

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота містить 96 стор., 58 рис., 13 табл., 33 інформаційних джерел, 1 додатки на 6 стор.

Мета роботи - дослідження процесів перетворення сигналів у системі керування тепловим датчиком випромінювання.

Завдання роботи: розробка моделі теплового датчика випромінювання; дослідження впливу частоти модуляції на чутливість датчика випромінювання; дослідження впливу форми імпульсів модуляції на вихідний сигнал датчика; розробка схеми електричної принципової пристрою адаптивного керування датчиком; розробка друкованої плати пристрою адаптивного керування датчиком.

Методи рішення завдань: теоретичний аналіз фізичних процесів у датчиках випромінювання, моделювання датчика, синтез програмного коду мікроконтролера, синтез схеми електричної принципової блоку керування.

Основні результати: встановлено, що для отримання оптимальної чутливості датчиків необхідно здійснювати регулювання частоти модуляції випромінювання; розроблено пристрій адаптивного регулювання частоти модуляції випромінювання датчика на основі мікроконтролеру Atmega8.

Результати роботи рекомендуються до створення макетного зразка системи керування датчиком випромінювання.

### ДАТЧИК ВИПРОМІНЮВАННЯ, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, ПРИСТРІЙ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ, ПРОГРАМНИЙ КОД

Роботу виконано на кафедрі мікроелектронних та електронних інформаційних систем Інженерного навчально-наукового інституту ЗНУ з 01.10.2019 по 01.12.2020.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

мікроелектроніка та електронні інформаційні системи  
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

диплом (магістрський)  
(рівень вищої освіти)

на тему „Модельовання системи адаптивного керування  
тепловим датчиком виконання.“

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1719

спеціальності 171 Електроніка  
(код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_  
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Електроніка  
(назва освітньої програми)

Т.В. Костик  
(ініціали та прізвище)

Керівник доц., к.т.н. Кісельов Е.М.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Шершов С.А.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя  
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут \_\_\_\_\_  
Кафедра мікроелектроніки та електронних інформаційних систем  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 171 Електроніка  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Освітня програма Електроніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МЄЕУС  
« 16 » 12 2020 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Костику Івану Васильовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) „Моделивання системи адаптивного керування температурним датчиком випромінювання“

керівник роботи Кіселев Егор Михайлович, доц., к.т.н.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «  » 20 року №  

2 Строк подання студентом роботи 01.12.20

3 Вихідні дані до роботи матеріал піроелектричного шару-PVDF, товщина шару: 25 мкм, 50 мкм, 100 мкм, термічне подійня часу: 0,011, 0,022, 0,044

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Конструктивні особливості датчиків, 2 Синтез моделі датчика, 3 Пристрій керування, 4 Конструкція пристрою, 5 Техніко-економічне обґр. 6 Алгр. пр.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

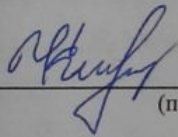
## 6 Консультанти розділів роботи

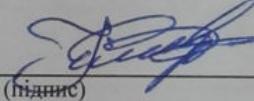
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Кисельов Е.М., доц.	1.10.19	1.11.19
2	Кисельов Е.М., доц.	1.11.19	29.11.19
3	Кисельов Е.М., доц.	29.11.19	27.02.20
4	Кисельов Е.М., доц.	27.02.20	13.04.20
5	Кисельов Е.М., доц.	13.04.20	29.05.20
6	Кисельов Е.М., доц.	29.05.20	20.11.20

7 Дата видачі завдання 1.10.2019

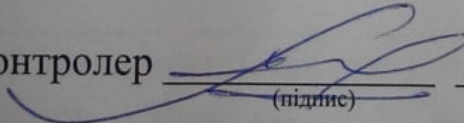
## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Конструктивні особливості датчиків	1.11.19	
2	Синтез моделі датчика	29.11.19	
3	Пристрій керування	27.02.20	
4	Конструкція пристрою	13.04.20	
5	Техніко-економічне обґрунтування	29.05.20	
6	Особона праці	20.11.20	
7	Оформлення пояснювальної записки	26.11.20	
8	Оформлення графічної частини	01.12.20	

Студент  (підпис) Г.В. Костик (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)  (підпис) Е.М. Кисельов (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  (підпис) К.О. Туринцев (ініціали та прізвище)

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. Конструктивні особливості побудови сучасних теплових датчиків випромінювання.....	7
1.1. Основи теорії теплових датчиків випромінювання.....	7
1.2. Датчики температури на термісторах.....	10
1.3. Датчики температури на термопарах.....	16
1.4. Датчики температури на основі діодів і транзисторів.....	25
2. Синтез імітаційної моделі датчика випромінювання.....	28
2.1 Опис процесів перетворення сигналів у датчику випромінювання.....	28
2.2 Передавальна функція датчика випромінювання.....	30
2.3 Реалізація імітаційної моделі датчика.....	32
2.4 Моделювання залежності чутливості датчика випромінювання від частоти модуляції.....	36
2.5 Моделювання впливу форми імпульсів випромінювання.....	38
3. Пристрій адаптивного керування датчиком випромінювання.....	41
3.1 Структура системи адаптивного керування датчиком випромінювання.....	41
3.2 Схема електрична принципова пристрою адаптивного керування.....	42
3.3 Синтез програмного коду керування мікроконтролером генератора.....	45
3.4 Моделювання аналогової частини системи керування.....	47
3.5 Моделювання роботи мікроконтролера та відладка програмного забезпечення.....	49
4. Конструктивно-технологічні особливості пристрою адаптивного керування датчиком випромінювання.....	53
4.1 Розробка друкованої плати пристрою адаптивного керування датчиком випромінювання.....	53
4.2 Технологічні аспекти виготовлення друкованої плати.....	55
4.3 Обрання конструкції модулятора випромінювання датчика.....	57
4.3.1 Гребінчасті мікродвигуни.....	57

4.3.2	Зубчаті мікро двигуни.....	59
4.3.3	Роторні мікродвигуни.....	60
4.3.4	Пристрої фіксації.....	61
4.3.5	Мікроважелі.....	64
4.3.6	Відбивачі.....	65
4.3.7	Генератори-вібратори.....	68
4.3.8	Пристрої фотоніки.....	69
5.	Техніко-економічне обґрунтування.....	71
5.1	Суми витрат по статтям кошторису.....	71
5.2	Розрахунок терміну окупності розробки.....	76
6.	Охорона праці.....	78
6.1	Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	78
6.2	Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	82
6.3	Виробнича санітарія.....	83
6.4	Електробезпека.....	86
6.5	Пожежна безпека. Техногенна безпека.....	87
6.6	Розрахунок пристрою заземлення.....	88
	Висновки.....	93
	Перелік використаних джерел.....	94
	Додаток А.....	97
	Додаток Б.....	98

## ВСТУП

Сучасний розвиток науки і техніки, зумовлений упровадженням нових та вдосконаленням існуючих технологій і приладів, значною мірою визначається рівнем розвитку автоматизованих систем управління, контролю та діагностики, а також технічною досконалістю їхніх елементів. Основою будь-яких інформаційно-вимірювальних систем є датчики, які сприймають не тільки інформацію про вимірювану величину, а й вплив дестабілізуючих фізичних чинників, які супроводжують експлуатацію контрольованих об'єктів [1, 2]. Датчик – це конструктивно закінчений пристрій, який містить первинний вимірювальний перетворювач (сенсор), що забезпечує перетворення контрольованої величини на зручний для використання сигнал. Серед датчиків, що представлені на світовому ринку, теплові датчики становлять близько 10 % від їх загальної кількості. Так, сьогодні теплові датчики використовуються у машинобудуванні, транспорті, авіакосмічній промисловості, енергетиці, наукових дослідженнях тощо. Надзвичайно важливою особливістю застосування теплових датчиків в цих галузях є жорсткі вимоги експлуатації: робочий температурний діапазон – від криогенних температур до сотень градусів, значні вібрації, амплітуда тисків, а також стійкість до агресивних середовищ. Щораз більші вимоги до датчиків зумовили низку завдань для забезпечення стабільності та надійності їхньої роботи у складних умовах експлуатації.

Перспективними для створення вимірювальних первинних перетворювачів, які відповідають сучасним тенденціям розвитку інформаційно-вимірювальних систем, є напівпровідникові чутливі елементи, які забезпечують різке підвищення чутливості до вимірюваної величини, відрізняються малими розмірами, характеризуються незначним енергоспоживанням, що робляються та успішно застосовуються у вимірювальній техніці в останні роки.

Напівпровідникові ниткоподібні кристали виявились ідеальною елементною базою для створення датчиків різноманітних фізичних величин: тиску, деформації, прискорення, зусилля, переміщень, температури, вологості тощо. Вони характеризуються високою чутливістю, унікальними механічними властивостями, можливістю роботи в різних амплітудно-частотних і температурних діапазонах. Датчики фізичних величин на основі ниткоподібних кристалів мають малі розміри та дієдатні в різних динамічних режимах, придатні для роботи в умовах як високих, так і кріогенних температур, впливу сильних магнітних полів, агресивних середовищ тощо. Сучасні датчики механічних величин застосовуються в різних галузях науки і техніки, зокрема: авіакосмічній техніці, машинобудуванні, хімічній і нафтодобувній промисловостях, медицині. Але для їх роботи необхідно забезпечити модуляцію оптичного потоку.

Таким чином, моделювання системи адаптивного керування тепловим датчиком випромінювання є актуальним науково-технічним завданням.



# 1. КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СУЧАСНИХ ТЕПЛОВИХ ДАТЧИКІВ ВИПРОМІНЮВАННЯ

## 1.1. Основи теорії теплових датчиків випромінювання

Давачі температури призначені для неперервного вимірювання та контролю температури на поверхні чи у середовищі твердих тіл, у рідких та газоподібних середовищах (пара, вода, сипучі матеріали, хімічні реагенти тощо).

Вимірювання температури завжди полягає у передачі невеликої порції теплової енергії від об'єкта до давача, який повинен перетворити цю енергію в електричний сигнал. Коли датчик контактного давача розташовують усередині об'єкта або на ньому, між об'єктом і датчиком відбувається передача тепла за рахунок явища теплопередачі. При цьому чутливий елемент як складова датчика або розігрівається або охолоджується. Те саме відбувається і під час передачі тепла за допомогою випромінювання у разі безконтактного давача.

Безконтактні давачі використовують для оперативного контролю температури без потреби встановлення на об'єкті, а також у випадках, коли таке встановлення є неможливим (полум'я, розтоплений метал тощо). Такі давачі можуть бути без вихідного сигналу або з вихідним сигналом.

Існує два основних методи вимірювання температури: рівноважний та прогнозований. За рівноважного методу проведення виміру температури виконують тоді, коли між вимірювальною поверхнею і чутливим елементом, що знаходиться у корпусі датчика, настане теплова рівновага, тобто між датчиком і об'єктом вимірювання немає суттєвої різниці температур. У методі прогнозування під час проведення вимірів теплова рівновага не настає, а значення температури визначають за швидкістю зміни температури датчика.

У разі рівноважного методу вимірювання температури для досягнення повної теплової рівноваги між об'єктом і датчиком теоретично потрібен нескінченно великий час. Але оскільки зазвичай вимірювання температури проводять з заданою точністю, у більшості випадків вважають, що за інтервал від 5 до 10 постійних часу  $\tau$  настає квазірівноважний стан, взявши, зрозуміло, до уваги, що перехідний процес встановлення температури датчика, як правило, відповідає експоненціальній характеристиці (рис 1.1) [1].

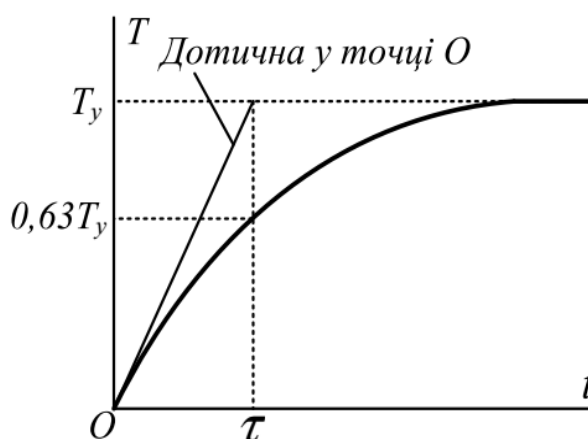


Рисунок 1.1 - Перехідна характеристика чутливого елемента:  $T_y$  – усталена температура

Отже, за час  $t=\tau$  біжуча температура  $T=0,63T_y$ , при  $t=5\tau$  –  $T=0,7T_y$ , а при  $t=10\tau$  –  $T=0,995T_y$ .

У зв'язку зі сказаним термодетерміруювачі опору характеризуються таким показником, як теплова інерція, яка зазвичай лежить в границях від одиниць до десятків секунд.

Типовий контактний датчик складається з таких компонентів (рис 1.2):

- чутливого елемента;
- виводів, якими можуть бути пластинки або провідники, а за наявності комутаційної головки вони під'єднуються до відповідних терміналів;
- захисного корпусу – спеціальної оболонки чи покриття, що захищає чутливий елемент від оточуючого середовища.

На рис.1.3 зображено типовий безконтактний оптичний датчик температури, який складається з таких частин:

- чутливого елемента, що реагує на електромагнітне випромінювання;
- опорної конструкції з низькою теплопровідністю;
- герметичного корпуса, заповненого інертним газом (аргоном або азотом) чи сухим повітрям;
- захисного віконця, прозорого для випромінювання досліджуваного діапазону хвиль.

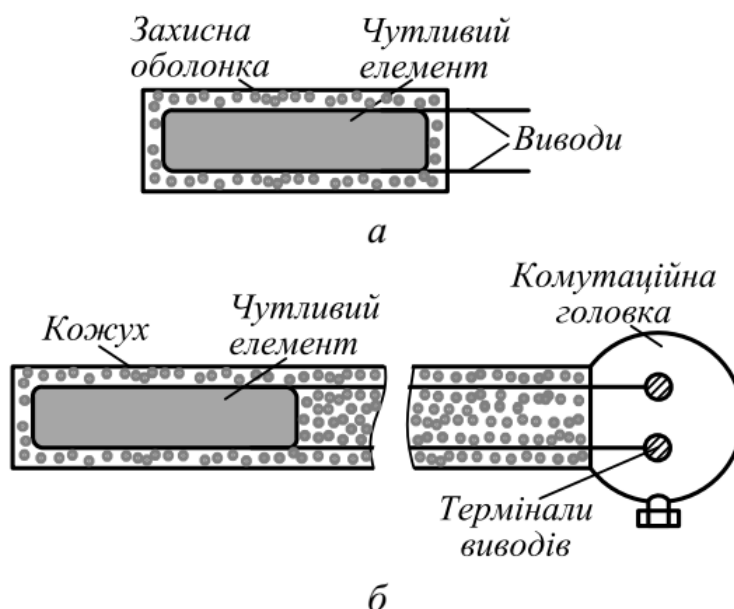


Рисунок 1.2 - Основні структурні схеми будови контактних датчиків температури: а – з кабельним виводом; б – з комутаційною головкою

Принцип дії безконтактних датчиків ґрунтується на перетворенні теплового випромінювання у тепло з подальшим перетворенням рівня тепла чи теплового потоку безпосередньо в електричний сигнал (активний датчик) чи зміну сигналу (пасивний датчик).

Вимірювана датчиками температура може виступати на виходах як аналоговий лінійний сигнал (струм чи/та напруга), як цифровий код або бути логічним сигналом („Увімкнено”/„Вимкнено”).

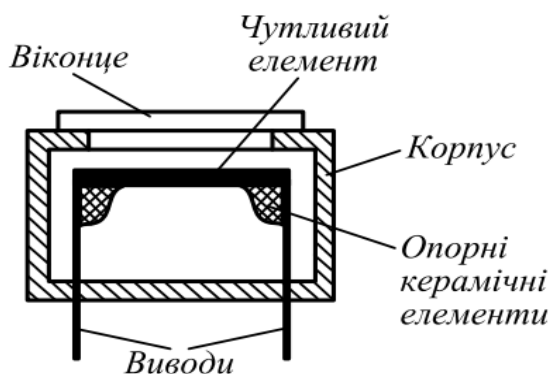


Рисунок 1.3 - Типовий безконтактний оптичний датчик температури

У випадку логічного сигналу на виході давачів температури їх зазвичай називають давачами-реле і їх розглядають як реле контролю температури.[1]

Давачі температури можуть бути одноблочними або двоблочними. У випадку двоблочного давача, що трапляється частіше, він складається з двох функціональних частин: датчика і перетворювача (актуатора).

Залежно від того, для яких вимірів призначений контактний давач, і наскільки достеменним буде результат вимірів, на практиці застосовують датчики, побудовані на трьох різних типах чутливих елементів:

- термоперетворювачах опору;
- термісторах;
- термоелектричних перетворювачах.

## 1.2. Датчики температури на термісторах

Термістори є, по суті, термоперетворювачами опору. Принцип роботи одних і других полягає у зміні опору провідника, чи у разі термістора – напівпровідника, від температури.

Термін термістор утворився внаслідок об'єднання двох слів: термічний та резистор.

Термоперетворювачі опору виготовляють із міді або платини; вони відзначаються високою точністю (до 0,1 °С), стабільністю показів, наближеністю характеристики до лінійної, взаємозамінністю.

Для виготовлення термісторів використовують керамічні напівпровідники, що складаються з окислів металів. Перевагою термісторів є висока чутливість (зміна опору на одиницю зміни температури), малий розмір та невисока ціна.

Недолік – нелінійність характеристики, слабка завадостійкість, відсутність взаємозамінності. Останнє означає, що у разі виходу з ладу датчика давач стає, фактично, розхідним матеріалом. Як відомо, опір матеріалу при зміні температури  $T$  визначається температурним коефіцієнтом опору  $\alpha$ :

$$R = R_0 [1 + \alpha (T - T_0)], \quad (1.1)$$

де  $R_0$  – опір матеріалу при еталонній температурі  $T_0$  (зазвичай 0 °С). Метали мають додатній температурний коефіцієнт опору (1) (рис1.4), а термістори це резистори, що мають великий від'ємний (2) або додатній температурний коефіцієнт (3), що різко змінюється.

Опір термісторів лежить у границях від часток Ом до багатьох МОм. Термістори з додатнім на робочому діапазоні температурним коефіцієнтом часто називають позисторами[2].

Залежність опору чутливого елемента датчика від температури називають номінальною статичною характеристикою (НСХ) датчика температури. НСХ датчика відповідають міжнародному стандарту [3], стандарту СНД [4] або стандартам окремих фірм, наприклад, Philips, NXP Semiconductors тощо.

Чутливі елементи зі стандартними характеристиками 50М, 100М, 50П та 100П виготовляють зазвичай ручним способом шляхом намотування тонкого мідного чи платинового дроту, елементи Pt100, Pt500, Pt1000

виконують методом напилювання

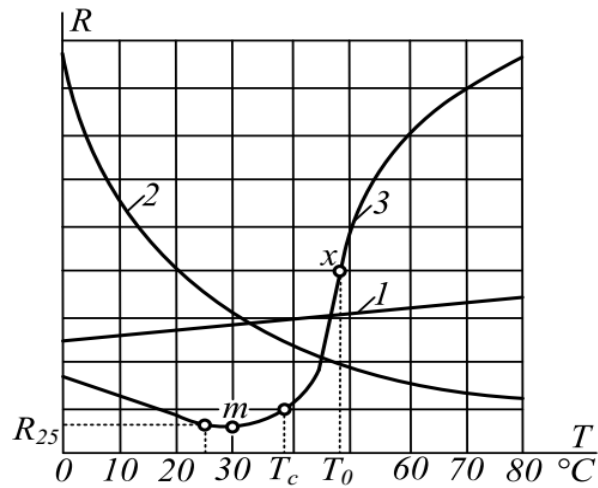


Рисунок 1.4 - Передавальні характеристики датчиків температури:  
 1 – терморезисторів; 2 – термісторів з від’ємним температурним коефіцієнтом; 3 – термісторів з додатнім температурним коефіцієнтом;  
 $m$  – точка Кюрі

У рис.1.5 наведені деякі типові НСХ як передавальні функції – залежність опору від температури.

