

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра електроніки та наносистем

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: “Мікропроцесорний пристрій для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом ”

08-05.МКР.153.05.000

Виконав: студент 2-го курсу, групи МНТ-18м,
спеціальності

153 – “Мікро- та наносистемна техніка”

(шифр і назва спеціальності)

Коваль Д. С.

(прізвище та ініціали)

Керівник, к.т.н., доц. Кафедри ЕНС

Жагловська О. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент, к.т.н. професор кафедри ТКСТБ

Барась С. Т.

(прізвище та ініціали)

Вінниця – 2019 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет радіотехніки, зв'язку та приладобудування
Кафедра електроніки та наносистем
Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр
Спеціальність 153 – “Мікро- та наносистемна техніка”

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ЕНС,
д.т.н., проф. Білинський Й. Й.

«3» вересня 2019 р.

ЗАВДАННЯ ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІНОЇ РОБОТИ

Ковалю Денису Станіславовичу

1. Тема роботи МКР: Мікропроцесорний пристрій для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом

Науковий керівник роботи Жагловська Олена Миколаївна, к.т.н, доц. кафедри ЕНС.

Затверджено наказом ректора ВНТУ від «3» вересня 2019 року № 254.

2. Строк подання студентом роботи: 12 грудня 2019 р.

3. Вихідні дані для виконання роботи:

напруга живлення $U_{ж}=9 В$;

діапазон робочих температур $t_{роб}=-20-+60^{\circ}C$;

діапазон робочих частот $850 - 1280 кГц$;

діапазон зміни ємності чутливого елемента $180 - 840 Пф$;

чутливість пристрою $S = (2-9) кГц/см$.

діапазон вимірювання $h = 0 - 26 см$.

4. Зміст пояснювальної записки:

Аналіз сучасного стану розвитку пристроїв вимірювання рівня рідини. Розробка структурної схема та електричної схеми мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з

ємнісним чутливим елементом. Вибір елементної бази мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісного чутливого елемента. Техніко-економічні розрахунки. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу: електрична принципова схема.

6. Консультанти розділів роботи

1. Науковий керівник _____ О. М. Жагловська, к.т.н, доц. кафедри ЕНС
(підпис)

«____» _____ 2019 р.

2. Економічна частина _____
(підпис) (наук. ступінь, вчене звання (посада), ініціали та прізвище)

«____» _____ 2019 р.

3. Охорона праці _____
(підпис) (наук. ступінь, вчене звання (посада), ініціали та прізвище)

«____» _____ 2019 р.

Дата попереднього захисту роботи «12» грудня 2019 р.

Рецензент _____ С. Т. Барась, к.т.н., проф. кафедри ТКСТБ
(підпис)

«____» _____ 2019 р.

Завдання видав

науковий керівник _____ О. М. Жагловська, к.т.н, доц. кафедри ЕНС
(підпис)

«2» вересня 2019 р.

Завдання отримав магістрант _____ Д. С. Коваль
(підпис)

«2» вересня 2019 р.

РЕФЕРАТ

Коваль Д. С. Мікропроцесорний пристрій для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 106 с.

Представлено розробку мікропроцесорного пристрою вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом. Зроблено аналізі сучасної теоретичної бази та проведено порівняльний аналіз існуючих пристроїв вимірювання рівня рідини, розглянуто основні вимоги, які висуваються до даних пристроїв. Розроблено електричну принципову схему та проведено схемотехнічне моделювання, яке показало, що при зміні рівня рідини в межах 0 – 26 см, змінюється частота вихідного сигналу від 1264,2 до 867 кГц, визначено чутливість пристрою в цьому діапазоні 17 – 24 кГц/см. Проведено техніко-економічні розрахунки. Наведено рекомендації, щодо охорони праці на робочому місці.

ABSTRACT

Koval D. S. Microprocessor-based device for measuring the liquid's level based on a frequency converter with a capacitive sensing element. Master's qualification work. – Vinnytsya: VNTU, 2019. – 106 p.

It's developed the microprocessor-based device for measuring the liquid's level based on a frequency converter with a capacitive sensing element. It's provided an overview of the current theoretical framework and provides a comparative analysis of existing liquid level measurement devices, discusses the basic requirements for these devices. It's developed the electrical schematic diagram and circuit modeling, which have showed that when the fluid level is changed within 0 – 26 cm, the frequency of the output signal changes from 1264.2 to 867 kHz, the sensitivity of the device in this diapason 17 – 24 kHz/cm is determined. It's made a technical and economic calculations. It's provided recommendation on workplace safety.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ ПРИСТРОЇВ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ РІДИНИ.....	10
1.1 Сучасні вимоги до пристрою вимірювання рівня рідини.....	10
1.2 Принцип дії і недоліки найпростіших ємнісних рівнемірів.....	16
1.3 Основи побудови вимірювальних схем ємнісних самокомпенсованих рівнемірів.....	18
1.4 Вимірювальні схеми з зустрічним регулюванням.....	21
1.5 Оцінювання комерційного потенціалу розробки.....	24
1.6 Оцінювання рівня конкурентноспроможності розробки.....	25
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ РІДИНИ З ЧАСТОТНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ НА ОСНОВІ ЄМНІСНОГО ЧУЛИВОГО ЕЛЕМЕНТА.....	32
2.1 Розробка структурної схеми мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом.....	32
2.2 Схема електрична принципова мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом	33
2.3 Математична модель ємнісного чутливого елемента.....	35
2.4 Математична модель частотного перетворювача на основі ємнісного чутливого елемента.....	38
2.5 Розробка алгоритму роботи мікроконтролера.....	43
2.6 Моделювання схеми мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом..	44

3 ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ РІДИНИ НА ОСНОВІ ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ЄМНІСНИМ ЧУТЛИВИМ ЕЛЕМЕНТОМ	47
3.1 Вибір елементної бази пристрою.....	47
3.2 Вибір матеріалу друкованої плати.....	49
3.3 Розробка конструкції друкованої плати.....	51
3.3.1 Технологія виготовлення друкованих плат.....	51
3.3.2 Вибір типу друкованої плати.....	53
3.3.3 Вибір класу точності друкованої плати.....	53
3.3.4 Розрахунок ширини провідників.....	54
4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	56
4.1 Прогнозування витрат на виконання НДДКР.....	56
4.2 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки...	62
4.3 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності....	64
4.4 Визначення коефіцієнта значимості отриманих результатів науково- дослідної роботи.....	66
4.4.1 Внесок дослідника в досягнення результатів НДР.....	68
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	69
5.1 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	69
5.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони.....	69
5.1.2 Виробниче освітлення.....	73
5.1.3 Виробничі віброакустичні коливання.....	75
5.1.4 Виробничі випромінювання.....	76
5.2 Технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом.....	77
5.2.1 Безпека щодо організації робочих місць.....	77
5.2.2 Електробезпека.....	77
5.2.3 Пожежна безпека.....	77

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях.....	79
5.3.1 Дослідження стійкості роботи мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини в умовах дії іонізуючого випромінювання.....	80
5.4.2. Дослідження стійкості роботи мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	82
ВИСНОВКИ.....	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	90
Додаток А – Технічне завдання.....	93
Додаток Б – Вхідний блок для передачі інформації. Схема електрична принципова.....	97
Додаток В – Вихідний блок для приймання інформації. Схема електрична принципова.....	99
Додаток Г – Структурна схема вхідного та вихідного блоків для передачі і приймання інформації мікропроцесорного пристрою.....	101
Додаток Д – Графіки залежності.....	102
Додаток Е – Еквівалентна схема частотного перетворювача на основі ємнісного чутливого елемента.....	104
Додаток Є – Перетворена еквівалентна схема частотного перетворювача на основі ємнісного чутливого елемента.....	105
Додаток Ж – Блок-схема алгоритму роботи мікропроцесорного пристрою.....	106

ВСТУП

Актуальність теми

Серед контрольно – вимірювальних приладів вагоме місце займають вимірювачі рівня рідких речовин (рівнеміри). Сфера використання рівнемірів з вдосконаленням технологічних процесів, з розвитком засобів централізованого контролю і автоматичного управління весь час розширяється. В хімічній, нафтовій, харчовій, і других галузях промисловості точне підтримання і ведення ряду технологічних процесів потребує використання досконалих пристроїв для вимірювання рівня речовини. При здійсненні різних технологічних процесів в вище згаданих галузях промисловості наряду з необхідністю виміру таких універсально – контрольованих параметрів, як температура і тиск, досить часто не можна обійтися без виміру і контролю рівня речовини в закритих і відкритих резервуарах [1].

В основу роботи вимірювачів рівня речовини можуть бути покладені різні фізичні залежності як електричного, так і неелектричного характеру. На даний час все більш широке розповсюдження отримують електричні методи виміру неелектричних величин. Серед електричних методів виміру рівня речовини ємнісні методи займають досить вагоме місце. Це пов'язано з тим, що прилади для виміру рівня речовини на основі цих методів досить універсальні, прості за своєю схемою і конструкцією, у них відсутні елементи які переміщуються в зоні виміру рівня. Датчики ємнісних рівнемірів досить прості, вони можуть працювати при великих тисках і температурах, а також в високо агресивних середовищах, що має важливе значення при використанні рівнемірів в багатьох галузях промисловості. Перетворюючи вимірювальний параметр в вихідний сигнал, який можна виміряти і оцінити кількісно, ємнісні рівнеміри мають ряд недоліків, серед яких: низька чутливість і завадостійкість, значна похибка вимірювання.

Для вимірювання рівня рідини застосовують поплавкові, буйкові, гідростатичні, ультразвукові та акустичні прилади, для вимірювання рівня рідини і твердих сипучих матеріалів – ємнісні і радіоізотопні.

Мета дослідження

Метою роботи є підвищення чутливості та завадостійкості пристрою за рахунок введення нових елементів і зв'язків між ними з можливістю передавання інформації на відстань

Задачі дослідження:

- проаналізувати існуючі прилади для вимірювання рівня рідини та обрати найбільш оптимальний принцип побудови пристрою;
- провести розробку структурної та електрично-принципової схеми мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом;
- провести схемотехнічне моделювання пристрою;
- провести техніко-економічні розрахунки пристрою.
- запропонувати заходи безпеки під час проведення розробки пристрою.

Об'єктом дослідження є процес перетворення електричного сигналу в частотний сигнал на основі транзисторних структур з від'ємним опором.

Предметом дослідження є параметри та характеристики розробленого пристрою.

Методи дослідження:

- проведення експериментального дослідження по визначенню частоти, чутливості пристрою та ємності ємнісного чутливого елемента при різних значеннях рівня рідини;
- аналіз літературних джерел;
- розробка схеми електричної принципової та її моделювання за допомогою пакету PROTEUS.

Наукова новизна одержаних результатів:

- Отримав подальший розвиток ємнісний метод вимірювання рівня рідини, в якому використано перетворення електричного сигналу в частотний на основі транзисторних структур з від'ємним опором за рахунок введення нових елементів, та зв'язків між ними.

- Розроблена математична модель розрахунку параметрів перетворювача, яка враховує наявність RC коливального контуру.

Практичне значення одержаних результатів:

Запропоновані нові технічні рішення можуть бути використанні в подальшому для розробки нових більш ефективніших і завадостійких пристроїв для вимірювання рівня рідини.

Апробація результатів роботи:

Результати досліджень, що викладені в магістерській кваліфікаційній роботі, були апробовані на наукових конференціях, серед них: III Международная научная IEEE конференция «Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo'2018)» (10 – 14 вересня 2018 р., м. Одеса); XIV Международная научно-практическая конференция «Научный прогресс на рубеже тысячелетий – 2018» (22 – 30 травня 2018 р., м. Прага, Чехія); XLVII Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (31 жовтня – 2 листопада 2018 р. м. Вінниця); IV міжнародна науково-практична конференція «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (14 – 23 березня 2018 р., м. Вінниця); XLVIII Науково-технічна конференція факультету інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (22 березня 2019 р., м. Вінниця).

Публікації:

По результатам магістерської кваліфікаційної роботи опубліковані тези [1 - 4], та зареєстровано патент на корисну модель [5].

Структура роботи:

Магістерська кваліфікаційно робота складається з п'ятих розділів. В першому розділі проведено аналіз існуючих пристроїв вимірювання рівня рідини, відзначені переваги та недоліки тих, чи інших варіантів, а також особливості їх конструктивного виконання. Другий розділ, складається з розробки схеми пристрою, та моделювання її роботи. Третій розділ роботи присвячений вибору елементної бази, матеріалу плати та способу її виготовлення. У четвертому розділі проведені техніко-економічні розрахунки пристрою. П'ятий розділ містить вказівки щодо охорони праці на робочому місці, та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ ПРИСТРОЇВ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ РІДИНИ

Основне призначення пристроїв вимірювання рівня рідини управління виробництвом. Без них неможливо забезпечити оптимальний режим технологічних процесів в енергетиці, металургії, хімічній, нафтовій, целюлозно – паперовій і багатьох інших галузях промисловості. Ці пристрої необхідні також для автоматизації виробництва і досягненні при цьому максимальної її ефективності [6].

1. 1 Сучасні вимоги до пристроїв вимірювання рівня рідини

В даний час до пристроїв вимірювання рівня рідини пред'являються багато вимог, задовільнити які одночасно доволі важко і не завжди можливо.

Існують дві групи вимог. До першої групи відносяться індивідуальні вимоги: висока точність, надійність, незалежність результатів вимірювання від зміни густини рідини, швидкодія і значний діапазон вимірювання. До другої групи відносяться такі вимоги: можливість виміру рівня рідини з різними властивостями, різних значень виміру від малих до великих і при різних тисках і температурах [6].

Розглянемо дані вимоги [6].

1. Висока точність виміру – одна із основних вимог, яка пред'являється до пристроїв виміру рівня рідини. Якщо раніше похибка вимірювання 1,5 – 2 % вважалася нормальною і достатньо задовільною, то в даний час часто потрібно мати похибку не більше 0,2 – 0,5 %. Підвищення точності досягається як за рахунок використання нових прогресивних методів і елементів, так і за рахунок удосконалення старих класичних методів.

2. Надійність – одна із головних вимог, які пред'являються до даних пристроїв. Основним показником надійності є час, протягом якого пристрій

зберігає працездатність і достатню точність. Цей час залежить як від комплектуючих пристрою, так і від його призначення і умов використання.

3. Незалежність результатів вимірювання від зміни густини рідини. Ця вимога особливо важлива при вимірюванні рівня рідини густина якої залежить від її температури і тиску. В більшості випадків необхідно мати при пристрій, який автоматично вводить корекцію в показання пристрою при зміні густини рідини [1].

4. Швидкодія пристрою, яка визначається його хорошими динамічними характеристиками, необхідна перш за все при використанні пристрою в системах автоматичного регулювання. Швидкодію більшості даних пристроїв зручно оцінювати значенням їх постійної часу T , тобто часу протягом якого покази пристрою при зміні рівня рідини від Q_1 до Q_2 зміняться приблизно на дві третіх від значення $Q_2 - Q_1$ [1].

5. Великий діапазон виміру (Q_{\max}/Q_{\min}) необхідний, коли рівень рідини може змінюватися в значних межах.

Розглянемо класифікацію пристроїв для вимірювання рівня рідини (рівнемір) [1, 7].

1. Буйковий рівнемір - рівнемір, принцип дії якого заснований на зміні переміщення буйка або сили гідростатичного тиску, що діє на буйок. Буйок на відміну від поплавка не плаває на поверхні рідини, а занурений в рідину і переміщається в залежності від її рівня. Буйкові рівнеміри найбільш часто застосовуються для виміру рівня однорідних, в тому числі агресивних, рідин, що знаходяться при високих робочих тисках (до 32 МПа), широкому діапазоні температур (від -200 до + 600 °С) і що не володіють властивостями адгезії (прилипання) до буйка.

Принципова схема буйкового рівнеміра подана на рисунку 1.1. Буйок закріплений на пружній підвісці з жорсткістю C , яка діє на буйок з певною силою (на рис. 1 таким елементом є пружина). Збільшуючи рівень на Δh від нульового положення, збільшуємо силу виштовхування, що викликає підйом буйка на Δx .

При цьому змінюється сила, з якою підвіска діє на буйок, причому зміна дорівнює зміні сили, що виштовхує.

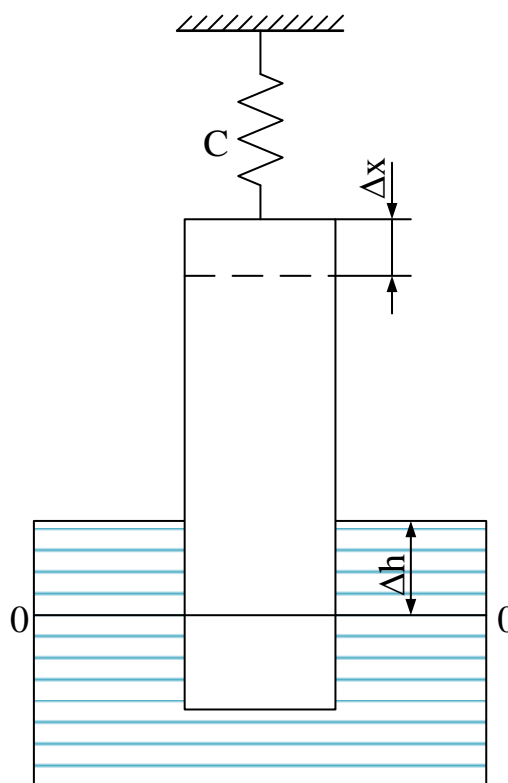


Рисунок 1.1 – Принципова схема буйкового рівнеміра

Головною особливістю буйкових рівнемірів є можливість вимірювання рівня кордону розділу двох рідин.

Недоліком буйкових рівнемірів є залежність їх точності від щільності і температури вимірюваного середовища, обмеженість використання для великих (понад 16 м) діапазонів вимірювання рівнів рідин і рідин що володіють адгезією до буйка.

2. П'єзометричний рівнемір - рівнемір, принцип дії якого заснований на перетворенні гідростатичного тиску рідини в тиск повітря, що подається від стороннього джерела і проходить через шар рідини. У цього рівнеміра чутливий елемент не знаходиться в безпосередньому контакті з вимірюваним середовищем, а сприймає пневматичний тиск через повітря, що є його перевагою [1, 7].

Принципова схема п'єзометричного рівнеміра подана на рисунку 1.2. У рідину, рівень якої має бути виміряний, занурюють трубку і в неї через дросель безперервно подається стиснене повітря або захисний газ, наприклад азот. Пневматичний тиск, який встановлюється в зануреній трубці за дроселем, відповідає гідростатичному тиску над кінцем трубки і є тим самим рівнем заповнення резервуара. Матеріал трубки вибирається відповідно до хімічних та фізичних властивостей вимірюваної рідини.

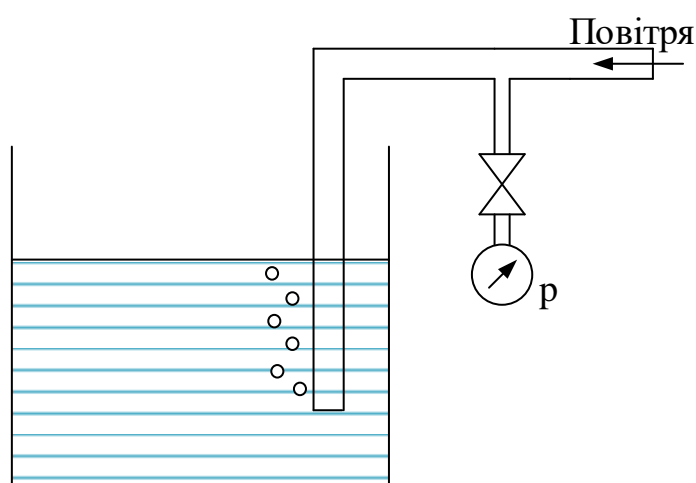


Рисунок 1.2 – Принципова схема п'єзометричного рівнеміра для відкритих резервуарів

Для п'єзометричних рівнемірів також характерна похибка вимірювання через зміни щільності вимірюваного середовища

3. Гідростатичний рівнемір - рівнемір, принцип дії якого заснований на вимірюванні манометром гідростатичного тиску рідини, що залежить від висоти її рівня. Рівнеміри цього виду зазвичай використовують для вимірювання неагресивних, незабруднених рідин, що знаходяться під атмосферним тиском. Для вимірювання рівнів агресивних середовищ використовують спеціальні розділові пристрої [1, 7].

Принципова схема гідростатичного рівнеміра представлена на рис. 1.3. Вимірювання рівня засноване на вимірі гідростатичного тиску, який чинить рідина на дно резервуара. Даний тиск вимірюється у відкритих резервуарах за допомогою звичайного або диференціального манометра. У резервуарах, що

знаходяться під тиском i , отже, що представляють собою замкнуту ємність, рівень рідини можна виміряти тільки диференціальним манометром. Якщо манометр встановити не на однаковій з дном резервуара висоті, то станеться зсув точки початку вимірювання, пропорційне різниці висот. При використанні диференціальних манометрів місце установки вимірювального приладу не впливає на правильність індикації, якщо воно знаходиться нижче рівня днища резервуара, а вимірювання тиску здійснюється щодо тиску постійного рівня рідини [2].

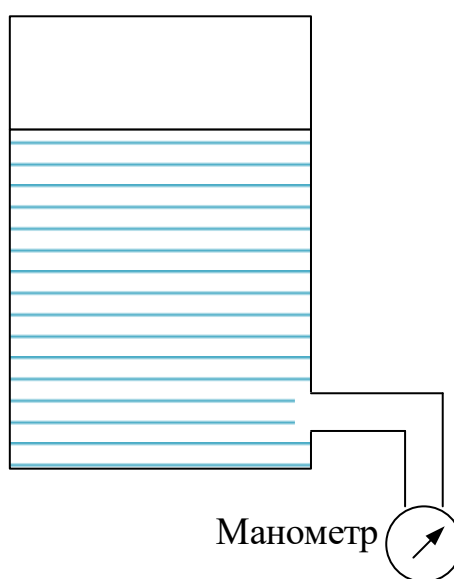


Рисунок 1.3 – Принципова схема гідростатичного рівнеміра

Недоліком гідростатичних рівнемірів є похибка вимірювання при зміні щільності рідини.

4. Поплавковий рівнемір - рівнемір, принцип дії якого заснований на вимірюванні переміщення поплавка, що плаває на поверхні рідини (поплавок як би відстежує рівень рідини). Поплавкові рівнеміри не придатні для в'язких рідин (дизельного палива, мазуту, смол) через залипання поплавка. При вимірюванні рівня криогенних рідин через кипіння верхнього шару виникає вібрація поплавка, що призводить до викривлення результатів вимірювання. Найбільш часто поплачкові рівнеміри використовують для вимірювання рівнів у великих відкритих резервуарах, а також в закритих резервуарах з низьким тиском.

Застосування магнітного зв'язку для передачі переміщення поплавка дозволяє герметизувати вивід передачі в вимірювальний блок, спростити конструкцію, підвищити надійність, вимірювати рівень в резервуарах під тиском [1, 7].

На рисунку 1.4 подана принципова схема поплавкового рівнеміра. Тут поплавок з'єднаний з вказівником за допомогою троса. Також схема поплавкового рівнеміра показує розташований на кінці троса поруч з вказівником, який зберігає натяг троса.

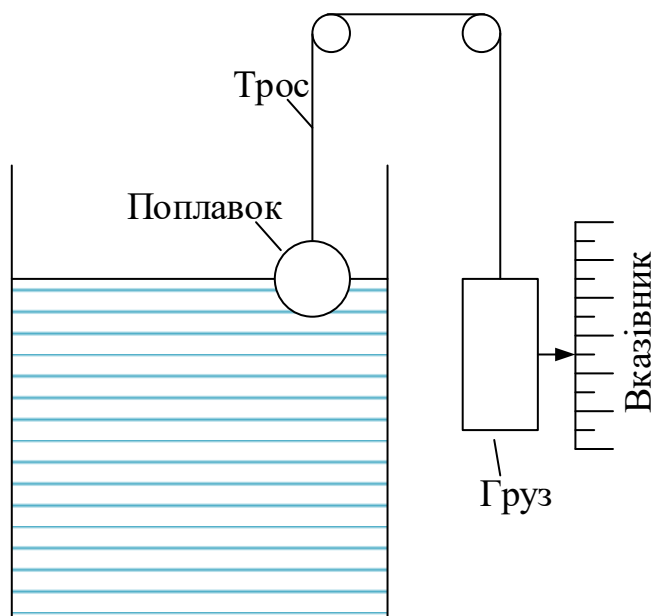


Рисунок 1.4 – Принципова схема поплавкового рівнеміра [7]

Основний експлуатаційний недолік поплавкових рівнемірів – можливість корозії і протравлення тонких стінок поплавка, що призводить до його потоплення. Це обмежує область застосування поплавцевих рівнемірів.

