен бути такого ж розміру, як RL, тому вимірювання можна відняти одне від одного. Якщо розміри датчиків не збігаються, диференціальне вимірювання неможливо виконати, оскільки ємність канту не відповідає лінійній пропорції розміру площі (на відміну від паралельної форми пластини).

Рис. 3.2 ілюструє приклад ємності електронів рівня та еталону на основі висоти рівня рідини. Ємність електрода level збільшується лінійно зі збільшенням рівня рідини. Як тільки рівень рідини перевищує висоту h_R , ємність RL насичується і стає постійною. Порожнє посилання показує поведінку РЕ-електрода, і будь-яка зміна факторів навколишнього середовища за допомогою цього електрода може бути використана для усунення змін, що спостерігаються на рівні та РЛ-електроді.

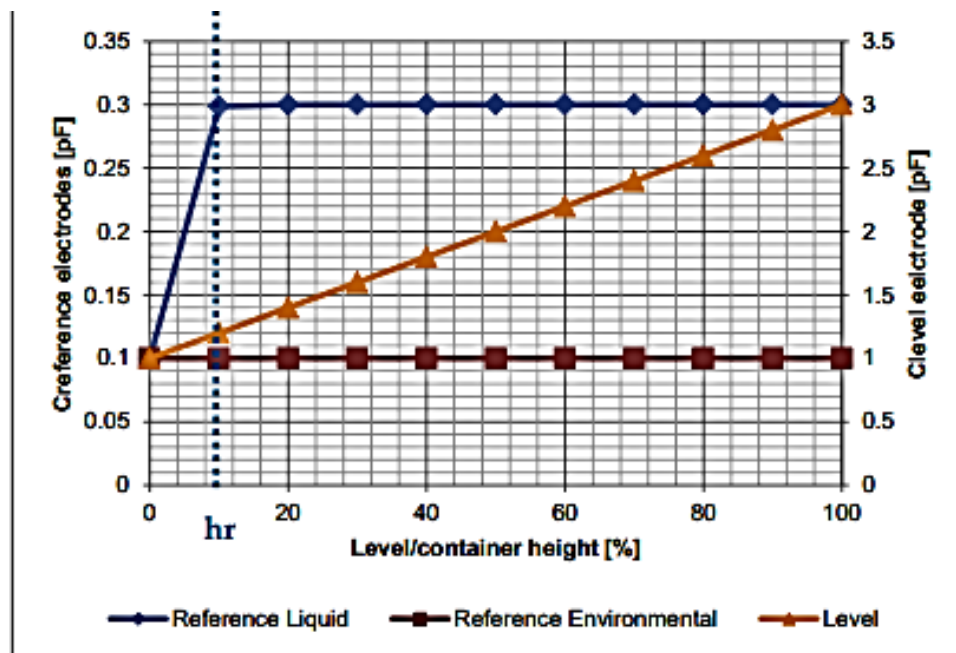


Рис. 3.2. Вимірювання ємності для електродів LEVEL, RL та RE[18]

Звичайний підхід використання електрода, підключеного до входу каналу FDC1004, у парі з заземлюючим електродом, працює належним чином, якщо система ізольована від будь-якого зовнішнього впливу на ємність системи. Проблема виникає із введенням будь-якої заземленої перешкоди або паразитної ємності в систему. Ця перешкода спричиняє відхилення у вимірах ємності. Ці відхилення можуть бути досить значними, щоб їх не можна було відрізнити від невеликих або великих змін рівня рідини, що в кінцевому підсумку порушує точність та надійність системи. Електрична модель системи рівня рідини містить ємність та опір води та ємність контейнера зображена на рис.3.3 від електрода CINx (LEVEL) до електрода GND.

Виміряна ємність із збільшенням рівня рідини повинна бути лінійною. Коли присутність людського тіла (людська рука) знаходиться в безпосередній близькості від джерела рідини, в модель вводиться додаткова паразитна ємність, яка спричиняє зміну різниці потенціалів внаслідок зміни рідини щодо відсутності руки. Ця різниця потенціалів відповідає відхиленням (як показано на графіку праворуч на рис.3.3) вздовж лінійного графіку даних.

Альтернативним підходом до пом'якшення цієї додаткової паразитної ємності є методика поза фазою (OoP).