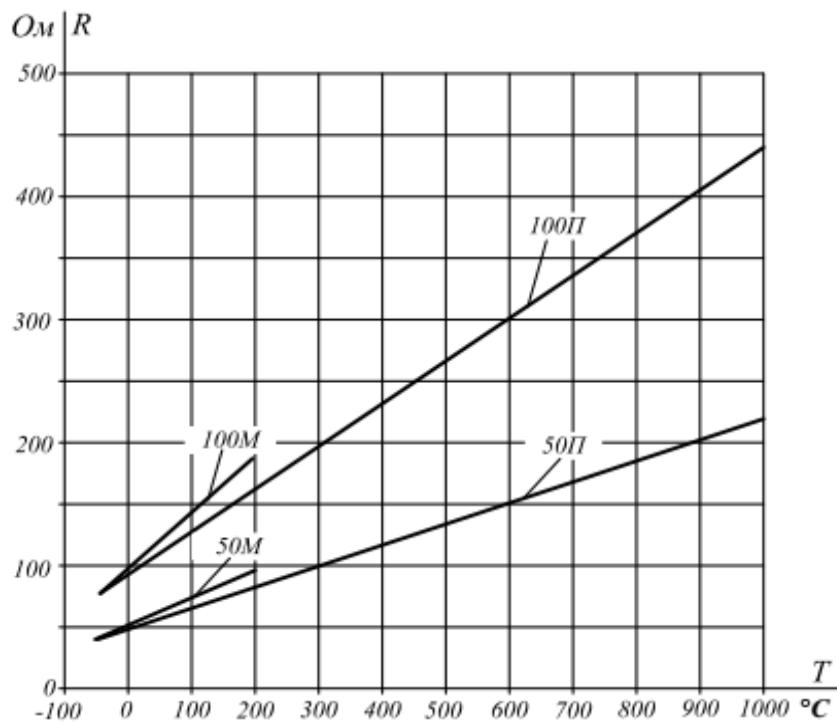


Рисунок 1.5 - Залежності опору термоперетворювачів (НСХ) від температури

Технологія напилювання дає змогу виготовляти платинові чутливі елементи гранично малих габаритів з мінімальною витратою платини (вміст платини 0,001 г). При цьому платина повністю зберігає свої властивості: стійкість до високих температур, термостабільність, практично лінійну НСХ. Названі вище фірми виготовляють на основі кремнію чутливі елементи датчиків температури типу КТҮ.

Вони мають досить добру лінійність (яка може бути покращена за допомогою простих термокомпенсаційних кіл), широкий діапазон вимірюваних температур (верхня границя сягає 300 °С), високу стабільність вимірів з бігом часу (понад 450 000 год.), широкий вибір діапазонів вимірюваних температур. Датчик виготовляють переважно методами порошкової металургії у вигляді стержнів, трубок, дисків, шайб, кораликів і тонких пластинок в границях від 1–10 мкм до 1–2 см; різні корпуси, зокрема скляні, можуть застосовуватись безпосередньо в агресивних середовищах[2].

Термістори на сьогодні представлені серіями з НСХ типу NTC (Negative Temperature Coefficient) – з від’ємним температурним коефіцієнтом та PTC (Positive Temperature Coefficient) – з додатнім температурним коефіцієнтом.

Типова передавальна характеристика NTC-термістора має вигляд як на рис.1.4 (крива 2), а НСХ визначають за математичною моделлю, яких є три. Одна з них під назвою „проста” має вигляд

$$R = R_k e^{\beta(1/T - 1/T_k)}, \quad (1.2)$$

де  $R$  – опір термістора при температурі, що вимірюється;  $R_k$  – опір термістора при калібрувальній температурі  $T_k$ , К;  $\beta$  – характеристична температура матеріалу, інакше коефіцієнт температурної чутливості, К[5].

Вважають, що значення  $\beta$  в певному діапазоні не залежить від температури і його розраховують за даними двох калібрувальних точок:  $T_k$ ,  $R_k$  та  $T'_k$ ,  $R'_k$ .

Температуру термістора, своєю чергою, визначають за формулою, отриманою шляхом інвертування функції  $R=f(T)$  у функцію  $T=f(R)$ .

Зазначимо, що похибка апроксимації функції  $T=f(R)$  є малою в околицях температури калібрування, але значно збільшується у разі розширення робочого діапазону.

Застосовують NTC-термістори, зокрема, там, де потрібні значні зміни величини вихідного сигналу у відносно вузькому діапазоні температур, наприклад, медичний електронний термометр.

PTC-термістори характеризуються швидкою зміною фероелектричних властивостей композиційних матеріалів при температурах, що перевищують їх точку Кюрі, тобто точку мінімального електричного опору. Це призводить до значного збільшення опору, інколи на декілька порядків. На рис. 1.4 зображена типова передавальна характеристика PTC-термістора (3). Як видно із рисунка, для таких термісторів важко підібрати математичну апроксимацію, тому для них зазвичай подають такі характеристики:

- опір при лабораторній температурі –  $R_{25}$ , коли обмін енергією між термістором і оточуючим середовищем відсутній (нульова прикладена потужність) і ефект саморозігріву незначний;

- мінімальний опір  $R_m$  при якому термістор міняє знак свого температурного коефіцієнта (точка Кюрі –  $m$ );

- температура переходу  $T_c$ , починаючи з якої, опір швидко міняється. вона наближено збігається з точкою Кюрі матеріалу. Значення температури переходу зазвичай лежить в діапазоні від  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

- температурний коефіцієнт опору сильно залежить від температури оточуючого середовища та ефекту саморозігріву і його часто визначають у точці  $x$ , тобто там, де він має найбільше значення;

- максимальна напруга  $E_m$ , яка відповідає гранично допустимому значенню напруги, що її витримує термістор;

- теплова інерція, яка визначає швидкість термістора.



Сфера застосування РТС-термісторів є широкою і специфічною. Подамо деякі приклади:

1. різка зміна опору РТС-термістора за досягнення певної температури дає змогу побудувати реле прямого теплового захисту електродвигунів з чутливим порогом спрацьовування [6];

2. у пристроях захисту електронних схем РТС-термістори можуть виконувати роль неруйнівних запобіжників, що реагують на струми, значення яких перевищує допустимі рівні. При кімнатній температурі опір термістора незначний (порядку 10...100 Ом), і спад напруги  $U_t \leq U_{нав}$ . Потужність, що розсіюється на термісторі:  $iUR_m = \cdot$ , віддається в оточуюче середовище, температура термістора незначно зростає. Але при значному зростанні струму відбувається підвищення температури термістора до величини  $T_c$ , після досягнення якої його опір починає зростати, що попереджує подальше збільшення струму. У разі короткого замикання у ланці навантаги  $U_t = E$  і після перехідного процесу опір різко зростає, а струм падає до мінімального значення. При цьому слід рахуватись з перегрівом і руйнуванням термістора, для чого слід виконати умову  $E \leq 0,9E_t$ .

3. РТС-термістори широко застосовують у різних опалювальних пристроях, пристроях для нагрівання повітря, де вони себе ведуть як пристрої з саморегуляцією. Під час подачі напруги термістор починає нагріватись, і, перейшовши точку  $T_c$ , його опір різко збільшується, обмежуючи протікаючий по ньому струм, який стабілізується у так званій „точці перемикавання  $x$ ”. Цей зворотній зв'язок не допускає нагріву елементів понад точку перемикавання (як правило, 250 °C). Ця температура підтримується у тілі РТС-термістора навіть у разі найінтенсивнішого зняття тепла з його поверхні. Завдяки цим властивостям саморегулювання, нагрівальні пристрої, що базуються на РТС-термісторах, можуть обходитись без елементів системи керування і стабілізувальних компонентів, рівно ж і без захисту від перегрівання [6].

### 1.3. Датчики температури на термопарах

Термоелектричні перетворювачі температури – термопари є активними датчиками, в яких тепло перетворюється безпосередньо в електричний сигнал. Принцип дії термопар базується на ефекті Зеебека. Фізик Т.Зеебек (1770–1831), народжений в Естонії, і який вчився у Німеччині, вивчаючи теплові ефекти у гальванічних пристроях, з'єднав два напівкруглих елементи із вісмуту та міді[2].

Неочікувано стрілка компаса, що випадково лежав поруч, відхилилась (рис3.1). Зеебек назвав явище термомагнетизмом, не здогадавшись, що

через елементи протікає електричний струм. Дальшу дорогу проклав В.Томсон, який відкрив ефект, названий його іменем. Було відомо, якщо взяти провідник і один кінець розмістити у холодному місці, а другий – у теплом, від теплого краю до холодного передаватиметься тепла енергія. В додаток до цього градієнт температури призводить до появи у провіднику електричного поля, що й відкрив В.Томсон у 1850 році.

Електричне поле, яке індукується у провіднику, веде до появи різниці потенціалів

$$dV = \alpha_a \frac{dT}{dx} dx = \alpha_a dT, \quad (1.3)$$

де  $dT$  – градієнт температури на невеличкій ділянці  $dx$ ;  $\alpha_a$  – абсолютний коефіцієнт Зеебека матеріалу, який не залежить від довжини провідника, якщо матеріал однорідний[5].

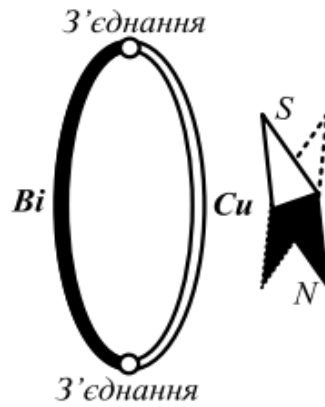


Рисунок 1.6 - До принципу дії термопар

На рис 1.7 зображено провідник з нерівномірним розподілом температури  $T$  вздовж його довжини  $x$ . Градієнт температури між довільно розташованими точками визначає термо-ЕРС між ними.

Інші значення температур (наприклад,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ) не впливають на значення ЕРС між точками 1 та 5.

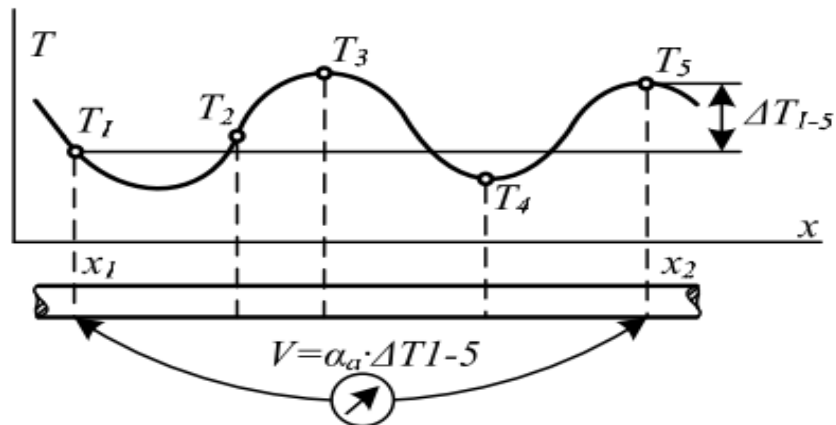


Рисунок 1.7 - ЕРС, що виникає на ділянці зі змінною температурою вздовж ділянки

Виявляється, якщо щупи вимірювача зроблені з такого ж матеріалу, як сам провідник, то відхилення стрілки приладу відсутнє, у разі ж різних матеріалів вимірювач фіксує різницю потенціалів, тобто появу ЕРС (рис 1.8).

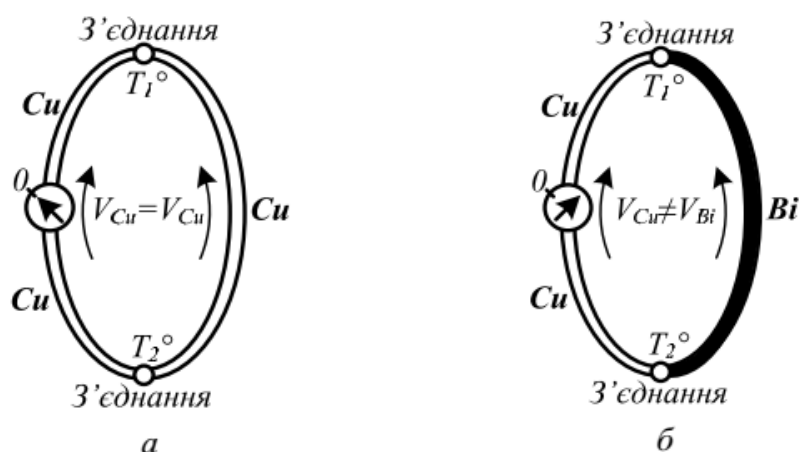


Рисунок 1.8 - Термоелектричний контур за умови  $T_1^\circ \neq T_2^\circ$ : а – з'єднання ідентичних контурів ( $\Delta V = V_{Cu} - V_{Cu} = 0$ ); б – з'єднання контурів з різних матеріалів ( $\Delta V = V_{Cu} - V_{Bi} \neq 0$ )

Отож, якщо контур складений із двох різних матеріалів (або із однакових матеріалів, але один із них перебуває, наприклад, у напруженому стані, а інші ні!), і їх з'єднання мають різну температуру, у контурі виникає різниця потенціалів, яку називають напругою Зеебека. Зазначимо, що ця різниця потенціалів визначається тільки типом матеріалів і температурою з'єднань і не залежить ні від яких інших чинників: форми та/чи розмірів провідників. Інша річ струми, які протікали б по контурах, якщо об'єднати провідники у місці вимірювання ЕРС. Ці струми залежать від форми і розміру провідників контура тощо. Саме ці струми були причиною відхилення стрілки компаса, яке спостерігав Зеебек.

Наступні дослідження показали, що ефект Зеебека за своєю природою є електричним і термоелектричні властивості – це такі ж об'ємні властивості матеріалів, як електро і теплопровідність, а коефіцієнт  $\alpha$  – унікальна характеристика матеріалу[3].

У разі з'єднання двох різних матеріалів напруга Зеебека дорівнює

$$dV_{AB} = \alpha_{AB} dT, \quad (1.4)$$

де  $\alpha_{AB} = \alpha_A - \alpha_B$  – диференційний коефіцієнт Зеебека. Цей коефіцієнт є лінійною функцією від температури. Інакше його називають коефіцієнтом термо-ЕРС, або чутливістю термо-парного з'єднання. Еталонне з'єднання, яке, як правило, перебуває при холоднішій температурі, називають холодним спаєм, а інше з'єднання – гарячим спаєм[5].

Коефіцієнт Зеебека не залежить від фізичної природи з'єднання: метали можуть бути скрученими, звареними, спаяними тощо. У 1826 році А.Беккерель запропонував використати ефект Зеебека для вимірювання температури, але першу конструкцію термопар розробив Генрі Ле-Шательє. Він вивчив і описав термоелектричні властивості багатьох комбінацій металів.

При вимірюванні різниці потенціалів між двома кінцями провідників, які перебувають у різних температурних умовах, у колі може виникнути термо-ЕРС, якщо матеріал ланки і щупів вимірювального пристрою є різними. У зв'язку з тим виникає питання, як увімкнути вимірювальний пристрій у коло термопар без внесення похибки. Звернемось до другого закону термоелектрики: „Алгебрична сума всіх термо-ЕРС кола, що складається з будь-якої кількості термопар (з'єднань різних матеріалів), завжди дорівнюватиме нулеві, якщо всі з'єднання перебувають при однаковій температурі.”

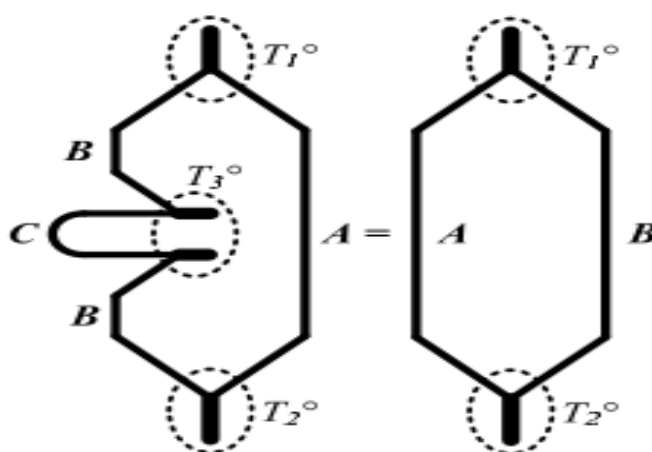


Рисунок 1.9 - Ілюстрація правила приєднання вимірювального пристрою у коло термопар: С – ланка вимірювального пристрою

Це означає, що в будь-яке плече термоелектричного контура можна ввести додатковий матеріал С, без страху змінити результуючу ЕРС за умови, що обидва з'єднання матимуть однакову температуру ( $T_3$  на рис. 1.9).

Звідси й випливає, що метали можуть бути спаяними, скрученими, звареними, затиснутими без впливу на результат вимірювання. Виходячи з рис.1.9, не складно показати, як можна організувати схему вимірювання різниці температур між двома точками одного об'єкта, чи між двома різними об'єктами (рис.1.10).

Ізотермічне середовище може бути зосередженим у корпусі актуатора, що має місце у сучасних розробках, але в такому разі з'єднання клемної коробки термопар з терміналами актуатора повинно виконуватись за допомогою провідників з матеріалу аналогічного до матеріалу розірваного провідника термопар або подібного за характеристиками матеріалу (рис.1.11).

А, В – матеріали термопар; С – довільний матеріал з'єднувальних провідників; 1 – ізотермічне середовище (ізо... – від грецького ісокс – рівний, однаковий); 2 – актуатор, або вторинний перетворювач (мається на увазі, що термопари є первинними перетворювачами);  $\equiv T_2^\circ - T_1^\circ$

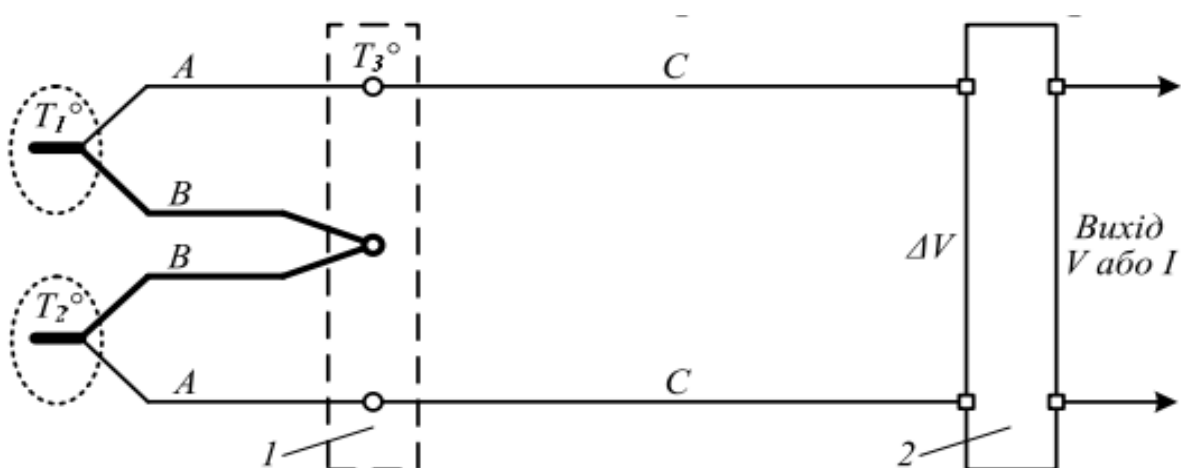


Рисунок 1.10 - Структурна схема термопарного вимірювання різниці температур

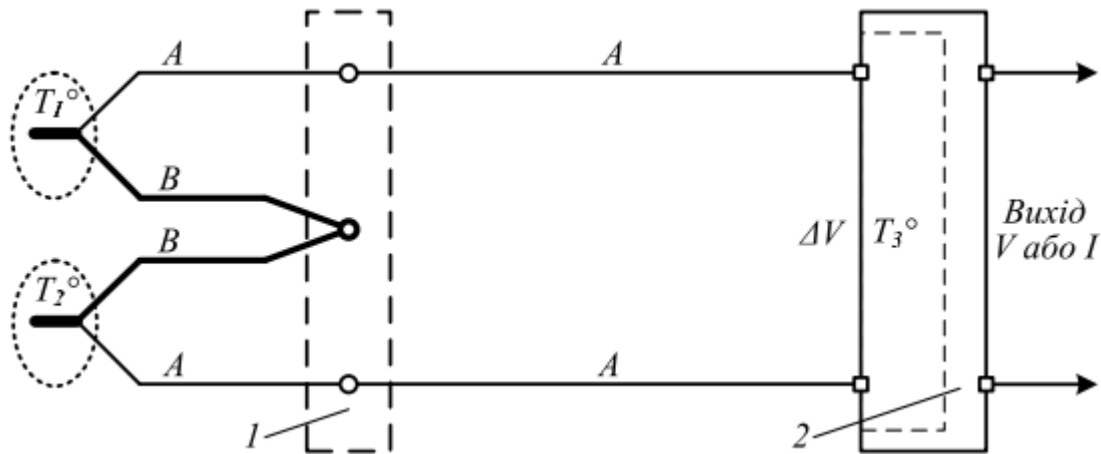


Рисунок 1.11 - Структурна схема термопарного вимірювання різниці температур (варіант 2): 1 – клемна коробка; 2 – актуатор (вторинний перетворювач)

Зробимо заувагу, що потреба використовувати з'єднувальні провідники з матеріалу такого ж як і в термопарах, виникає лише тоді, коли клемна коробка не забезпечує ізотермічного середовища. Для вимірювання температури об'єкта на практиці широке застосування знайшов метод прямого вмикання актуатора. У такому разі останній вмикається безпосередньо до різних матеріалів термопари, утворюючи пару холодних спаїв, температура яких повинна бути однаковою (рис.1.12) [5]

$$\Delta V \equiv \Delta T^\circ; V_k \equiv T_2^\circ \quad (1.5)$$

Очевидно, подана на затискачі 1–2 актуатора напруга Зеебека  $\Delta V$  є аналогом різниці температур гарячого і холодного спаїв. Температура холодного спаю  $T_2^\circ$  відповідно діє на абсолютний датчик температури 2, інформація від якого  $V_k$  поступає на входи 3–4 актуатора, який після обробки даних, що надходять на входи 1–2 та 3–4, виробляє стандартний аналоговий сигнал у вигляді напруги чи струму[5].