5. Ємнісний рівнемір - рівнемір, принцип дії якого заснований на відмінності діелектричної проникності рідини і повітря. У зв'язку з цим у міру занурення електродів датчика рівнеміра в рідину змінюється ємність між ними пропорційно рівню рідини в резервуарі. Дія ємнісних рівнемірів заснована на зміні ємності датчика, який представляє собою конденсатор з подовженими електродами, які перетинають границю розподілу рідин які контролюються. Ємність цього конденсатора залежить не тільки від величини вимірюваного рівня, но і від електричних властивостей рідин, які знаходяться між електродами.

Як відомо ці властивості (вчасності діелектрична проникність) майже у всіх рідин досить нестабільні і залежать від багатьох факторів (температури, вологості, складу). Тому зв'язок ємності датчика з величиною рівня є неоднозначним, вимірювання супроводжується значними похибками. Крім того великі похибки можуть виникати також за рахунок зміни ємності з'єднувального кабелю, який з'єднує датчик з пристроєм [1, 7].

1.2 Принцип дії і недоліки найпростіших ємнісних рівнемірів

Ємнісні рівнеміри в загальному випадку можуть бути використані для вимірювання висоти площини розподілу двох речовин, які відрізняються своїми електричними властивостями. Для визначення висоти площини Π (рівня) розподілу верхньої B і нижньої H речовини (рис. 1.5) в резервуар поміщають ємнісний датчик, який представляє собою два вертикальних електрода E . Рівень розподілу речовини зазвичай рахується від нижнього кінця ємнісного датчика. Очевидно, що максимальне значення вимірюваного рівня h не може перевищувати довжини ємнісного датчика l , тобто $h_{\max} = l$. Вимірювання рівня може виконуватися в одиницях довжини (метрах, сантиметрах), однак більш зручним і практичним загальноприйнятим для ємнісних рівнемірів є вимірювання рівня в відносних одиницях, або відсотках h_r від максимального значення [8].

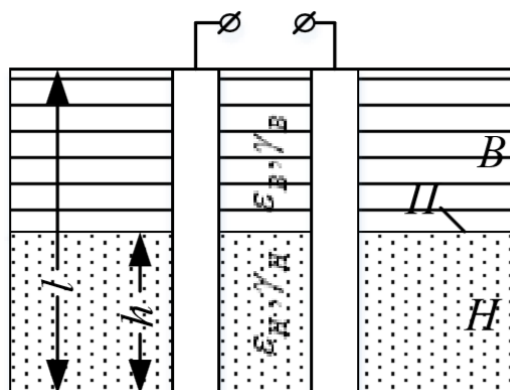


Рисунок 1.5 – Датчик ємнісного рівнеміра при зміні рівня розділу двох середовищ

Якщо речовини B і H мають діелектричну проникність ε_B і ε_H і питомі активні провідності γ_B і γ_H , і виконується хоча б одна з нерівностей $\varepsilon_B \neq \varepsilon_H$ або $\gamma_B \neq \gamma_H$, то комплексна провідність датчика виміряна на змінному струмі, буде залежати від рівня h . На цій властивості засновано дію ємнісних рівнемірів. Проте провідність датчика є функцією і інших параметрів, що змінюються в процесі роботи ємнісного рівнеміра. Практично найбільш істотним є вплив зміни величин ε і γ контрольованих речовин і вплив нестабільної паразитної ємності кабелю, що з'єднує датчик з вимірювальною схемою приладу. Вплив цих двох чинників в найпростіших рівнемірах призводить до дуже великих похибок вимірювання рівня.

Можна показати, що, наприклад, при зміні діелектричної проникності ε_H нижньої речовини на відносну величину β_H в найпростіших рівнемірах виникає похибка вимірювання, що дорівнює $\beta_H \frac{\varepsilon_H}{\varepsilon_H - \varepsilon_B}$ тобто похибка від нестабільності ε_H перевищує величину цієї нестабільності [8].

При наявності паразитної ємності C_{II} , шунтуючий датчик, основні складові похибки найпростішого рівнеміра зростають приблизно в C_{II}/C_P раз, де C_P - робоча ємність датчика. Нестабільність паразитної ємності кабелю викликає похибки, величина яких тим більше, чим вище відношення C_{II}/C_P . Це відношення при довгих сполучних кабелях може становити кілька десятків і навіть сотень [3].

З урахуванням сказаної похибки найпростіших ємнісних рівнемірів в реальних умовах може становити десятки відсотків.

Відомі методи компенсації впливу нестабільності діелектричної проникності контрольованих речовин зводяться в основному до наступного. Діелектрична проникність ε вимірюється окремою вимірювальною схемою, а потім за допомогою спеціального пристрою здійснюється корекція результату

вимірювання. Недоліками схем з такою корекцією є їх складність, низька надійність, а також те, що задовільна компенсація похибки, як правило, здійснюється лише в порівняно вузьких межах зміни ε .

Відомі методи зменшення впливу ємності з'єднувального кабелю недостатньо ефективні. В основному вони зводяться до компенсації початкової ємності кабелю. При цьому зменшення впливу ємності кабелю досягається або у вузькому діапазоні частот, або при строго фіксованій довжині кабелю, або для невеликих змін ємності кабелю.

Розробка ефективних методів компенсації похибок, обумовлених впливом нестабільності електричних властивостей контрольованих речовин, є необхідною потребою. Так як зменшення впливу ємності кабелю на похибку вимірювання за допомогою компенсації не дає належного ефекту, то є також актуальною розробка таких рівнемірів, в яких повністю виключався б вплив цієї ємності на результат вимірювання за допомогою застосування спеціальних вимірювальних схем і методів їх захисту [8].

1.3 Основи побудови вимірювальних схем ємнісних самокомпенсованих рівнемірів

Компенсація основних похибок ємнісних вимірювачів рівня найкращим чином здійснюється в рівнемірах, які можуть бути названі самокомпенсованими. Основна особливість таких приладів полягає в тому, що в них не передбачається спеціальних пристроїв, призначених для вимірювання величин ε і γ і для введення корекції в показання приладу. У самокомпенсованих рівнемірах вимірювальна схема побудована таким чином, що компенсація похибок проводиться всередині цієї схеми, і результат вимірювання рівня не залежить ні від електричних властивостей контрольованих речовин, ні від ємності з'єднувального кабелю.

Першим самокомпенсованим рівнеміром можна вважати запропонований ще в 1934 р прилад для вимірювання рівня рідини. Дія цього приладу заснована

на вимірювань відносини двох провідностей Датчик рівнеміра являє собою систему з трьох електродів. У найпростішому випадку це можуть бути три пластини, дві з яких розташовані вертикально, паралельно один одному, а третя знаходиться між ними і розташовується похило. За допомогою будь-якого пристрою (наприклад, логометра) вимірюється відношення провідностей між середнім електродом і крайніми. Це відношення залежить від рівня, причому відповідним вибором профілю середнього електрода залежність може бути зроблена лінійної. У зв'язку з тим, що обидві порівнювані величини пропорційні питомій провідності контрольованого середовища, їх відношення не залежить від електричних параметрів цього середовища, завдяки чому повністю виключається похибка від нестабільності цих параметрів [8].

Подібні рівнеміри можуть бути застосовані для вимірювання рівня в порівняно невисоких резервуарах (0,5 - 1 м). Виготовлення довших датчиків пов'язане зі значними труднощами в зв'язку зі складністю конструкції і необхідністю дотримання високої точності. Тому такі прилади не набули поширення. Однак сама ідея, на якій засновано описаний прилад - визначення рівня не за абсолютним призначенням провідності датчика, а по відношенню провідностей двох датчиків - отримала подальший розвиток в ємнісних самокомпенсованих рівнемірах. Найбільш зручними для застосування в даних рівнемірах є мостові врівноважені схеми. Вимірюваний параметр – провідність датчика – включає в одне з плечей такої схеми. Крім робочого датчика, до вимірювальної схеми підключається також один або кілька компенсаційних датчиків, які завжди цілком занурені в контрольовані речовини. За допомогою регулювання елементів мостової вимірювальної схеми проводиться її урівноваження.

Очевидно, що необхідною і достатньою умовою незалежності показань приладу від електричних параметрів контрольованих речовин і від паразитних ємностей є інваріантність рівняння рівноваги вимірювальної схеми по відношенню до цих параметрів і ємностей. Розглянемо, яким чином можуть бути

побудовані такі вимірювальні схеми. При цьому будемо припускати найбільш загальний випадок - вимір рівня розділу двох речовин, кожне з яких має нестабільні електричні властивості.

Припустимо, що є вимірювальна схема, до якої підключений робочий датчик і система компенсаційних датчиків, розташованих у верхніх і нижніх контрольованих середовищах. Провідність робочого датчика позначимо через Y_P , провідності компенсаційних верхніх і нижніх датчиків - через Y_{Bi} і Y_{Hi} відповідно. Припустимо також, що умова рівноваги даної вимірювальної схеми може бути записано в наступному вигляді [8]:

$$q_P Y_P + \sum_{i=1}^n q_{Bi} Y_{Bi} + \sum_{i=1}^m q_{Hi} Y_{Hi} = 0, \quad (1.1)$$

де n – число верхніх компенсаційних датчиків;

m – число нижніх компенсаційних датчиків;

q_P, q_{Bi}, q_{Hi} – речові коефіцієнти, які мають додатні, від'ємні або нульові значення.

Коефіцієнти q будемо називати надалі коефіцієнтами зв'язку відповідних датчиків.

Припустимо, що кожен датчик являє собою відрізок однорідної по довжині лінії. Поперечні розміри датчика істотно менше поздовжніх. Крім того, параметри перетину однорідні, для всіх датчиків даної вимірювальної схеми. Припустимо також, що електричні властивості кожної з контрольованих речовин однорідні по всій його масі. Нехтуючи крайовим ефектом і не враховуючи вплив ємностей сполучних кабелів, можна записати для провідностей компенсаційних датчиків такі вирази:

$$Y_{Bi} = Y_B^0 l_{Bi}; \quad Y_{Hi} = Y_H^0 l_{Hi}, \quad (1.2)$$

де Y_B^0 і Y_H^0 – погонні провідності датчиків в верхніх і нижніх речовинах відповідно;

l_{Bi} і l_{Hi} – довжини відповідних датчиків.

Провідність робочого датчика Y_p може бути представлена по різному. Першим, і найбільш простим способом є представлення величини Y_p у вигляді суми двох провідностей, які характеризують верхню і нижню частини датчика (вище і нижче границі розподілу речовин) [8]:

$$Y_p = Y_B^0(l_p - h) + Y_H^0 h, \quad (1.3)$$

де l_p – довжина робочого датчика;

h – вимірюваний рівень, який рахується від нижнього кінця робочого датчика.

Можна уявити величину Y_p у вигляді суми двох інших провідностей, одна з яких відповідає повному зануренню датчика в верхнє середовище, а друга виражає пропорційне рівню h збільшення провідності за рахунок різниці величин Y_B^0 і Y_H^0 :

$$Y_p = Y_B^0 l_p + (Y_H^0 - Y_B^0) h, \quad (1.4)$$

Нарешті, можна представити провідність Y_p як різницю провідності датчика, зануреного цілком в нижнє середовище, і збільшення провідності за рахунок різниці $Y_H^0 - Y_B^0$:

$$Y_p = Y_B^0 l_p - (Y_H^0 - Y_B^0) h', \quad (1.5)$$

де $h' = l_p - h$.

Залежно від вибору одного із зазначених способів представлення провідності робочого датчика можуть бути запропоновані три типи вимірювальних схем самокомпенсованих рівнемірів.

1.4 Вимірювальні схеми з зустрічним регулюванням

Як уже зазначалося дія вимірювальних схем самокомпенсованих рівнемірів зводиться до порівняння струмів, що протікають через датчик. У врівноважених схемах таке порівняння проводиться шляхом приведення до нуля алгебраїчної суми струмів. Підсумовування струмів датчиків може бути

здійснено двома способами: або за допомогою тісно пов'язаних індуктивних плечей (при цьому складання струмів зводиться до складання магнітних потоків, або безпосередньо, на якому-небудь загальному опорі. При цьому як в першому, так і в другому випадку в основу вимірювальних схем покладені мости з тісним індуктивним зв'язком [9].

Однією з перших була запропонована і досліджена експериментально вимірювальна схема ємнісного самокомпенсованого рівнеміра з зустрічним регулюванням. Схема являє собою міст який складається з шести плечей порівняння струмів, що має три паралельні гілки (рис. 1.6).

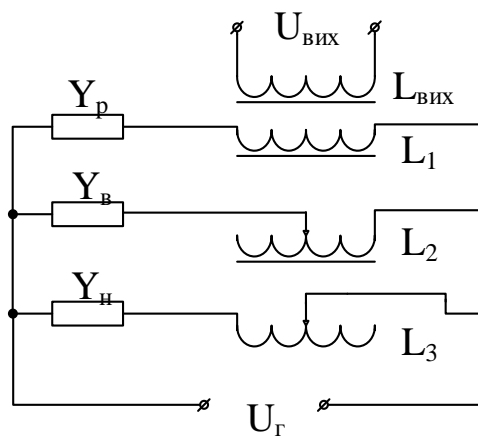


Рисунок 1.6 – Вимірювальна схема з зустрічним регулюванням [10]

В три плеча моста включені датчики рівнеміра: робочий з провідністю Y_p , верхній і нижній компенсаційні з провідностями Y_v і Y_n . Зауважимо, що хоча в загальному випадку провідність датчиків у ємнісного рівнеміра має комплексний характер, при розгляді деяких сторін роботи вимірювальних схем самокомпенсованих рівнемірів зручніше представляти датчик у вигляді конденсатора. У зв'язку з повною незалежністю стану рівноваги таких рівнемірів від властивостей речовини наявність в ємнісних датчиках втрат не впливає на показання приладу. Надалі будемо використовувати уявлення датчиків і у вигляді комплексних провідностей і у вигляді ємностей. Послідовно з датчиками включені три індуктивних плеча - обмотки L_1, L_2, L_3 . Ці обмотки розміщені на загальному феромагнітному осерді і виконані так, що між ними існує тісний

індуктивний зв'язок. Індуктивні плечі пов'язані також з вихідною обмоткою $L_{вих}$. Обмотка L_1 має постійне число витків, обмотки L_2 і L_3 змінні числа витків. Напрямок включення обмотки L_1 протилежно по відношенню до напрямку обмоток L_2 і L_3 . Всі три гілки моста включені під напругу генератора U_2 .

Недоліком розглянутої вимірювальної схеми є те, що для її врівноваження необхідно змінювати число витків одночасно в двох котушках. Для врівноваження потрібні два пов'язаних перемикача.

Однак шляхом ускладнення описана схема може бути перетворена в таку, яка врівноважується за допомогою одного перемикача (рис. 1.7). Для цього може бути використано властивість сталості суми чисел витків регульованих плечей.

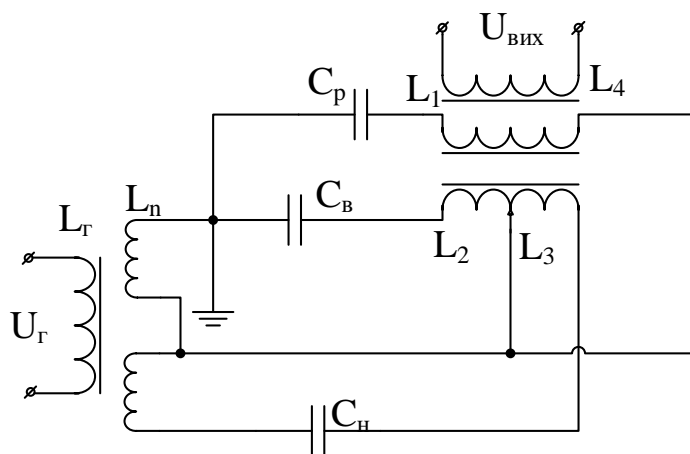


Рисунок 1.7 – Схема зі спрощеною комутацією плеч, які регулюються [10]

Така схема являє собою подвійний міст з тісною індуктивним зв'язком і відрізняється від описаної вище тим, що на гілці компенсаційних датчиків подаються протифазні напруги з секцій обмотки живлення L_n . Завдяки цьому плечі L_2 і L_3 можуть бути виконані у вигляді однієї котушки з відведенням, положення якого змінюється за допомогою перемикача. Відведення ділить обмотку на дві частини, сума витків цих частин завжди постійна. За рахунок протифаз напружень на компенсаційних датчиках C_B і C_H забезпечується однаковий напрямок магнітних потоків плечей L_2 і L_3 , хоча обмотки їх включені зустрічно [11].

1.5 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Оцінювання комерційного потенціалу здійснювалось на основі опитування трьох фахівців-викладачів кафедри в т.ч. наукового керівника. На основі опитування і будується оцінка і проводиться технологічний аудит.

Комерційний потенціал розробки оцінюється за 12 критеріями та оцінюється за 5 бальною шкалою. До даних критеріїв входять 4 групи критеріїв, а саме: технічна здійсненність концепції, ринкові переваги та недоліки, ринкові перспективи, практична здійсненність.

Таблиця 1.1 - Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	к.т.н., доц. Жагловська О.М.	к.т.н., доц. Огородник К.В.	к.т.н., доц. Мартинюк В.В.
1.	4	3	1
2.	1	3	3
3.	3	4	3
4.	1	2	1
5.	4	4	4
6.	2	3	3
7.	2	3	0
8.	2	4	3
9.	4	0	2
10.	3	2	3
11.	3	2	2
12.	1	2	2
Сума балів	CB_1	CB_2	CB_3
	32	34	31

$$\overline{CB} = \frac{\sum_{i=1}^3 CB_i}{3}; \quad (1.6)$$

$$\overline{CB} = \frac{32 + 34 + 31}{3} = 32,3.$$

Отже, на основі проведеного експертного опитування середньо арифметична сума балів становила 32,3, що становить вище середнього. Може зробити висновок, що розробка є дуже актуальною. Має широкий спектр застосування.

Отже, розроблений пристрій може бути впроваджена на абсолютно будь-яких підприємствах і організаціях, зацікавлених у підвищенні безпеки будь-якого приміщення. Потенційними споживачами даного дослідження можуть бути як фізичні, юридичні особи, так і комерційні організації різних розмірів, які потребують безпеки своїх об'єктів.

1.6 Оцінювання рівня конкурентоспроможності розробки

Конкурентоспроможність товару — це здатність продукції бути привабливішою для покупця в порівнянні з іншими виробами аналогічного виду й призначення, завдяки кращій відповідності її якісних і вартісних характеристик вимогам ринку й споживчим оцінкам. Водночас конкурентоспроможною можна вважати лише однорідну продукцію з технічними параметрами і техніко-економічними показниками, що ідентичні аналогічним показникам уже проданого товару. Детальний аналіз конкуруючих розробок, існуючих на ринку, необхідно проводити систематично, оскільки ринки перебувають в постійному русі.

З цією метою може бути використана вся наявна інформація про конкурентних розробках:

- технічні характеристики розробки;
- конкурентоспроможність розробки;
- рівень завершеності наукового дослідження (наявність макета, прототипу);
- бюджет розробки;
- рівень проникнення на ринок;

– фінансове становище конкурентів, тенденції його зміни тощо.

Аналіз конкурентних технічних рішень з позиції ресурсоефективності та ресурсозбереження дозволяє провести оцінку порівняльної ефективності наукової розробки і визначити напрямки для її майбутнього підвищення.

В таблиці 1.4 представлені нормативні та технічні параметри. До групи технічних параметрів, що їх використовують для оцінювання конкурентоспроможності, зазвичай вносять показники призначення та надійності, а також ергономічні та естетичні показники.

Нормативні параметри характеризують властивості товару, регламентовані обов'язковими нормами, стандартами і законодавством ринків майбутнього продажу.

Крім того, задовольняючи потреби, покупець витрачає свої гроші як на придбання товару, так і на його використання. Розмір цих витрат формує ціну придбання та вартість споживання товару.

До наведених в таблиці показників конкурентоспроможність визначають також наступні показники: спрощена схема виконання та виробництва; нижча собівартість за рахунок використання дешевших комплектуючих; краща якість; нижчі витрати на транспортування пристрою чи деталей; спрощена установка та ремонт; експлуатація та технічне обслуговування, навчання персоналу; довший термін експлуатації; ергономічні та органолептичні показники.

Таблиця 1.2 – Нормативні, технічні та економічні параметри інноваційного рішення і товару-конкурента

Показник	Варіанти	
	Новий (інноваційне рішення)	Базовий (товар- конкурент)
Нормативно-технічні показники		
Напруга живлення, В	9	10

Максимальна робоча температура, °С	+60°С	+ 75 °С
Тактова частота кварцового резонатора, МГц	8	8
Максимальна робоча частота, кГц	1280	1200
Зміна ємності чутливого елемента пФ	840	830

Розрахунок одиничних параметричних показників конкурентоспроможності для окремого показника визначається за наступною формулою:

$$q_i = \frac{P_i}{P_{баз}}; \quad (1.7)$$

- за технічними показниками:

$$q_i = \frac{60}{75} = 0,8;$$

$$q_i = \frac{8}{8} = 1;$$

$$q_i = \frac{1280}{1200} = 1,07;$$

$$q_i = \frac{840}{830} = 1,01;$$

- за економічними показниками:

$$I_{en} = \frac{3629,5}{3500} = 1,03.$$

Далі розраховуємо параметр індексів конкурентоспроможності:

- за технічними характеристиками:

$$I_{ТП} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot a_i; \quad (1.8)$$

де I_{mn} – груповий параметричний індекс за технічними показниками (порівняно з виробом аналогом);

q_i – одиничний параметричний індекс i – го параметра;

a_i – вагомість i – го параметричного індексу, $\sum_{i=1}^k a_i = 1$;

n – кількість технічних параметрів, за яким оцінюється конкурентоспроможність.

$$I_{ТП} = (0,8 + 1 + 1,07 + 1,01) \cdot 1 = 3,88.$$

Загальний показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами приймаємо рівним 1, якщо інноваційне рішення відповідає встановленим нормам, стандартам і вимогам; якщо не відповідає, приймаємо значення параметра як 0.

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

$$I_{ЕП} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Hei}}{\sum_{i=1}^n P_{Bei}}; \quad (1.10)$$

де P_{Hei}, P_{Bei} – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення ($K_{инт}$) з урахуванням вищезазначених груп показників визначається за формулою:

$$K_{инт} = I_{НП} \frac{I_{ТП}}{I_{ЕП}}; \quad (1.11)$$

де $I_{НП}$ – загальний показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами;

$I_{ТП}$ – індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення);

$I_{ЕП}$ – індекс економічних параметрів.

$$K_{инт} = \frac{3,62}{1,03} = 3,76.$$

Якщо $K_{инт} > 1$, то інноваційне рішення вважається більш конкурентоспроможним, ніж товар-конкурент, обраний за базу для порівняння;

якщо $K_{инт} < 1$, то рівень конкурентоспроможності інноваційного рішення є нижчим, ніж у товару-конкурента; якщо $K_{инт} = 1$, то ця ситуація інтерпретується як тотожність рівнів конкурентоспроможності обох товарів. Безумовно, мета виробника – отримати $K_{инт} > 1$, цілеспрямовано, збільшуючи $I_{ТП}$ та зменшуючи $I_{ЕП}$.

Близьким аналогом до розробленого присторою є ємнісний рівнемір СА18CLF08NA. Відмінність із розробленим товаром в тому, що здійснюється вимірювання рівня рідини (за рахунок зміни ємності ємнісного чутливого елемента) та вивід результатів на дисплей.