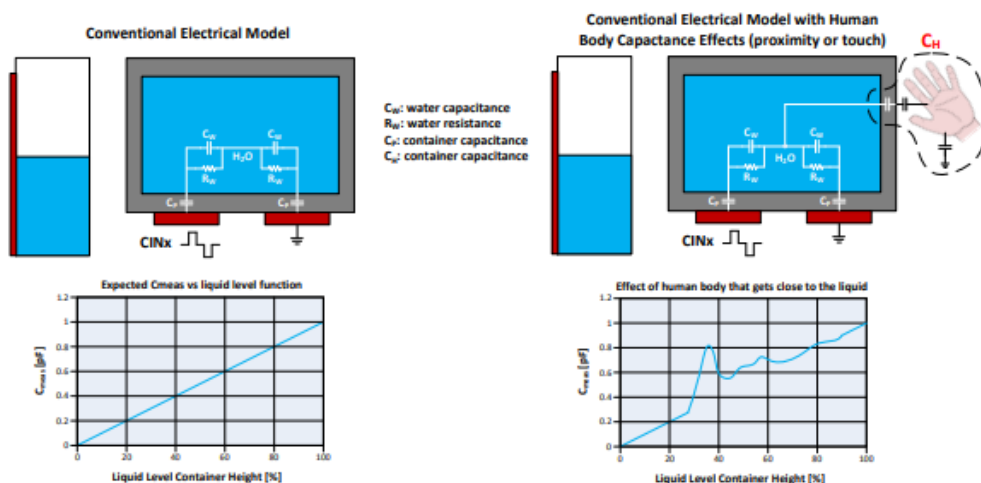


Рис.3.3. Порівняння звичайної електричної моделі з наявністю та відсутністю людського тіла[19]

Методика ОоР спирається на симетричну компоновку датчика, а також на використання унікальних драйверів екрану для протидії впливу ємності людського тіла та стабілізації вимірювань. За звичайного підходу рідина відчуває різницю потенціалів напруги до GND. У техніці ОоР потенціал рідини підтримується постійним під час фаз збудження / приводу за допомогою диференціалаємнісного вимірювання, таким чином усуваючи вплив вимірювань на ємність людського тіла.

На рис.3.4 показано порівняння звичайної електричної моделі та ОоР. Техніка ОоР використовує унікальні особливості FDC1004 для керування електродами CINx та електродом SHLDy в диференціальному режимі, щоб зробити потенціал напруги на вузлі СН фіксованим.

Електрод SHLDy займає місце електрода GND і активно приводиться в рух. конкретно, FDC1004 налаштований на диференціальний режим (CINx - CINy), наприклад CIN1 - CIN4.

У цьому випадку за замовчуванням SHLD1 знаходиться в фазі з CIN1, а SHLD2 - у фазі з CIN4. Оскільки CIN1 і CIN4 знаходяться на 180 градусів поза фазою по відношенню один до одного, вузол СН підтримується на постійному потенціалі. Дивіться таблицю даних FDC1004, щоб отримати додаткову інформацію про конфігурації диференціального режиму та спосіб з'єднання екранів з каналами.

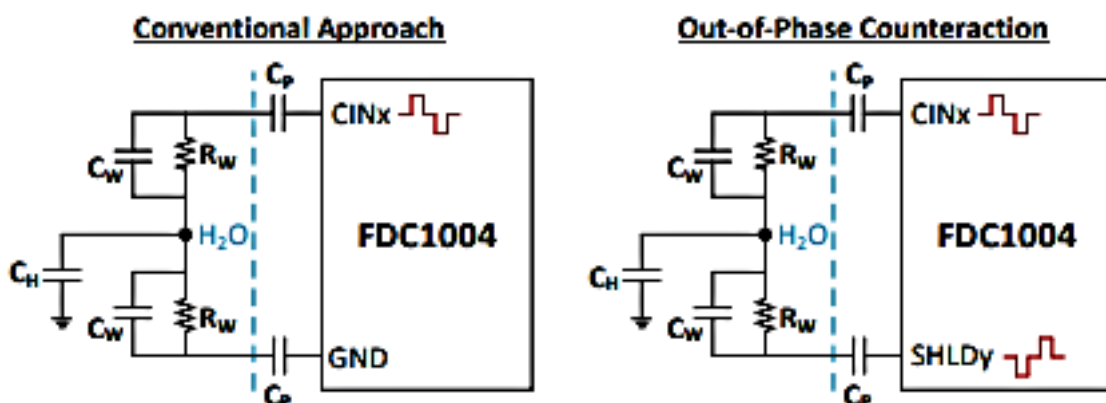


Рис.3.4. Порівняння традиційного підходу та електричної моделі ОоР[20]