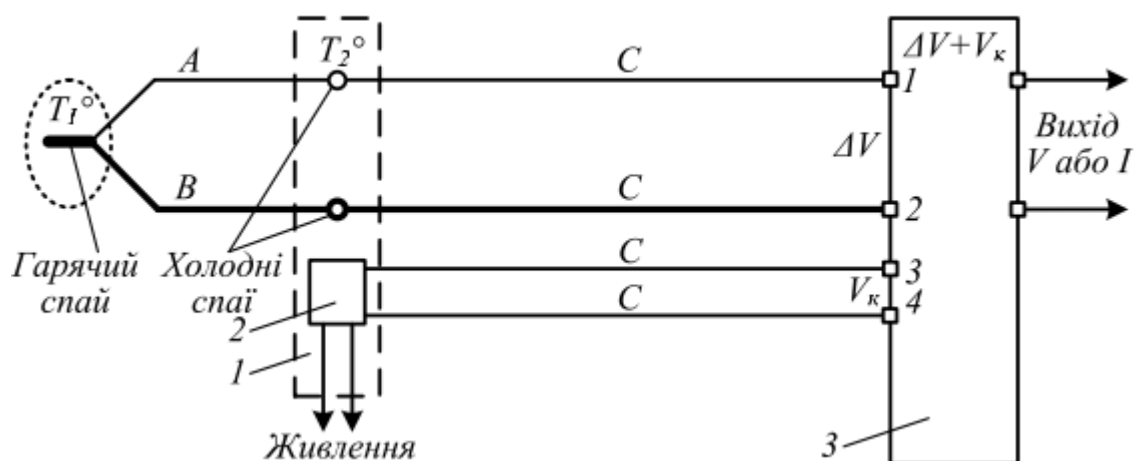


Рис1.12 - Структурна схема термопарного вимірювання температури  $T_1^\circ$  об'єкта (варіант 1): 1 – ізотермічне середовище; 2 – абсолютний датчик температури (наприклад, резистивний термоперетворювач термістор) – компенсатор температури холодного спаю; 3 – актуатор (вторинний перетворювач);

Перевага схеми: з'єднувальні провідники С можуть бути з будь-якого матеріалу.

Недолік: потреба додаткових інформаційних провідників датчика 2 і провідників його кола живлення; необхідність організації ізотермічного середовища  $T_2^\circ$ .

У зв'язку з відзначеним недоліком на практиці широко застосовують актуатори, у яких ізотермічне середовище зосереджене у його корпусі (рис1.13).

Недолік: з'єднувальні провідники А та В повинні бути із таких самих матеріалів, що й матеріали термопари, або матеріалами з близькими до А та В характеристиками.

Зображений на рис.1.12 абсолютний датчик температури холодного спаю часто називають компенсатором температури, а з'єднувальні провідники А та В на рис.1.13 – компенсаційними.



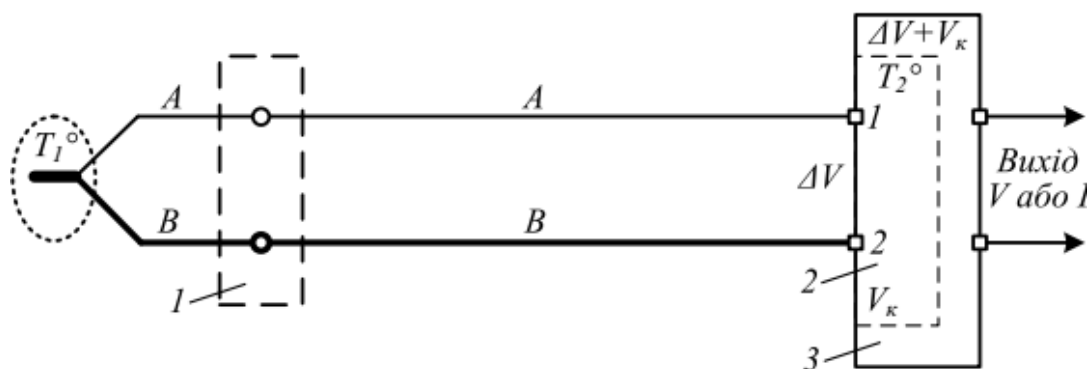


Рисунок 1.13 - Структурна схема термопарного вимірювання температури  $T_1$  об'єкта (варіант 2): 1 – клемна коробка; 2 – ізотермічне середовище; 3 – актуатор

Переваги схеми: простота з'єднань.

Як було сказано, контактні давачі температури можуть бути одноблочними або двоблочними. У разі двоблочного давача датчики температури (термоперетворювачі опору, термістори чи термопари) виступають як окремі блоки або елементи, а актуатори, яких інакше називають вторинними перетворювачами сигналів, чи нормувальними перетворювачами, або просто перетворювачами (із вказівкою для яких датчиків), є також окремими блоками, що зазвичай кріпляться на DIN-рейку[7].

Відомі європейські фірми ABB, ASCON, OBEH тощо випускають серії чи окремі типи актуаторів, які можуть виконувати лише одну функцію або бути універсальними. У першому випадку актуатор здійснює вимірювання температури лише в одному певному діапазоні (наприклад,  $-50 - +50$  °C) з певним типом датчика (наприклад, 100M), але за потреби вимірювання температури в діапазоні  $-80 - +200$  °C з цим самим датчиком 100M потрібно застосовувати іншу модифікацію з цієї ж серії.

Універсальний перетворювач може вимірювати температуру у різних діапазонах з різними типами датчиків температури, очевидно, при відповідному попередньому налаштуванні. Таке налаштування може здійснюватись за допомогою DIP-перемикачів або з комп'ютера, наприклад, по інтерфейсу USB. На рис.1.14 показано зовнішній вигляд та схему з'єднань

давачів, організованих на базі універсального нормувального перетворювача ОВЕН НПТ1[7].

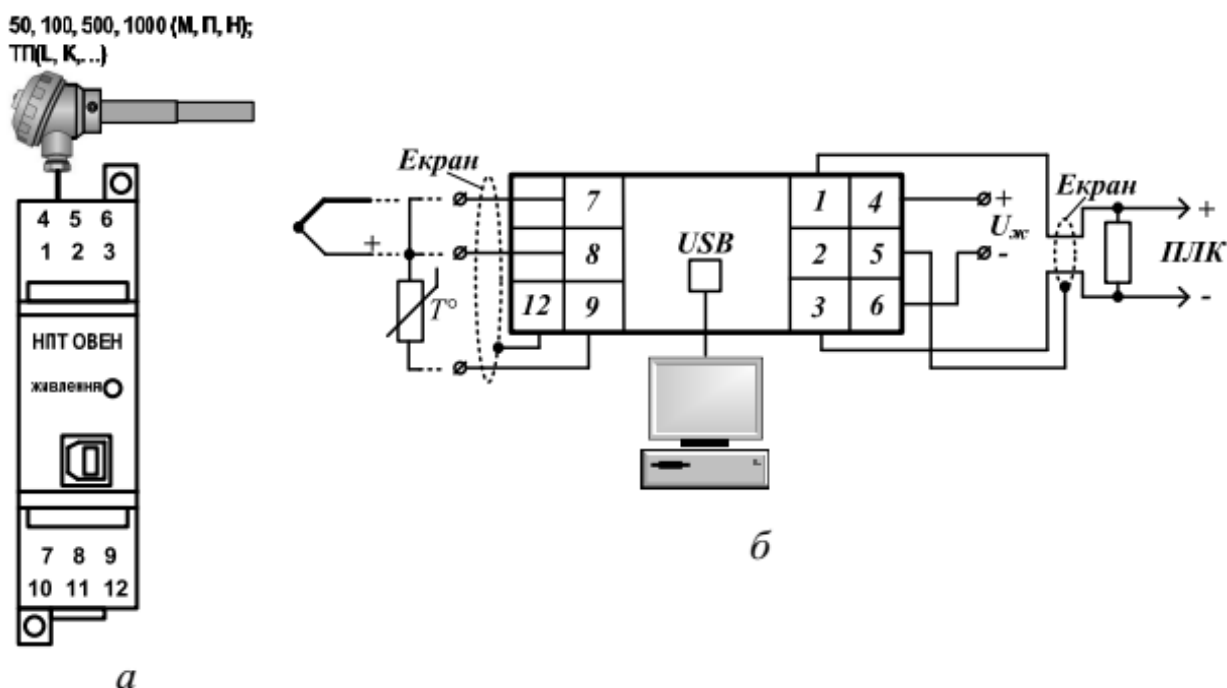


Рисунок 1.14 - Зовнішній вигляд (а) та схема з'єднань (б) давача, організованого на базі універсального перетворювача ОВЕН НПТ1

Він призначений для перетворення значення температури, вимірюної за допомогою термопарі або термоопору, в уніфікований сигнал постійного струму 0(4)–20 мА. Він може використовуватися вторинними приладами систем автоматичного контролю, регулювання і керування технологічними процесами в різних галузях промисловості, а також у комунальному господарстві, диспетчеризації, телемеханічних інформаційно-вимірювальних комплексах тощо.

Якщо дозволяє середовище, можна використати одноблочний давач температури, у якого перетворювач вбудований у комутаційну головку. Перевага такого давача:

- можна збільшити довжину інформаційної лінії зв'язку „давач температури – приймальний елемент системи збору інформації”;
- можливість понизити вплив завад на лінію зв'язку;

- інформаційна лінія може бути з довільного матеріалу.

Недолік – потреба додаткової лінії кола живлення перетворювача.

На рис.1.15 показано зовнішній вигляд. Давачі застосовуються у вторинній апаратурі систем автоматичного контролю, регулювання і керування технологічними процесами в різних галузях промисловості тощо[7].

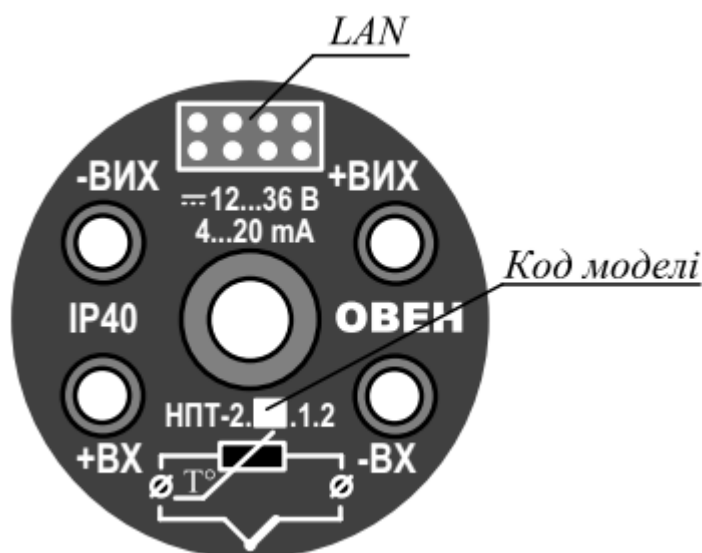


Рисунок 1.15. Зовнішній вигляд перетворювача ОВЕН НПТ2: LAN – інтерфейс зв'язку з персональним комп'ютером

#### 1.4. Датчики температури на основі діодів і транзисторів

Напівпровідникам властива сильна залежність питомої провідності від впливу зовнішніх факторів (температури, електричного поля, світла та інш.). Напівпровідниковий діод – це напівпровідниковий прилад з одним випрямляючим електричним переходом та двома виводами, в якому використовується та чи інша властивість випрямляючого електричного переходу.

У датчиках температури на основі діодів і транзисторів використовують залежність параметрів р-п переходу в напівпровіднику від температури.

Історично першим температурно залежним параметром був зворотний струм діодів і транзисторів. Значення струму росте з температурою за експоненціальним законом зі швидкістю порядку  $10\% \cdot K^{-1}$ . Однак, діапазон темпе-

ратур, у межах яких можливе використання зворотних струмів, досить обмежених. Верхня температурна межа застосування визначається температурою їхнього теплового пробую[1].

Найбільше поширення одержало використання прямих параметрів діодів і транзисторів. Їхніми істотними перевагами перед зворотними є лінійність температурної залежності, широкий діапазон робочих температур, висока стабільність. Найчастіше для виміру температури використовується пряма напруга на р-n переході при майже постійному струмі емітера. Зміна прямої напруги становить порядку 2,5 мВ.К-1. При підвищенні температури транзисторів р-n-р типу напруга емітер-база з області позитивних значень переходить в область негативних. Наприклад, датчик TS-560 - напівпровідниковий діод на основі арсеніду галію. Діапазон виміру такого датчика (4,2...500) К, основна похибка (0,1%, чутливість (2...3) мВ/К, габаритні розміри 3x3 мм [1]. Відомі випадки використання в якості температурно-залежного параметра коефіцієнт підсилення по струму на низьких і високих частотах. Однак невисока чутливість коефіцієнта підсилення до температури та необхідність індивідуального градуювання у всьому діапазоні робочих температур обмежують застосування цього параметра при створенні термодатчиків.

Температурні межі транзисторів у термодатчиках значно ширші, ніж при використанні транзисторів по прямому призначенню. Обмеження з боку високих температур настає внаслідок переходу домішкового напівпровідника у власний, зменшення пробивної напруги й підвищення генерації носіїв у базовій області при негативних напругах. Застосування при низьких температурах визначається зменшенням концентрації основних носіїв через дезактивацію легуючих домішок і зменшення коефіцієнта підсилення по струму.

Основним недоліком розглянутих термодатчиків є складність одержання їх номінальної статистичної характеристики через розкид основних параметрів транзисторів: коефіцієнта підсилення по струму, опору базової

області, струму витоку й ін. Важливою характеристикою для широкого впровадження термодатчиків на основі транзисторів і діодів є стабільність їхніх параметрів.

Результати дослідження довгострокової стабільності термодатчиків на основі транзисторів з температурно залежним параметром - прямою напругою на р-п переході залежно від температури й тривалості експлуатації, наведені в [5] , показують, що похибка виміру ними може становити (0,01...0,15) К у перший рік експлуатації й (0,002...0,04) К - у другий рік. Основними причинами нестабільності варто вважати зворотній процес гідратації-дегідратації оксидного шару на поверхні напівпровідникового кристала й виникнення залишкових деформацій у ньому внаслідок неоднаковості температурних коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів транзисторів [1].

Таким чином метою магістерської роботи є дослідження процесів перетворення сигналів у системі керування тепловим датчиком випромінювання.

Для реалізації зазначеної мети необхідно вирішити наступні завдання:

- синтез моделі теплового датчика випромінювання;
- дослідження впливу частоти модуляції на чутливість датчика випромінювання;
- дослідження впливу форми імпульсів модуляції на вихідний сигнал датчика;
- синтез схеми електричної принципової пристрою адаптивного керування датчиком;
- розробка друкованої плати пристрою адаптивного керування датчиком.

## 2 СИНТЕЗ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ДАТЧИКА ВИПРОМІНЮВАННЯ

### 2.1 Опис процесів перетворення сигналів у датчику випромінювання

Піроелектричний датчик може бути представлено у вигляді конденсатора ємністю  $C_d$ , з діелектриком у вигляді тонкої плівки піроелектрика товщиною  $d$ , на поверхні  $A$  якою створений тонкий металевий шар що поглинає випромінювання [8]. При дії на датчик випромінювання змінної потужності  $\Phi(t)$ , на його обкладаннях унаслідок термічних і електричних процесів тих, що відбуваються в піроелектрику, з'являється електричний заряд величиною  $q(t)$ . У якості інформаційних сигналів може бути використано напругу на електродах датчика  $V(t)$  або величину струму  $I(t)$ , що протікає в навантаженні. Таким чином, можуть бути реалізовано два основні режими роботи датчика - з вихідною напругою або вихідним струмом. У першому режимі датчик підключається до підсилювача з високим значенням вхідного опору  $R$ . У другому режимі необхідно використовувати підсилювач з малим вхідним опором.

Процес перетворення енергії випромінювання в електричний сигнал проходить в три стадії: перетворення потужності випромінювання, що поглинається, в зміну температури датчика, перетворення зміни температури датчика в зміну сили струму еквівалентного джерела  $I(t)$ , перетворення зміни струму джерела в зміну напруги  $V(t)$ . Таким чином, для синтезу математичної моделі датчика потрібний опис процесів що відбуваються в триступінчатій еквівалентній схемі перетворення випромінювання, показаній на рис. 2.1 [9].

Еквівалентна схема включає три блоки, відповідні трьом стадіям перетворення потужності випромінювання, які м.б. задані за допомогою наступних співвідношень:

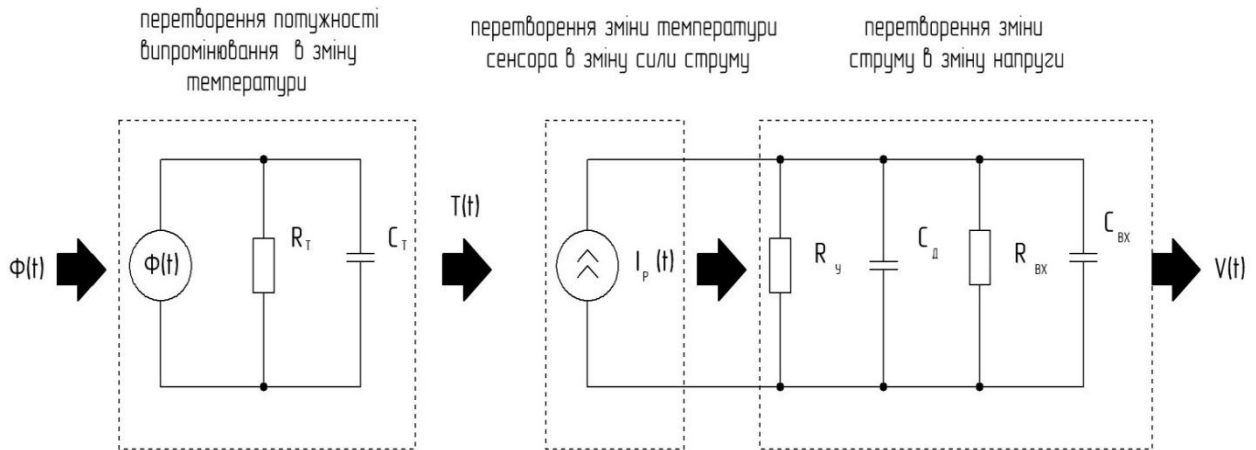


Рисунок 2.1 - Теплова і електрична еквівалентні схеми піроелектричного датчика і вхідного підсилювача

$$C_T \frac{dT(t)}{dt} + G_T T(t) = \eta \Phi(t) , \quad (2.1)$$

$$I = pA \frac{dT(t)}{dt} , \quad (2.2)$$

$$C \frac{dV(t)}{dt} + \frac{V(t)}{R} = I(t) , \quad (2.3)$$

де  $C_T$  – теплоємність датчика;  $G_T$  – теплопровідність датчика;  $\eta$  – коефіцієнт поглинання випромінювання;  $p$  – піроелектрична постійна матеріалу піроелектрика;  $C$  – еквівалентна ємність паралельно сполучених ємностей діелектрика  $C_д$  і вхідній ємності підсилювача  $C_{вх}$ :  $C = C_д + C_{вх}$ ;  $R$  – еквівалентний опір паралельно сполучених опори виточу датчика  $R_y$  і вхідного опору підсилювача

$$R_{вх}: R = R_y \cdot R_{вх} / (R_y + R_{вх}). \quad (2.4)$$

## 2.2 Передавальна функція датчика випромінювання

Кожен етап перетворення, що описується згідно (2.1-2.3), можна представити у вигляді функції відображення Лапласа. Відповідні передавальні функції можуть бути отримані в припущенні нульових початкових умов.