Було розроблено мікропроцесорний пристрій для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом. Додаткові функції, які виконує товар порівно з аналогом це дистанційна передача інформації

Висновки до першого розділу

1. Проаналізовано сучасні вимоги, що ставляться до пристроїв вимірювання рівня рідини (а саме висока точність виміру, надійність, незалежність результатів вимірювання від зміни густини рідини, швидкодія присторою, великий діапазон виміру), а також розглянуто класифікацію пристроїв для вимірювання рівня рідини (а саме буйковий, п'єзOMETричний, гідростатичний, поплавковий і ємнісний рівнемір).

2. Проаналізовано принцип дії, і недоліки найпростіших ємнісних рівнемірів, серед яких найбільш істотним є вплив зміни величин ε і γ контрольованих речовин, і вплив нестабільної паразитної ємності кабелю, що з'єднує датчик, з вимірювальною схемою приладу, що призводить до виникнення похибок вимірювання.

3. Досліджено основи побудови вимірювальних схем ємнісних самокомпенсованих рівнемірів, перевагою яких є те, що їх вимірювальна схема побудована таким чином, що компенсація похибок проводиться всередині цієї

схеми, і результат вимірювання рівня не залежить ні від електричних властивостей контрольованих речовин, ні від ємності з'єднувального кабелю.

4. На основі проведеного експертного опитування середньо арифметична сума балів становила 32,3, що становить вище середнього. Може зробити висновок, що розробка є дуже актуальною. Має широкий спектр застосування. Розроблений пристрій може бути впроваджена на абсолютно будь-яких підприємствах і організаціях, зацікавлених у підвищенні безпеки будь-якого приміщення. Потенційними споживачами даного дослідження можуть бути як фізичні, юридичні особи, так і комерційні організації різних розмірів, які потребують безпеки своїх об'єктів.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ РІДИНИ НА ОСНОВІ ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ЄМНІСНИМ ЧУТЛИВИМ ЕЛЕМЕНТОМ

Запропонований мікропроцесорний пристрій для вимірювання рівня рідини повинен виконувати задачі вимірювання рівня рідини, дистанційної передачі інформації, та відображення результатів на дисплеї .

2.1 Розробка структурної схеми мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом.

Відповідно до визначених задач вимірювання, передачі та відображення інформації було розроблено структурну схему мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом, яка складається з вхідного та вихідного блоків для передачі інформації. Вхідний блок (рис. Г.1а додаток Г) містить наступні компоненти. Джерело живлення для мікроконтролера, передавача та перетворювача синусоїдального сигналу. Тригер Шмітта на основі логічних елементів, призначений для вирівнювання фронтів синусоїдального сигналу. Ємнісний чутливий елемент в залежності від зміни рівня рідини в резервуарі змінює свою ємність, в результаті чого змінюється загальна еквівалентна ємність транзисторної структури з від'ємним опором, що змінює частоту генерації вихідного сигналу. Мікроконтролер, який обробляє вхідні сигнали та у відповідні моменти часу при певних умовах формує сигнали керування компонентами пристрою, таким чином координуючи роботу системи в цілому, та передавач для передачі результатів вимірювання.

Вихідний блок рисунок Г.1б додаток Г, складається з джерела живлення, яке живить приймач, мікроконтролер, та LCD – індикатор. Приймач, який

приймає оброблені результати від передавача і свою чергу передає інформацію на мікроконтролер, який оброблює її, та за допомогою LCD – індикатора виводить результати на дисплей.

2.2 Схема електрична принципова мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом

Відповідно до структурної схеми запропоновано електричну схему мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом, яка складається з вхідного та вихідного блоків для передачі інформації (рис. 2.1 – 2.2).

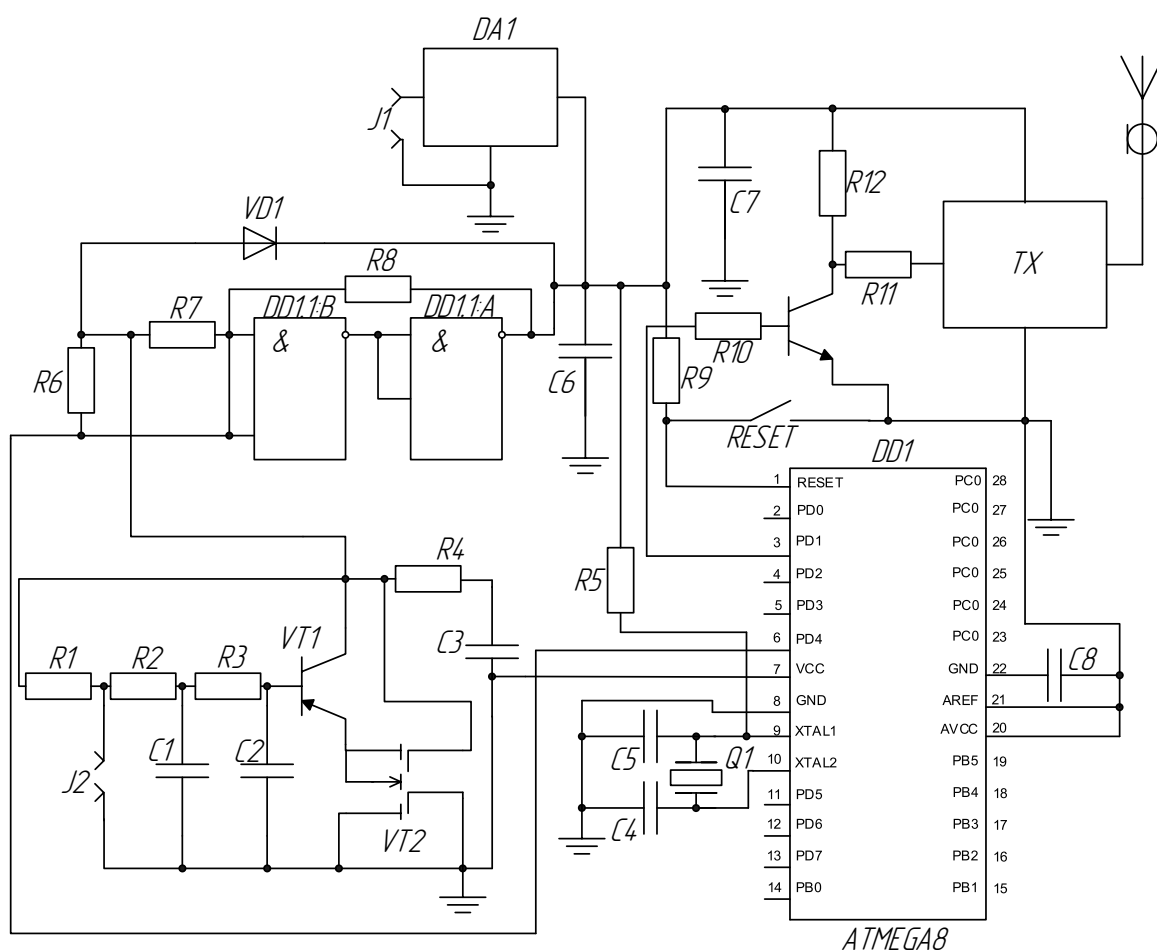


Рисунок 2.1 – Схема електрична вхідного блоку мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом

Передача інформації по UART здійснюється кожні 500 мс і проходить 15-20 мс. Таким чином дана система (рис. Г.1а додатка Г) дозволяє зменшити споживану потужність радіо модуля у більш, ніж 10 разів.

Джерелом стабільної напруги в 5 В являється лінійний стабілізатор. Коливальний контур, який складається з ємнісного чутливого елемента, та еквівалентного опору, який генерує синусоїдальний сигнал, частота якого залежить від ємності чутливого елемента.

Для підрахунку частоти синусоїди використовуємо мікроконтролер, який підраховує кількість імпульсів. Для підрахунку імпульсів перетворено синусоїдальний сигнал в прямокутній за допомогою тригера Шмітта, який представлений на схемі у вигляді двох логічних елементів І – НІ, на виході якого отримуємо прямокутні імпульси, які подаються в мікроконтролер. Мікроконтролер підраховує кількість імпульсів за одиницю часу, обраховує частоту цих імпульсів та передає результат на передавач, який передає інформацію на приймач, який в результаті надсилає її на мікроконтролер. В залежності від частоти коливального контуру, з мікроконтролера на LCD – індикатор виводиться величина рівня рідини. Кнопка *RESET* призначена для перезапуску мікроконтролера ATMEGA8. Змінний резистор *R5* регулює яскравість LCD – індикатора. Кварцовий резонатор *Q1* задає тактову частоту роботи мікроконтролера.

Виключення пристрою для вимірювання рівня рідини здійснюється шляхом його відімкнення від джерела живлення.

2.3 Математична модель ємнісного чутливого елемента

На рисунку 2.3 подана конструкція ємнісного чутливого елемента. Цей елемент являє собою циліндричний конденсатор, що складається з двох обкладок. Провідники поміщені в резервуар з рідиною, рівень якої вимірюється. Сигналом зміни рівня рідини в резервуарі є зміна електричної ємності датчика, що вимірює рівень рідини.

Взаємне розташування електродів зафіксовано ізолятором. Електроди утворюють циліндричний конденсатор, частина між електродного простору якого висотою h заповнена контрольованої рідиною, решта висотою h_1 повітрям [3, 11].

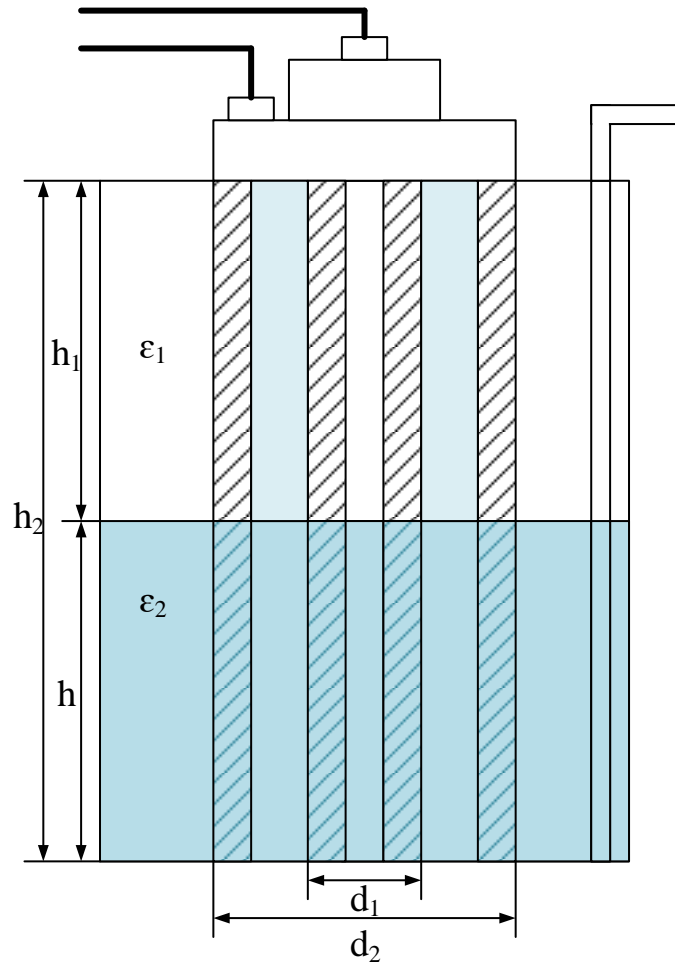


Рисунок 2.3 – Конструкція ємнісного чутливого елемента

Електроди ємнісного чутливого елемента можуть бути у вигляді плоских пластин, стрижнів; в якості електрода може використовуватися металева стінка судини. Часто застосовуються циліндричні електроди, що володіють у порівнянні з іншими формами електродів хорошою технологічністю, кращою заводостійкістю і забезпечують більшу жорсткість конструкції.

Якщо контрольована речовина має діелектричну проникність ϵ_2 і виконується нерівність $\epsilon_2 \neq \epsilon_1$, то комплексна провідність ємнісного чутливого елемента буде залежати від рівня h . На цій властивості засновано дію ємнісних

рівнемірів. Проте провідність ємнісного чутливого елемента є функцією і інших параметрів, що змінюються в процесі роботи ємнісного рівнеміра. Практично найбільш істотним є вплив зміни величини контрольованої рідини і вплив нестабільної паразитної ємності кабелю, що з'єднує датчик з вимірювальною схемою приладу.

Вимірювання рівня рідини може виконуватися в одиницях довжини (метрах, сантиметрах).

Ємність чутливого елемента визначається [3]:

$$C_{\text{заг}} = \frac{2\pi\varepsilon_1(h(\varepsilon_2 - 1) + h_2)}{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)}, \quad (2.1)$$

де $\varepsilon_1 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ - діелектрична проникність вакууму;

ε_2 - діелектрична проникність, рідини рівень якої вимірюється;

h_2 - висота електродів (h - висота електрода зануреного в рідину, рівень якої вимірюється);

d_1 і d_2 - діаметри внутрішнього і зовнішнього електродів.

Залежність теоретичної C , і експериментальної C_1 ємності чутливого елемента, від рівня рідини подана на рисунку 2.4.

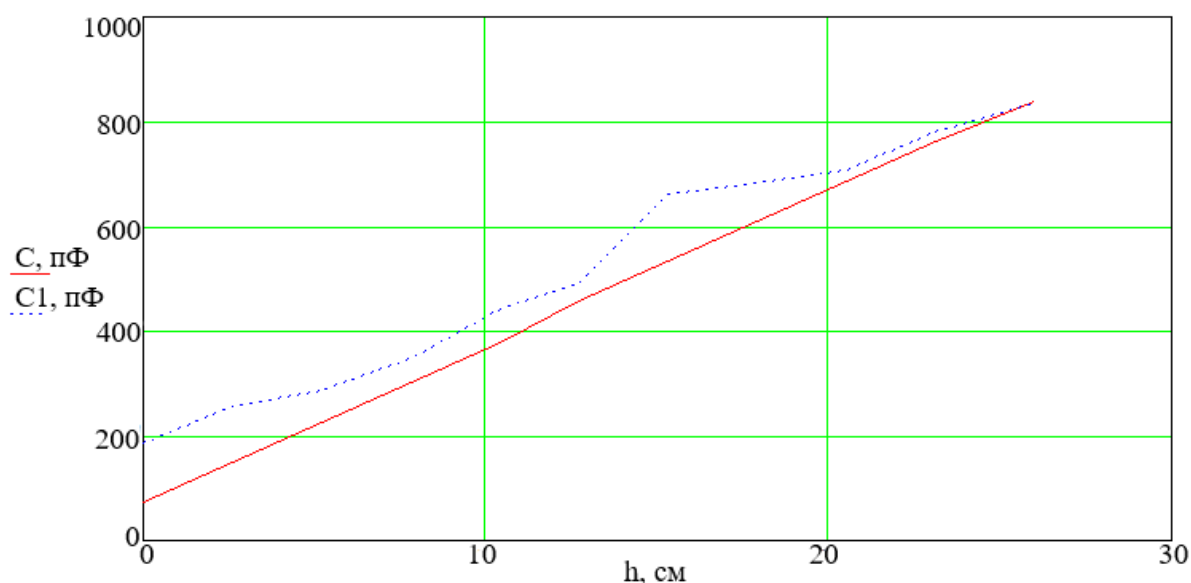


Рисунок 2.4 – Залежність ємності чутливого елемента від рівня рідини

Як видно з цього рисунка, при збільшенні рівня рідини, яка знаходиться в резервуарі, в межах 0–26 см, експериментальна ємність чутливого елемента C_1 , яка з деякою похибкою відрізняється від теоретичної ємності C , буде збільшуватися в межах 186 – 834 пФ.[9].

2.4 Математична модель частотного перетворювача на основі ємнісного чутливого елемента

На рисунку 2.5 подано електричну схему частотного перетворювача на основі ємнісного чутливого елемента. Пристрій придатний для виміру рівня в широкому діапазоні тисків і температур агресивних і неагресивних середовищ [2, 4, 5, 12].

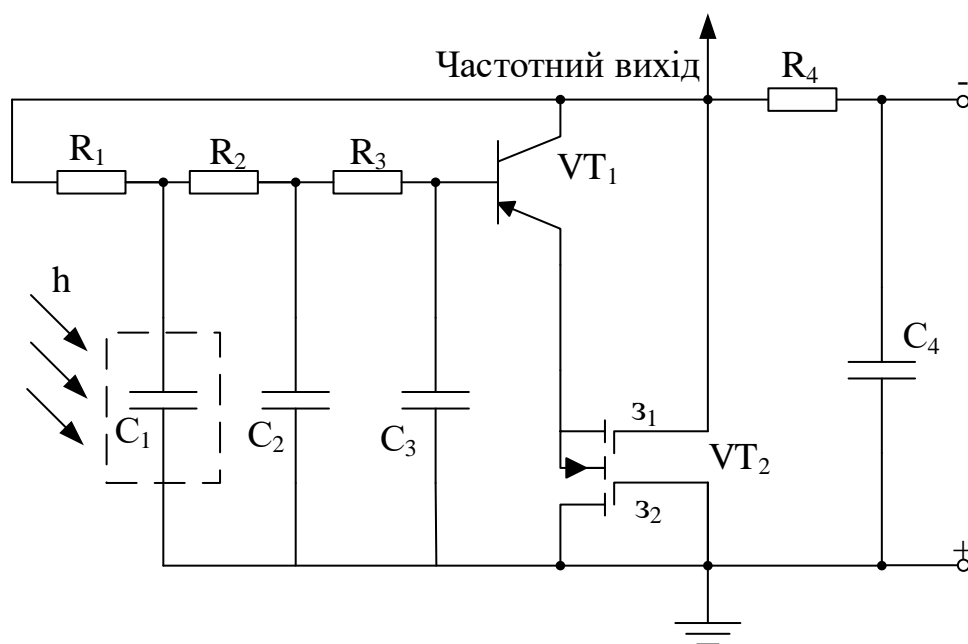


Рисунок 2.5 – Електрична частотного перетворювача на основі ємнісного чутливого елемента

Частотний перетворювач складається з біполярного і двозатворного МДН-транзистора, а також містить ємнісний чутливий елемент у вигляді циліндричного конденсатора C_1 (рис. 2.5). При підвищенні напруги до певного значення на електродах колектор біполярного транзистора та стік МДН-транзистора виникає від'ємний опір, який приводить до виникнення

електричних коливань в контурі, який утворений паралельним включенням повного опору з ємнісною складовою на електродах колектор біполярного транзистора і стік МДН-транзистора та опором R_4 . Конденсатор C_4 захищає джерело живлення від проходження змінного струму [2, 4, 5, 12].

Для визначення основних параметрів, що характеризують роботу частотного перетворювача на основі ємнісного чутливого елемента (рис. 2.5) необхідно розрахувати повний опір на електродах стік-колектор транзистора VT_2 і VT_1 згідно з еквівалентною схемою приладу (рис. Е.1 додатка Е) [2, 4, 12].

Фазозсувне коло, яке утворене послідовним з'єднанням RC ланок, які утворені резисторами R_1, R_2, R_3 , та конденсаторами C_1, C_2 та C_3 . Кожна з RC ланок при однакових значеннях $R_1 - R_3$, та $C_1 - C_3$ забезпечує зсув сигналу по фазі на 60° . При зміні рівня рідини, а отже зміні ємності чутливого елемента, змінюється ємнісна складова повного опору на електродах колектор біполярного транзистора та стік МДН-транзистора, що викликає ефективну зміну частоти коливального контуру [2, 4, 12].

Для проведення розрахунків схему на рис. Е.1 додатка Е перетворимо у схему з Z -параметрами (рис. Є.1 додатка Є), і виберемо напрямки проходження струмів, для зручності в подальших розрахунках.

В еквівалентній схемі на рис. Е.1 додатка Е використано наступні позначення: де R_1, R_2, R_3 – опіри резисторів R_1, R_2, R_3 на схемі рис. 2.7; $R_{\kappa 1}, R_{e1}$ – об'ємний опір бази, колектора і емітера біполярного транзистора VT_1 відповідно; R_b, R_c, R_{31} та R_{32} – об'ємні опори витоку, стоку та першого і другого затворів двозатворного МДН-транзистора VT_2 відповідно; R_n – опір підкладки МДН-транзистора VT_2 ; $R_{c\kappa}$ – об'ємний опір стік-витік транзистора VT_2 ; $R_{3\kappa}$ – об'ємний опір затвор-витік транзистора VT_2 ; R_{31} – об'ємний опір затвору транзистора VT_2 ; R_c – опір р-п переходу стоку транзистора VT_2 ; R_{3c} – опір затвор-стік транзистора VT_2 ; C_1, C_2, C_3 – ємності конденсаторів C_1, C_2, C_3 на схемі рис. 2.6; $C_{\kappa 1}, C_{e1}$ – ємність переходу база-колектор та база-емітер транзистора VT_1

відповідно; $C_{\delta x1}$ – ємність між зовнішнім виводом бази і колектора біполярного транзистора VT_1 ; C_{ne} – ємність підкладка-витік МДН-транзистора VT_2 ; C_{nc} – ємність підкладка-стік транзистора VT_2 ; C_{zc} – ємність затвор-стік МДН-транзистора VT_2 ; C_{3e} – ємність затвор-витік транзистора VT_2 ; C_{3132} – ємність між першим і другим затвором транзистора VT_2 ; R_4 – опір резистора R_4 на схемі рис. Е.1 додатка Е [2, 4, 11].