3.4 Макет датчика

Технологія ОоР ефективна, оскільки ємність по відношенню до рідини, яку бачить синфазний та позафазний сигнал збудження та драйвер, однакова. Цей підхід в значній мірі спирається на симетрію каналних та екрануючих електроди. Якщо є невідповідність, рідина не матиме постійного потенціалу, ключовою є симетрія. [21]

На рис. 3.5 показано будову датчика, який включає захисні перешкоди на задній стороні електродів. ОоР працює, оскільки FDC1004 можна налаштувати на диференціальний режим. Більшість інших ємнісних цифрових перетворювачів не можна налаштувати таким чином. Для реалізації методу ОоР зондування рівня рідини за допомогою FDC1004 використовуються наступні датчики можуть бути використані завдання:

- CIN1 - електрод рівня;
- CIN2 - довідковий РІДКИЙ електрод (RL);
- CIN3 - ЕЛЕКТРОД ДОВКІЛЛЯ (RE) - необов'язково;
- CIN4 - плаваючий електрод, не прикріплений.

Вимірювання FDC1004 будуть налаштовані наступним чином:

- MEAS1 = CIN1 (CHA) - CIN4 (CHB). CIN1 встановлюється як позитивний вхідний канал, а CIN4 - як негативний вхідний канал;
- MEAS2 = CIN2 (CHA) - CIN4 (CHB). CIN2 встановлюється як позитивний вхідний канал, а CIN4 - як негативний вхідний канал;
- З MEAS1 і MEAS2 у диференціальному режимі CIN1 або 2 є фазовим з SHLD1, а CIN4 - з SHLD2. CIN1 або 2 та CIN4 виходять з ладу на 180 градусів.

Електрод SHLD2, прилеглий до CHx, повинен бути екранований іншим електродом SHLD2, що прилягає до SHLD1, щоб відповідати

симетричності збудження, фази збудження, фази міжфазного та позафазного, як показано на рис.3.5

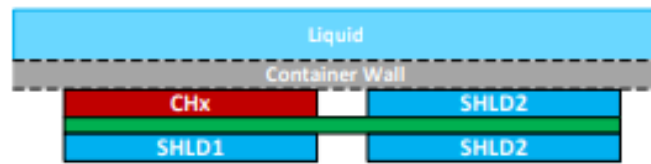


Рис.3.5. Розміщення датчика техніки ОоР для секцій LEVEL і REF[22]

Щоб забезпечити подальшу симетрію, SHLD1 і SHLD2 (найбільш віддалені від рідини) мають абсолютно однакові розміри, як SHLD для електрода LEVEL (показано на рис.3.6).

SHLD1 і SHLD2 спільно використовуються між LEVEL і RL. Оскільки FDC1004 послідовно відбирає канали ємності, коли він зчитує ємність для зменшення рівня, рівень RL плаває, але SHLD1 і SHLD2, з'єднані з секцією RL, підключені під час рівня обслуговування. Створення симетрії між ділянками LEVEL і RL настільки ж важливе, як і симетрія в кожному розділі вимірювання.

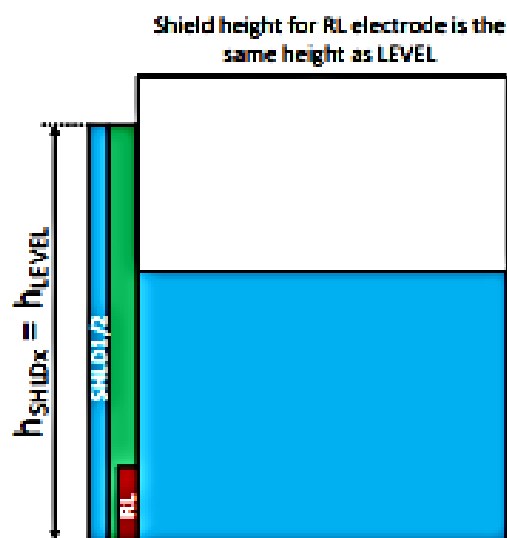


Рис.3.7. Вид збоку висоти електрода SHLD порівняно з висотою електрода RL[23]