В результаті проведеного перетворення Лапласа (2.1) м.б. представлено у вигляді передавальної функції  $G_T(s)$ , потужності випромінювання, що поглинається, що описує перетворення, в зміну температури датчика:

$$G_T(s) = \frac{T(s)}{\Phi(s)} = \frac{\eta}{sC_T + G_T}, \quad (2.5)$$

У якості параметрів моделювання в (2.5) зручніше використовувати теплову постійну  $t_t$ , активну площу датчика  $A$  і величину нагріву поверхні датчика  $c'$ . З урахуванням цього (2.5) можна представити у вигляді [10]:

$$G_T(s) = \frac{\eta \cdot t_t}{c' d A (s \cdot t_t + 1)}, \quad (2.6)$$

де  $t_t = C_T / G_T$ , а  $C_T = c' Ad$ .

Передавальна функція для другого етапу перетворення потужності випромінювання характеризується передавальною функцією  $G_{TE}(s)$  :

$$G_{TE}(s) = \frac{I(s)}{T(s)} = s \cdot p \cdot A. \quad (2.7)$$

Передавальна функція для другого етапу перетворення потужності випромінювання характеризується передавальною функцією  $G_E(s)$  :



$$G_E(s) = \frac{V(s)}{I(s)} = \frac{R}{sRC + 1} = \frac{R}{st_E + 1}, \quad (2.8)$$

де  $t_E$  – постійна часу еквівалентної схеми піроелектричного датчика підсилювача ( $t_E = RC$ ).

Згідно теорії автоматичного регулювання, функціональна модель датчика може бути представлена у вигляді послідовних сполучених трьох блоків з передавальними функціями  $G_T(s)$ ,  $G_{TE}(s)$  та  $G_E(s)$ , що задаються (2.6-2.7).

Для отримання залежності вихідної напруги датчика  $V(t)$  від потужності реєстрованого випромінювання  $\Phi(t)$  представимо загальну передавальну функцію у вигляді:

$$G_T(s) = G_T(s) G_{TE}(s) G_E(s), \quad (2.9)$$

Підставивши в (2.9) вирази (2.6 - 2.8) отримаємо:

$$G(s) = \frac{p \cdot \eta \cdot R}{c' \cdot d} \cdot \frac{s \cdot t_t}{(s \cdot t_t + 1)(s \cdot t_E + 1)}. \quad (2.10)$$

Враховуючи, що  $t_E = RC$ , а  $C = \varepsilon A / d$ , (2.10) можна переписати як:

$$G(s) = \frac{p \cdot \eta}{c' \cdot d \cdot C} \cdot \frac{s \cdot t_t \cdot t_E}{(s \cdot t_t + 1)(s \cdot t_E + 1)}. \quad (2.11)$$

Як параметри для моделювання по (2.11) використовувалися характеристики PVDF датчика [11]. При отриманні залежності вихідного сигналу датчика від частоти модуляції випромінювання (2.11) зручніше представити із записом чисельника і знаменника в поліноміальному вигляді:

$$G(s) = \frac{\frac{p \cdot \eta}{c' \cdot d \cdot C} \cdot s \cdot t_t \cdot t_E}{s^2 \cdot t_t \cdot t_E + s(t_t + t_E) + 1}. \quad (2.12)$$

Т.ч., були визначені передавальні функції для різної товщини піроелектрика датчика  $d = 25\text{мкм}$ ,  $50\text{мкм}$  и  $100\text{мкм}$ :

$$G_1(s) = 0,055s / (0,0000616s^2 + 0.0166s + 1) \text{ для } d = 25\text{мкм};$$

$$G_2(s) = 0,11s / (0,000124s^2 + 0.0468s + 1) \text{ для } d = 50\text{мкм};$$

$$G_3(s) = 0,22s / (0,000246s^2 + 0.177s + 1) \text{ для } d = 100\text{мкм};$$

Результати синтезу передавальних характеристик показують, що амплітуда вихідних імпульсів датчика збільшується при зростанні товщини піроелектричного шару.

### 2.3 Реалізація імітаційної моделі датчика

Реалізація імітаційної моделі датчика випромінювання виконувалось у середовищі Simulink Matlab [12], де застосовується блочний метод опису об'єктів, що є раціональним при визначенні оптимальних параметрів їх складових по відношенню до загальної цільової функції. Завдання для моделювання датчика наведено на рис. 2.2- 2.4 для різних товщин піроелектричного шару.

У наведених завданнях у якості джерела вхідного модульованого випромінювання використовувалось бібліотечне джерело гармонійного сигналу з одиничною амплітудою  $6,28$  Гц. Для моделювання датчика застосовано блок передавальної функції, параметри якого були визначені згідно (2.11), як показано на рис. 2.5.

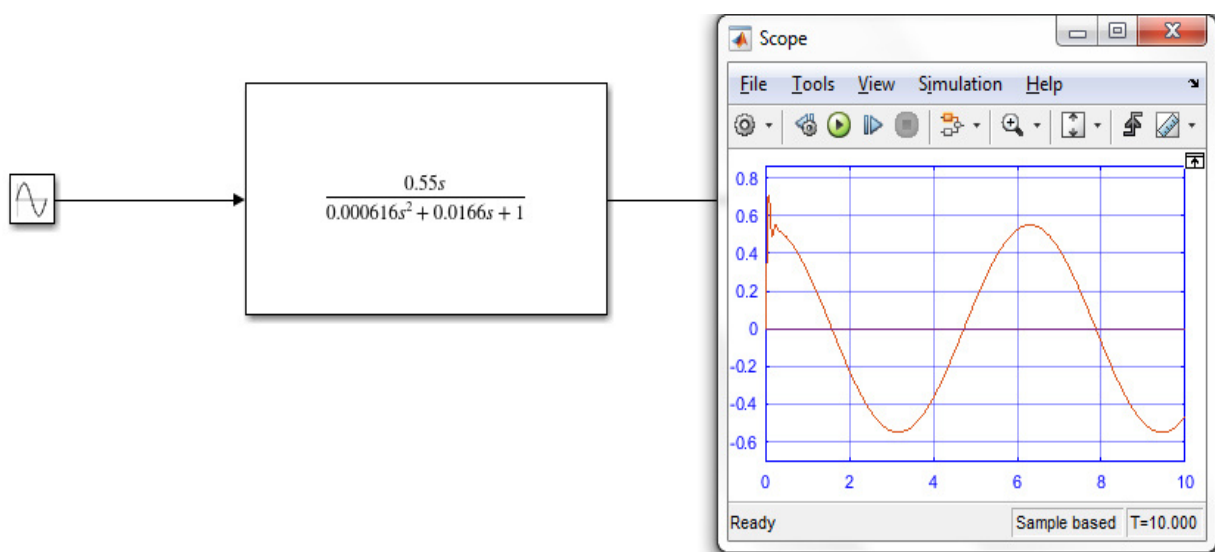


Рисунок 2.2 – Завдання для моделювання датчика випромінювання з товщиною шару піроелектрика 25 мкм

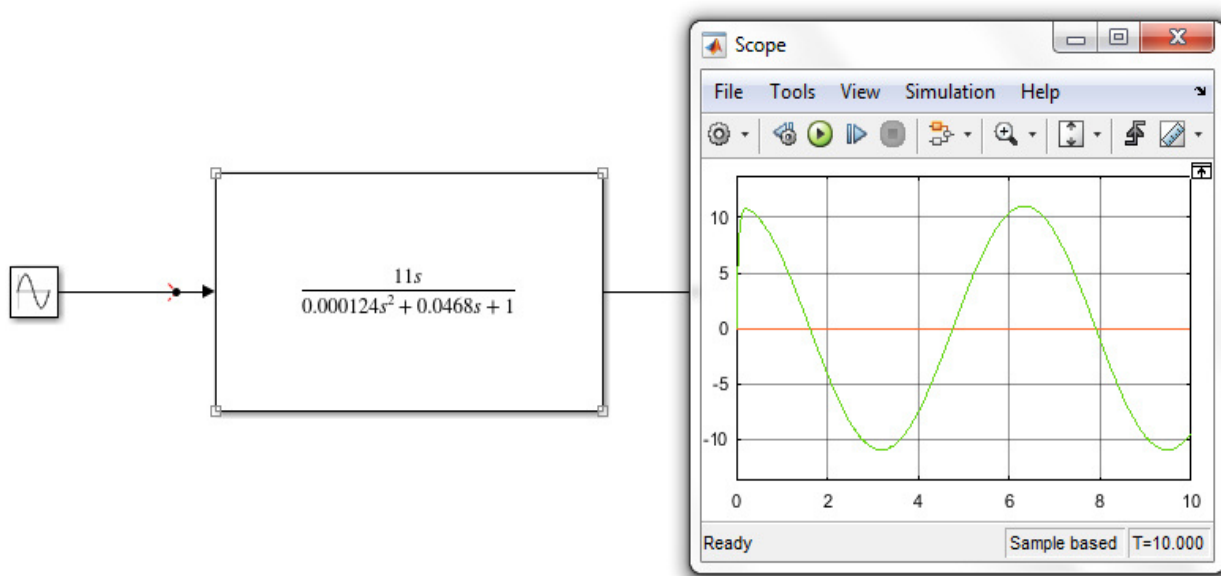


Рисунок 2.3- Завдання для моделювання датчика випромінювання з товщиною шару піроелектрика 50 мкм

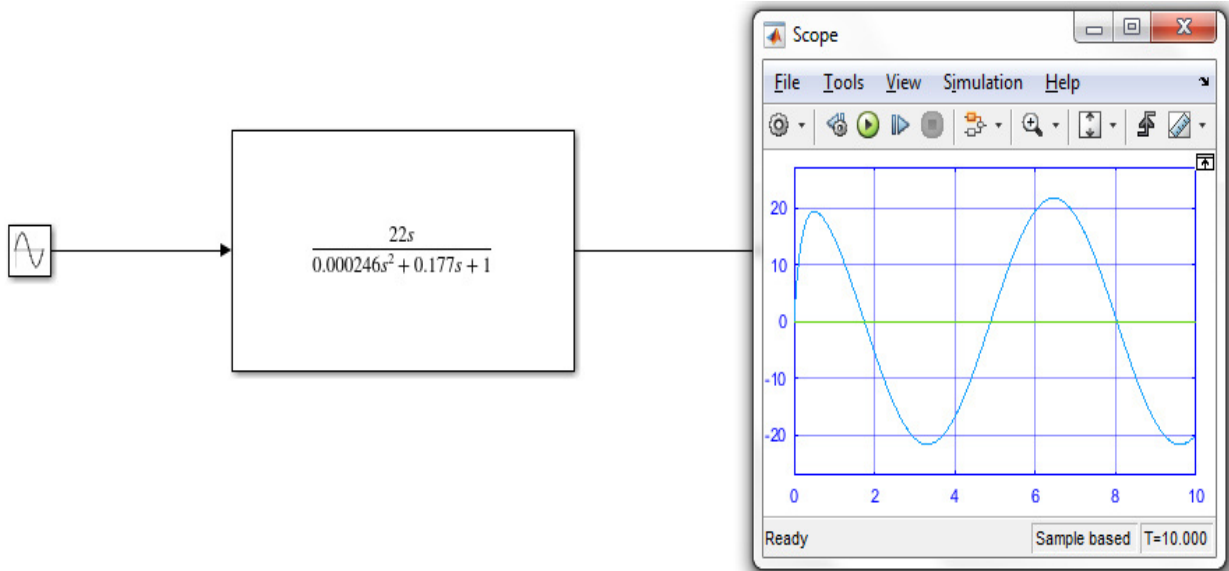


Рисунок 2.4- Завдання для моделювання датчика випромінювання з товщиною шару піроелектрика 100 мкм

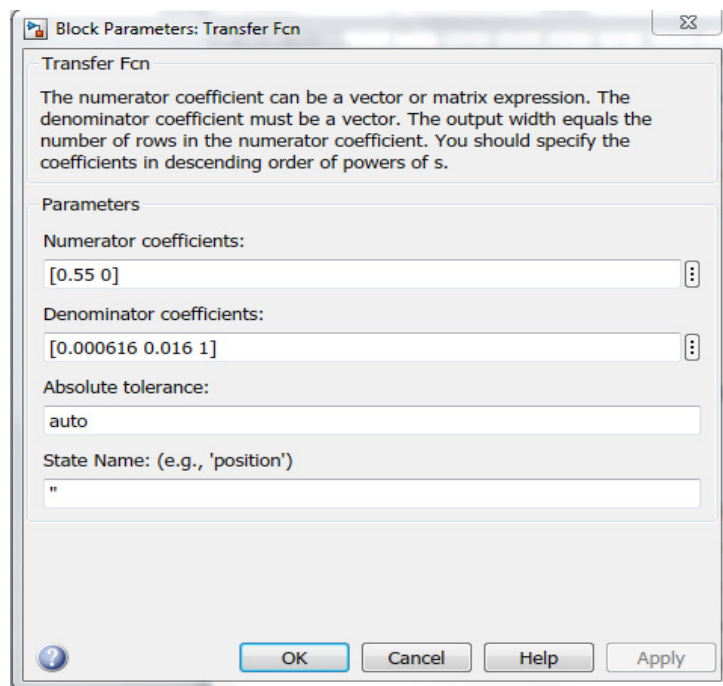


Рисунок 2.5 – Вікно Simulink Matlab з параметрами передавальної функції датчика

У завданнях для моделювання вихідний сигнал датчика відображуєть-

ся на екрані віртуального осцилографа (scope) у вигляді епюрів сигналу випромінювання і напруги на виході датчика.

З метою порівняльного аналізу результатів часового аналізу створених моделей було інтегровано у одне завдання всі три локальні моделі. Отримане таким чином завдання наведено на рис. 2.6. Результати нестационарного моделювання вихідного сигналу датчика показані на рис. 2.7.

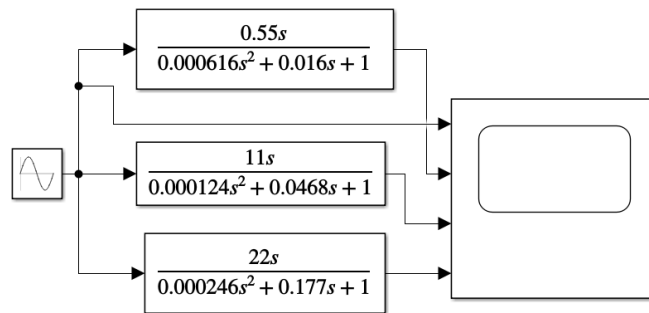


Рисунок 2.6 – Порівняльна модель датчика для різних товщин шару піроелектрика

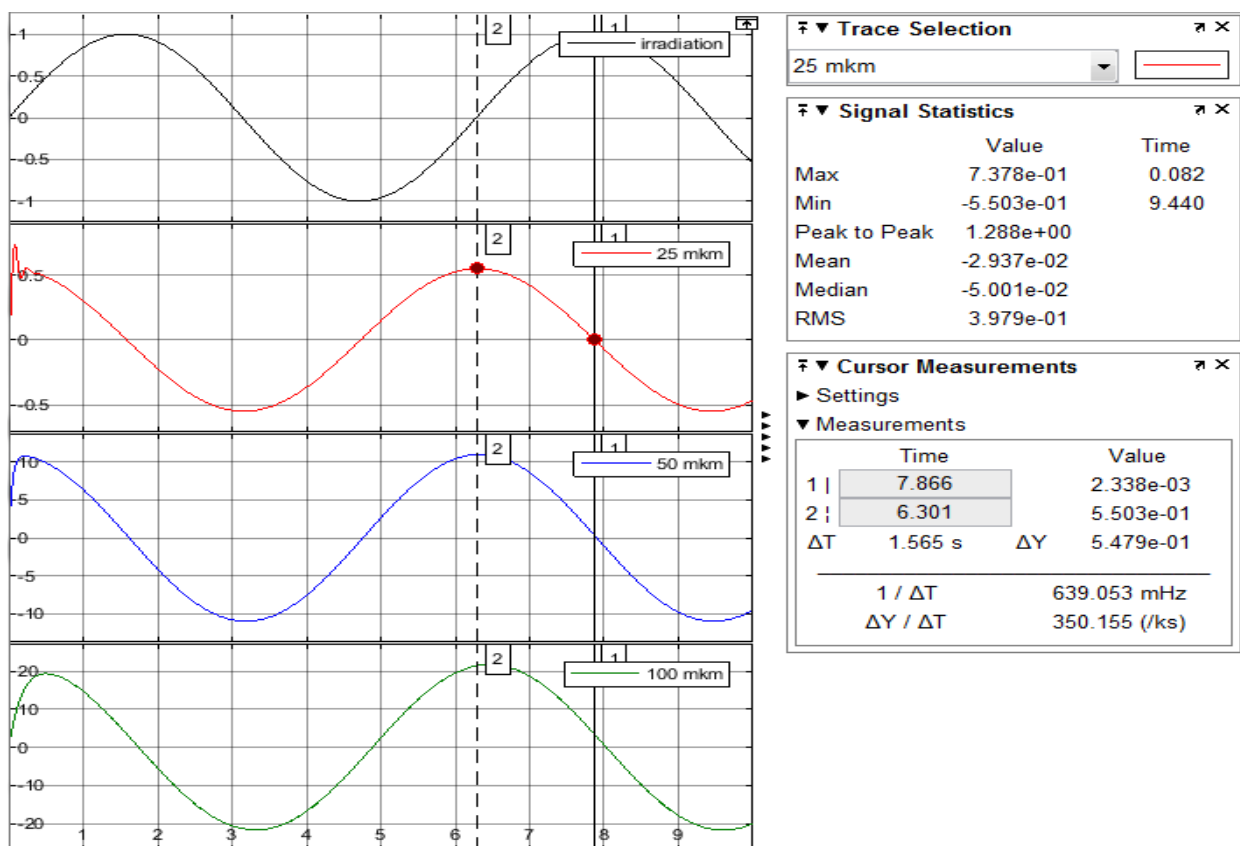


Рисунок 2.7 – Епюри напруги на виході датчика для різних товщин шару піроелектрика

Аналіз отриманих результатів показує, що зі збільшенням товщини піроелектричного збільшується вихідна напруга датчика з 0,6 до 22 одиниць.

Разом з цим відбувається зсув вихідних сигналів у порівнянні з сигналом випромінювання на  $-90$  градусів.

#### 2.4 Моделювання залежності чутливості датчика випромінювання від частоти модуляції

Дослідження впливу частоти модуляції випромінювання на чутливість датчика виконувалось шляхом моделювання амплітудно-частотних характеристик датчика за вбудованим інструментарієм Simulink – Linear Analysis. Результати моделювання, отримані таким чином, у форматі Simulink наведені на рис. 2.8.