Для визначення функції перетворення необхідно знайти залежність вихідної частоти від зміни рівня рідини. Система рівнянь Кірхгофа, складена на основі еквівалентної схеми (рис. Є.1 додатка Є), має вигляд [2, 4, 11]:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 = i_1(Z_5 + Z_2 + Z_6) - i_3 Z_2 - i_2 Z_6, \\ 0 = i_2(Z_6 + Z_3 + Z_7) - i_3 Z_3 - i_4 Z_7, \\ 0 = i_3(Z_3 + Z_2 + Z_1 + Z_8 + Z_{12}) - i_1 Z_2 - i_2 Z_3 - i_{10} Z_8 - i_{11} Z_{12}, \\ 0 = i_4(Z_{22} + Z_7 + Z_{10} + Z_{13} + Z_{11} + Z_{14} + Z_{19}) - I_{\delta e1} Z_{11} + I_{nc} Z_{14} + \\ + I_{ss} Z_{19} - i_2 Z_7 - i_5 Z_{22} - i_{10} Z_{10} + Z_{11}(I_{\delta k1} - I_{\delta e1} - I_{m1}) - i_{11}(Z_{13} + Z_{11}) - \\ - i_9 Z_{14} + Z_{14}(I_{nc} - I_{ne}) - i_8 Z_{19} + I_{ne} Z_{19}, \\ 0 = i_5(Z_{22} + Z_{24} + Z_{26}) - i_4 Z_{22} - i_7 Z_{24} - i_6 Z_{26}, \\ \dot{U}_{\text{вих}} = i_6(Z_{26} + Z_{25} + Z_{18}) - i_5 Z_{26} - i_7 Z_{25} - i_{11} Z_{18}, \\ 0 = i_7(Z_{25} + Z_{24} + Z_{23} + Z_{21} + Z_{16}) - I_{ce} Z_{23} - i_6 Z_{25} - i_5 Z_{24} - i_8 Z_{21} - i_{12} Z_{16}, \\ 0 = i_8(Z_{21} + Z_{23} + Z_{19} + Z_{20}) + I_{ce} Z_{23} - I_{ne} Z_{19} + Z_{20}(I_{nc} - I_{ne}) - \\ - i_7(Z_{23} + Z_{21}) - i_4 Z_{19} - i_9 Z_{20}, \\ 0 = i_9(Z_{14} + Z_{15} + Z_{20}) + Z_{20}(I_{ne} - I_{nc}) + I_{ce} Z_{15} - i_8 Z_{20} - i_4 Z_{14} + i_{12} Z_{15}, \\ 0 = i_{10}(Z_8 + Z_{10} + Z_9) + I_{\delta k1} Z_9 - i_4 Z_{10} - i_3 Z_8 - i_{11} Z_9, \\ 0 = i_{11}(Z_{18} + Z_{13} + Z_{12} + Z_{11} + Z_9 + Z_{17}) + (Z_{11} + Z_9)(I_{\delta e1} + I_{m1} - I_{\delta k1}) - \\ - i_4(Z_{11} + Z_{13}) - i_{10} Z_9 - i_3 Z_{12} - i_5 Z_{18} - i_{12} Z_{17}, \\ 0 = i_{12}(Z_{17} + Z_{16} + Z_{15}) - I_{ce} Z_{15} - i_7 Z_{16} - i_9 Z_{15} - i_{11} Z_{17}, \\ \dot{U}_{\text{вих}} = i_{13}(Z_4 + Z_{27}); \end{array} \right. \quad (2.2)$$

$$\text{де } Z_1 = R_1, Z_2 = R_2, Z_3 = R_3, Z_4 = R_4, Z_5 = -\frac{j}{\omega C_1}, Z_6 = -\frac{j}{\omega C_2}, Z_7 = -\frac{j}{\omega C_3},$$

$$Z_8 = -\frac{j}{\omega C_{\delta x1}}, Z_9 = -\frac{j}{\omega C_{\delta e1}}, Z_{10} = R_{\delta 1}, Z_{11} = -\frac{j}{\omega C_{\delta e1}}, Z_{12} = R_{k1}, Z_{13} = R_{e1} + R_g,$$

$$Z_{14} = \frac{R_n}{1 + \omega^2 R_n^2 C_{n6}^2} - j \frac{\omega^2 R_n^2 C_{n6}}{1 + \omega^2 R_n^2 C_{n6}^2}, Z_{15} = Z_{21} = Z_{23} = R_{c6}, Z_{16} = -\frac{j}{\omega C_{3c}},$$

$$Z_{17} = \frac{R_{36}}{1 + \omega^2 R_{36}^2 C_{36}^2} - j \frac{\omega^2 R_{36}^2 C_{36}}{1 + \omega^2 R_{36}^2 C_{36}^2}, Z_{18} = R_{31}, Z_{19} = Z_{20} = -\frac{j}{\omega C_{nc}}, Z_{22} = R_c,$$

$$Z_{24} = \frac{R_{3c}}{1 + \omega^2 R_{3c}^2 C_{3c}^2} - j \frac{\omega^2 R_{3c}^2 C_{3c}}{1 + \omega^2 R_{3c}^2 C_{3c}^2}, Z_{25} = -\frac{j}{\omega C_{3132}}, Z_{26} = R_{32}, Z_{27} = -\frac{j}{\omega C_4},$$

Залежність вихідної частоти від ємності чутливого елемента визначається по контуру зворотного струму згідно еквівалентної схеми (рис. Ж.1 додатка Ж). Функція перетворення вимірювального каналу приладу на основі біполярного та двозатворного МДН-транзистора описується виразом:

$$f = \frac{\sqrt{6}}{2\pi R_{екв} C_{екв}}, \quad (2.3)$$

де $R_{екв} = 4800$ (Ом), $C_{екв}$ – еквівалентний опір та ємність відповідно.

$$C_{екв} = \frac{abcdkpx}{abcdx(k+p) + cdkpx(a+b) + abkp(c+d+x)}, \quad (2.4)$$

$$\text{де } a = C_{nc}, b = C_{n6}, c = C_{6e1}, d = C_4, k = C_{3c}, p = C_{3132}, x = C_1 = \frac{2\pi\varepsilon_1(h(\varepsilon_2 - 1) + h_2)}{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)}.$$

Підставивши (2.4) в (2.3), отримаємо рівняння частоти:

$$f = \frac{\sqrt{6}(abcdx(k+p) + kpcdx(a+b) + kpab(c+x+d))}{2\pi 4800 k p a b c d x}. \quad (2.5)$$

Графік залежності вихідної частоти від рівня рідини подано на рис. 2.6.

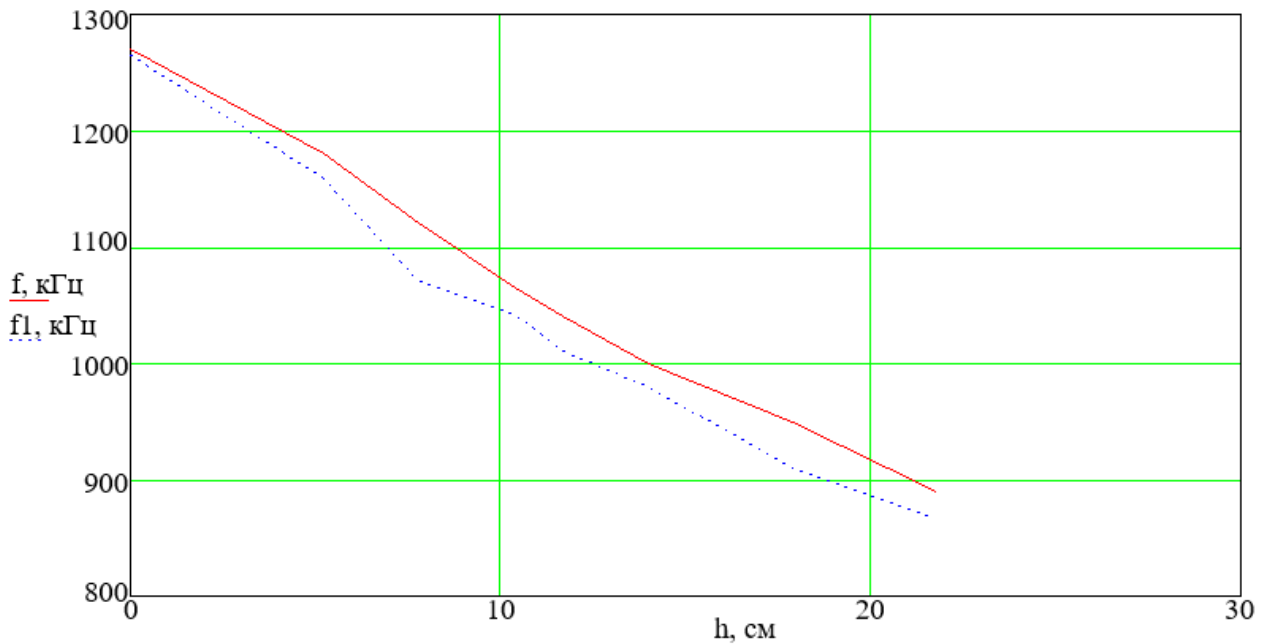


Рисунок 2.6 – Залежність вихідної частоти від рівня рідини

Як видно з цього рисунку, вихідна експериментальна частота f_1 з деякою похибкою відрізняється від теоретичної частоти f , і при збільшенні рівня рідини, яка знаходиться в резервуарі в межах 0–26 см вихідна частота буде зменшуватися в межах 1264,2 – 867 кГц,

Знайшовши першу похідну від (2.5), отримаємо рівняння чутливості:

$$\begin{aligned}
 S = & \frac{\pi^2 \varepsilon_0 a b c d k^2 p \left(\frac{2\pi \varepsilon_0 (\varepsilon - 1) (a b k p + c d k p (a + b) + \sqrt{6} a b c d (k + p))}{\ln(d_2/d_1)} \right)}{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)} \times \\
 & \times (h_2 - h + \varepsilon h) + \frac{2\pi \varepsilon_0 c d (h_2 - h + \varepsilon h) (k p (a + b) + \sqrt{6} a b (k + p))}{\ln(d_2/d_1)} + \\
 & + \frac{\pi^2 \varepsilon_0 (\varepsilon - 1) a b c d k^2 p \left(a b k p \left(c + d + \frac{2\pi \varepsilon_0 (h_2 - h + \varepsilon h)}{\ln(d_2/d_1)} \right) \right)}{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)}. \quad (2.6)
 \end{aligned}$$

Графік залежності чутливості пристрою від рівня рідини подано на рисунку 2.7.

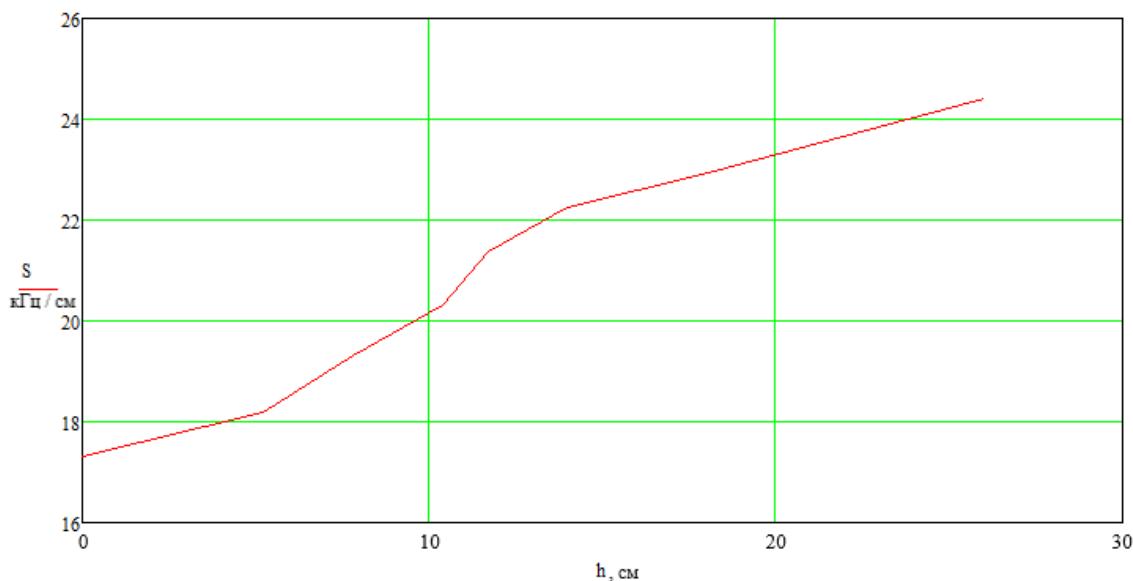


Рисунок 2.7 – Залежність чутливості пристрою від рівня рідини

Як видно з даного рисунка чутливість пристрою становить 17 – 24 кГц/см.

2.5 Розробка алгоритму роботи мікроконтролера

На рисунку Ж.1 додатка Ж, зображено блок-схему алгоритму роботи мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом.

Спочатку відбувається ініціалізація змінних, констант та бібліотеки LCP [13, 14].

Після увімкнення живлення мікроконтролер починає роботу із увімкнення таймера. Лічильнику присвоюється значення 0, далі відбувається перевірка умови на переривання по верхньому фронту. Якщо переривання по верхньому фронту не відбуваються то виконується повернення до перевірки умови. Якщо переривання відбувається, то до значення лічильника додається 1. Далі згідно формули в залежності від частоти, обраховується значення висоти рідини, рівень якої вимірюється, після чого інформація передається і результат виводиться на LCD – індикатор.

Для розрахунку висоти h використаємо апроксимовану функцію перетворення, її вигляд подано на рисунку 2.5.

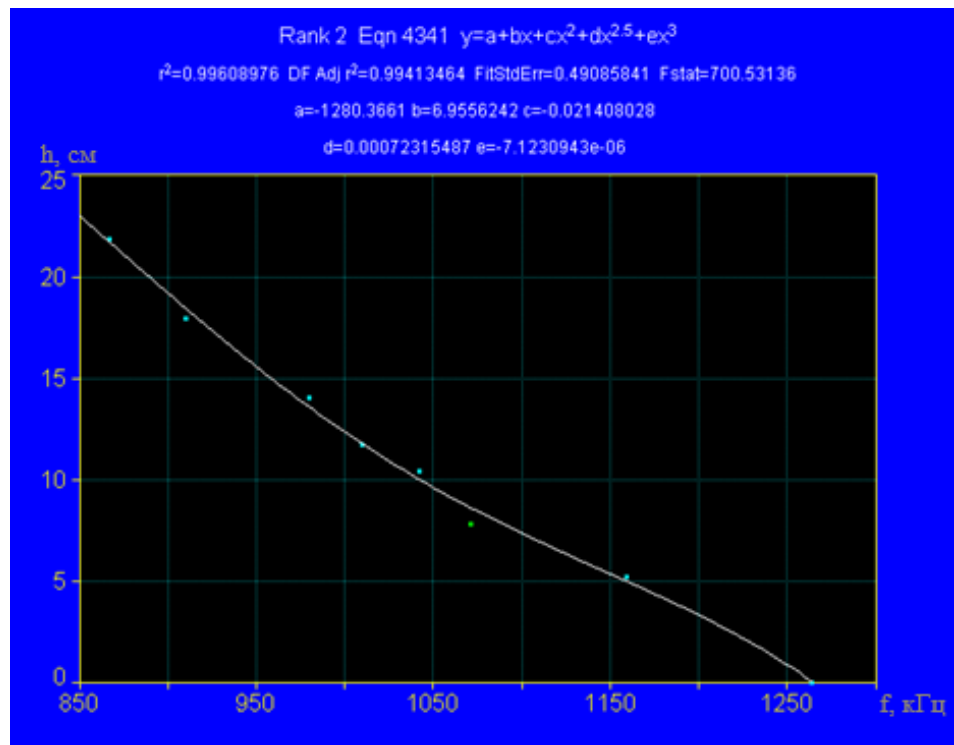


Рисунок 2.8 – Апроксимована функція перетворення

Рівняння апроксимації має вигляд:

$$h = a + bf + cf^2 + df^{2.5} + ge^{-6}f^3, \quad (2.7)$$

де $a = -1280,3661$;

$b = 6.9556242$;

$c = -0,021408028$;

$d = 0,00072315487$;

$g = -7,1230943$.

2.6 Моделювання роботи схеми мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом

Для моделювання роботи електричної схеми пристрою для вимірювання рівня рідини було обрано програмне середовище Proteus.

При проведенні моделювання було встановлено віртуальний генератор тактових імпульсів, частота якого дорівнює частоті, отриманій експериментальним шляхом. Для зручності моделювання було зімітовано радіоканал передачі даних за допомогою кабелю, який передає виміряну оброблену інформацію на приймальний блок. До зімітованого радіоканалу передачі даних підключено біполярні транзистори BC847 для інвертування сигналу. Для мікроконтролера ATMEGA8 було створено програму мовою C та скомпільовано HEX-файл для його прошивки.

Як бачимо з рисунків в залежності від рівня рідини, тобто частоти генератора, на LCD – індикатор виводиться значення рівня рідини.

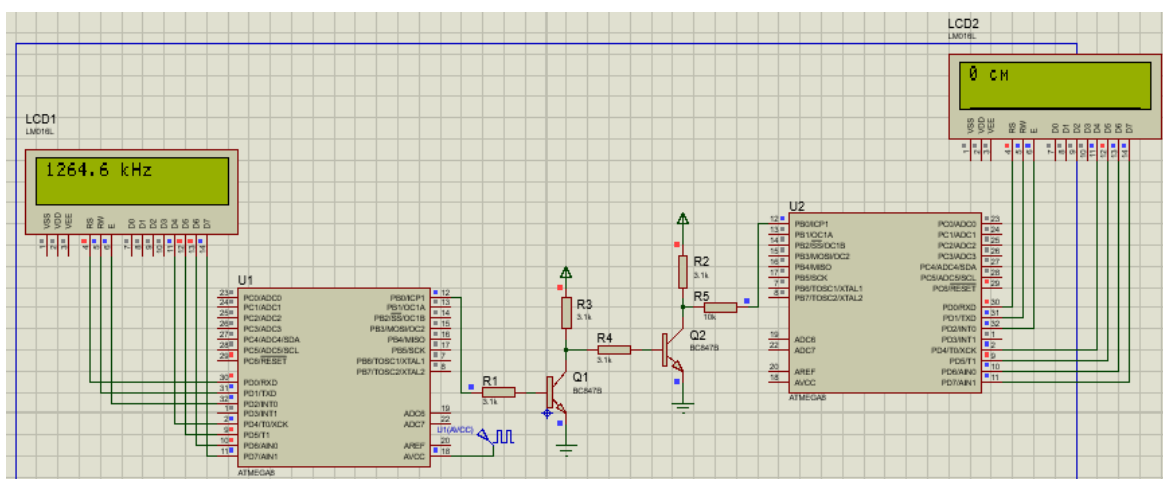


Рисунок 2.9 – Зображення схеми для моделювання в середовищі Proteus (вихідна частота 1264.6 kHz)

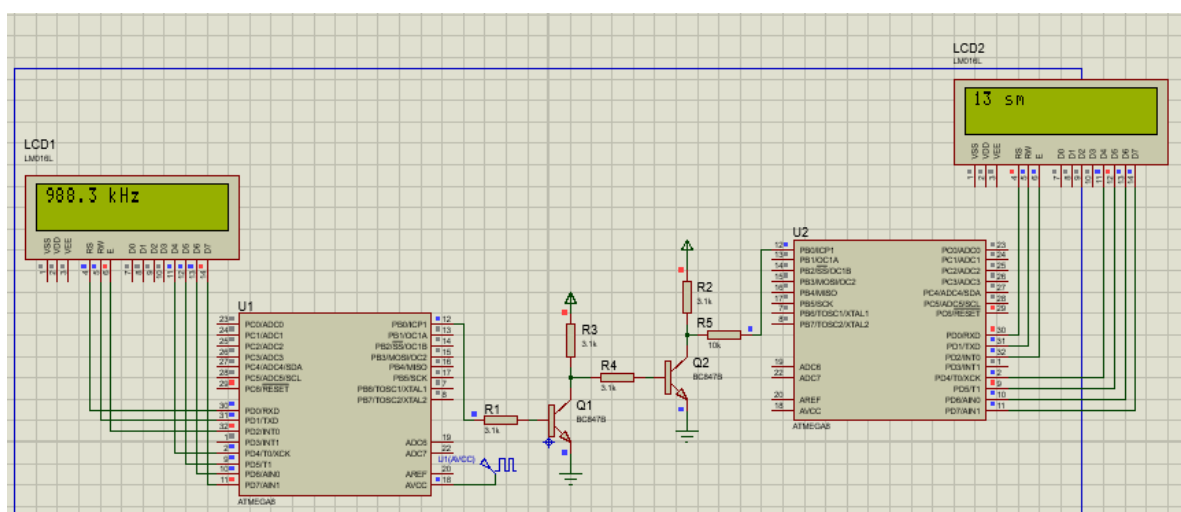


Рисунок 2.10 – Зображення схеми для моделювання в середовищі Proteus (вихідна частота 988.3 kHz)

Як видно з рисунків 2.9 – 2.10 при зміні частоти генератора *Gen* від 988.3 kHz до 1264.6 kHz, на індикатор виводиться значення рівня рідини, при цьому частоті 1264.6 kHz відповідає нульове значення рівня рідини, а частоті 988.3 kHz відповідає значення рівня рідини в 13 см.

Вимкнути пристрій вимірювання рівня рідини завчасно можна тільки вимкнувши живлення.

Висновки до другого розділу

1. Розроблено структурну та електричну схеми мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом, наведено принцип його роботи. Проведено моделювання розробленої схеми, яке показало, що при зміні частоти вихідного сигналу в межах 1264,2 – 867 кГц, змінюються покази рівня рідини, що виводяться на LCD – індикатор в межах 0 – 26 см, отримані в аналітичному вигляді функцію перетворення, та рівняння частоти, яке експериментально перевірене та чутливості. Чутливість пристрою становить 17 – 24 *кГц/см*.

2. Проведено математичне моделювання ємнісного чутливого елемента, та частотного перетворювача на основі ємнісного чутливого елемента. Знайдено функцію перетворення вимірювального каналу приладу на основі біполярного та двозатворного МДН-транзистора, яка описується залежність вихідної частоти від рівня рідини. Виведено рівняння залежності ємності чутливого елемента та чутливості від рівня рідини.

3. Проте слід зауважити, що усі елементи в пакеті Proteus є ідеалізованими, тому слід враховувати те, що на практиці спроектована схема може показати інші результати.

3 ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ РІДИНИ НА ОСНОВІ ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ЄМНІСНИМ ЧУТЛИВИМ ЕЛЕМЕНТОМ

Основними вимогами до конструкції пристрою є економічність, простота підключення та запуску.

3.1 Вибір елементної бази пристрою

Резистори, конденсатори. Резистори обрано мінеральні навісні. В даному випадку немає необхідності для мінімізації пристрою обирати SMD елементи. Конденсатори обрано навісними електролітичними.

Обрано стандартний інтегральний стабілізатор на 5 В.

Мікроконтролер обрано АТМЕГА8. Простий, недорогий, невеликий, але із достатніми функціональними можливостями для виконання поставлених задач. Основні характеристики [13, 14]:

- Пам'ять для програм становить 8 Кб з можливістю перезаписати 10 000 раз.
- 512 байт флеш-пам'яті для зберігання змінних (100 000 циклів перезапису).
- 1 Кб ОЗУ і 32 регістра загального призначення.
- Два 8-розрядних таймера / лічильника, режим порівняння.
- 16-розрядний таймер / лічильник, режим порівняння, режим захоплення.
- Таймер реального часу з незалежним генератором.
- канали ШІМ.
- 6 каналів 10-розрядного АЦП.
- Двопровідний послідовний інтерфейс.
- Програмований послідовний USART.
- Інтерфейс SPI з режимами Master / Slave.
- Програмований сторожовий таймер з окремим незалежним генератором.
- Вбудований аналоговий компаратор.
- Вбудований калібрований RC-генератор.

- Обробка внутрішніх і зовнішніх переривань.
- 5 режимів зі зниженим енергоспоживанням: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, і Standby.
- Напруга живлення 4.5 - 5.5В.
- Тактова частота 0-16 МГц.

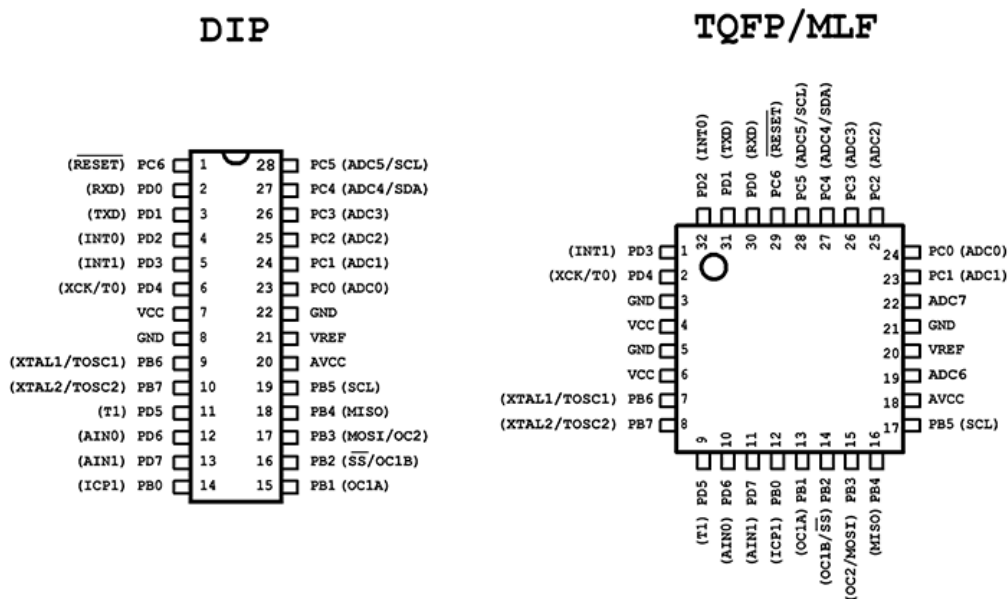


Рисунок 3.1 – Зображення МК АТМЕГА8 з описом виводів

Було обрано наступні пристрої безпроводного зв'язку: приймач FSK НМ-Р868S з наступними характеристиками:

- Тип модуля зв'язку RF.
- Вид модуля приймач FM.
- Вид модуляції FSK.
- Частота 868МГц.
- Чутливість приймача -98дБм.
- Напруга живлення 2,5 ... 5В DC;

та передавач FSK НМ-Т868S:

- Тип модуля зв'язку RF.
- Вид модуля передавач FM.
- Вид модуляції FSK.
- Частота 868МГц.

- Напруга живлення 2,5 ... 5В DC.
- Потужність передавача, дБм 4дБм.

3.2 Вибір матеріалу друкованої плати

При виборі типу друкованої плати для конструкції потрібно враховувати техніко-економічні показники. Модель даного приладу не є досить складною за своєю конструкцією і складається з доступних радіоелементів. Вибираємо двосторонню друковану плату, яка характеризується високими комутаційними якостями за рахунок металізації в отворах, підвищеною міцністю з'єднань виводів навісних елементів з рисунком плати та низькою вартістю [15].

В табл. 3.1 подано основні властивості матеріалів друкованих плат.