Дотримання наведених нижче вказівок забезпечить максимальну якість роботи сенсорної системи:

- збільшення ширини електрода збільшує чутливість (нелінійно);
- зазор між датчиком електрода та екраном електрода порівняння повинен становити від $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{2}$ ширини електрода. Збільшення його більше не забезпечує додаткової чутливості до системи;
- чутливість та роздільна здатність будуть залежати від ширини електродів, зазору між електродом, відстані між електродами та контейнером, матеріалу контейнера та товщини контейнера[24]

Ізоляційний матеріал між двома шарами електродів, як правило, має FR4. Прийнята стандартна товщина друкованої плати. Зменшення цього зазору між двома шарами забезпечить кращу екранізацію, але трохи зменшить чутливість. Оптимізація цього параметра залежить від системи.

Великий зазор між електродами та контейнером веде до зниження чутливості, якщо будуть наявні повітряні проміжки. Тому потрібна їх мінімізація.

Якщо застосування датчика рівня рідини вимагає дистанційного зондування (електроди не контактують з контейнером), потрібно збільшити ширину електродів, щоб компенсувати повітряні проміжки, зміни діелектричної проникності та товщину стінок контейнера та основного корпусу.

Цей дизайн має роздільну здатність чутливості <1 мм відповідно до наведених вище вказівок.

ВИСНОВКИ

Під час виконання даної роботи, мною було досліджено літературу, розглянуто різні види автономних давачів рівня та сучасних сенсорів, проаналізовано переваги та недоліки, вивчено методики їх використання.

Також було запропоновано альтернативний підхід до звичайної ємнісної техніки зондування для рівня рідини. Він забезпечує необхідний бар'єр для мінімізації будь-яких перешкод до максимуму сигналу, коефіцієнт шуму та загальну надійність системи.

Сучасні датчики рівня містять все більше різноманітних матеріалів та сплавів для боротьби з суворими середовищами, такими як масла, кислоти та різкі температури та тиск.

Нові матеріали допомагають технологічним інструментам також виконувати спеціалізовані вимоги, такі як вузли, виготовлені з матеріалу з покриттям з ПТФЕ для корозійних навантажень та електрошліфованої нержавіючої сталі для забезпечення чистоти. Зонди, виготовлені з цих нових матеріалів, дозволяють використовувати контактні передавачі практично в будь-яких додатках.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Yumei, L. Research and Design on an Intelligent Level Measurement System. *J. Sichuan Univ. Sci. Eng.* 2009, 22, 108–110.
2. Sakharov, V.E.; Kuznetsov, S.A.; Zaitsev, B.D.; Kuznetsova, I.E.; Joshi, S.G. Liquid level sensor using ultrasonic Lamb waves. *Ultrasonics* 2003, 41, 319–322.
3. Pal, A.; Kalyan, U.P.; Harika, C.M.; Vasuki, B. Capacitive Sensor for Level Measurement in Hopper/Silos—Experimental Evaluation. In *Proceedings of the International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT)*, Kannur, India, 5–6 July 2019.
4. Ren, K. The influence by temperature and product density to accuracy of magnetostrictive level gauge. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Information Acquisition*, Hefei, China, 21–25 June 2004; pp. 248–251.
5. Lee, C.; Zheng, Y.; Chang, H. Directional fiber-optic level meter based on a micro-air-bubble drifted in a liquid core fiber Fabry-Pérot interferometer. In *Proceedings of the Conference on Lasers and Electro Optics*, San Jose, CA, USA, 9–14 June 2013; pp. 1–2.
6. Camposmartin, J.M.; Capelsanchez, M.C.; Perezpresas, P.; Fierro, J.L.G. Oxidative processes of desulfurization of liquid fuels. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 2010, 85, 879–890.
7. Khairi, M.T.M.; Ibrahim, S.; Yunus, M.A.M.; Faramarzi, M. Contact and non-contact ultrasonic measurement in the food industry: A review. *Meas. Sci. Technol.* 2016, 27, 012001.
8. Berketis, K.; Tzetzis, D.; Hogg, P.J. Noncontact ultrasonics used for impact damage detection on long-term water-immersed GFRP composites. *Int. J. Microstruct. Mater. Prop.* 2009, 4, 34–44.
9. Tenoudji, F.C.; Citerne, J.M.; Dutilleul, H.; Busquet, D. Non-contact ultrasonic defect imaging in composites. In *AIP Conference Proceedings*; AIP Publishing LLC: Melville, NY, USA, 2016; Volume 1706, p. 080003.