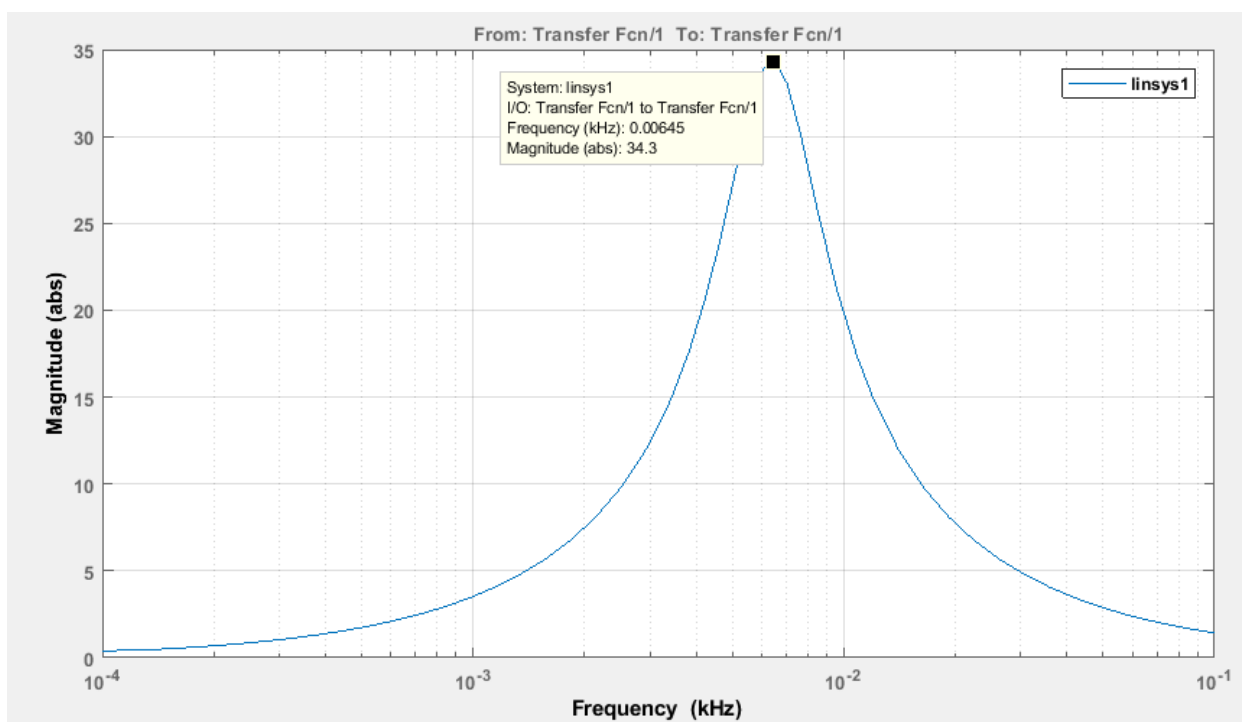


Рисунок 2.8 – Ліанерізована амплітудно-частотна характеристика датчика випромінювання з товщиною піроелектрика 25 мкм

Аналогічним чином було проведено дослідження ЛАЧХ датчика з товщинами шару піроелектрика 50 та 100 мкм і для різних значень терміч-

ної постійної часу. Відповідні результати об'єднані у однакові параметричні групи представлені на рис. 2.9 та 2.10.

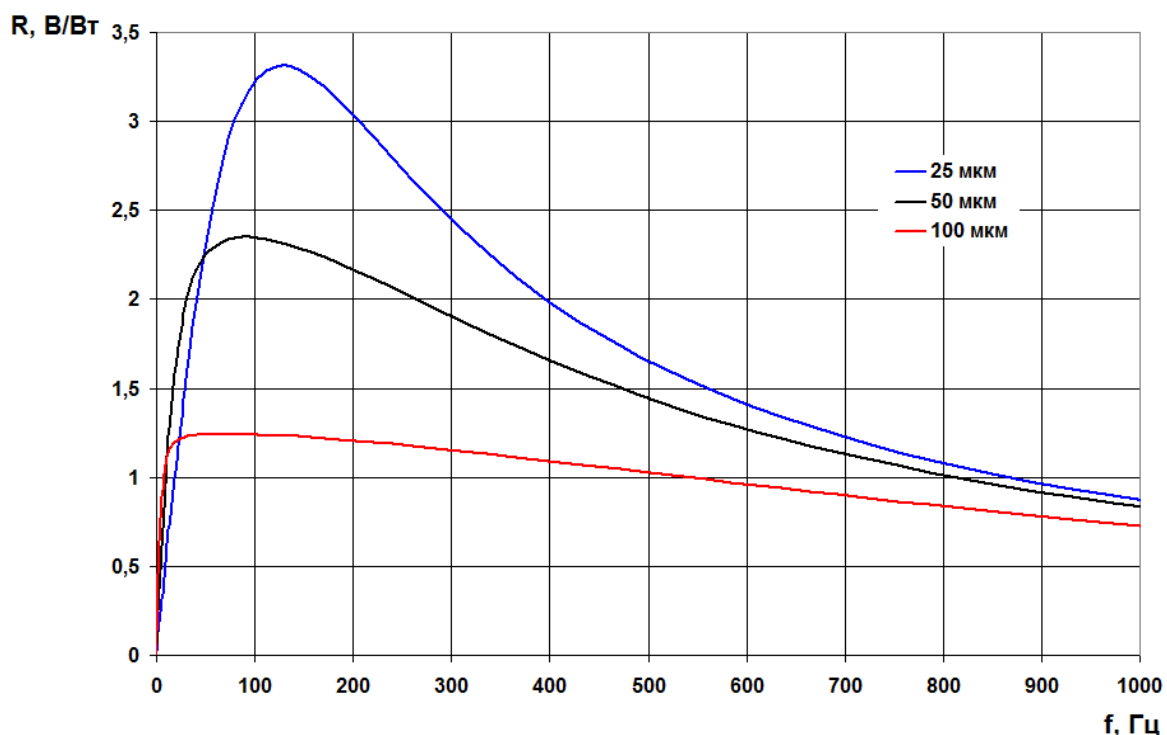


Рисунок 2.9 – Залежність чутливості датчика від частоти модуляції випромінювання при різних товщині шару піроелектрика

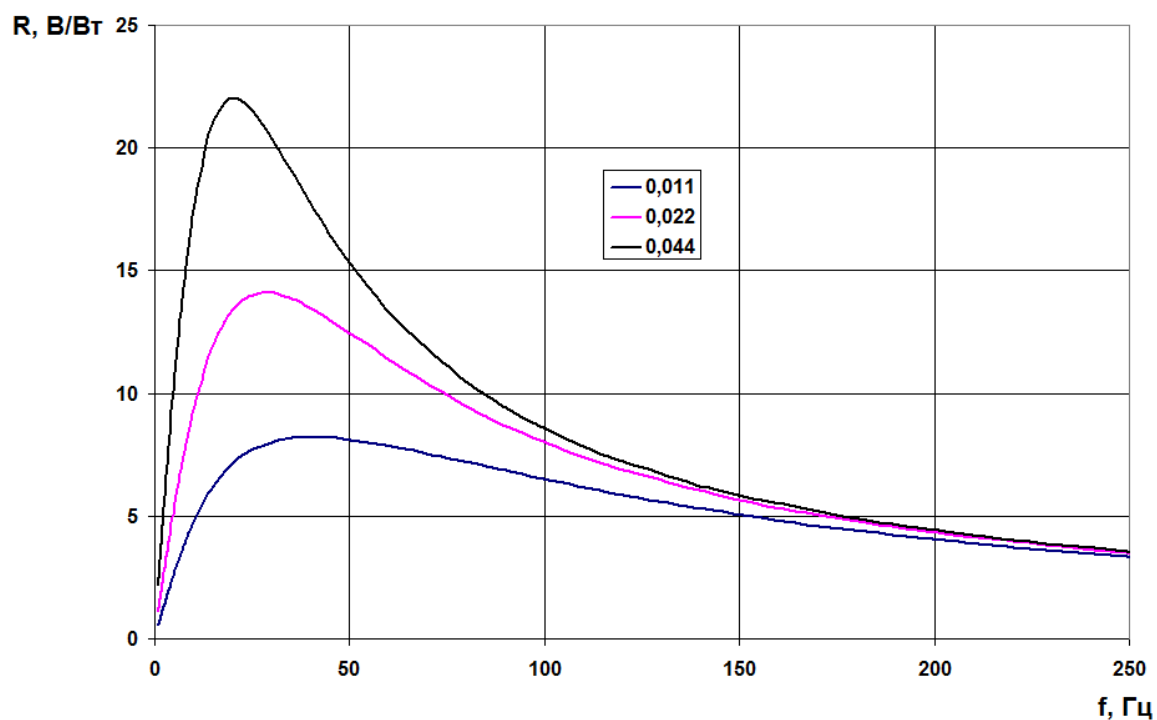


Рисунок 2.10 – Залежність чутливості датчика від частоти модуляції випромінювання при різних значеннях термічної постійної часу

З рис. 2.9 слід, що максимум характеристики  $R(f)$  зрушується у бік нижчих частот при збільшенні товщини шаруючи піроелектрика. При цьому також спостерігається зменшення чутливості з 3,3 В/Вт до 1,2 В/Вт.

Приведені результати (рис. 2.10) показують, що із зростанням значення термічною постійною часу збільшується чутливість датчика. Проте погіршується інший параметр - максимум чутливості зміщується в область нижчих частот.

## 2.5 Моделювання впливу форми імпульсів випромінювання

Для дослідження впливу форми імпульсів випромінювання на чутливість датчика було використано завдання, показане на рис. 2.6.

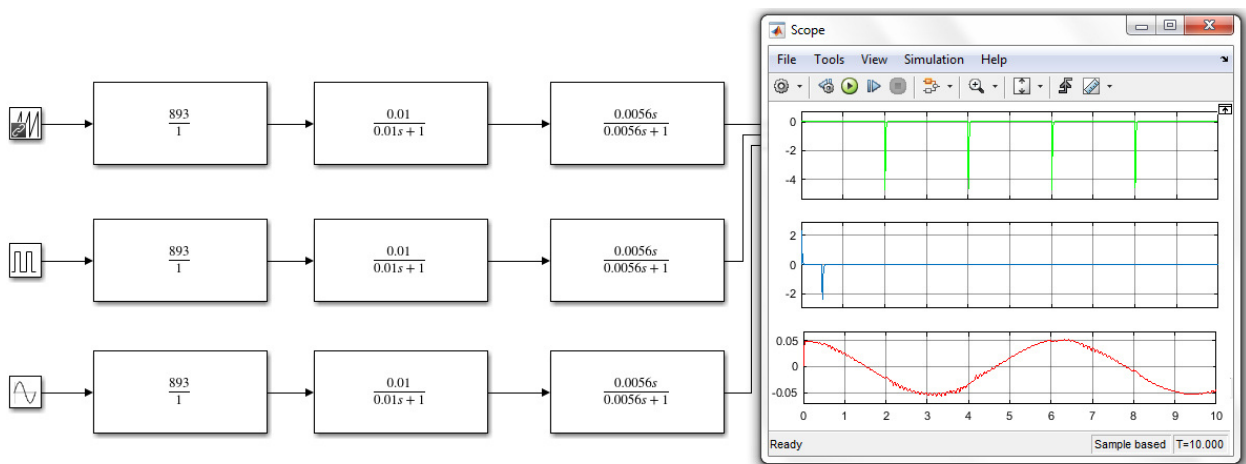


Рисунок 2.11 – Завдання для моделювання впливу форми імпульсів випромінювання на чутливість датчика

Результати моделювання у вигляді епорів напруги на виході датчика показані на рис.2.12-2.14.

З рис. 2.12-2.14 слід, що імпульсна модуляція є раціональнішою на низьких частотах. Із зростанням частоти модуляції спостерігається зростання чутливості для гармонійних сигналів.



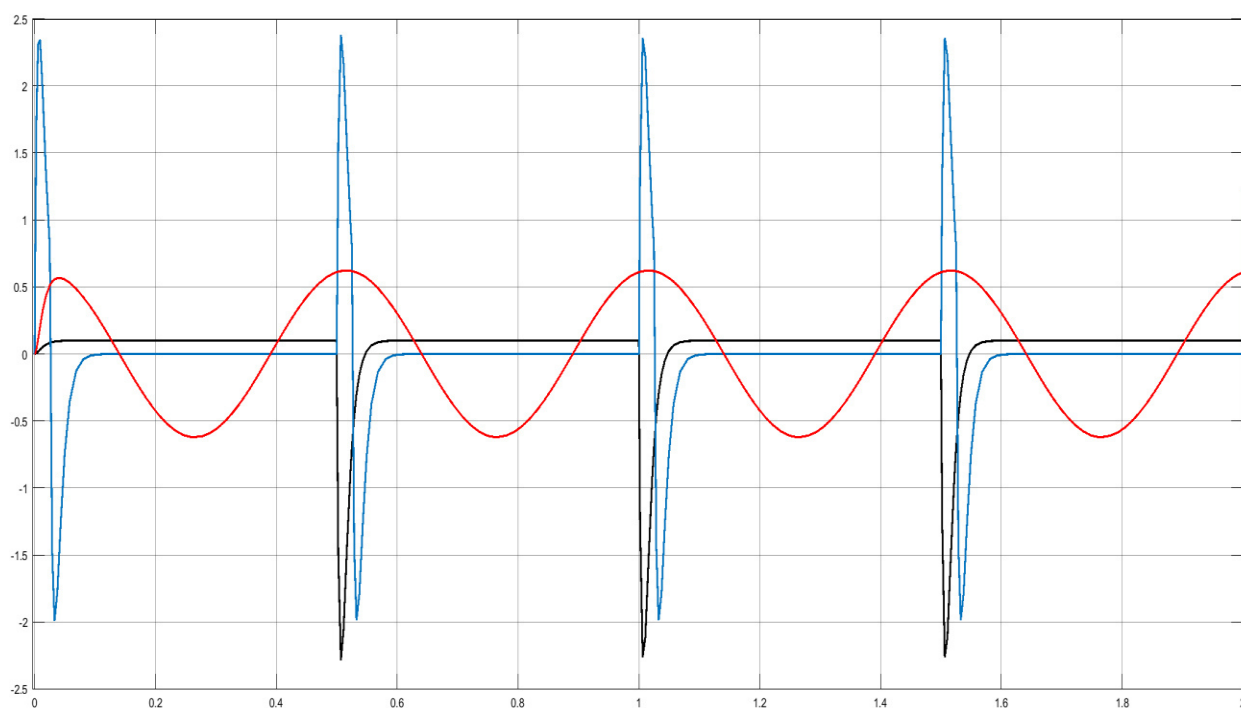


Рисунок 2.12 – Епюри напруги на виході датчика при частоті модуляції випромінювання 2Гц

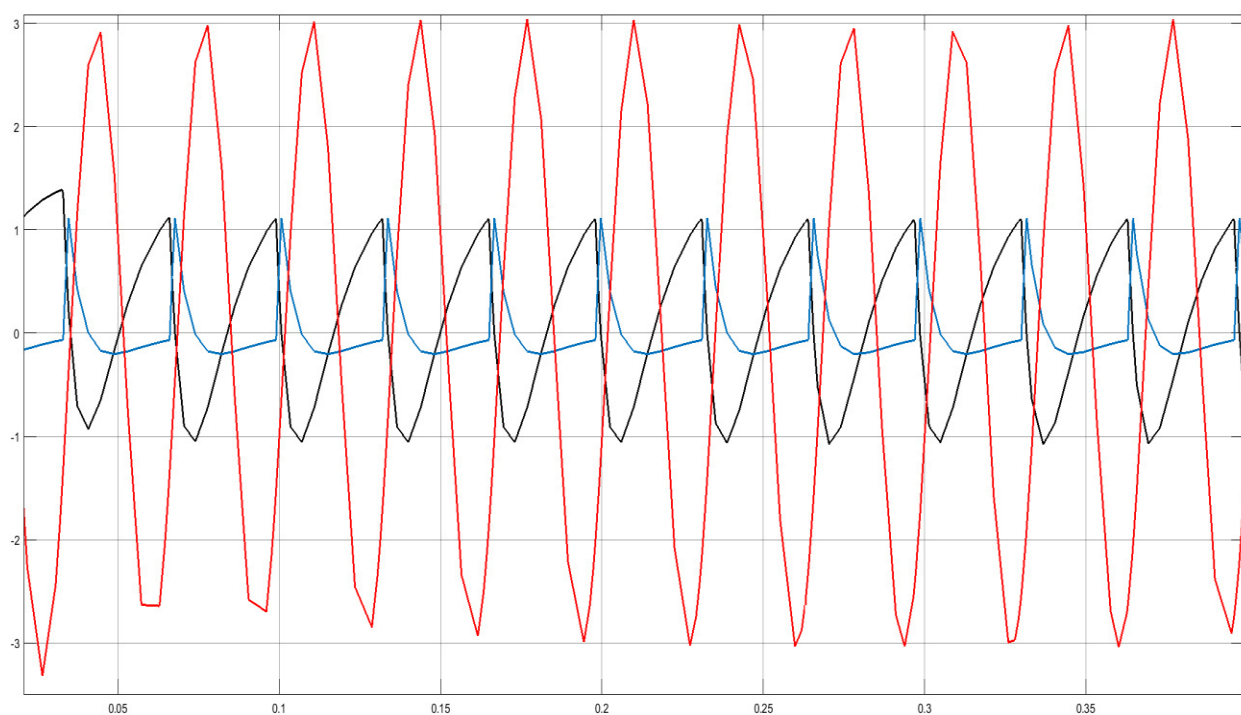


Рисунок 2.13 – Епюри напруги на виході датчика при частоті модуляції випромінювання 30Гц

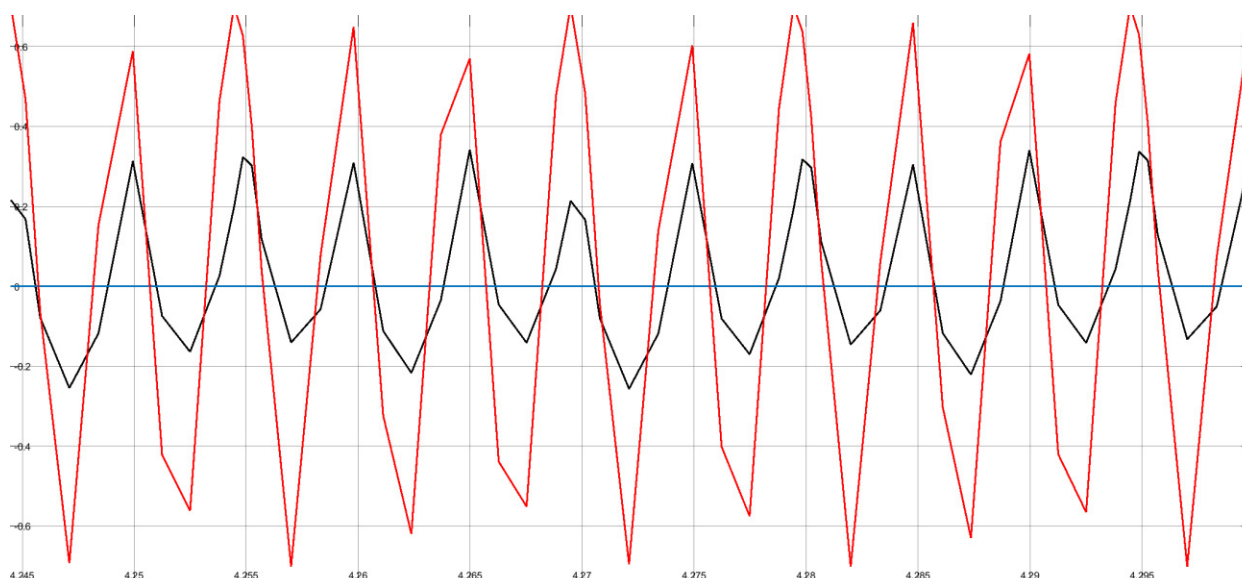


Рисунок 2.14 – Епюри напруги на виході датчика при частоті модуляції випромінювання 200Гц

Т.ч., проведені дослідження показали, що для отримання оптимальної чутливості піроелектричних датчиків необхідно регулювати частоту модуляції реєстрованого випромінювання.

### 3 ПРИСТРІЙ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ДАТЧИКОМ ВИПРОМІНЮВАННЯ

#### 3.1 Структура системи адаптивного керування датчиком випромінювання

Відповідно до функціонування електростатичного модулятора і фізичними основами дії піроелектричних перетворювачів, до складу системи керування датчиком повинні входити генератор, що керується напругою і перетворювач, який підвищує амплітуду імпульсів генератора і подає їх у протифазі на статорні обкладинки. Аналіз сучасних схемних рішень генераторів прямокутних імпульсів керованих напругою показує, що для побудови системи керування можливим є застосування [13]:

- генераторів на основі інтегральних таймерів;
- генераторів на основі мікроконтролерів;
- генераторів на основі інтеграторів.

Генератори на основі таймерів характеризуються простотою, але мають обмежений діапазон регулюючих напруг і відповідної вихідної частоти.

Генератори на основі мікроконтролерів потребують використання зовнішніх переривань для зміни частоти або здійснення широтно-імпульсної модуляції, що як і у випадку таймерних схем здійснює регулювання частоти відносно зміни тривалості імпульсів вихідних сигналів.

Інтегратори генератори у свою чергу мають не виключно прямокутну форму вихідного сигналу, а вигляді лінійно зростаючої напруги.

Таким чином, раціональним уявляється рішення, що поєднує переваги зазначених схем, але зменшую їх недоліки. Тому пропонується створення генератора у вигляді інтегратора, що керується мікроконтролером. Структура такої системи керування наведена на рис. 3.1.