Таблиця 3.1 – Властивості матеріалів друкованих плат

Параметри	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Щільність без фольги, г/см ³	1,3...1,4	1,3...1,45	1,6...1,8
Відносна діелектрична проникність	4,5...6	4,5...6	5...6
Питомий об'ємний опір, Ом·м	1012...1014	1012...1014	1014...1015
Діапазон робочих температур, °С	-60...+80	-60...+105	-60...+120
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	0,25...0,3	0,23...0,34	0,34...0,74
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10 ⁻⁶ К ⁻¹	22	22	8...9

Для виготовлення друкованої плати використовують фольговані та нефольговані діелектрики. Вихідними матеріалами для їх виготовлення є папір або склотканина, просякнуті синтетичними смолами, або полімерні плівки з

лавсану, фторопласту та ін. На поверхню фольгованих матеріалів мідна фольга приклеюється з однієї чи двох сторін листа в процесі виготовлення. Її товщина становить 20 – 50 мкм.

До матеріалу висуваємо наступні вимоги [15]:

- а) висока технологічність;
- б) високі електрофізичні властивості;
- в) забезпечення високої адгезії;
- г) мінімальні механічні короблення.

Найчастіше для виготовлення друкованої плати використовують склотекстоліт і гетинакс, марок:

- а) ГФ – фольгований гетинакс;
- б) СФ – фольгований склотекстоліт;
- в) ФГС – склотекстоліт фольгований травильний;
- г) СФПН – склотекстоліт фольгований нагрівостійкий;
- д) СТФ – склотекстоліт теплостійкий.

Товщина ж друкованої плати визначається товщиною вихідного матеріалу і вибирається залежно від елементної бази та навантажень [13].

Найоптимальніші параметри, згідно табл. 3.1, має склотекстоліт. Тому обираємо двосторонній фольгований склотекстоліт марки СФ-2-35-1,5 ТУ16-503.271-86, який має товщину фольги 35 мкм, товщину матеріалу з фольгою 1,5 мм. та діапазон робочих температур від –60 до +120 °С. Даний матеріал, володіє досить високим значенням ударної міцності, та здатен витримувати перевантаження в 25g та механічні удари з тривалістю імпульсу в 16 мілісекунд. Будучи вкритим захисним лаковим покриттям, фольгований склотекстоліт стає не чутливим до вологи у всьому робочому температурному діапазоні, що задовольняє умовам поставленого технічного завдання.

3.3 Розробка конструкції друкованої плати

3.3.1 Технологія виготовлення друкованих плат.

Усі процеси виготовлення друкованих плат можна поділити на: субстрактивні, адитивні, напівадитивні [15].

Субстрактивний процес – одержання провідного рисунка полягає у вибіркового видаленні ділянок провідної фольги методом травлення.

Адитивний процес – полягає у вибіркового осадженні провідного матеріалу на основу плати.

Напівадитивний процес – передбачає попереднє нанесення тонкого провідного покриття, який потім видаляється з місць, де є проміжки.

Згідно ГОСТ 2375-86 конструювання друкованих плат здійснюється з врахуванням наступних методів виготовлення:

- хімічний - для двосторонніх друкованих плат;
- позитивний комбінований – для двосторонніх друкованих плат з металізованими монтажними отворами.

Двосторонні друковані плати, як правило виготовляються з допомогою позитивного комбінованого метода, який передбачає експонування рисунка друкованих елементів з фотопозитива. Технологічний процес виготовлення друкованої плати даним методом добре відпрацьований й добре забезпечений технологічним обладнанням.

Комбінований метод є об'єднанням хімічного і електрохімічного методів. Вихідним матеріалом служить фольгова ний з обох сторін діелектрик, тому провідний рисунок отримують витравленням міді, а металізація отворів проводиться завдяки хімічному мідненню з наступним електрохімічним нарощуванням шару міді.

Пайка виводів ЕРЕ проводиться завдяки заповненню отворів припоєм в платі. Комбінований метод складається зі наступних основних операцій: різка заготовок і хіміко-механічна підготовка поверхні, отримання захисного рисунку, нанесення захисної лакової плівки, свердління і зенківка отворів, хімічне

міднення і видалення лакової плівки, гальванічне міднення в два прийоми. Даний спосіб характеризується значною трудоємністю, так як в процесі доволі багато ручних операцій.

Підготовка поверхні перед нанесенням фоторезисту включає в себе хімічне обезжирення, яке відбувається в розчинах тринатрійфосфата. Температура розчину 40-60°C, тривалість обробки 2-5 хвилин.

Виготовлення друкованої плати за наступним технологічним процесом [15]:

- виготовлення заготовки фольгованого склотекстоліту шляхом різки листа дисковими фрезами діаметром $d=100\text{мм}$ і товщиною 3мм. Швидкість різки 100-120 мм/с;

- підготовка поверхні до нанесення фоторезисту. Механічна і хімічна очистка поверхні мідної фольги, зачистка мідним наждаком, промивка в проточній воді, обробка в 5-7% розчині HCl на протязі 30 с, промивка;

- нанесення фоторезисту поливом на поверхню фольги з центрифугуванням і сушкою. Швидкість центрифуги 80-100 об./хв., температура сушки 35-40°C;

- експонування друкованого рисунку проводиться в копійовальній рамці на протязі 8-10 хвилин;

- проявлення захисного позитивного рисунку друкованої плати здійснюється теплою водою ($t=40-50^\circ\text{C}$) у ванні з ультразвуковим коливанням;

- задублення захисного рисунку проводиться хімічним шляхом у розчині 3% хромового ангідриду;

- травлення (видалення) міді з незахищених ділянок фольги здійснюється у травильному агрегаті КТ-38 на протязі 15-18 хвилин, обробка плати водним розчином FeCl_3 з наступною промивкою в холодній воді;

- покриття лаком, сушка при температурі 20-30°C на протязі 6 годин;

- свердління отворів;

- зенківка свердлом діаметром 1,25мм;

- активування поверхні розчином хлорного олова;
- хімічне міднення 40% розчином мідного купоросу на протязі 20 хвилин;
- зняття захисного лаку ацетоном;
- сушка;
- покриття сплавом РОЗЕ методом занурення у ванну при температурі $t=95^{\circ}\text{C}$.

3.3.2 Вибір типу друкованої плати.

При виборі типу друкованої плати для конструкції потрібно враховувати техніко-економічні показники. Даний прилад складається з доступних радіоелементів. Тому вибираємо двосторонню друковану плату, яка характеризується високими комутаційними якостями за рахунок металізації в отворах, підвищеною міцністю з'єднань виводів навісних елементів з рисунком плати, низькою вартістю [15].

Для виготовлення друкованої плати використовують фольговані та нефольговані діелектрики. Вихідними матеріалами для їх виготовлення є папір або склотканина, просякнуті синтетичними смолами, або полімерні плівки з лавсану, фторопласту та ін. На поверхню фольгованих матеріалів мідна фольга приклеюється з однієї чи двох сторін листа в процесі виготовлення. Її товщина становить 20 – 50 мкм.

Товщина друкованої плати визначається товщиною вихідного матеріалу і вибирається залежно від елементної бази та навантажень.

Оптимальні параметри для схеми передавального блоку згідно табл. 3.1, має склотекстоліт. Тому обираємо склотекстоліт фольгований двосторонній марки СФ-2-50-1,5 ТУ16-503.271-86, який має товщину фольги 35 мкм, товщину матеріалу з фольгою 1,5 мм. та діапазон робочих температур від -60 до $+120^{\circ}\text{C}$.

3.3.3 Вибір класу точності друкованої плати.

Для даного приладу оптимальним варіантом буде вибір друкованої плати 2-го класу точності, що не вимагає використання дорогих високоякісних матеріалів, інструменту та обладнання [15].

До друкованих плат висуваються такі вимоги:

1. Висока точність розташування струмопровідного рисунка
2. Велика величина опору діелектрика
3. Висока механічна міцність
4. Добра здатність до паяння, особлива після тривалого зберігання.

Досягається шляхом вибору типу покриття та технологією його нанесення

Точність розташування струмопровідного рисунка регламентується вимогами державних стандартів. З цією метою введено поняття класу точності друкованих плат.

Таблиця 3.2 – Класи точності друкованих плат

Параметри конструкції плат, мм	Клас точності			
	1	2	3	4
1. Ширина друкованих провідників	0,6	0,45	0,25	0,15
2. Відстань між суміжними провідниками	0,6	0,45	0,25	0,15
3. Співвідношення діаметра отвору до товщини плати	0,6	0,5	0,5	0,33

Для даного виробу (згідно таблиці 3.2), з огляду на не складне трасування оптимальним варіантом буде вибір 2-го класу точності друкованої плати (не вимагає використання високоякісних матеріалів, інструменту та обладнання).

Даний клас характеризується наступними параметрами конструкції [15]:

- а) ширина провідника – 0,45 мм;
- б) ширина провідника у вузьких місцях – 0,25 мм;
- в) відстань між елементами – 0,25 мм;
- г) гарантійний поясок – 0,2 мм.

Установка навісних елементів на друкованій платі здійснюється згідно з ГОСТ 4ГО.010.030-81 та ОСТ4.ГО.010.009. При розташуванні елементів

необхідно враховувати наступні фактори: забезпечення високої надійності, мінімізація розмірів, забезпечення тепловідводу та ремонтпридатності.

Елементи розташовуємо з однієї сторони паралельно сторонам плати по принципу найкоротших зв'язків.

Вибираємо крок координатної сітки 1,25 мм. Координатну сітку на початок координат розташовуємо згідно з ГОСТ 2.417-78. Отвори та елементи друкованого малюнку розташовуємо на платі відносно початку координат.

Всі контактні площадки розміщуємо у вузлах сітки. Це ж стосується і виводів елементної бази.

3.3.4 Розрахунок ширини провідників.

Ширина провідників визначається у розрахунку на струм, який проходить через них, та максимально можливе падіння напруги.

Для допустимого струму :

$$b_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t}, \quad (3.1)$$

де $j_{\text{доп}}$ – допустима густина струму для мідного провідника, $j_{\text{доп}} = 17 \text{ А/мм}^2$;

t – товщина фольги, $t = 35 \text{ мкм}$;

I_{\max} – максимальний постійний струм, який проходить через провідник;

$I_{\max} = 0,05 \text{ А}$, згідно індивідуального завдання.

$$b_{\min} = \frac{0,05}{17 \cdot 0,035} = 0,084 (\text{мм}) = 84 (\text{мкм}) < 250 (\text{мкм}).$$

Визначимо мінімальну ширину провідника з умови допустимого падіння напруги:

$$b_{\min} = \frac{I_{\max} \cdot \rho \cdot l_{\max}}{\Delta U_{\text{доп}} \cdot t}, \quad (3.2)$$

де ρ – питомий опір провідників, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

l_{\max} – максимальна довжина провідника, $l_{\max} = 0,1 \text{ м}$;

$\Delta U_{\text{доп}}$ – допустиме падіння напруги (становить 5% від напруги живлення
 $\Delta U_{\text{доп}} = 5 \cdot 0,05 = 0,25 \text{ В}$);

$$b_{\text{min}} = \frac{0,05 \cdot 0,0175 \cdot 0,1}{0,25 \cdot 0,035} = 100 (\text{мкм}) < 250 (\text{мкм}).$$

Розраховані значення ширини провідників не перевищують обраних для другого класу точності.

Висновки до третього розділу

1. Здійснено розрахунок параметрів друкованої плати та обрано її тип – двостороння. Цей тип характеризується високими комутаційними властивостями, підвищеною міцністю з'єднань виводів навісних елементів з рисунком плати, високою щільністю розташування електронних компонентів та низькою вартістю.

2. У якості матеріалу друкованої плати обрано двосторонній фольгований склотекстоліт марки СФ-2-35-1,5 ТУ16-503.271-86 (ГОСТ 10316 – 78), який має товщину 1,5 мм. Для даного типу плати проведено розрахунок ширини друкованих провідників, діаметрів монтажних отворів та контактних площадок.

4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Прогнозування витрат на виконання НДДКР

Капітальні вкладення на розробку нового конструкторського технічного рішення, в загальному випадку, складаються з відповідних витрат і розраховуються за формулою:

$$K = Z_o + Z_p + Z_{\text{доод}} + A_{\text{обл}} + M + K_B + B_{\text{ел}} + I_6; \quad (4.1)$$

Де Z_o – основна заробітна плата розробників, грн;

Z_p – основна заробітна плата робітників, які виконують відповідні роботи, грн.;

$Z_{\text{доод}}$ – додаткова заробітна плата розробників та робітників, грн.;

$A_{\text{обл}}$ – амортизація обладнання та приміщень для розробки нового рішення, грн.;

M – витрати на матеріали, які були використанні на розробку технічного рішення, грн;

K_e – витрати які були використанні на розробку технічного рішення, грн;

$B_{\text{ел}}$ – витрати на електроенергію для розробки нового технічного рішення, грн.;

I_6 – інші витрати, грн.;

Витрати на основну заробітну плату розробників розраховуються за формулою:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} t_i}{T_p}; \quad (4.2)$$

де k - кількість посад розробників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} - місячний посадовий оклад конкретного розробника;

t_i - число днів роботи конкретного розробника;

T_p - середнє число робочих днів в місяці.

Результати наведенні в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Витрати на заробітну плату розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату
Керівник проекту	10000	476	30	14285,71
Інженер	7000	333	30	10000
Інженер	7000	333	30	10000
Всього			30	34285,7

Розрахунок основної заробітної плати проводиться за наступною формулою:

$$Z_p = \sum_{n=1}^n C_i t_i; \quad (4.3)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн./год;

t_i – час роботи робітника на визначеній i й технологічній операції при виготовленні одного виробу, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна розрахувати за формулою:

$$C_i = \frac{M_M K_i K_C}{T_p t_{zm}}; \quad (4.4)$$

де M_M – розмір мінімальної місячної заробітної плати, грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду;

K_C – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормативними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати;

T_p – середнє число робочих днів в місяці;

t_{zm} – тривалість зміни, год.

Розмір мінімальної заробітної плати станом на 1.01.2019 р. становить 4173 грн.

Більш детальні розрахунки наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість операції, год.	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати на робітника грн.
Складання мікросхеми	1	4	1,5	55,28	55,28
Виконання паяльних робіт	1	1	1,1	45,9	45,9
Інші роботи	1	1	1	37	37
Всього					101,18

Нарахування на заробітну плату в 2019 році. Кожний роботодавець зобов'язаний нараховувати і сплачувати до бюджету єдиний соціальний внесок (ЄСВ). Це консолідований страховий внесок, який включає соціальний пакет, законодавчо передбачений державою, а саме: пенсійне страхування (виплата пенсій), страхування на випадок тимчасової втрати працездатності (оплата лікарняних), страхування, пов'язане з виникненням нещасних випадків на виробництві. Також нагадаємо, що ЄСВ в 2019 році сплачується за рахунок коштів роботодавця.

У загальному випадку ставка ЄСВ складає 22% (ч. 5 ст. 8 ЗУ "Про ЄСВ"). Нарахування на заробітну плату відповідно до діючого законодавства розробників та робітників становить 22% від суми основної та додаткової заробітної плати розробників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{одд}) H_{zn}; \quad (4.5)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату робітників.

$$Z_n = (34285,7 + 101,8)0,22 = 7565,25;$$

Наступним етапом є розрахунок амортизаційних відрахувань. В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання та приміщень та програмному забезпеченню можуть бути розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_е t_{вик}}{T_е 12}; \quad (4.6)$$

де $Ц_е$ – балансова вартість обладнання, приміщень тощо, які використовувалися для розробки нового технічного рішення, грн.;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, приміщень під час розробки, місяців;

$T_е$ – строк корисного використання обладнання, приміщень тощо, років.

Результати наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Робоче устаткування	100 000	15	1	555,6
Програмне забезпечення	50 000	2	1	2083
Комп'ютер	15 000	7	1	178,6
Паяльна станція	1500	3	1	41,7
Паяльник для мікросхем	800	3	1	22,2
Дрібні устаткування	30000	3	1	833,3
Всього				3714,4

Таблиця 4. 4 - Витрати на основні матеріали

№	Найменування матеріалу	Одиниця виміру	Витрачено	Ціна за одиницю, грн.	Вартість витраченого матеріалу, грн.
	Плата монтажна	шт	1 шт	45	45
	Провід монтажний	м	0,7	18,5	13
	Припій	г	30	0,8	25
	флюс	г	30	0,8	25

	Мережевий кабель	шт	1	70	70
	Папір офсетний	уп.	1	105	105
	Картридж для принтера	шт	1	140	140
Всього					423

З врахуванням транспортних витрат вартість матеріалів складе:

$$M = 423 \cdot 1.1 = 465,3.$$

Витрати на комплектуючі вироби, які використовуються при розробці одиниці нового технічного рішення, розраховуються згідно з їхньою номенклатурою за формулою:

$$K_{\epsilon} = \sum_{j=1}^n H_j C_j K_j; \quad (4.7)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду;

C_j – ціна комплектуючих j -го виду;

K_j – коефіцієнт транспортних затрат.

Коефіцієнт транспортних витрат може коливатися від 1,1 до 1,15. В нашому випадку становить 1,15.

Результати занесені до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Витрати на комплектуючі

№	Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
1	Конденсаторів	11	4	44
2	Резистори	18	3	54
3	Бі-полярні транзистори	4	35	140
4	Польовий транзистор	1	30	30
5	Мікросхеми	3	10	30
6	Atmega – 8	2	66	132

7	тригер Шмітта	1	4	4
8	Дисплей (LM016L)	1	100	100
9	Кварцевий резонатор (MP- 180)	2	2	4
10	Роз'єми	6	5	30
11	Приймач (FSK HM-R868S)	1	100	100
12	Передавач (FSK HM- R868S)	1	100	100
13	Діод	1	20	20
14	Кнопка	2	60	120
15	Корпус	1	500	500
				1619

Наступним етапом є розрахунок витрат на силову електроенергію:

Витрати на силову електроенергію B_e розраховується за формулою:

$$B_e = \sum_{j=1}^n \frac{W_{yi} t_i C_e K_{eni}}{\eta_i}; \quad (4.8)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на визначеній i – й технологічній операції при виготовленні одного виробу або на етапі розробки, год;

C_e – вартість 1 кВт – години електроенергії, грн;

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$.

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

Результати занесенні до таблиці 4.5

Таблиця 4. 5 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Паяльник для мікросхем	0,04	1	0,096
Паяльна станція	0,08	1	0,192
Всього			0,218

Витрати на електроенергію становлять 2,4 коп./кВт·год для промислових підприємств першого класу напруги, постачальник Вінницяобленерго.

4.2 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

Метою будь якого підприємства є отримання прибутку. На рівень цін підприємства впливають наступні фактори: собівартість продукції; наявність унікальних властивостей продукції; ціни-продуктів конкурентів і цін товарів-замінників; можливість отримання достатнього прибутку. Нижня межа ціни – це собівартість, верхня межа платоспроможність покупців. Скористаємось методом лімітних цін, за якого визначається верхня та нижня межа ціни.

Сума всіх калькуляційних статей витрат утворює виробничу собівартість виробу.

Результати розрахунків всіх видів витрат, на виготовлення одиниці продукції, занесено до таблиці 4.6.

Таблиця 4. 6 – Собівартість виготовлення виробу

Стаття витрат	Умовне позначення	Сума, грн.
1. Витрати на основні матеріали		423
2. Витрати на комплектуючі на одиницю продукції, грн	K_B	1619

3. Витрати на силову електроенергію, грн.	V_e	0,288
4. Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	Z_p	101,18
5. Витрати на нарахування на заробітну плату робітників, грн.	Z_n	22,25
6. Загальновиробничі витрати, грн.	$V_{заг}$	202
	S_B	2368

Інші витрати охоплюють: загальновиробничі витрати, адміністративні витрати, витрати на відрядження, матеріали, окремі непередбачені витрати, зв'язок, витрати на інтернет та інтернет послуги тощо.

Інші витрати доцільно приймати як 200 – 300% від суми основної зарплати дослідників та робітників.

Величина інших витрат складе:

$$I = (34285,7 + 101,8) \cdot 200\% = 68733,6$$

Загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи.

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$B = 34285,7 + 101,8 + 68773,6 + 0,288 + 423 + 1619 + 7565 + 3714,4 + 465 = 113057.$$

Нижня межа ціни передбачає, що виробник має покривати усі понесені витрати в процесі виробництва та забезпечити відповідний рівень рентабельності для підприємства.

Ціна реалізації розраховується за формулою:

$$C_{нрм} = S_B \left(1 + \frac{P}{100} \right) \left(1 + \frac{w}{100} \right); \quad (4.9)$$

де $C_{нрм}$ - нижня межа ціни реалізації виробу;

S_B - виробнича собівартість виробу, грн;

P - нормативний рівень рентабельності, %;

w - ставка податку на додану вартість.

За нормативний рівень рентабельності приймаємо 40% для першого року виробництва, в подальшому підприємство планує нарощувати. Ставка податку на додану вартість станом становить 20%.

$$C_{нрм} = 2160 \cdot 1,2 \cdot 1,4 = 3629,5.$$

В даний час перспективність наукового дослідження визначається не стільки масштабом відкриття, оцінити на перших етапах життєвого циклу високотехнологічного продукту буває важко, скільки комерційною цінністю розробки. Оцінка комерційної цінності розробки є необхідною умовою при пошуку джерел фінансування для проведення наукового дослідження і комерціалізації його результатів. Це важливо для розробників, які повинні представляти стан і перспективи проведених наукових досліджень.

Необхідно розуміти, що комерційна привабливість наукового дослідження визначається не тільки перевищенням технічних параметрів над попередніми розробками, а й тим, наскільки швидко розробник зможе знайти відповіді на такі питання - чи буде продукт затребуваний ринком, яка буде його ціна, який бюджет наукового проекту, який термін буде потрібно для виходу на ринок .

4.3. Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Експлуатаційні витрати є такі витрати, які забезпечують функціонування будь якої розробки в період її експлуатації.

Спочатку розраховується заробітна плата обслуговуючого персоналу:

$$Z_{обс} = NT_1K_{сер}\Phi_eK_c\beta; \quad (4.10)$$

де N – число робітників, що обслуговують один виріб;

T_1 – погодинна тарифна ставка оплати праці 1 – го розряду;

Погодинна тарифна ставка T_1 визначається за формулою:

$$T_i = \frac{M_M}{T_p T_{зм}}; \quad (4.11)$$

де M_M – мінімальна місячна заробітна плата встановлено КМ;

T_p – число робочих днів у місяці;

$T_{зм}$ – тривалість зміни;

$K_{сер}$ – середній тарифний коефіцієнт, що обслуговують виріб;

Φ_e – ефективний фонд часу робітників за рік;

K_c – коефіцієнт співвідношень;

β - частка часу, який витрачає на обслуговування виробу в загальному часі своєї роботи;

Мінімальна заробітна плата становить 4173. Середнє число робочих місяців 21. Тривалість зміни 8 год.

$$T_i = \frac{4173}{8 \cdot 21} = 24,8.$$

$$Z_{обс} = 1 \cdot 24,8 \cdot 1 \cdot 1,37 \cdot 1800 \cdot 0,01 = 611,5 \text{ грн.}$$

Наступним кроком є розрахунок витрат на силову енергію:

$$B_e = ВПФК_n; \quad (4.12)$$

де B – вартість 1 кВт – години електроенергії.

$П$ – установлена потужність виробу, к ВТ;

Φ – фактична кількість годин роботи виробу за рік, годин;

K_n – коефіцієнт використання потужності.

Витрати на електроенергію становлять 2,4 коп./кВт·год для промислових підприємств першого класу напруги, постачальник Вінницяобленерго.

$$B_e = 2,4 \cdot 15 \cdot 0,01 \cdot 8 \cdot 21 \cdot 12 = 544;$$

Амортизаційні відрахування для розробки визначаються за формулою:

$$A = \frac{Ц \cdot H_a}{100}; \quad (4.13)$$

де $Ц$ балансова вартість виробу, грн;

H_a – річна сума амортизації, %.

$$A = \frac{3629 \cdot 0,25}{100} = 90,25.$$

Витрати на поточний ремонт розробки розраховується за формулою:

$$P = \frac{B_i N_i}{T_i} + \frac{B_n N_n}{T_n} \Phi + 3_p; \quad (4.14)$$

де B_1, \dots, B_n – вартість однотипних елементів, що замінюються протягом року, грн;

$N_1, N_2 \dots N_n$ – кількість однотипних елементів, що замінюються протягом року, шт;

$T_1, T_2 \dots T_n$ – середній строк дії однотипних елементів, що замінюються годин

Оскільки в пристрої не планується заміна деталей прогнозуємо річний ремонт на 50 грн.