10. Alvarenga, A.V.; Silva, C.E.R.; Costafelix, R.P.B. Monte Carlo uncertainty assessment of ultrasonic beam parameters from immersion transducers used to non-destructive testing. *Ultrasonics* 2016, 69, 144–151.
11. Zhang, M.; Li, S. A method of the untouched ultrasonic liquid level measurement with high precision. In *Proceedings of the 2010 International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010)*, Taiyuan, China, 22–24 October 2010; Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE): Piscataway, NJ, USA, 2010; Volume 7, pp. V7–V144.
12. Gan, T.H.; Pallav, P.; Hutchins, D.A. Non-contact ultrasonic quality measurements of food products. *J. Food Eng.* 2006, 77, 239–247.
13. Zakaria, Z.; Idroas, M.; Samsuri, A.; Adam, A.A. Ultrasonic instrumentation system for Liquefied Petroleum Gas level monitoring. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* 2017, 45, 428–435.
14. Haohao, H.; Junqiao, X. A method of liquid level measurement based on ultrasonic echo characteristics. In *Proceedings of the International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010)*, Taiyuan, China, 22–24 October 2010; Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE): Piscataway, NJ, USA, 2010; Volume 11, pp. V11–V682.
15. Hauptmann, P.; Hoppe, N.; Püttmer, A. Application of ultrasonic sensors in the process industry. *Meas. Sci. Technol.* 2002, 13, R73.
16. Yanjun, Z.; Bin, Z.; Liang, Z.; Yunchao, L.; Xiaolong, G.; Zhaojun, L. Liquid Level Measurement Model Outside of Closed Containers Based on Continuous Sound Wave Amplitude. *Sensors* 2018, 18, 2516.
17. Danilov, V.N. Selection of the parameters of a probe during immersion ultrasonic inspection. *Russ. J. Nondestruct. Test.* 2007, 43, 336–343.
18. Lanoye, R.; Vermeir, G.; Lauriks, W.; Kruse, R.; Mellert, V. Measuring the free field acoustic impedance and absorption coefficient of sound absorbing materials with a combined particle velocity-pressure sensor. *J. Acoust. Soc. Am.* 2006, 119, 2826–2831.

19. Chen, L.; Dong, X.; Han, J.; Ye, P. Development of a Ultrasonic Instrument for the Sealed Container's Liquid Level Measurement. In Proceedings of the World Congress on Intelligent Control & Automation, Dalian, China, 21–23 June 2006; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2006.

20. Ohbuchi, T.; Mizutani, K.; Wakatsuki, N.; Nishimiya, K.; Masuyama, H. Reconstruction of Three-Dimensional Sound Field from Two-Dimensional Sound Field Using Optical Computerized Tomography and Near-Field Acoustical Holography. *Jpn. J. Appl. Phys.* 2009, 48, 07GC03.

21. Gao, W.; Liu, W.; Hu, Y.; Wang, J. Study of Ultrasonic Near-Field Region in Ultrasonic Liquid-Level Monitoring System. *Micromachines* 2020, 11, 763.

22. Gunawan, A.I.; Saijo, Y.; Hozumi, N.; Yoshida, S.; Kobayashi, K.; Yamamoto, S. Acoustic impedance estimation using calibration curve for scanning acoustic impedance microscope. In Proceedings of the 2016 International Conference on Knowledge Creation and Intelligent Computing (KCIC), Manado, Indonesia, 15–17 November 2016; pp. 240–245.

23. Pilch, A.; Kamisiński, T.; Zastawnik, M. Comparison of Pressure and Intensity Methods in Evaluating the Directional Diffusion Coefficient. *Acta Phys. Pol. A* 2013, 123, 1054–1058.

24. Liu, Y.; Li, H. Wave reflection and transmission by porous breakwaters: A new analytical solution. *Coast. Eng.* 2013, 78, 46–52.