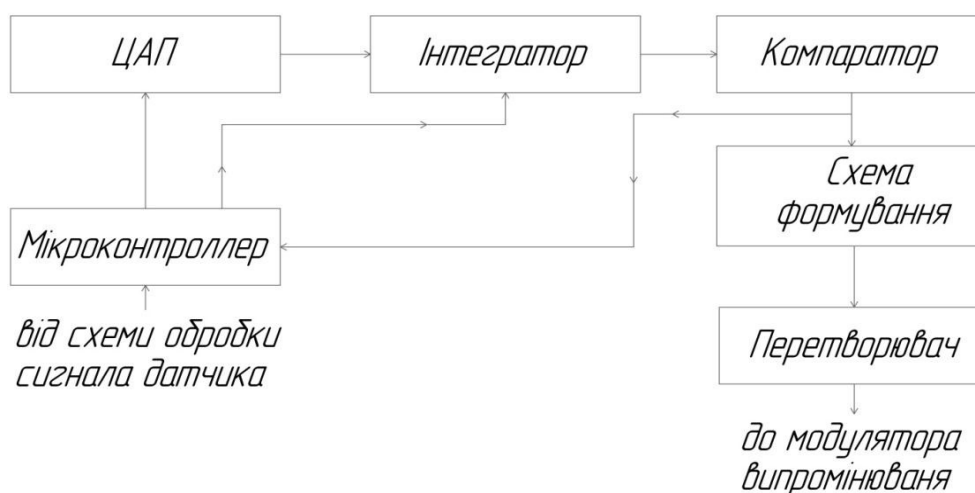


Рисунок 3.1 – Структура системи адаптивного керування датчиком випромінювання випромінювання

Запропонована схема при відповідній програмній реалізації здатна, окрім безперервної генерації сигналу з керованою частотою, за зовнішнім синхроімпульсом створювати послідовність імпульсів для вимірювання у стані чекання.

### 3.2 Схема електрична принципова пристрою адаптивного керування

Відповідно до структури системи керування було розроблено схему електричну принципову генератора на основі інтегратора і мікроконтролера АТМega 8 [14], що наведена на рис. 3.2.

Генератор зібрано на основі операційного підсилювача DA1, у якому конденсатор С1 періодично розряджається. Мікроконтролер встановлює частоту скидання конденсатору і таким чином і частоту лінійно зростаючої напруги на виході компаратора DA2.

Якщо реалізувати схему виключно на основі компаратора, то імпульси розрядження конденсатора подаються зі зовнішнього генератора подаються на затвор транзистора VT1.

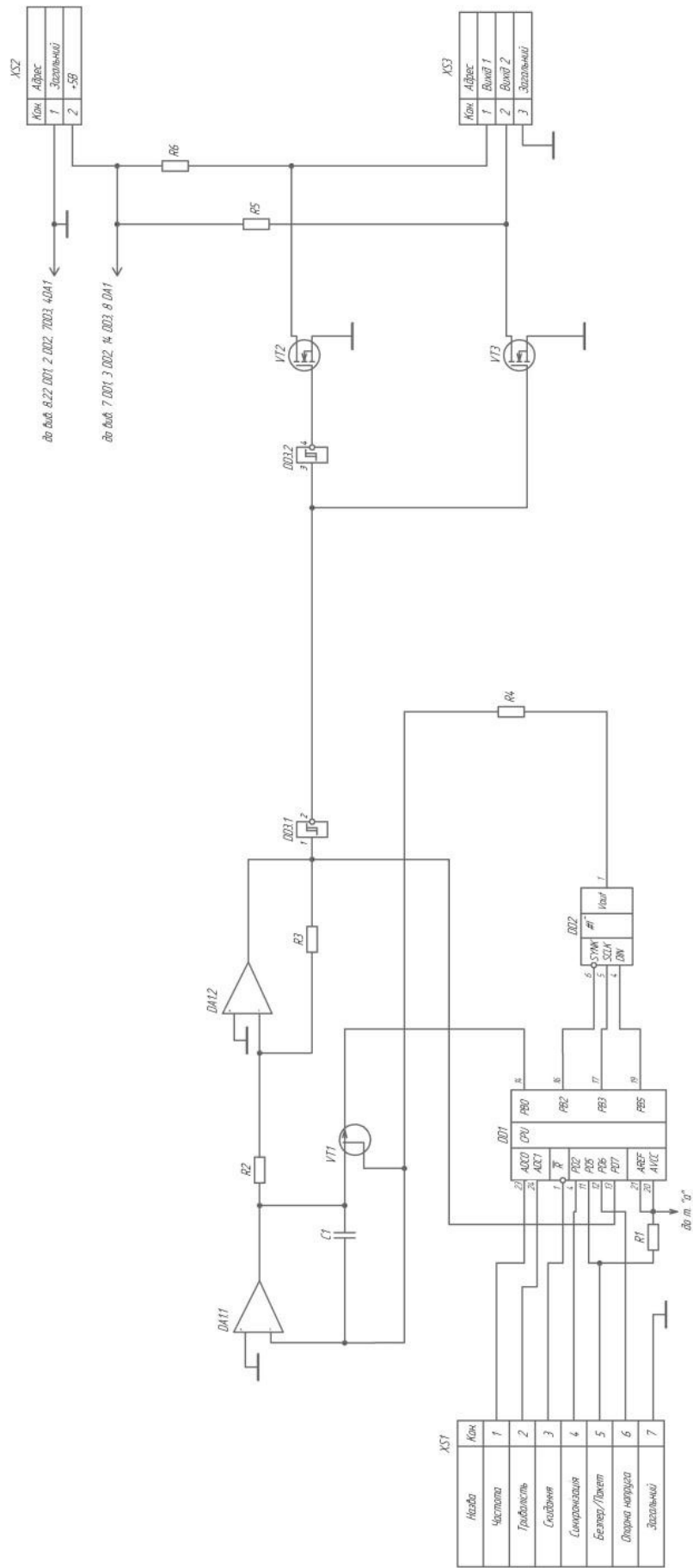


Рисунок 3.2 – Схема генератора

При зміні частоти чередування імпульсів відбувається також і зміна вихідної напруги. Тому за допомогою мікроконтролера також вимірюється амплітуда цієї напруги і виконується її підстроювання. Таким чином, для того, що би на виході компаратора значення амплітуди імпульсів не змінювалось необхідно виконувати її регулювання за допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП) мікроконтролера. Аналоговий компаратор DA2 порівнює вихідну напругу інтегратора з опорною напругою і формує імпульси з відповідною амплітудою.

За допомогою АЦП вимірюється значення напруги на його вході і в залежності від її значення формується частота вихідного сигналу генератора. Це виконується шляхом узгодження вихідного порту PB мікроконтролера з цифро-аналогічним перетворювачем (ЦАП) DD2 за послідовним периферійним інтерфейсом SPI [15].

AD5310 - мікросхема, що містить один ЦАП, що забезпечує формування вихідної напруги 10-розрядних двійковим кодом, який живиться однопольною напругою від +2.5 В до +5.4 В і споживає струм 115 мкА при 3В живленні. Вбудований прецизійний підсилювач ЦАП забезпечує високу точність відтворення вихідної напруги незалежно від швидкості його зміни. У AD5310 вбудований 3-провідний послідовний інтерфейс, який працює на частоті до 30МГц і сумісний зі стандартними інтерфейсами SPI, QSPI, MICROWIRE і DSP.

У якості опорної напруги для роботи ЦАП використовується напруга живлення мікросхеми, що забезпечує найбільший діапазон зміни вихідного напруги. До складу AD5310 входить також схема скидання при подачі живлення, яка забезпечує установку нульової вихідної напруги з моменту подачі живлення до виконання першої операції запису в регістр ЦАП. Для цих пристроїв реалізовано механізм переведення в режим зниженого енергоспоживання, в якому струм споживання знижується до 200 нА при 5В живлення, при цьому є можливість програмувати підключення до виходу резистора і його номінал. Переведення в режим зниженого енергоспоживання

здійснюється програмним способом через послідовний інтерфейс. Т.ч., ЦАП використовується для підстроювання напруги на вході інтегратора.

### 3.3 Синтез програмного коду керування мікроконтролером генератора

З метою синтезу програмного коду керування мікроконтролером генератора, було розроблено алгоритм програмного забезпечення, блок-схема якого наведена на рис. 3.3.

На початку програми керування мікроконтролером генератора необхідно виконати ініціалізацію підпрограм введення – виведення, формування затримки і переривань, зовнішніх виводів, задати опис внутрішніх змінних. Потім здійснюється запис нульових значень до лічильників внутрішніх генераторів і таймерів. При виконанні аналогово-цифрового перетворення встановлюються відповідні затримки для отримання стабільних значень цифрового коду, для передачі якого до ЦАП ініціюється інтерфейс SPI зі встановленням старшого та молодшого розряду двійкового представлення.

При включенні генератора вхідна напруга інтегратора дорівнює нулю, а слід – і на виході компаратора діє напруга менш ніж опорна. Це значення перетворюється АЦП, порівнюється з пороговим значенням і так як результат порівняння є недостатнім для формування скидання, то через SPI на ЦАП подається двійковий код для збільшення напруги інтегратора. У дискретному вигляді напруга живлення поділяється на 256 частин. Тому необхідно виконувати циклічне збільшення напруги ЦАП на одиницю кожен раз, коли значення на вході АЦП менш ніж зразковий код. Умовою переривання циклу є досягнення напругою подвійного значення амплітуди сигналу на вході компаратора. Умовою здійснення безперервної генерації є утримання схемою зовнішнього керування входу PD5 у стані логічного нуля.

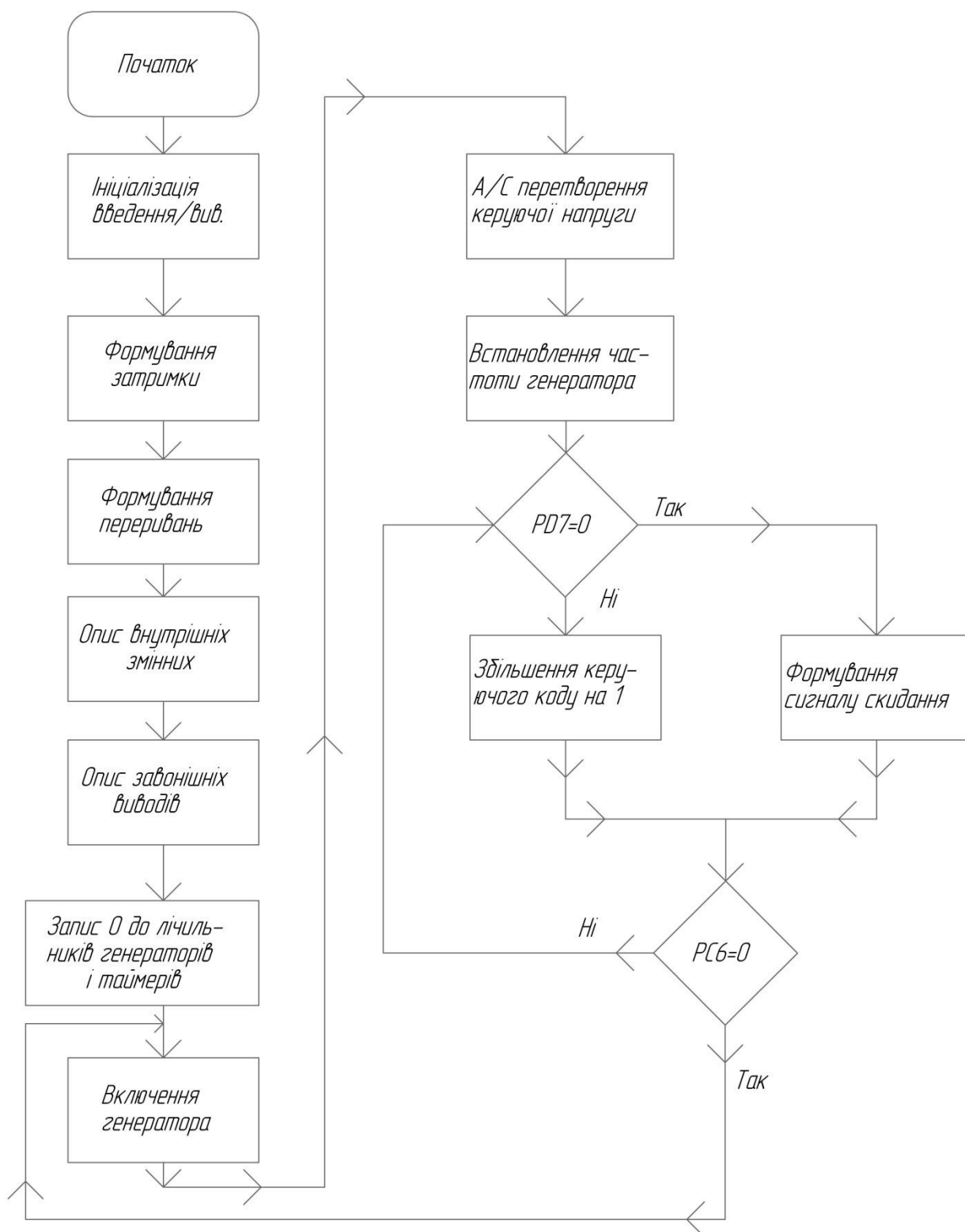


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритму керування мікроконтролером генератора

В протилежному випадку активується режим генерації заданої послідовності імпульсів.



Якщо напруга на вході АЦП раптово перевищить опорну напругу, то надається інструкція зі зменшення напруги ЦАП.

Для зміни частоти вихідних імпульсів регулюється напруга на вході ADC0 АЦП, сигнал на який надходить від схеми обробки датчика. Таким же чином, але за допомогою напруги на вході ADC1 АЦП, встановлюється кількість імпульсів у режимі генерації послідовності.

Відповідно до розробленої блок-схеми було синтезовано на мові С програмний код керування мікроконтролером, який наведено у Додатку Б. Для запису у ПЗП контролера код було скопільовано у HEX – файл з розміром 1,49 КБ.

### 3.4 Моделювання аналогової частини системи керування

З метою перевірки працездатності аналогової частини розробленої системи керування, було виконано її моделювання у середовищі MultiSim 12.0 [16]. Завдання для моделювання наведено на рис. 3.4 і містить інтегратор і компаратор, що виконано на бібліотечних моделях TL082CD.

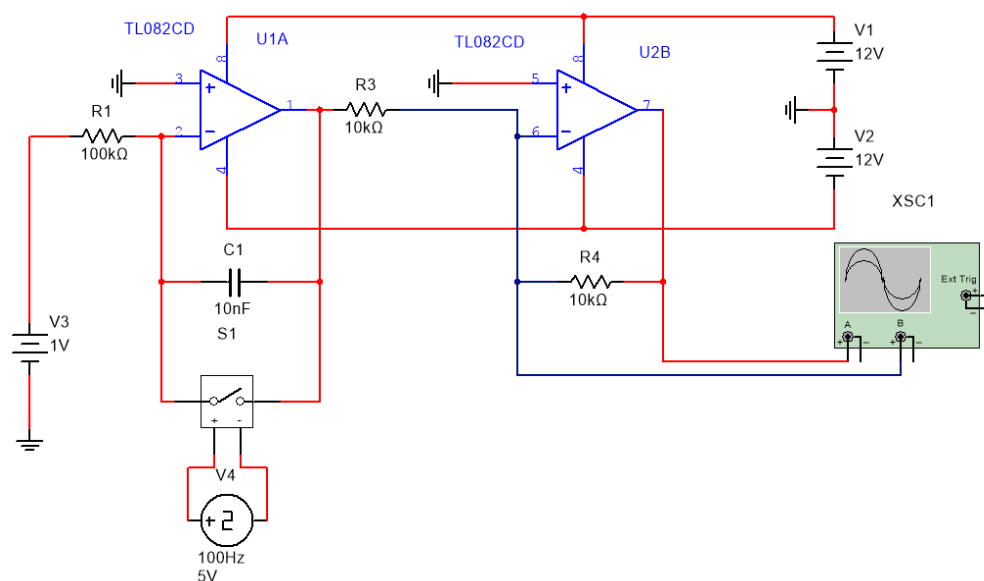


Рисунок 3.4 – Завдання для моделювання аналогової частини системи керування

При моделюванні було прийнято наступні допущення:

- вхідний сигнал інтегратора моделювався джерелом постійної напруги V3;
- замість транзистора VT1 у завданні було використано комутатор, що керується джерелом прямокутних імпульсів V4;
- вихідний сигнал інтегратора і компаратора спостерігався за допомогою віртуального осцилографа.

Результати моделювання наведені на рис. 3.5.

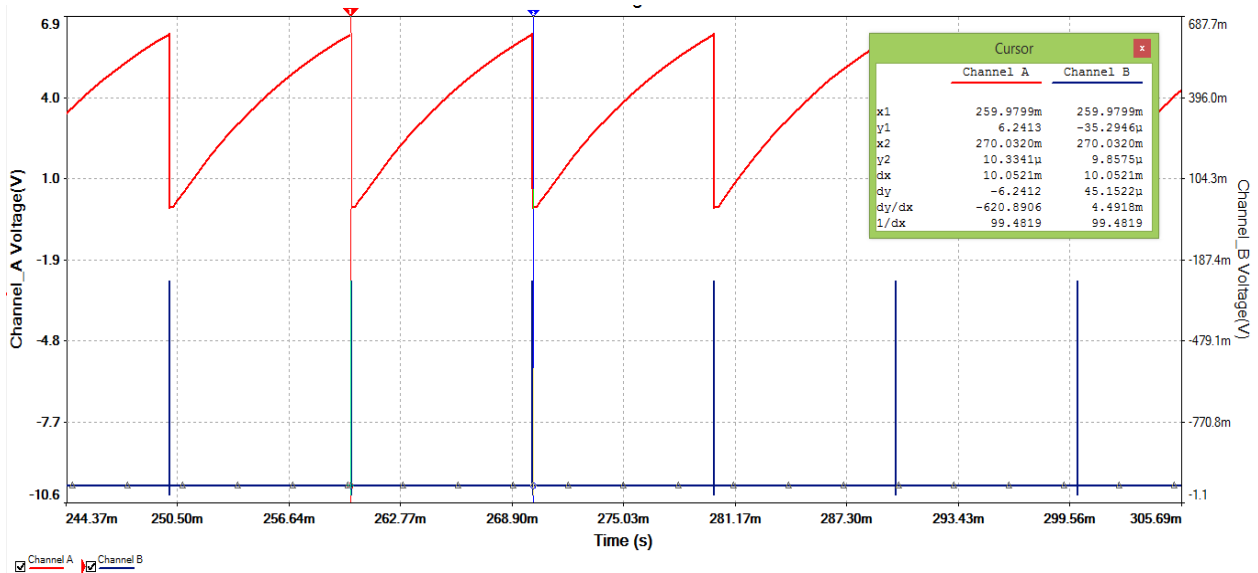


Рисунок 3.5 – Епюри напруги на виходах інтегратора і компаратора

Як слід з отриманих результатів, на виході компаратора діє лінійно зростаюча напруга, зменшується до нульового рівня при надходженні на інтегратор керуючого імпульсу від цифрової частини. При цьому тривалість (частота) вихідних імпульсів становить 100 Гц і залежить від періоду повторення імпульсів керування. Це пояснюється тим, що керуючий імпульс призводить до шунтування конденсатора C1 у ланці зворотного зв'язку інтегратора, здійснюючи, таким чином його розрядження. При зміні частоти керуючих імпульсів також виконується зміна амплітуди вихідної напруги. Тому, з метою стабілізації амплітуди вихідної напруги, необхідно пропорційно

змінювати напругу на вході інтегратора. З цією метою у розробленій схемі раціонально застосування компаратора і зовнішнього цифрового керування.

### 3.5 Моделювання роботи мікроконтролера та відладка програмного забезпечення

З метою відлагодження роботи програмованої частини розробленої системи керування було здійснено моделювання схеми електричної принципової у середовищі Proteus [17]. Завдання для моделювання наведено на рис. 3.6.