Інші витрати 5 – 10% від суми загальних витрат:

$$P = \left(\frac{50 \cdot 1}{2000} + \frac{20 \cdot 2}{4000} + \frac{30 \cdot 1}{2000} \right) 2000 + 200 = 300.$$

$$300 \cdot 10\% = 30.$$

Сума витрат за всіма статтями дає величину експлуатаційних витрат для даної розробки E_2 :

$$E_2 = 30 + 300 + 90,25 + 544 + 611,5 = 1575$$

4.4 Визначення коефіцієнта значимості отриманих результатів науково – дослідної роботи

Коефіцієнт наукової значимості отриманих результатів науково – дослідної роботи підраховується за формулою:

$$K_{zn} = \frac{\sum_1^3 b_i d_i}{\sum_1^3 b_{\max} d_i}; \quad (4.15)$$

де b_i – значимість отриманих результатів;

b_1 – ступінь наукової новизни;

b_2 – рівень теоретичної обґрунтованості;

b_3 – ступінь експериментальної перевірки результатів.

Максимальне значення отриманих результатів можна прийняти в межах 7 – 10 балів.

d_i – питома вага кожної характеристики, значення якої наведено в таблиці.

3 – кількість характеристик за якими зроблена оцінка результатів науково – дослідної роботи.

Таблиця 4. 7 - Показники для оцінювання наукової значимості НДР

Характеристики	Питома вага характеристики	Ступінь новизни b_1	Рівень теоретичної обґрунтованості b_2	Ступінь експериментальної перевірки b_3
		1	3 -5	7- 10
b_1	0,5	Часткове удосконалення виробів, технологій, матеріалів	Суттєве удосконалення виробів, технологій, матеріалів	Нові напрямки в розробці виробів, технологій, матеріалів. Створення принципово нової технології
b_2	0,33	Позитивне рішення на основі зроблених узагальнень	Установлення залежностей ¹ , які використовувались в інших випадках	Відкриття нових шляхів рішення задачі
b_3	0,167	Експериментальна перевірка не робилась	Результати перевірялись на невеликій кількості даних	Результати перевірялись на великій кількості даних

Визначимо наукову значимість отриманих результатів:

$$K_{zn} = \frac{5 \cdot 0,5 + 5 \cdot 0,333 + 5 \cdot 0,167}{10 \cdot 0,5 + 10 \cdot 0,333 + 10 \cdot 0,167} = 0,5.$$

4.4.1 Внесок дослідника в досягнення результатів НДР

Внесок дослідника в досягнення результатів НДР розраховується за формулою:

$$V = \frac{k_{mvi} \cdot Z_i}{\sum_1^n k_{mvi} \cdot Z_i}; \quad (4.16)$$

де k_{mvi} – коефіцієнт творчої участі кожного виконавця НДР;

Z_i – заробітна плата НДР;

n - кількість виконавців.

$$V = \frac{3 \cdot 7000}{3 \cdot 15000 + 7000 \cdot 1,5} = 0,37.$$

Висновки до четвертого розділу

1) Економічні розрахунки підтвердили виробництво виробу. Підприємство планує на наступному році випуску збільшувати обсяги і та ринку збуту, таким чином плануємо, що його рентабельність зросте. Розробка є актуальною, оскільки даний пристрій має широку сферу застосування. Одними з найбільших статей витрат становить комплектуючі матеріали, електроенергія та заміна деталей, тобто ремонт. Сума витрат за всіма статтями дає величину експлуатаційних витрат для даної розробки E_2 : 1575.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Зменшення імовірності виникнення захворювань та виробничого травматизму під час забезпечення регламентованих параметрів умов праці є головним завданням охорони праці.

У даному розділі наводиться розгляд небезпечних, шкідливих і уражаючих для людини і оточуючого довкілля чинників, що виникають під час проведення розробки мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом. В ньому розглядаються, зокрема, технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення суміщеної вентиляції при виділенні надлишків вологи, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки, безпека в надзвичайних ситуаціях.

5.1 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони

Вибираємо для приміщення, де проводяться роботи з розробки мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка І_а.

Згідно із [17] допустимі показники температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні для теплого та холодного періодів року приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормовані допустимі параметри мікроклімату в приміщенні [17]

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С для робочих місць		Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	І _а	21-25	18-26	75	≤0,1
Теплий	І _а	22-28	20-30	55 при 28°С	0,1-0,2

Розкид значень температури повітря за висотою робочої зони допускається до 3°C. Для опромінення менше 25% поверхні тіла працівника, нормована інтенсивність теплового опромінення – 100 Вт/м².

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК), що використовуються при проектуванні виробничих приміщень (будівель), обладнання, технологічних процесів, вентиляцій, з метою контролю за якістю виробничого середовища. ГДК шкідливих речовин, що утворюються в даному виробничому приміщенні наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	Параметр	Значення	Клас небезпеки
Пил нетоксичний	ГДК, мг/м ³	0,15	4
Іони n ⁺ , n ⁻	число іонів в 1 см ³ повітря	50000	–

Для забезпечення необхідних за нормативами показників мікроклімату і чистоти повітря робочої зони передбачено: в приміщенні повинна бути встановлена система опалення для холодного і кондиціонування для теплого періодів року; для підвищення вологості повітря потрібно розташовувати місткості з водою за типом акваріумів поблизу опалювальних приладів або використовувати зволожувачі; суміщена припливно-витяжна система вентиляції.

Вихідні дані: Надмірна волога у приміщенні $G = 1,9$ кг/год; кількість вологи, що видаляється та потрапляє у приміщення $d_1 = 0,0025$ кг/м³; $d_2 = 0,0015$ кг/м³. Температура внутрішнього повітря $t_{вн} = 22$ °С; температура зовнішнього повітря $t_{зовн} = 8$ °С. Площа вентиляційних отворів у стіні $F_{прит} = 0,4$ м².

Суміщена вентиляція являє собою доповнення природної вентиляції штучною.

Продуктивність природної складової суміщеної вентиляції визначаються за формулою:

$$L_{np} = \frac{G_{npun}}{\gamma_{зовн}} = 3600 F_{npun} \sqrt{\frac{2g}{\xi_1 \gamma_{зовн}} \Delta p_1} \quad [\text{м}^3/\text{год}], \quad (5.1)$$

де G_{npun} – необхідна кількість (за масою) повітря, яке надходить в приміщення, кг/год;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

$\gamma_{зовн}$ – питома вага зовнішнього повітря, кг/м³;

ξ_1 – коефіцієнт місцевого опору припливних отворів;

Δp_1 – втрати тиску на прохід повітря через припливні отвори, кг/м².

Питому вагу повітря визначаємо за формулою:

$$\gamma = \frac{353}{t + 273} \quad [\text{кг/м}^3], \quad (5.2)$$

де t – температура повітря, для якого визначається γ , °С.

Температура повітря, що видаляється з верхньої зони приміщення визначається за формулою:

$$t_{вид} = t_{зовн} + \frac{t_{вн} - t_{нрз}}{m} \quad [^\circ\text{C}], \quad (5.3)$$

де $t_{вн}$ – температура внутрішнього повітря, °С;

$t_{нрз}$ – температура повітря, яке надійшло в робочу зону (в теплий період року $t_{нрз} = t_{зовн}$), °С;

m – коефіцієнт (для металообробного підприємства приймаємо коефіцієнт $m = 0,25 \dots 0,45 = 0,35$).

Таким чином, визначимо температуру повітря, що видаляється з верхньої зони приміщення

$$t_{вид} = 8 + (22 - 8) / 0,35 = 48 \quad (^\circ\text{C}).$$

Знайдемо питому вагу зовнішнього та видаленого повітря за формулою (5.2)

$$\gamma_{зовн} = \frac{353}{8 + 273} = 1,26 \quad (\text{кг/м}^3);$$

$$\gamma_{\text{вуд}} = \frac{353}{48 + 273} = 1,1 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

Розподілений тиск визначається за формулою:

$$\Delta p = h(\gamma_{\text{зовн}} - \gamma_{\text{вуд}}) \text{ [кг/м}^2\text{]}, \quad (5.4)$$

де h – відстань між осями нижнього та верхнього вентиляційних отворів, м.

Приймаємо $h = 3,2$ м.

Визначимо розподілений тиск

$$\Delta p = 3,2(1,26 - 1,1) = 0,51 \text{ (кг/м}^2\text{)}.$$

Знайдемо втрати тиску на прохід повітря через припливні отвори

$$\Delta p_1 = \beta \Delta p \text{ [кг/м}^2\text{)];} \quad (5.5)$$

$$\Delta p_1 = 0,25 \cdot 0,51 = 0,13 \text{ (кг/м}^2\text{)},$$

де $\beta = 0,1 \dots 0,4 = 0,25$ – частина різниці тисків, яка витрачається на прохід повітря через припливні отвори.

Визначимо втрати тиску на прохід повітря через отвори ліхтаря

$$\Delta p_2 = \Delta p - \Delta p_1 \text{ [кг/м}^2\text{)];} \quad (5.6)$$

$$\Delta p_2 = 0,51 - 0,13 = 0,38 \text{ (кг/м}^2\text{)}.$$

Приймаємо конструкцію стулки віконного отвору – одинарну верхньопідвісну ($h / b = 1$) з кутом відкривання отвору $\alpha = 45^\circ$, для якого – коефіцієнт місцевого опору $\xi_1 = 3,7$.

Визначаємо орієнтовну сумарну продуктивність суміщеної вентиляції при виділенні надлишків вологи за формулою:

$$L_\Sigma = \frac{G}{d_1 - d_2} \text{ [м}^3\text{/год]}, \quad (5.7)$$

де G – надмірна волога у приміщенні, кг/год;

d_1, d_2 – кількість вологи, що видаляється та потрапляє у приміщення, кг/м³.

Визначаємо продуктивність штучної складової суміщеної вентиляції за формулою

$$L_{\text{шт}} = L_\Sigma - L_{\text{нр}} \text{ [м}^3\text{/год)}. \quad (5.8)$$

Потужність електродвигуна вентилятора може бути визначена за формулою:

$$N = \frac{LHK}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_B \eta_{п.п.}} \text{ [кВт]}, \quad (5.9)$$

де L – продуктивність вентилятора, м³/с;

H – повний тиск вентилятора, кг/м²;

K – коефіцієнт запасу;

$\eta_B, \eta_{п.п.}$ – ККД вентилятора та пасової передачі відповідно (для плоских пасів 0,85...0,9, для клиновидних 0,9...0,95).

За отриманим значенням продуктивності вентилятора вибираємо повний тиск вентилятора $H = 80$ кг/м². Вибираємо коефіцієнт запасу $K = 1,1 \dots 1,2 = 1,15$. ККД вентилятора $\eta_B = 0,6$. З метою підвищення ККД пасової передачі вибираємо клиновидні паси, для яких $\eta_{п.п.} = 0,9 \dots 0,95 = 0,925$.

Підставляючи відомі значення у формули (5.1, ..., 5.19) одержимо

$$L_{np} = 3600 \cdot 0,4 \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8}{3,7 \cdot 1,26}} \cdot 0,13 = 1064,6 \text{ (м}^3\text{/год)};$$

$$L_{\Sigma} = \frac{1,9}{0,0025 - 0,0015} = 1900 \text{ (м}^3\text{/год)};$$

$$L_{ум} = 1900 - 1064,6 = 835,4 \text{ (м}^3\text{/год)};$$

$$N = \frac{835,4 \cdot 80 \cdot 1,15}{3600 \cdot 102 \cdot 0,6 \cdot 0,925} = 0,377 \text{ (кВт)}.$$

За отриманим значенням вибираємо електродвигун типу А02-11-6 з $N = 0,4$ кВт, $n = 935$ об/хв.

5.1.2 Виробниче освітлення

З метою забезпечення гігієнічних раціональних умов на робочих місцях значні вимоги висуваються до якісних та кількісних показників освітлення.

З погляду задач зорової роботи в приміщенні, де проводяться роботи з розробки мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом, згідно [18] визначаємо, що вони відносяться до III розряду зорових робіт. Вибираємо контраст об'єкта з фоном – середній, а характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд v .

Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) та мінімальні значення освітленості при штучному освітленні наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення і мінімальні освітленості при штучному освітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізн., мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість для штучного освітлення, лк			КПО, %	
						комбіноване		загальне	Природне освітлення (бокове)	Суміщене освітлення (бокове)
						всього	у т. ч. від загального			
Високої точності	0,3-0,5	III	в	середній	середній	750	200	300	2	1,2

Так як приміщення розташоване в місті Вінниця (2-га група забезпеченості природним світлом), а світлові проєкти розташовані за азимутом 180° , то за таких обставин КЕО визначатиметься за виразом [18, 19]

$$e_N = e_n m_N [\%], \quad (5.10)$$

де e_n – табличне значення КЕО, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – порядковий номер групи забезпеченості природним світлом.

За відомими значеннями одержимо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N,b} = 2 \cdot 0,85 = 1,7 (\%);$$

$$e_{N,c} = 1,2 \cdot 0,85 = 1,02 (\%).$$

З метою забезпечення нормативних значень показників освітлення передбачено: за недостатнього природного освітлення у світлу пору доби доповнення штучним завдяки використанню газорозрядних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення; застосування штучного освітлення в темну пору доби.

5.1.3 Виробничі віброакустичні коливання

Зважаючи на те, що під час експлуатації пристроїв крім усього іншого обладнання застосовується устаткування, робота якого супроводжується шумом та вібрацією, потрібно передбачити шумовий та вібраційний захист.

Визначено, що приміщення, в якому проводиться робота з розробки мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом може мати робочі місця із шумом та вібрацією, що поширюється від суміжних виробничих приміщень.

Для запобігання травмуванню працівників від дії шуму та вібрації вони підлягає нормуванню. Головним нормативом з питань промислового шуму, що діє на території нашої країни, є [20], згідно з яким допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях у виробничих приміщеннях не мають перевищувати значень, які наведено в таблиці 5.4. Норми виробничих вібрацій наведені в таблиці 5.5 для 3-ї категорії (технологічна) типу "в".

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні шуму і еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах з середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку і еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні вібрації [21]

Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних полосах з середньо-геометричними частотами, Гц						Коректовані рівні віброприскорення, дБА
2	4	8	16	31,5	63	
36	33	33	39	45	51	33

З метою встановлення нормованих параметрів віброакустичних коливань у приміщенні передбачено: періодичне змащування підшипників вентиляторів вентиляційної системи; використання в конструкціях устаткування віброізоляції та акустичних екранів.

5.1.4 Виробничі випромінювання

Проведений аналіз умов праці показав, що приміщення, в якому виконується робота з розробки мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом може містити електромагнітні випромінювання.

Гранично допустимі рівні електромагнітних полів показані у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Гранично допустимі рівні електромагнітних полів (безперервне випромінювання, амплітудна або кутова модуляція)

Номер діапазону	Метричний розподіл діапазонів	Частоти	Довжина хвиль, λ	ГДР, В/м
5	Кілометрові хвилі (низькі частоти, НЧ)	30-300 кГц	10-1 км	25
6	Гептаметрові хвилі (середні частоти, СЧ)	0,3-3 МГц	1-0,1 км	15
7	Декаметрові хвилі (високі частоти, ВЧ)	3-30 МГц	100-10 м	$3 \cdot 1g\lambda$
8	Метрові хвилі (дуже високі частоти, ДВЧ)	30-300 МГц	10-1 м	3

З метою забезпечення захисту та досягнення нормованих рівнів випромінювань потрібно використовувати екранування робочого місця і скорочення часу опромінення за рахунок перерв на відпочинок.

5.2 Технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки пристрою

5.2.1 Безпека щодо організації робочих місць

Конструкція робочого місця, взаємне розташування його елементів та його розміри мають відповідати антропометричним, психофізіологічним і фізіологічним властивостям працівника, а також характеру праці [22].

Площа одного робочого місця повинна становити не менше $6,0 \text{ м}^2$, об'єм приміщення – не менше як 20 м^3 , висота – не менше $3,2 \text{ м}$ [23].

Кольорове оздоблення інтер'єру приміщення повинно відповідати вказівкам з проектування кольорової обробки інтер'єрів приміщень будівель промислових підприємств. Поверхня підлоги має бути рівною, не слизькою, без вибоїн, мати антистатичні властивості, зручною для вологого прибирання. Не дозволяється застосовувати для оздоблення інтер'єру полімерні матеріали, що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини.

5.2.2 Електробезпека

У середині приміщення, в якому здійснюється робота з розробки мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом, значну увагу потрібно надати уникненню небезпеки ураження електричним струмом. Згідно [24] це приміщення відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом через наявність високої (більше 75 %) вологості. Через це безпека використання електрообладнання повинна забезпечуватись комплексом заходів, які передбачають використання ізоляції струмоведучих частин, захисного заземлення, захисних блокувань та ін [25].

5.2.3 Пожежна безпека

Відповідно до [26] приміщення, де проводиться робота з розробки мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом, відноситься до категорії пожежної небезпеки В. Дане приміщення відноситься до 3-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій розглядуваного приміщення наведені в таблиці 5.7. В таблиці 5.8 наведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Таблиця 5.7 – Мінімальні межі вогнестійкості приміщення [26]

Ступінь вогне- стійкості будівлі	Стіни				Колони	Східчасті майланчики	Плити та інші несучі конструкції	Елементи покриття	
	Несучі та східчасті клітки	Самонесучі	Зовнішні	Перегородки				Плити, прогони	Балки, ферми
3	REI 120	REI 60	E 15	EI 15	R 120	R 60	REI 45	нн	нн
	M0	M0	M0	M1	M0	M0	M1	нн	нн

Примітка. R – втрати несучої здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізолювальної спроможності; M – показник здатності будівельної конструкції поширювати вогонь (межа поширення вогню); M0 – межа поширення вогню дорівнює 0 см; M1 – $M \leq 25$ см – для горизонтальних конструкцій; $M \leq 40$ см – для вертикальних і похилих конструкцій; нн – не нормується.

Таблиця 5.8 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд [28]

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія пожежної	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м, для щільності людського потоку в загальному			Кількість людей на 1 м ширини евакуйову	Відстань між будівлями та спорудами, м, для			Найбільша кількість	Площа поверху в межах пожежного відсіку, м ² , для кількості поверхів		
			до 1	2-3	4-5		I,II	III	IV,V		1	2	3 і більше
до 15	B	3	100	60	40	110	9	12	15	3	5200	3500	2600

Вибираємо, що приміщення, де проводиться робота з розробки, має бути обладнане двома вогнегасниками, пожежним щитом, ємністю з піском [27].

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях.

Дослідження стійкості роботи мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.

Дія радіації на матеріали і деталі апаратури залежить від виду випромінювання, дози радіації, природи опромінюваної речовини та умов навколишнього середовища. Саме тому на дільницях механічної обробки використовують мікропроцесорного пристрою, яке виготовлене з таких матеріалів: метали, неорганічні матеріали, напівпровідники та ін. серед цих матеріалів метали найбільш чутливі до радіації, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв.

Внаслідок дії радіації виникають оборотні і необоротні процеси, що спричиняють порушення роботи елементів схеми та пошкодження апаратури.

Електромагнітний імпульс – сукупність короткочасних електричних та магнітних полів, що виникають в результаті взаємодії гамма – і нейтронного випромінювання з атомами і молекулами навколишнього середовища. Велику негативну дію ЕМІ проявляє безпосередньо на об'єкти, що проводять електричний струм: лінії зв'язку, електропередачі, металічні конструкції.

Результатом такого впливу може бути вихід із ладу різних пристроїв та спорядження. Особливо негативний вплив ЕМІ на мікропроцесорного пристрою, яке не має спеціального захисту (різні «домішки» до системи проводів, електромагнітне екранування).

Установка для плазмового напилення має велику кількість електронного устаткування, яке надає змогу визначити місце знаходження плазмового струменя по відношенню відновлювальної поверхонь. За вдяки контролерів CMMS-ST-C8-7 визначається положення переміщення по двох координатах X, Z, а блоку управління забезпечується керування установкою по програмі відновлення.

Саме тому, на дані елементи обов'язковим на виробництві є аналіз стійкості роботи мікропроцесорного пристрою під час дії ЕМІ та іонізуючого випромінювання.

5.3.1 Дослідження стійкості роботи мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини в умовах дії іонізуючого випромінювання.

Для інженерної практики важливою є дослідження стійкості роботи мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини при знаходженні її на зараженій радіоактивними речовинами місцевості тривалістю однієї години після випадання радіоактивних речовин на даній місцевості. За критерій стійкості роботи технологічного мікропроцесорного пристрою в цих умовах приймається таке максимальне значення дози опромінення елементної бази ($\dot{A}_{\text{ав}}, D$), або граничне значення рівня радіації ($\dot{A}_{\text{ав}}, P/\text{год}$), при якому можуть виникнути елементні зміни, але тех. мікропроцесорного пристрою ще буде працювати з потрібною якістю. Дослідження стійкості ведеться в послідовності [21]:

1) Аналізується елементна база мікропроцесорного пристрою і визначаються елементи, від яких залежить функціонування мікропроцесорного пристрою з потрібною якістю: мікросхеми, інтегральні схеми, транзистори, випрямлячі, конденсатори та резистори.

2) для кожного елемента визначається гранична доза ($D_{\text{сп}}, P$) та потужність ($D_{\text{сп}}$) гамма-випромінювань. Дані занесено до таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Визначення дози опромінення елементів мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини

№	Елементи РЕС		D_i, P	$D_{\text{сп}}, P$
1	Блок живлення	Мікросхема К55УД	10^5	10^4
		Конденсатор К73-17	10^5	
		Діод 1N4148	10^6	
		Резистор СПЗ	10^5	
2	Блок управління	Мікро перемикач	10^4	
		Мікросхема КР1533ЛА5	10^5	
		Транзистор МЛТ	10^5	

3	Мікропроцесорний блок	Мікросхема K190КТН2П	10^5	
		Контролер СМMS- ST-C8-7	10^5	

Границю стійкої роботи в цілому визначаємо по мінімальному значенню допустимої дози окремого елемента, при якій в елементній базі виникають необоротні зміни, в даному випадку діоди і транзистори – $D_{гр} = 10^4 P$.

Знайдемо можливу дозу опромінення елементної бази за формулою.

$$D_M = \frac{2 \cdot P_{1MAX} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{ПОСЛ}} \quad (5.11)$$

Для блоку БЖ можлива доза опромінення за часом напрацювання (5 роки):

$$D_M^{БЖ} = \frac{2 \cdot 6,1 \cdot (\sqrt{5 \cdot 8760} - \sqrt{1})}{2} = 1270,5(P)$$

Для блоку БУ можлива доза обраховується за часом напрацювання на відмову (4 роки):

$$D_M^{БУ} = \frac{2 \cdot 6,1 \cdot (\sqrt{4 \cdot 8760} - \sqrt{1})}{2} = 1135,75(P)$$

Для блоку МПБУ можлива доза обраховується за часом напрацювання на відмову (3 років):

$$D_M^{МПБУ} = \frac{2 \cdot 6,1 \cdot (\sqrt{3 \cdot 8760} - \sqrt{1})}{2} = 982,7(P)$$

Доступний час роботи в заданих умовах визначається за формулою:

$$t_{дон} = \left(\frac{D_{гр} K_{ПОСЛ} + 2 \cdot P_{1max} \sqrt{t_n}}{2 \cdot P_{1max}} \right)^2 \quad (5.12)$$

$$t_{дон}^{БЖ} = \left(\frac{10^5 \cdot 2 + 2 \cdot 6,1 \sqrt{1}}{2 \cdot 6,1} \right)^2 = 268761354,7 \text{ (год)},$$

$$t_{дон}^2 = \left(\frac{10^3 \cdot 2 + 2 \cdot 6,1 \sqrt{1}}{2 \cdot 6,1} \right)^2 = 27038,7 \text{ (год)},$$

$$t^3_{\text{дон}} = \left(\frac{10^4 \cdot 2 + 2 \cdot 6,1\sqrt{1}}{2 \cdot 6,1} \right)^2 = 2689089 \text{ (год)},$$

Для безпечної роботи мікропроцесорного пристрою необхідно, щоб виконувалась умова:

$$D_{\text{сп}} \geq D_{\text{м}}$$

$$10^5 \geq 1270,5$$

$$10^3 \geq 1135,75$$

$$10^4 \geq 982,7$$

Оскільки умова виконується, то робота мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини буде стійким.