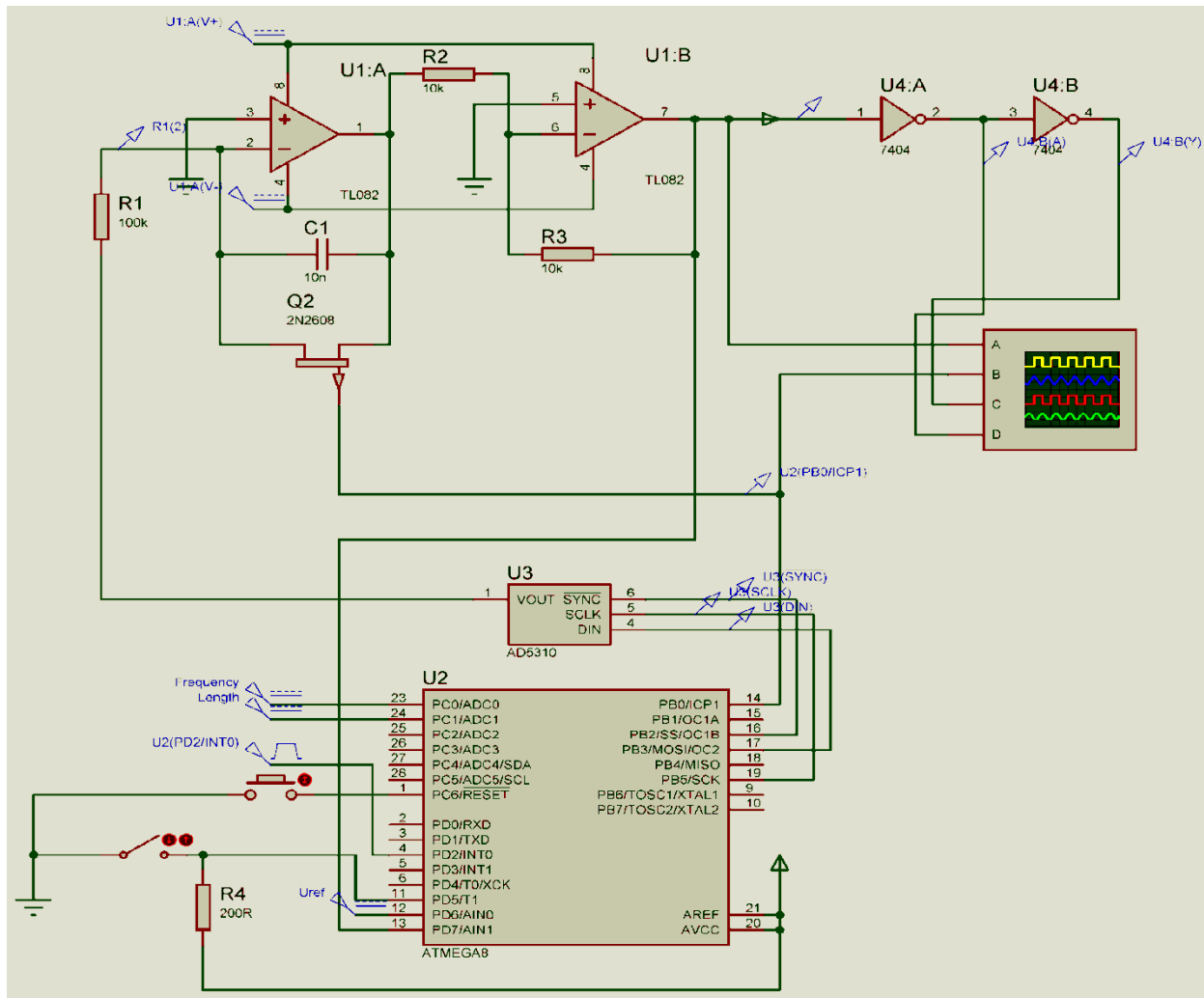


Рисунок 3.6 – Завдання для моделювання системи у середовищі Proteus

У наведеному завданні використовувалась програмна модель мікроконтролера ATМega 8, до якої підключався розроблений програмний код, що був зкомпільований у hex-файл за допомогою середовища розробки AVR Studio. До виходу генератора, контролера і компаратора підключено віртуальний осцилограф, епюри сигналів на екрані якого наведені на рис. 3.7.

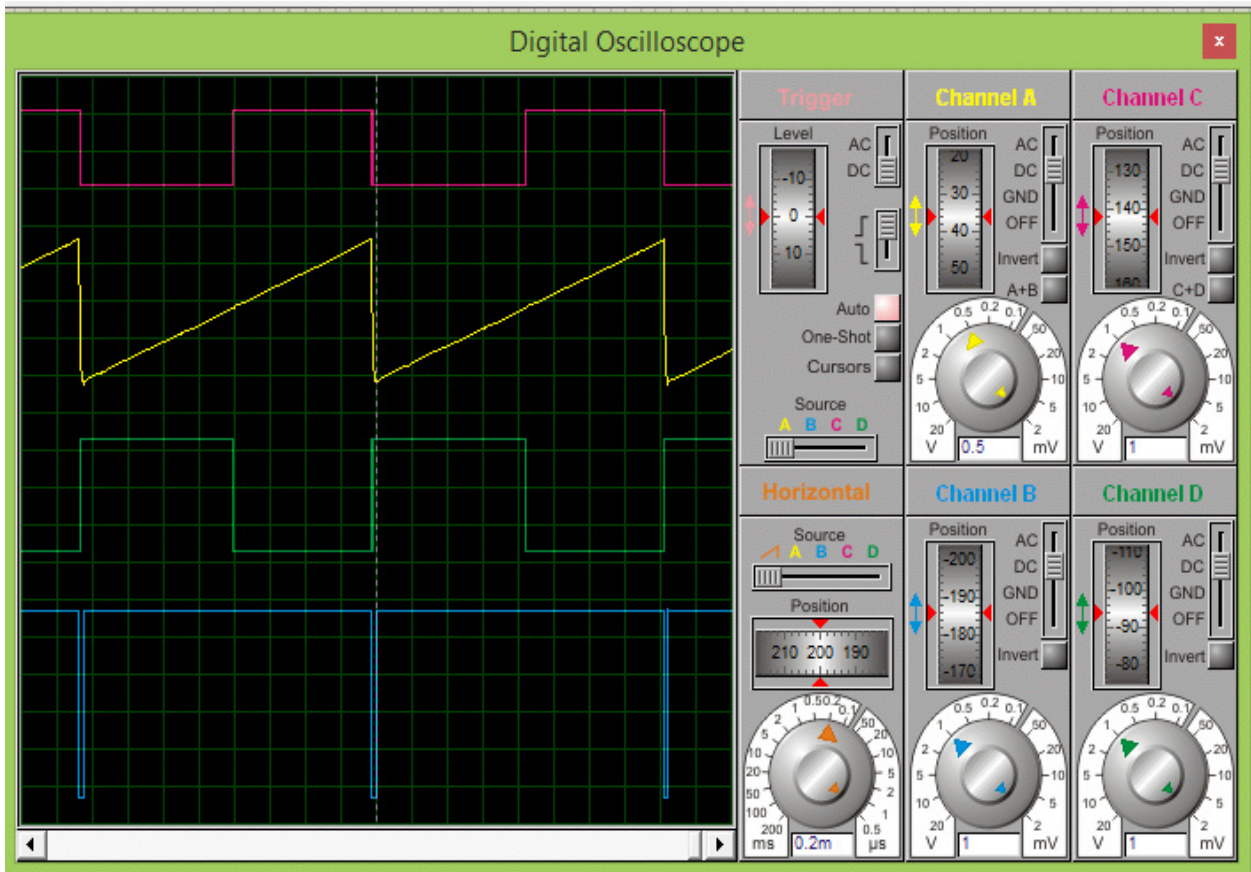


Рисунок 3.7 – Епюри сигналів цифрового осцилографа

Наведені результати підтверджують працездатність розробленої схеми та програмного коду. З метою отримання більш докладнішої інформації використовувався сумісний аналогово-цифровий аналіз у часовій області Spice симулятора. Таким чином було одержано епюри сигналів, що діють на виходах генератора, мікроконтролера, входах ЦАП і інтегратора (рис. 3.8).

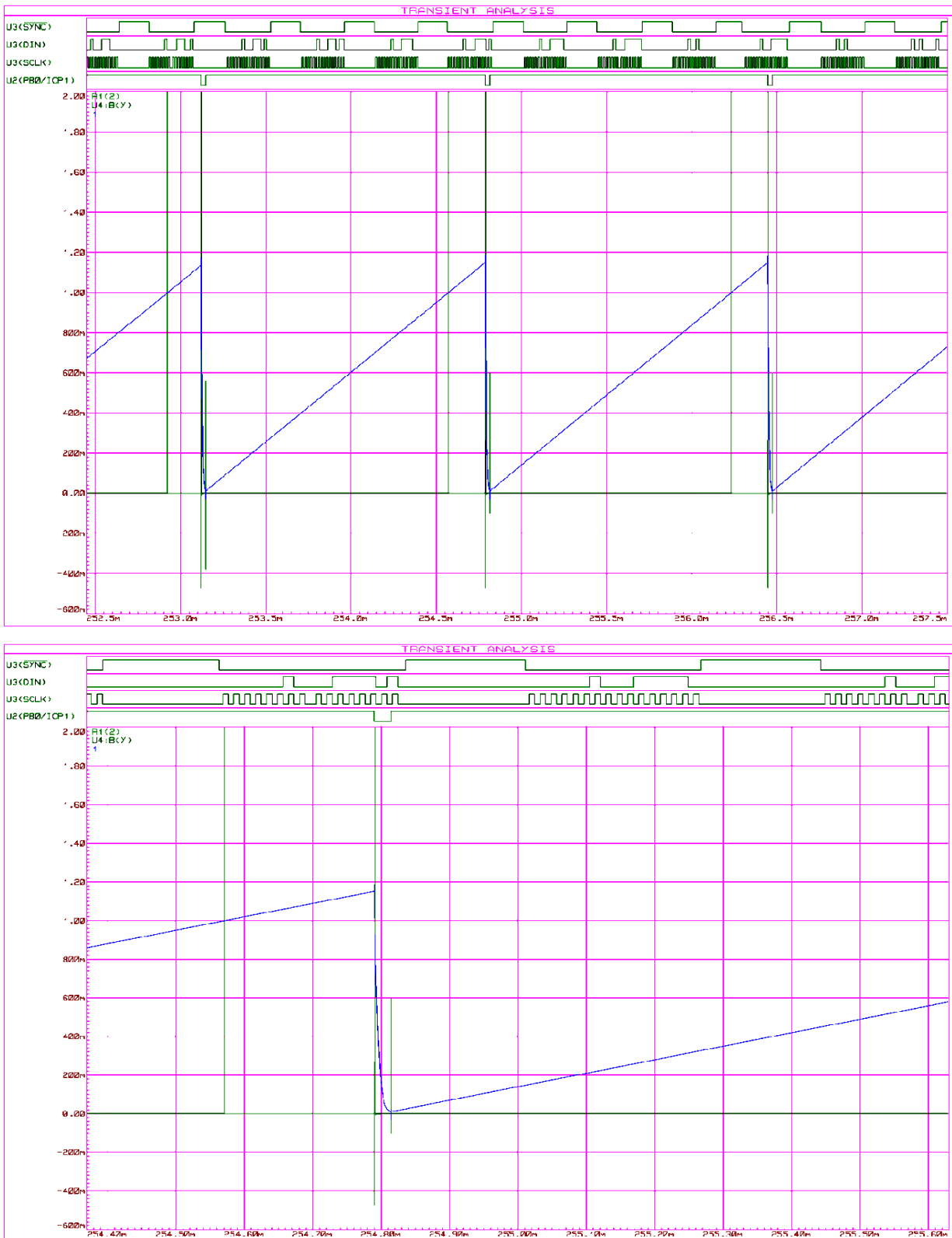


Рисунок 3.8 – Епюри сигналів генератора в режимі змішаного аналізу

При активному рівні сигналу SYNC (логічний нуль) вхідне слово тривалістю 16 біт завантажується по лінії DIN до регістру зсуву ЦАП під керу-

ванням тактової послідовності SCLK. Після закінчення завантаження воно перезаписується у регістр зберігання, виходи якого безпосередньо керують ключами матриці прецензійних резисторів ЦАП. Данні передаються старшим байтом у началі послідовності[18].

## 4 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРИСТРОЮ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ДАТЧИКОМ ВИПРОМІНЮВАННЯ

### 4.1 Розробка друкованої плати пристрою адаптивного керування датчиком випромінювання

Друкована плата розроблялась у програмному комплексі Dip trace[21]. Dip trace – розповсюджений за ліцензією GNU GPL програмний комплекс класу EDA з відкритим вихідним кодом, призначений для розробки електричних схем і друкованих плат.

Кросплатформеність компонентів Dip trace забезпечується використанням бібліотеки wxWidgets. Підтримуються операційні системи Linux, Windows NT 5.x, FreeBSD і Solaris.

Програми що входять до програмного комплексу:

- Dip trace — менеджер проектів
  - Schematic Capture — редактор електричних схем з вбудованим редактором символів (бібліотечних компонентів)
  - PCB Layout — редактор друкованих плат з вбудованим редактором футпринтів (бібліотечних компонентів) та 3D-переглядач друкованих плат на базі OpenGL(частина pcbnew)
  - Gerbview — переглядач файлів Gerber (фото-шаблонів)
  - Cypcb — програма для вибору футпринтів відповідних компонентів на схемі
  - Wyoeditor — текстовий редактор для перегляду звітів
- Schematic Capture забезпечує:
- створення однолистових та ієрархічних схем,
  - перевірку їх коректності ERC (контроль електричних правил)
  - перевірку їх коректності ERC (контроль електричних правил)
  - створення netlist для pcbnew або Spice

- доступ до технічної документації що використовуються у електричній схемі

Pcb Layout забезпечує:

- розробку плат, що містять від 1 до 16 шарів міді і до 12 технічних шарів (Шовкографія, паяльна маска, тощо)

- генерацію технологічних файлів для виготовлення друкованих плат (Gerber-файли для фото-плотерів, файли свердловок та файли розміщення компонентів)

- друк шарів у форматі PostScript

Gerbview дозволяє переглядати Gerber-файли.

Для цього було спроектовано двосторонню друковану плату (рис. 4.1 – 4.2), котра виготовляється з склотекстоліту FR-4.

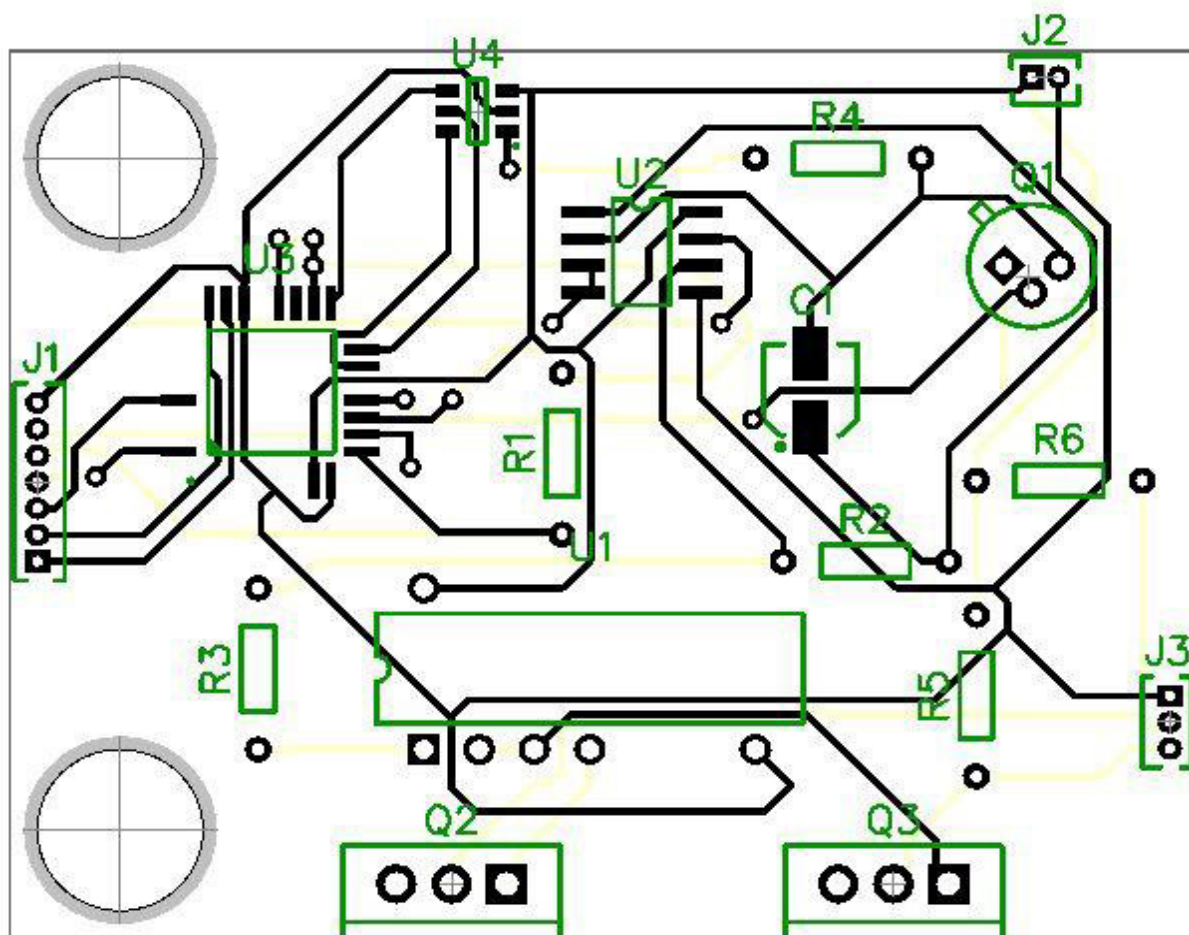


Рисунок 4.1–Трасування друкованої плати з переднього боку



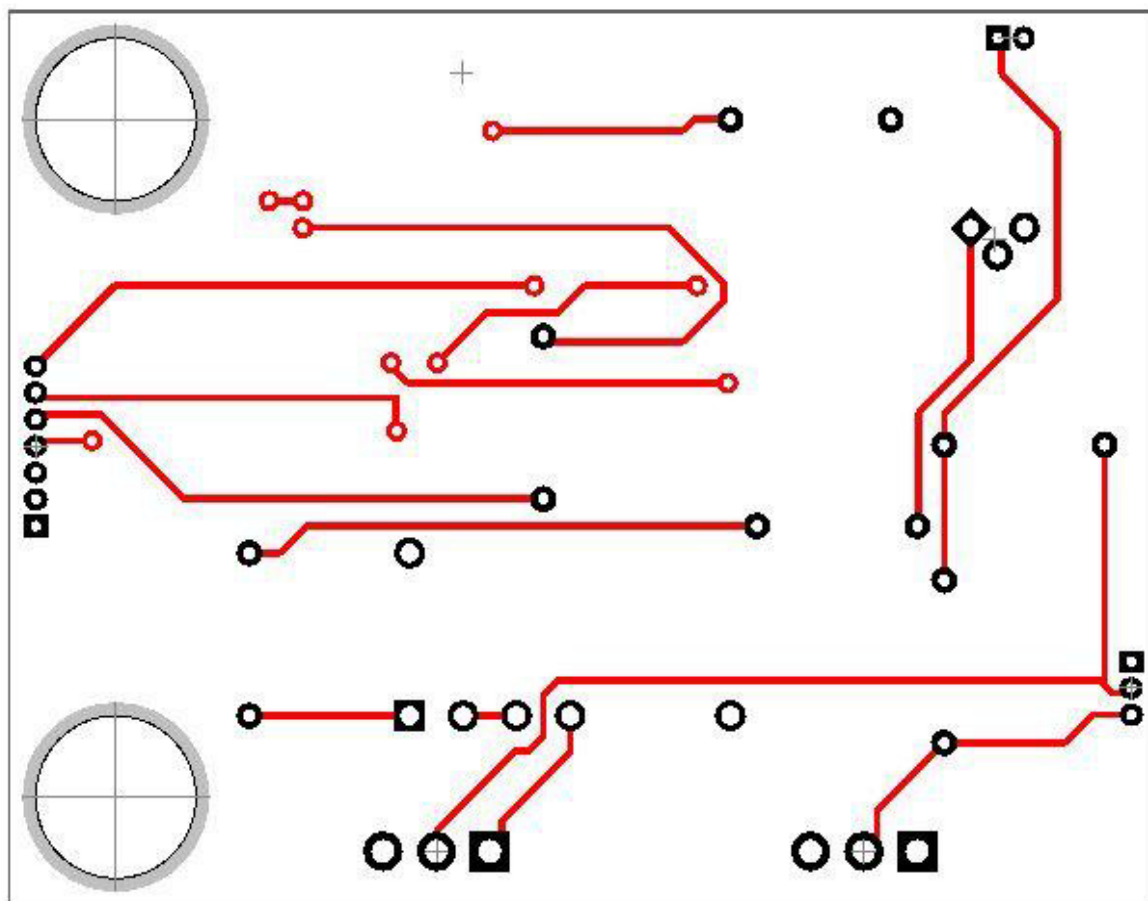


Рисунок 4.2 –Трасування друкованої плати з нижнього боку

Габарити друкованої плати становлять довжина 16,50 мм, ширина 20,05 мм, висота 2 мм.