5.4.2. Дослідження стійкості роботи мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини в умовах дії електромагнітного імпульсу

За критерій стійкості роботи окремих елементів в умовах дії електромагнітних випромінювань можна прийняти коефіцієнт безпеки:

$$K_B = 20 \cdot \lg \left(\frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{в(г)}}} \right) \geq 40(\text{дБ}) \quad (5.13)$$

де $U_{\text{д}}$ - допустиме коливання напруги живлення, В;

$U_{\text{в(г)}}$ - напруга наведена за рахунок електромагнітних випромінювань у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах, В.

Так для живлення використовується мережа живлення змінної напруги 380 (В) та 220 (В), а коло мікропроцесорного управління – постійної 5(В), а вертикальна складова напруженості електричного поля становить, $E_{\text{в}} = 3,8 \text{ (кВ/м)}$.
То проведемо розрахунок стійкості роботи всіх мереж живлення.

Горизонтальна складова напруженості електричного поля;

$$E_{\text{г}} = 10^{-3} \cdot E_{\text{в}} \quad (5.14)$$

$$E_{\text{А}} = 10^{-3} \cdot 3,8 = 3,8(\text{А/л})$$

На кожній функціональній ділянці визначається максимальна довжина струмопровідної частини, як на горизонтальній, так і на вертикальній частинах таблиця 5.10:

Таблиця 5.10 – Максимальна довжина струмопровідної частини

№	Елементи РЕС	Довжина горизонтальної	Довжина вертикальної
1	Блок живлення	$l_{B1}=1,5(\text{м});$	$l_{Г1}=2,5(\text{м});$
2	Блок управління	$l_{B1}=0,6(\text{м});$	$l_{Г1}=0,9(\text{м});$
3	Мікропроцесорний блок	$l_{B1}=0,5(\text{м});$	$l_{Г1}=0,6(\text{м});$

3) Напруги наведення в вертикальних та горизонтальних струмопровідних частинах

$$U_B = E_r \cdot l_B \quad (5.15)$$

$$U_r = E_B \cdot l_r$$

$$U_e^{БЖ} = 3,8 \cdot 1,5 = 5,7 (В/м);$$

$$U_z^{БЖ} = 3800 \cdot 2,5 = 9500 (В/м);$$

$$U_e^{БУ} = 3,8 \cdot 0,6 = 2,28 (В/м);$$

$$U_e^{МПБ} = 3,8 \cdot 0,5 = 1,75 (В/м);$$

$$U_{z1} = 3800 \cdot 0,6 = 2280 (В/м);$$

$$U_z^{БУ} = 3800 \cdot 0,9 = 3420 (В/м).$$

Допустимі коливання напруги живлення для різних ділянок:

$$U_d = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N \quad (5.16)$$

де N - допустимі коливання, % ($N = 5\%$);

Допустимі коливання великого кола ($U_a = 380В$) $U_d = 381,2В$, кола ($U_a = 220В$) $U_d = 220,25В$, допустимі коливання мікропроцесорного кола ($U_a = 5В$) $U_d = 5,25В$.

Визначаємо коефіцієнт безпеки для великого кола ($U_a = 380В$) за формулою (5.13)

- вертикальної

$$K_{EB1} = 20 \cdot \lg\left(\frac{399}{5,7}\right) = 36,9(\text{дБ}),$$

- горизонтальної

$$K_{EG1} = 20 \cdot \lg\left(\frac{399}{9500}\right) = -27,5(\text{дБ}),$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кола ($U_{\alpha} = 220\text{В}$) - вертикальної

$$K_{EB1} = 20 \cdot \lg\left(\frac{231}{2,28}\right) = 20,1(\text{дБ}),$$

- горизонтальних:

$$K_{EG1} = 20 \cdot \lg\left(\frac{2310}{3420}\right) = -23,4(\text{дБ}),$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кола управління ($U_{\alpha} = 48\text{В}$)

- вертикальної

$$K_{EB1} = 20 \cdot \lg\left(\frac{50,4}{1,75}\right) = 29,1(\text{дБ}),$$

- горизонтальної:

$$K_{EG1} = 20 \cdot \lg\left(\frac{50,4}{2280}\right) = -33,1(\text{дБ}),$$

Зведемо отримані результати в таблицю 5.11

Таблиця 5.11 – Результат обчислення стійкості роботи мікропроцесорного пристрою в умовах дії ЕМІ

Напруга живлення	l_2	l_6	K_{EB}	K_{EG}	стійкість
Силове коло 380(В)	2,5	1,5	36,9	-27,5	нестійка
Силове коло 220(В)	0,9	0,6	20,1	-23,4	нестійка
Коло управління 48(В)	0,6	0,5	29,1	-33,1	нестійка

Так як для мереж живлення $K_{BB} = < 40$ і $K_{BG} = < 40$, то можна зробити висновки, що система не є стійкою до дії електромагнітного імпульсу. Для підвищення стійкості роботи пристрою слід застосувати екранування.

Щоб визначити якої товщини необхідно застосувати екран, знайдемо необхідне перехідне гасіння екрану:

$$A = K_{Б.ном} - K_{Б.мін} \quad (5.17)$$

де $K_{Б.ном}$ – номінальний коефіцієнт безпеки ($K_{Б.ном} = 40$ дБ)

$K_{Б.мін}$ – мінімальний коефіцієнт безпеки, отриманий при розрахунках.

Для силового кола ($U_{\alpha} = 380$ В)

$$A = 40 + 39,6 = 79,6 \text{ (дБ)}.$$

Для силового кола ($U_{\alpha} = 220$ В)

$$A = 40 + 20,1 = 60,1 \text{ (дБ)}.$$

Для силового кола ($U_{\alpha} = 5$ В)

$$A = 40 + 29,1 = 69,1 \text{ (дБ)}.$$

Визначаємо товщину захисного екрану:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}; \quad (5.18)$$

де A - перехідне затухання екрану;

Отже, для мікропроцесорного пристрою ($U_{\alpha} = 380$ В) товщина екрану;

$$t = \frac{79,6}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,12 \text{ (см)}.$$

Для мікропроцесорного пристрою ($U_{\alpha} = 220$ В) товщина екрану;

$$t = \frac{60,1}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,09 \text{ (см)}.$$

Для мікропроцесорного пристрою кола управління ($U_{\alpha} = 5$ В) товщина екрану;

$$t = \frac{69,1}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,1 \text{ (см)}.$$

Висновки до п'ятого розділу

1. Під час написання даного розділу було розглянуто такі питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії, визначення суміщеної вентиляції при виділенні надлишків вологи, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення розробки мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом, безпека в надзвичайних ситуаціях.

2. Розглянуто дію іонізуючого випромінювання та ЕМІ на стійкість роботи мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини. В обох випадках мікропроцесорний пристрій може зазнати ушкоджень від дії даних факторів, тому виконується аналіз стійкості роботи мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини даних умовах та розробляються заходи щодо підвищення стійкості. Можлива доза опромінення елементної бази для блоку живлення з напругою 380В становить 1270 (Р), для блоку живлення 220(В) = 1135,75(Р), та для мікропроцесорного блоку 5(В) = 982,7(Р). Тому робота мікропроцесорного пристрою є не стійкою під час дії іонізуючого випромінювання, так як $D_{cp} < D_{max}$, то необхідно розробити додаткові заходи. Щодо впливу електромагнітного імпульсу на стійкість роботи мікропроцесорного пристрою, то можна сказати, що робота мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини також не стійка, тому додатково здійснено розрахунки сталюого екрану, що значно покращує роботу мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини підвищує її стійкість. Мінімальний коефіцієнт безпеки системи 308(В) становить 36,9(дБ) для 220(В) = 20,1(дБ), та для 48(В) = 29,1(дБ) а гранично допустима 40(дБ) - умова (5.13) виконується. Екранування системи екраном товщиною 1,2 мм, що забезпечує стійку роботу в умовах дії електромагнітного імпульсу.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано сучасні вимоги, що ставляться до пристроїв вимірювання рівня рідини (а саме висока точність виміру, надійність, незалежність результатів вимірювання від зміни густини рідини, швидкодія пристрою, великий діапазон виміру), а також розглянуто класифікацію пристроїв для вимірювання рівня рідини (а саме буйковий, п'єзометричний, гідростатичний, поплавковий і ємнісний рівнемір). Проаналізовано принцип дії, і недоліки найпростіших ємнісних рівнемірів, серед яких найбільш істотним є вплив зміни величин ε і γ контрольованих речовин, і вплив нестабільної паразитної ємності кабелю, що з'єднує датчик, з вимірювальною схемою приладу, що призводить до виникнення похибок вимірювання. Досліджено основи побудови вимірювальних схем ємнісних самокомпенсованих рівнемірів, перевагою яких є те, що їх вимірювальна схема побудована таким чином, що компенсація похибок проводиться всередині цієї схеми, і результат вимірювання рівня не залежить ні від електричних властивостей контрольованих речовин, ні від ємності з'єднувального кабелю.

2. Розроблено структурну та електричну схеми мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом, наведено принцип його роботи. Проведено моделювання розробленої схеми, яке показало, що при зміні частоти вихідного сигналу в межах 1264,2 – 867 кГц, змінюються покази рівня рідини, що виводяться на LCD – індикатор в межах 0 – 26 см, отримані в аналітичному вигляді функцію перетворення, та рівняння частоти, яке експериментально перевірене та чутливості. Чутливість пристрою становить 17 – 24 $\kappa\Gamma\text{ц}/\text{см}$. Проведено математичне моделювання ємнісного чутливого елемента, та частотного перетворювача на основі ємнісного чутливого елемента. Знайдено функцію перетворення вимірювального каналу приладу на основі біполярного та двозатворного МДН-транзистора, яка описується залежність вихідної частоти від рівня рідини. Виведено рівняння залежності ємності чутливого елемента та

чутливості від рівня рідини. Проте слід зауважити, що усі елементи в пакеті Proteus є ідеалізованими, тому слід враховувати те, що на практиці спроектована схема може показати інші результати.

3. Здійснено розрахунок параметрів друкованої плати та обрано її тип – двостороння. Цей тип характеризується високими комутаційними властивостями, підвищеною міцністю з'єднань виводів навісних елементів з рисунком плати, високою щільністю розташування електронних компонентів та низькою вартістю. У якості матеріалу друкованої плати обрано двосторонній фольгований склотекстоліт марки СФ-2-35-1,5 ТУ16-503.271-86 (ГОСТ 10316 – 78), який має товщину 1,5 мм. Для даного типу плати проведено розрахунок ширини друкованих провідників, діаметрів монтажних отворів та контактних площадок.

4. Економічні розрахунки підтвердили виробництво виробу. Підприємство планує на наступному році випуску збільшувати обсяги і та ринку збуту, таким чином плануємо, що його рентабельність зросте. Розробка є актуальною, оскільки даний пристрій має широку сферу застосування. Одними з найбільших статей витрат становить комплектуючі матеріали, електроенергія та заміна деталей, тобто ремонт. Сума витрат за всіма статтями дає величину експлуатаційних витрат для даної розробки E_2 : 1575.

5. Під час написання даного розділу було розглянуто такі питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії, визначення суміщеної вентиляції при виділенні надлишків вологи, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення розробки мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом, безпека в надзвичайних ситуаціях. Розглянуто дію іонізуючого випромінювання та ЕМІ на стійкість роботи мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини. В обох випадках мікропроцесорний пристрій може зазнати ушкоджень від дії даних факторів, тому виконується аналіз стійкості роботи мікропроцесорного

пристрою для вимірювання рівня рідини даних умовах та розробляються заходи щодо підвищення стійкості. Можлива доза опромінення елементної бази для блоку живлення з напругою 380В становить 1270 (Р), для блоку живлення 220(В) = 1135,75(Р), та для мікропроцесорного блоку 5(В) = 982,7(Р). Тому робота мікропроцесорного пристрою є не стійкою під час дії іонізуючого випромінювання, так як $D_{cp} < D_{max}$, то необхідно розробити додаткові заходи. Щодо впливу електромагнітного імпульсу на стійкість роботи мікропроцесорного пристрою, то можна сказати, що робота мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини також не стійка, тому додатково здійснено розрахунки сталого екрану, що значно покращує роботу мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини підвищує її стійкість. Мінімальний коефіцієнт безпеки системи 308(В) становить 36,9 (дБ) для 220(В) = 20,1 (дБ), та для 48(В) = 29,1 (дБ) а гранично допустима 40 (дБ) - умова (5.13) виконується. Екранування системи екраном товщиною 1,2 мм, що забезпечує стійку роботу в умовах дії електромагнітного імпульсу.

\

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Коваль Д. С. Аналіз стану питання розвитку вимірювачів рівня рідини // Научный прогресс на рубеже тысячелетий – 2018: XIV Международна научно-практическа конференция, 22– 30 травня 2018 р.: матеріали конф. / Д. С. Коваль, О. М. Жагловська – Прага, 2018. – С. 46-51. – ISBN 978-966-8736-05-6.

2. Коваль Д. С. Вимірювач рівня рідини з частотним виходом на основі ємнісного чутливого елемента // НТКП ВНТУ: XLVII Науково-технічна конференція, 31 жовтня – 2 листопада 2017 р.: матеріали конф. / Д. С. Коваль, В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, О. М. Жагловська – Вінниця, 2018. – [Електронне видання].

3. Коваль Д. С. Вимірювач рівня рідини з частотним виходом на основі ємнісного чутливого елемента // Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах: IV міжнародна науково-практична конференція, 14– 23 березня 2018 р.: матеріали конф. / Д. С. Коваль, В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, О. М. Жагловська – Вінниця, 2017. – С. 84-85. – ISBN 978-617-7237-41-8.

4. Коваль Д. С. Вимірювач рівня рідини з частотним виходом на основі ємнісного чутливого елемента // XLVIII Науково-технічна конференція факультету інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, 23 березня 2019 р.: матеріали конф. / Д. С. Коваль, О. М. Жагловська – Вінниця, 2019. – [Електронне видання].

5. Пристрій вимірювання рівня рідини з частотним виходом на основі ємнісного чутливого елемента: пат. 123458 Україна: МПК1 G01F1/00. № 2017122888; заявл. 26.12.2017; опубл. 25.06.2018, Бюл. № 12. 4 с.

6. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики колечества: Справочник. – 4-е изд., перераб. и доп. / Кремлевский П. П. – Л.: Машиностроение, 1989. – 701 с.

7. Винокуров Б. Б. Метрология и измерительная техника. Уровнеметрия жидких сред : учеб. пособие для академического бакалавриата / Винокуров Б. Б. – М.: Юрайт, 2016. – 187 с.

8. Карандеев К. Б. Емкосные самокомпенсированные уровнемеры / К. Б. Карандеев, Ф. Б. Гриневич, А. И. Новик – М.: Энергия, 1966. – 136с.
9. Емкосные уровнемеры для жидкости // [Електронні ресурси] – Режим доступу: https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/emkostnye-urovnamery-zhidkosti
10. Емкосные уровнемеры. Устройство, принцип действия // [Електронні ресурси] – Режим доступу: http://www.eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika_521.html
11. Осадчук В. С. Радіовимірювальні мікроелектронні перетворювачі потужності оптичного випромінювання з частотним виходом : монографія / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, О. М. Жагловська – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 168 с.
12. Осадчук В. С. Напівпровідникові прилади з від’ємним опором / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 162 с.
13. Хартов В. Я. Микроконтроллеры AVR. Практикум для начинающих. 2-е издание / Хартов В. Я. – Изд: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – 280 с.
14. Трамперт В. Г. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR микроконтроллеров / Трамперт В. Г. – Москва, МК-Пресс, 2006. – 208 с.
15. Медведев А. В. Печатные платы. Конструкции и материалы: монографія / Медведев А. В. – М.: Техносфера, 2005. – 304 с.
16. ГОСТ 12.0.003-74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
17. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
18. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
19. Пособие по расчету и проектированию, естественного, искусственного и совмещенного освещения НИИСФ – М.: Стройиздат. 1985. 384 с.
20. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

21. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.

22. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

23. Березюк О. В. Охорона праці. Підсумкова державна атестація спеціалістів, магістрів в галузях електроніки, радіотехніки, радіоелектронних апаратів та зв'язку : навчальний посібник / О. В. Березюк, М. С. Демешев. – ВНТУ, 2017. – 104 с.

24. ДНАОП 0.00-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – К. : Держнаглядохоронпраці, 1998. 382 с.

25. ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.

26. ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.

27. НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників.

28. СНиП 2.09.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.

29. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97), МОЗ України. К., 1997.

Додаток А

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра електроніки та наносистем

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕНС,
д.т.н., проф., Білинський Й. Й.

«17» вересня 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
до магістерської кваліфікаційної роботи

Мікропроцесорний пристрій для вимірювання рівня рідини на основі
частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом

зі спеціальності 153 – «Мікро- та наносистемна техніка»

Керівник,
к.т.н., ст. доц. кафедри ЕНС
_____ Жагловська О. М.

Дипломник,
студент гр. МНТ-18м
_____ Коваль Д. С.

Вінниця, 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1. Найменування і область застосування

Найменування – мікропроцесорний пристрій для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом.

Область застосування – енергетична, металургійна, хімічна, нафтова, целюлозно – паперова, харчова промисловості.

2. Основа для розробки

Основою для виконання цієї магістерської кваліфікаційної роботи є завдання на МКР та наказ ректора ВНТУ № 254 від «3» вересня 2019 р.

3. Мета та призначення розробки

Мета розробки – підвищення чутливості та завадостійкості пристрою за рахунок введення нових елементів і зв'язків між ними з можливістю передавання інформації на відстань.

Призначення розробки – дана розробка може бути використана в багатьох галузях промисловості (енергетичній, металургійній, хімічній, нафтовій) в яких потрібно забезпечити оптимальний режим технологічних процесів та необхідне точне управління виробництвом та контроль витрат рідини та газів.

4. Джерела розробки

У процесі розробки мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини з частотним виходом на основі ємнісного чутливого елемента рекомендовано залучати патентний пошук та використовувати спеціальну літературу, а саме:

4.1. Карандеев К. Б. Емкосные самокомпенсированные уровнемеры / К. Б. Карандев, Ф. Б. Гриневич, А. И. Новик, – М.: Энергия, 1966. – 136с.

4.2. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества: Справочник. – 4-е изд., перераб. и доп. / Кремлевский П. П. – Л.: Машиностроение, 1989. – 701с.

4.3. Осадчук В. С. Напівпровідникові прилади з від'ємним опором / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 162 с.

4.4. Осадчук В. С. Радіовимірювальні мікроелектронні перетворювачі потужності оптичного випромінювання з частотним виходом : монографія / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, О. М. Жагловська. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 168 с.

5 Технічні вимоги

5.1 Вимоги до електричних параметрів та режимів:

- діапазон робочих температур, °C(-20) – (+60);
- діапазон робочих частот, кГц.....850 – 1280;
- напруга живлення, В.....9;
- діапазон зміни ємності чутливого елемента, ПФ.....180 – 840;
- чутливість, кГц/см.....2 – 9.

5.2 Вимоги до конструкції:

- матеріал друкованої плати – двосторонній фольгований склотекстоліт марки СФ-2-35-1,5 ТУ16-503.271-86;
- 2-й клас точності друкованої плати;

5.3 Вимоги до стійкості при механічній дії.

Пристрій має зберігати свої параметри в межах встановлених норм під час та після дії механічних навантажень: вібраційних з частотою 1–2000 Гц і максимальним прискоренням 10–20 g, багатократних ударів тривалістю 2–6 мс з прискоренням 75–150 g, лінійних навантажень з максимальним прискоренням 25–2000 g.

5.4 Вимоги до стійкості при кліматичній дії.

Пристрій має зберігати свої параметри в межах встановлених норм під час і після дії на неї кліматичних факторів: температури повітря від +60°C (верхнє значення) до –20°C (нижнє значення).

5.5 Вимоги до надійності.

Мінімальне напрацювання пристрою у вказаних режимах та умовах має бути не меншою за 15 000 год. Інтенсивність відмов у режимах й умовах роботи не має перевищувати $3,7 \cdot 10^{-5}$ год.⁻¹

6 Економічні показники

Орієнтовна ефективність і термін окупності витрат на розробку й освоєння виробництва продукції, лімітна ціна, економічна перевага розробленої продукції порівняно з кращими зразками

7 Стадії і етапи розробки

7.1 Розробка технічного завдання.

7.2 Аналіз існуючих пристроїв вимірювання рівня рідини, визначення їх переваг, недоліків, а також особливостей їх конструкторського виконання.

7.3 Вибір та аналіз варіантів рішення.

7.4 Вибір оптимального варіанта й детальна розробка його конструктивної схеми.

7.5 Розробка структурної та електричної принципової схеми пристрою.

7.6 Математичне моделювання первинного чутливого елемента, та частотного перетворювача на основі ємнісного чутливого елемента.

7.7 Розробка алгоритму роботи мікроконтролера.

7.8 Моделювання роботи пристрою.

7.9 Вибір елементної бази пристрою.

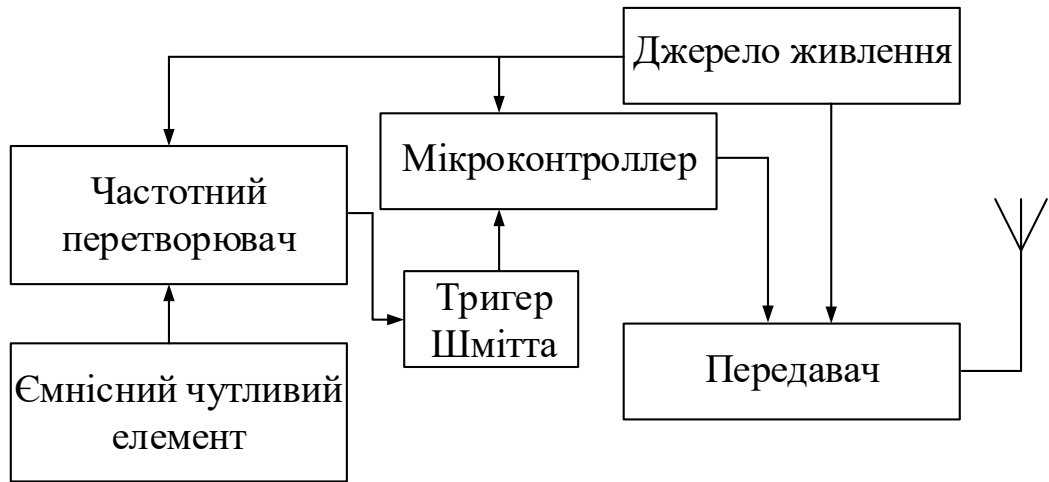
7.10 Техніко-економічні розрахунки, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

7.11 Оформлення текстової документації та ілюстративних матеріалів для захисту МКР.

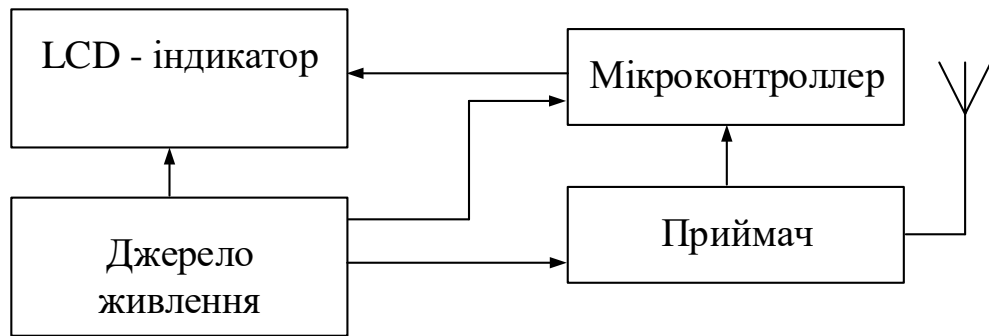
8 Порядок контролю і приймання

- рубіжний контроль виконання окремих розділів МКР;
- попередній захист магістерської кваліфікаційної роботи;
- захист МКР перед ДЕК.

Додаток Г



а)



б)

Рисунок Г.1 – Структурна схема вхідного (а) та вихідного (б) блоків для передачі і прийняття інформації мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом

Додаток Д

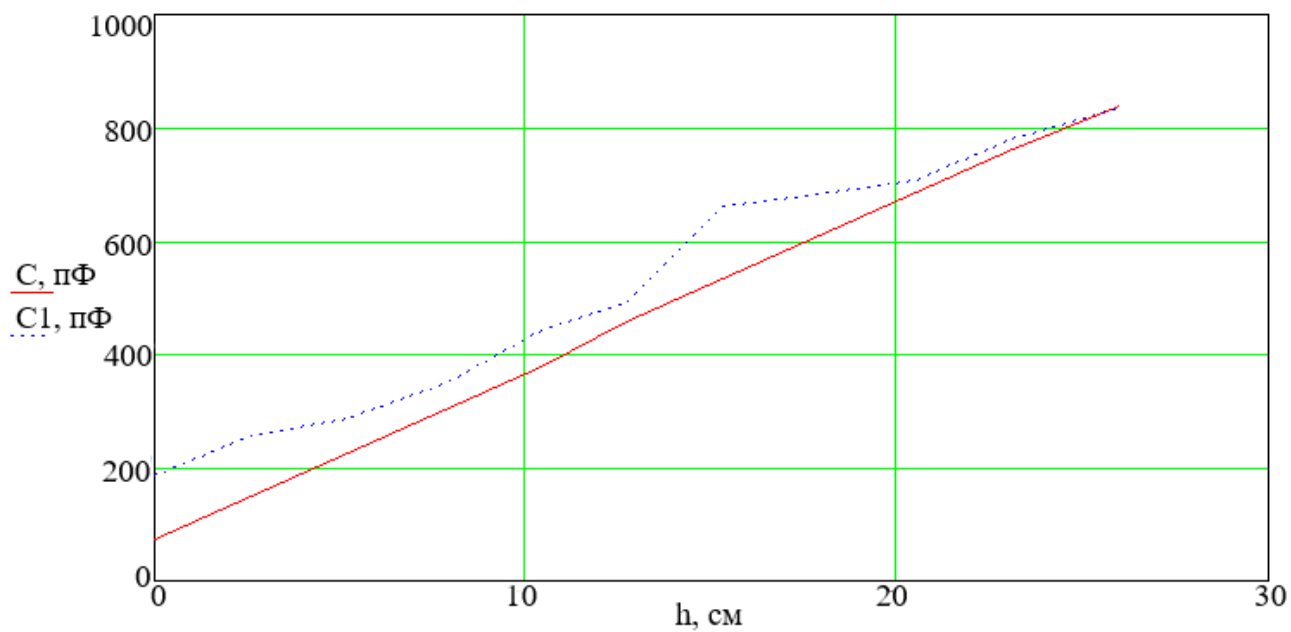


Рисунок Д.1 – Залежність ємності чутливого елемента від рівня рідини

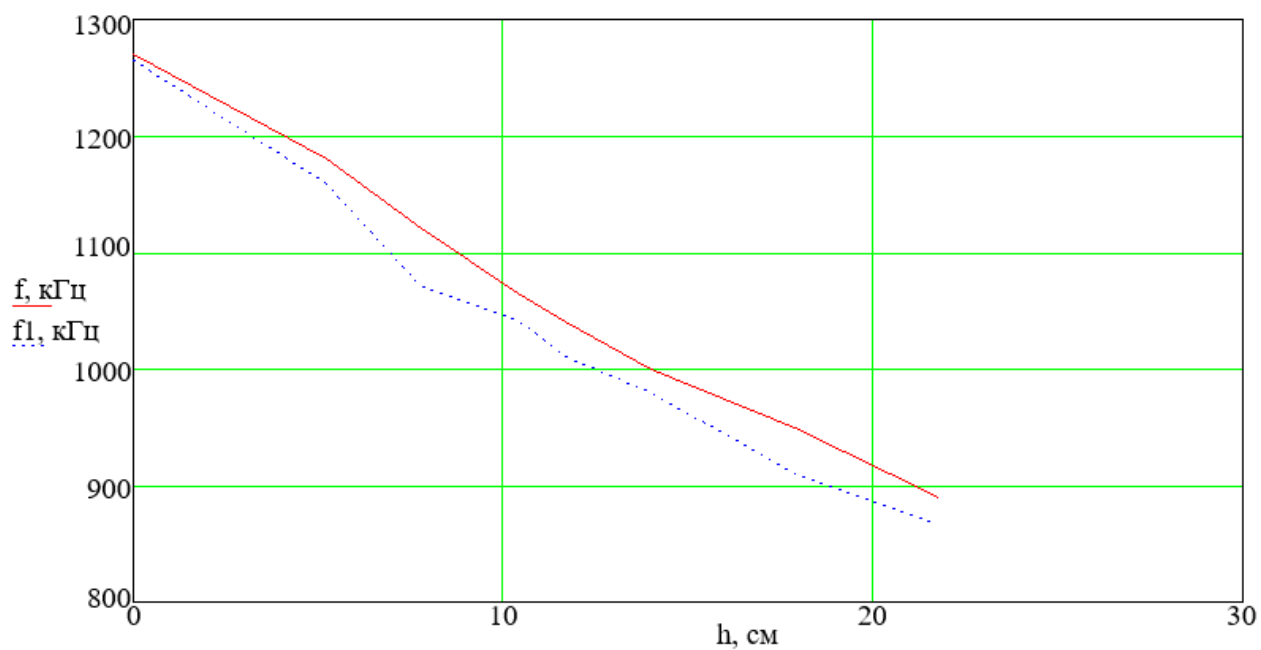


Рисунок Д.2 – Залежність вихідної частоти від рівня рідини

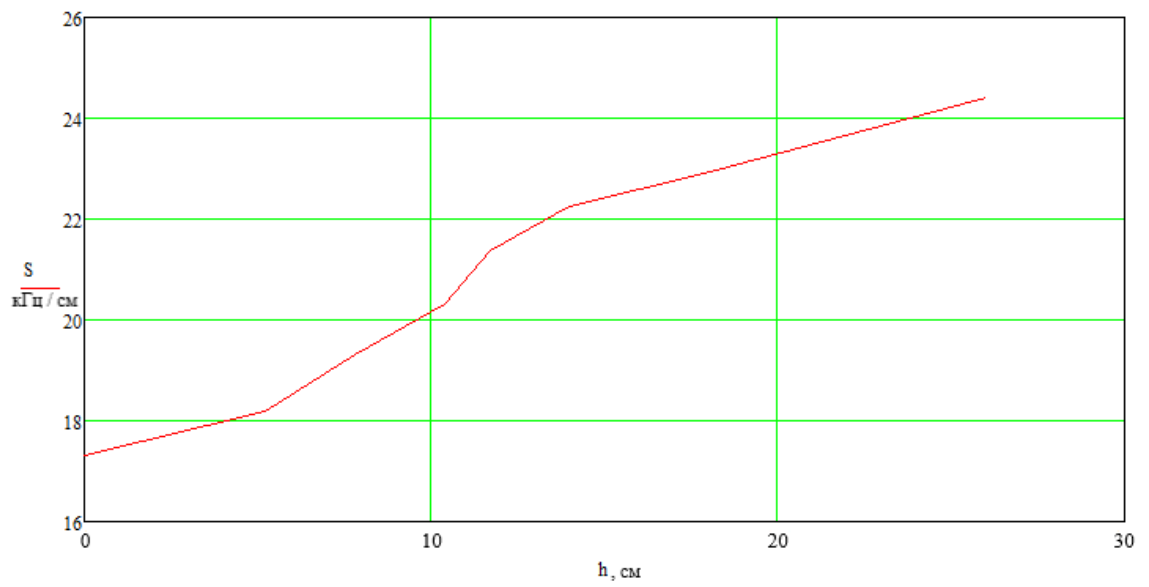


Рисунок Д.3 – Залежність чутливості пристрою від рівня рідини

Додаток Е

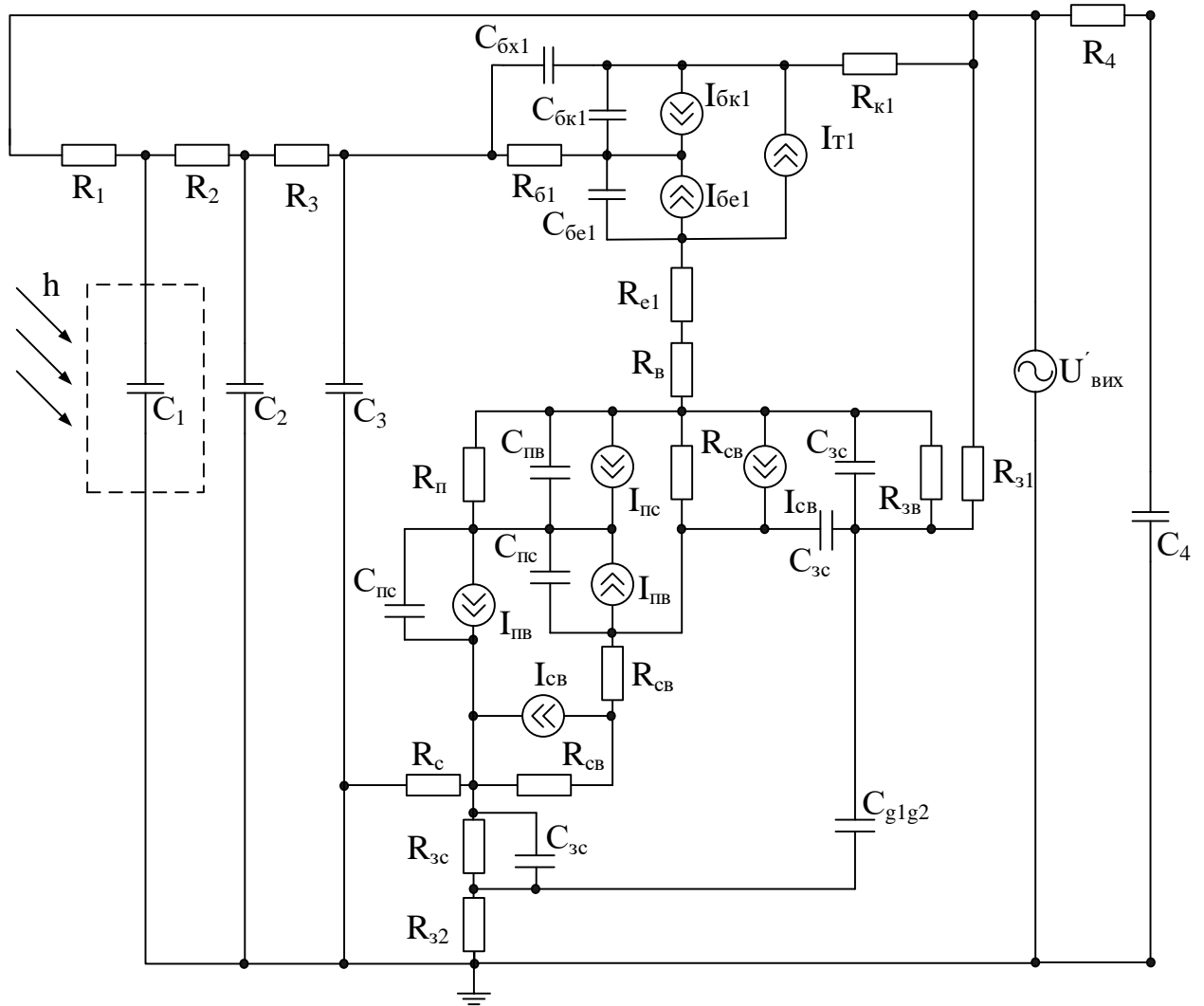


Рисунок Е.1 – Еквівалентна схема частотного перетворювача на основі ємнісного чутливого елемента

Додаток Є

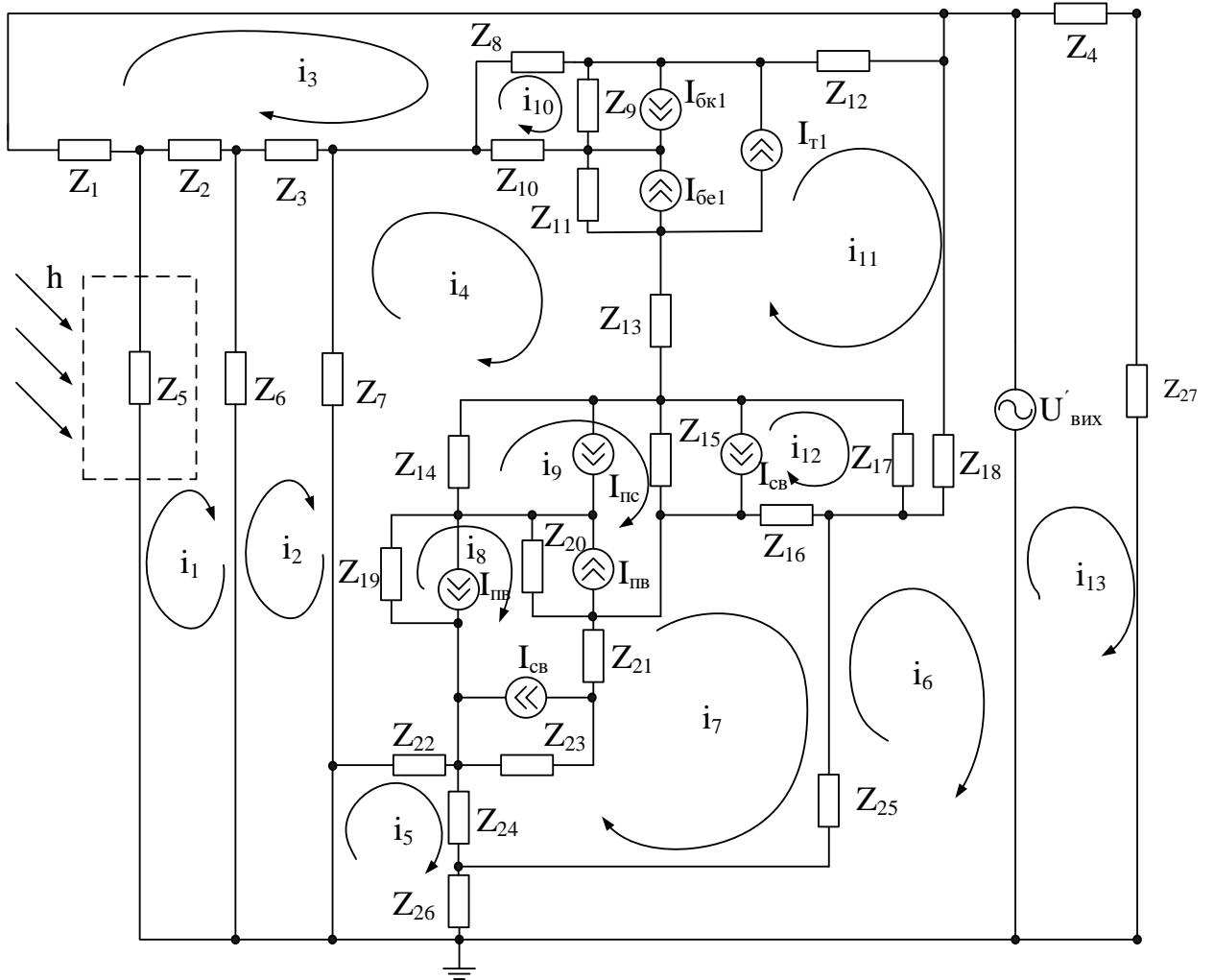
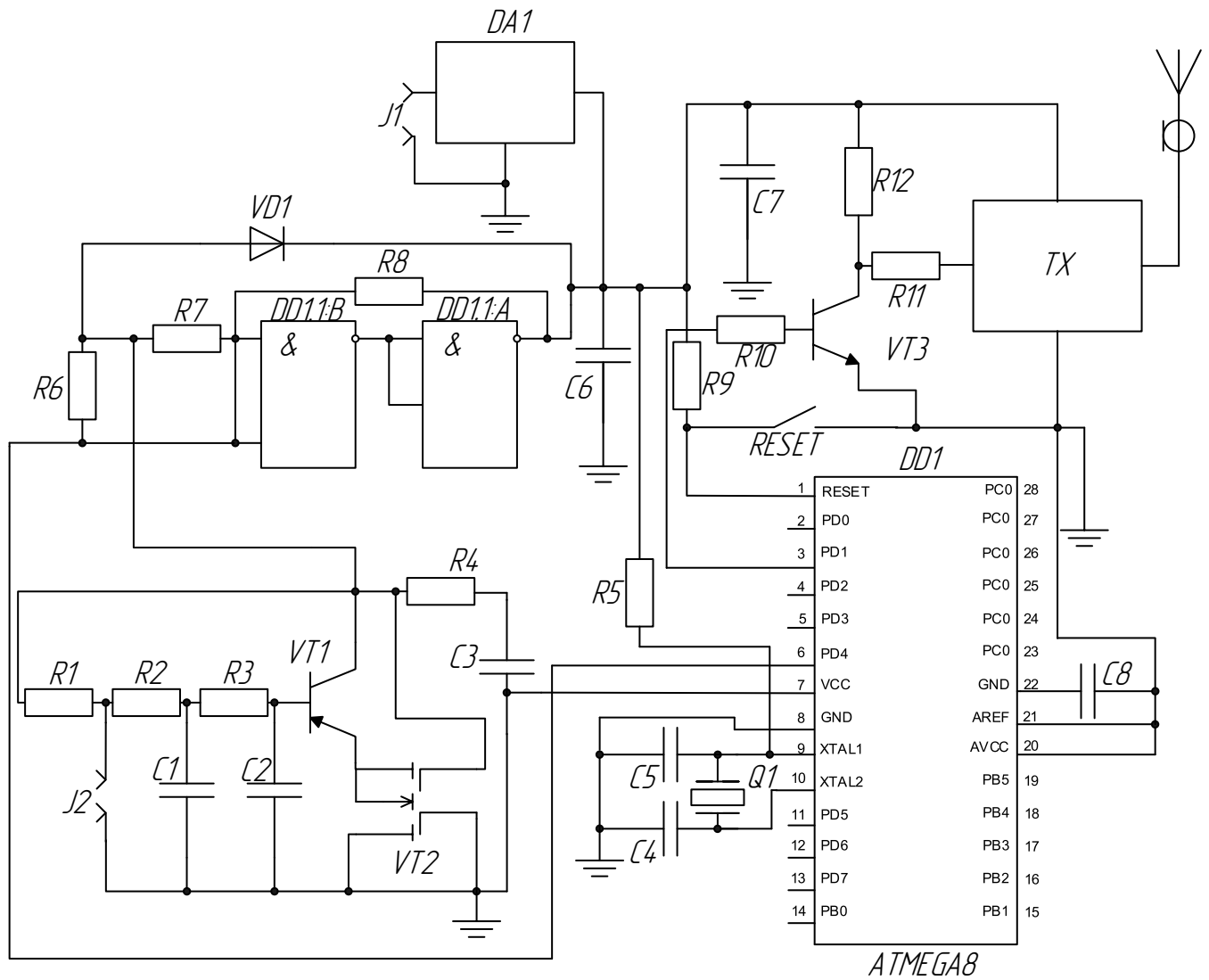


Рисунок Є.1 – Перетворена еквівалентна схема частотного перетворювача на основі ємнісного чутливого елемента

Додаток Б



Перш. викорис.

Додат. №

Підпис і дата

Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. № ориг.

Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Коваль Д. С.		
Перевірив		Жагловська О. М.		
Реценз.		Барась С. Т.		
Н. конт.		Кравченко Ю. С.		
Зтв.		Білинський Й. Й.		

Вхідний блок для передачі інформації.
Схема електрична принципова

Літ			Маса	Масштаб
У	Д	П		
Аркуш			Аркушів	
ВНТУ зр. МНТ – 18м				

Поз. позн.	Найменування	К-ть	Примітки
	<u>Конденсатори</u>		
C1, C2	330 нФ ±20%	2	
C3	150 нФ ±20%	1	
C4, C5	1 нФ ±10%	2	
C6	470 нФ ±25%	1	
C7	470 нФ ±20%	1	
C8	220 нФ ±20%	1	
	<u>Резистори</u>		
R1– R4	390 Ом ±15%	4	
R5	1 кОм ±15%	1	
R6, R9, R11	10 кОм ±15%	3	
R7	300 Ом ±15%	1	
R8	2,2 кОм ±15%	1	
R10	1 кОм ±15%	1	
R12	250 Ом ±15%	1	
	<u>Транзистори</u>		
VT1	2N5771	1	
VT2	BUZ21	1	
VT3	2N2222	1	
	<u>Діоди</u>		
VD1	1N4148	1	
	<u>Кварцовий резонатор</u>		
Q1	8 МГц	1	
	<u>LCD – індикатори</u>		
LCD1	LM016L	1	
	<u>Мікросхеми</u>		
DD1	ATMEGA8	1	
DD1.1A, DD1.1B	7402	2	
DA1	78L05	1	
	<u>Передавач</u>		
TX	FSK HM-T868S	1	
	<u>Роз'єми</u>		
J1, J2	CONN-H2	2	

08-05.МКР.153.05.001 ПЕЗ

Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Вхідний блок для передачі інформації Перелік елементів	Лім	Маса	Масштаб
Розроб.		Коваль Д. С.						
Перевірів		Жагловська О. М.						
Реценз.		Барась С. Т.				Аркуш		Аркушів
Н. конт.		Кравченко Ю. С.				ВНТУ зр. МНТ – 18м		
Зтв.		Білинський Й. Й.						

Додаток Ж

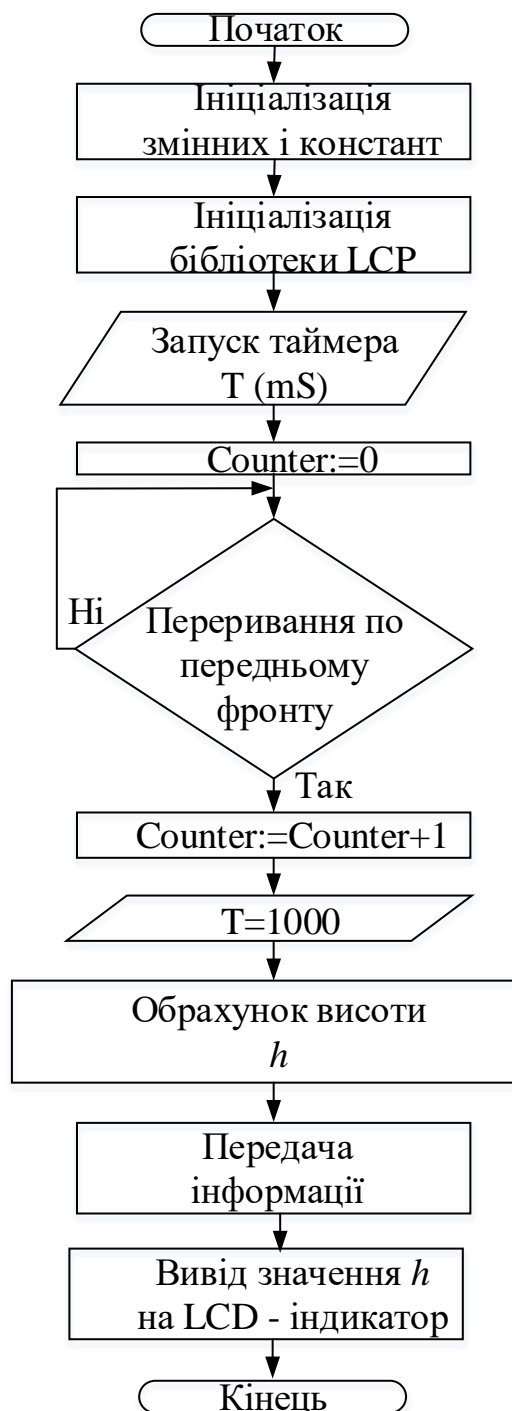


Рисунок Ж.1 – Блок-схема алгоритму роботи мікропроцесорного пристрою для вимірювання рівня рідини на основі частотного перетворювача з ємнісним чутливим елементом