Мінімальна товщина провідників на друкованій платі становить 0,4мм, максимальна 1мм. Зазор між провідниками дорівнює 0,2мм, розмір перехідних отворів 0,8мм з діаметром свердла 0,4мм.

#### 4.2 Технологічні аспекти виготовлення друкованої плати

Друкована плата виготовляється субстративним методом. Малюнок провідників здійснюється травленням мідної фольги з нанесеним захисним зображенням на фоторезисті або металлорезисті.

Негативний процес з використанням сухого плівкового фоторезиста (СПФ) зображено на рис. 4.3. Процес досить простий, застосовується при ви-

готовленні односторонніх і двосторонніх друкованих плат. Заготівка фольгований діелектрик.

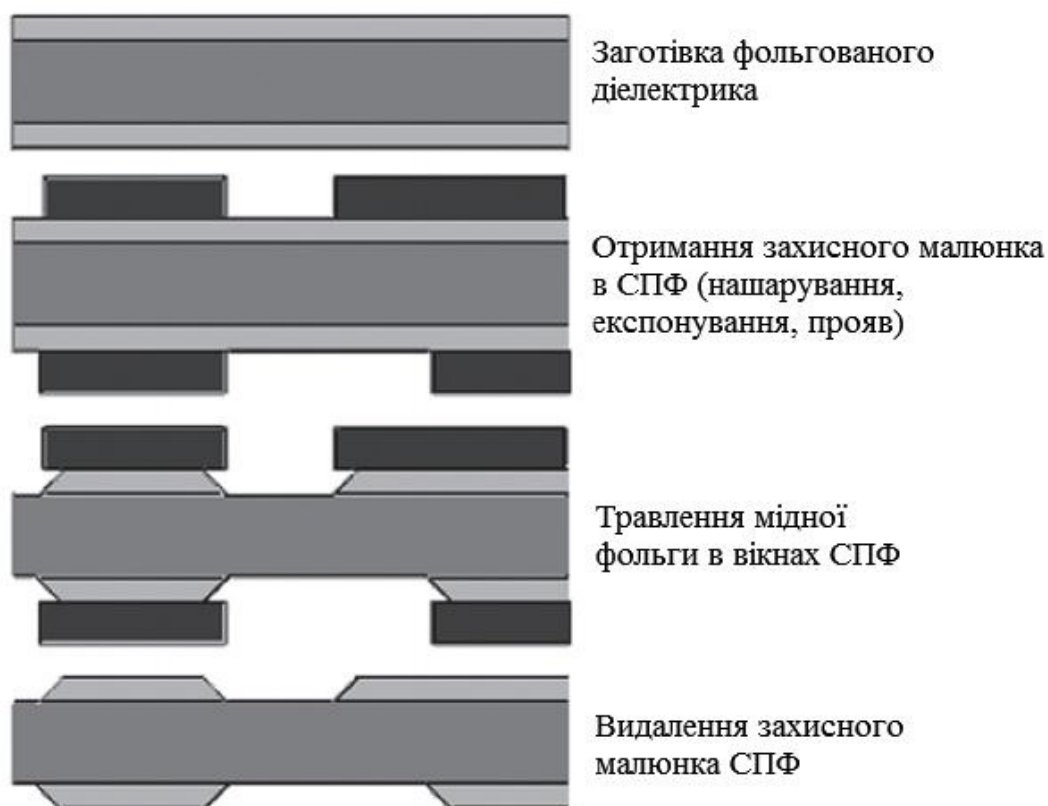


Рисунок 4.3 – Негативний процес з використанням сухого плівкового фоторезиста

Методами фотолітографії за допомогою сухого плівкового фоторезиста на поверхні фольги формується захисна маска, що представляє собою зображення (малюнок) провідників. Потім відкриті ділянки мідної фольги піддаються травленню, після чого фоторезист видаляється.

Після виготовлення плати на неї встановлюються елементи. Якщо використанні SMD компоненти їх встановлюють у першу чергу. Припаювання SMD компонентів відбувається за допомогою термоповітряного фену. Потім встановлюються планарні електронні компоненти, їх припаювання відбувається паяльником.

Змодельований вигляд пристрою адаптивного керування датчиком випромінювання зображено рис.4.4.

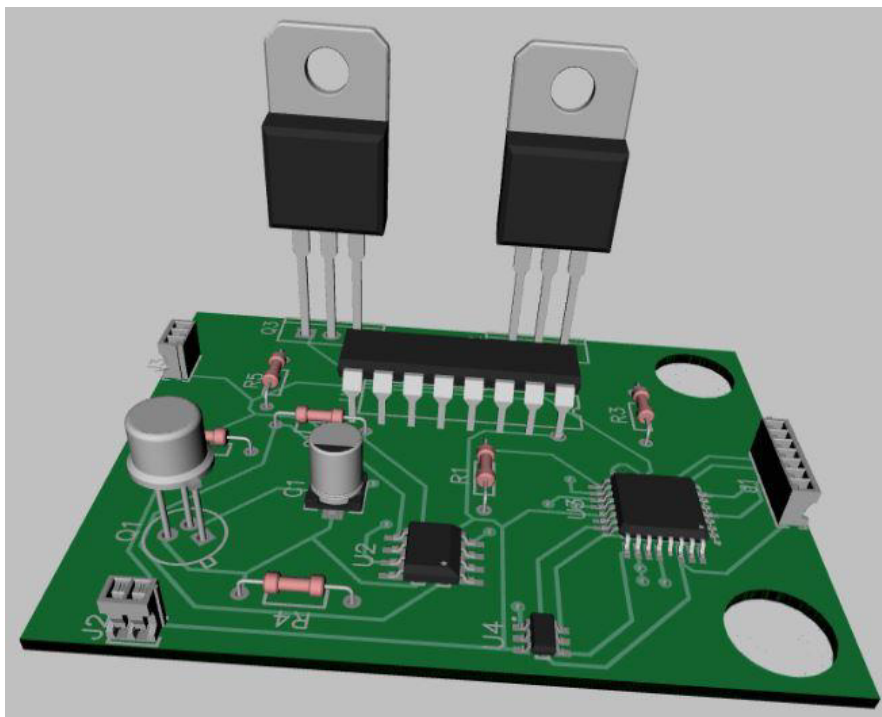


Рисунок 4.4 – Пристрій адаптивного керування датчиком випромінювання

Остаточні габаритні розміри пристрою адаптивного керування датчиком випромінювання становлять: довжина 16,50 мм, ширина 20,05 мм, висота 2 мм.

### 4.3 Обрання конструкції модулятора випромінювання датчика

#### 4.3.1 Гребінчасті мікродвигуни

Найвищим досягненням в класі двигунів з конфігурацією робочої поверхні у вигляді гребінок є поки додаток сили близько 25 мкН. У більшості ж практичних випадків потрібні значення вказаної величини на рівні одиниць Ньютона. Описаний вище підхід до збільшення коефіцієнта передачі шляхом каскадного з'єднання для таких двигунів мало прийнятний, оскільки при цьому значно збільшуються їх лінійні розміри. Для вирішення даної проблеми застосовано технічне рішення, аналогічне використовуваному в коробці передач автомобіля [20].

Швидкість переміщення гребінки безпосередньо пов'язана з електростатичними характеристиками мікродвигунів, для яких швидкість обертання більше  $250 \text{ хв}^{-1}$  звичайна. При коефіцієнті передачі редуктора-перетворювача 10:1 ефективна швидкість може бути знижена до  $25 \text{ хв}^{-1}$ . Ще одне такий пристрій може понизити частоту обертання до  $2,5 \text{ с}^{-1}$ , що є типовою частотою обертання в механіці (наприклад, для роботи двигуна автомобіля на неодруженому ході).

Пристрій виконаний на основі тришарової кремнієвої структури і використовує два основні елементи – гребінчасту лінійку і виконавчий механізм, сполучений з мікродвигуном (рис. 4.5). Конструкція управляється мікродвигуном із зубчиками, лінійний розмір яких менше діаметру людського волоса, а кут тиску складає  $20^\circ$  (рис. 4.6) [21].

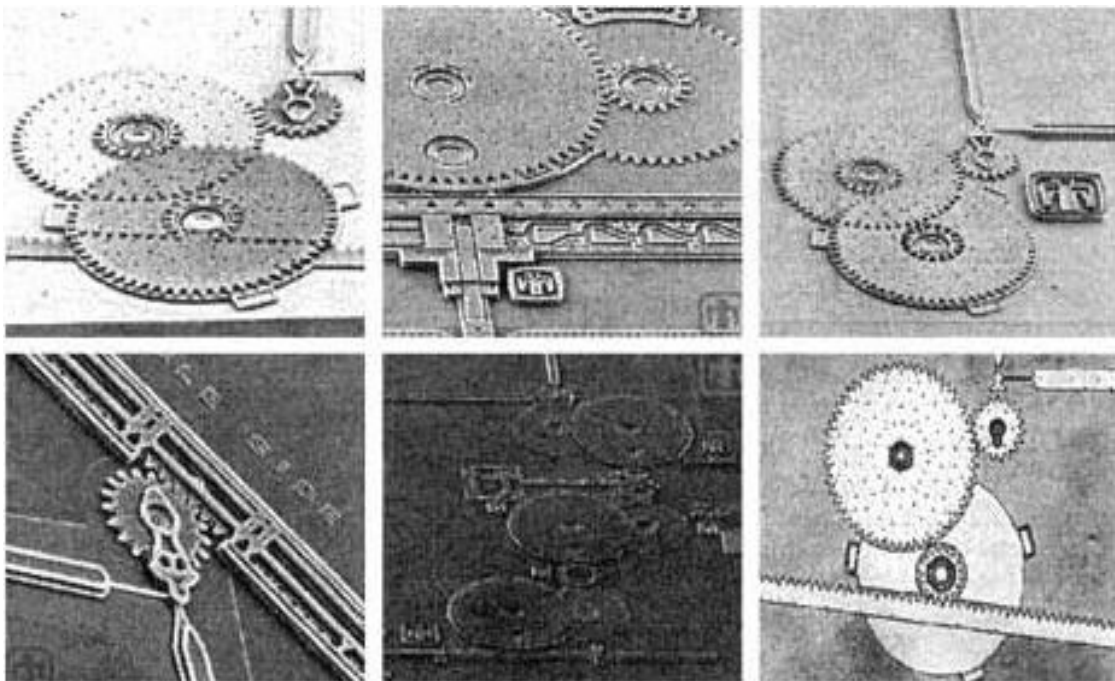


Рисунок 4.5 - Типові конструкції механізмів гребінчастих мікродвигунів МЕМС і пристрої на їх основі

Області елементів повинні мати високу площинну поверхні для забезпечення подальшого виготовлення механізмів верхнього рівня. Типова товщина робочих кремнієвих шарів конструкції складає 4 мкм.

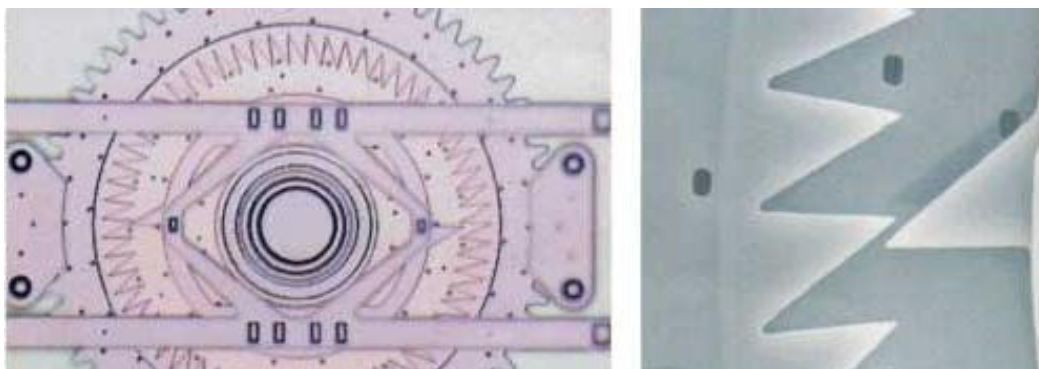


Рисунок 4.6 - Конструкції зубчатих елементів гребінчастих мікродвигунів  
MEMS

#### 4.3.2 Зубчаті мікродвигуни

До складу бібліотеки стандартних елементів кремнієвих MEMS включений також зубчатий мікродвигун, що забезпечує прецизійні повороти (обертання) елементів пристроїв на задані значення (кути, хвилини, секунди). Такі пристрої використовуються в системах типу “захоплення”, “засувка”, “лічильник”, “кроковий шукач”, “одометр” (пристрій для визначення пройденої відстані) і так далі

Мікродвигун призначений для контролю точності обертання (переміщення) механічних елементів MEMS і забезпечує частоту обертання від 1 до більше 200 переміщень “зуба” в секунду (1 крок в 5 мс), що визначається розміром “зуба” (рис. 4.7). Управляється мікродвигун імпульсами. Очевидно, що чим більше діаметр елемента мікродвигуна, що обертається, тим більше число дрібних “зубів” на нім може бути розміщене і тим вище точність вироблених і контрольованих переміщень елементів і пристроїв MEMS [22].



а – загальний вид;

б – збільшений вид зубців

Рисунок 4.7 - Конструкція зубчатого мікродвигуна MEMС

Технічна концепція побудови такого мікродвигуна може бути покладена в основу дії і інших конфігурацій пристроїв MEMС, наприклад, переміщуючих (що зрушують) лінійок (рис. 4.8) [22].

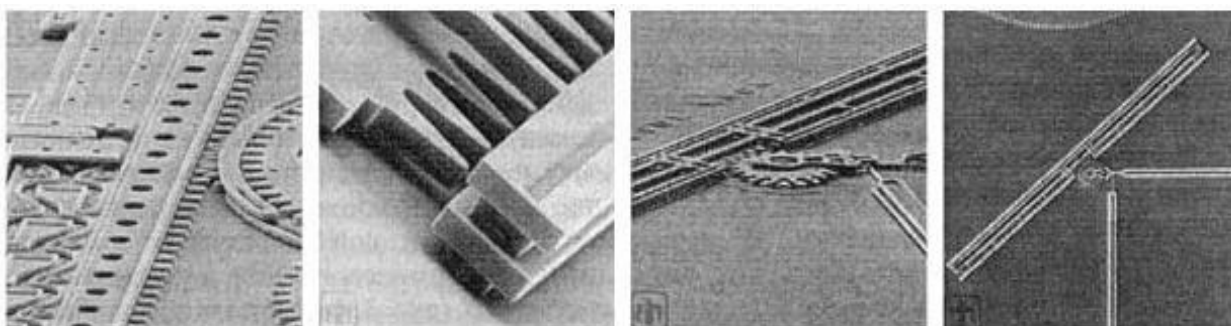


Рисунок 4.8 - Конструкції зрушуючої лінійки, керованої таким, що привіз на основі зубчатих і гребінчастих мікро двигунів

#### 4.3.3 Роторні мікродвигуни

Мікродвигуни роторного типу з підвищеною частотою обертання використовують той же принцип приведення в дію механізмів, що і в двох попередніх випадках. Відмінність полягає в тому, що гребінки у такого мікродвигуна зімкнуті в круг і утворюють багат шарову поликремниеву роторну конструкцію (рис. 4.9) [23].

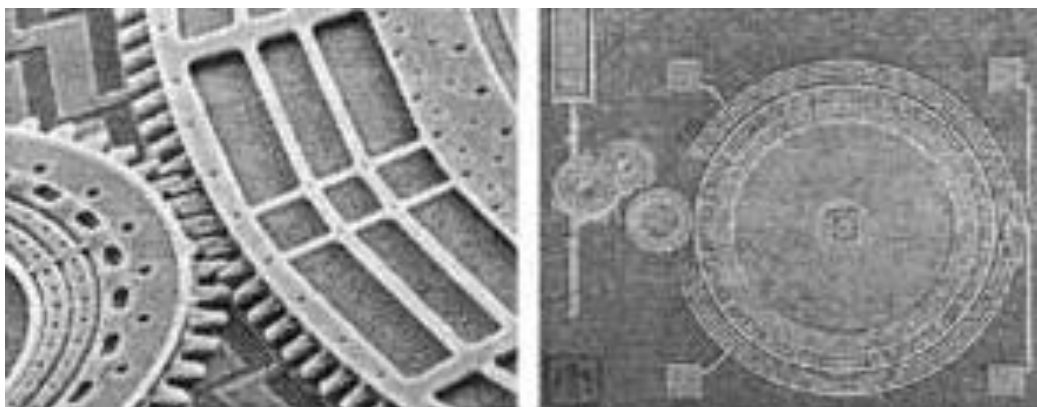


Рисунок 4.9 - Конструкція і організація приводу мікродвигунів MEMC роторного типу

Мікродвигун управляється порівняно низькою напругою живлення і забезпечує обертальні переміщення пристроїв з високою точністю. Крім того, він здатний працювати в покроковому (дискретному) режимі.

#### 4.3.4 Пристрої фіксації

Пристрої фіксації використовуються для переривання, запобігання доступу до інших елементів MEMC в цілях їх активації. Прикладами таких механізмів є кремнієві замки, гачки, захоплення (рис. 4.10) [21]. У них використаний принцип жорсткого блокування переміщень елементів, як це показано на рис. 4.11.

Послідовність роботи механізму така [21]:

<!--[if !supportLists]--><!--[endif]-->блокування заданого елемента;

<!--[if !supportLists]--><!--[endif]-->підєм і переміщення штифта;

<!--[if !supportLists]--><!--[endif]-->блокування наступного елемента і

так далі.

На рис. 4.11 видно, що блокуючий штифт переміщається за допомогою штанги по спеціальних направляючих пазах. У початковому стані (б) вузол обертання MEMC блокований штифтом, що знаходиться в глибині паза.

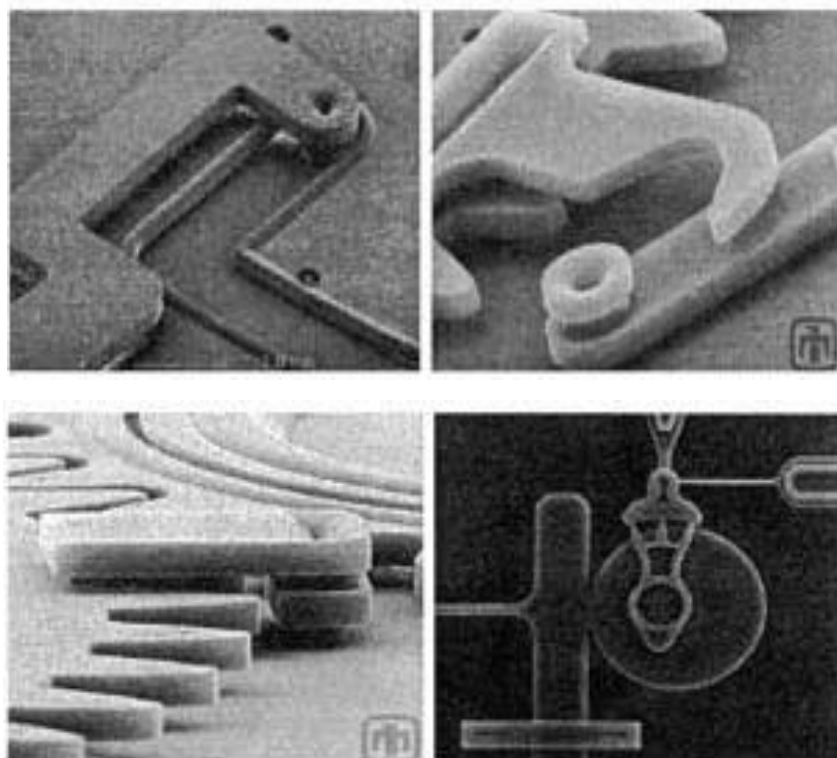


Рисунок 4.10 - Приклади конструкцій кремнієвих механізмів фіксації МЕМС

По сигналу управління штифт за допомогою штанги переміщається в пазі до точки розблокування, і вузол обертання починає переміщатися до моменту упору штифта в новий обмежувач паза (в). Далі вузол обертання знов блокується до моменту переміщення (г) штифта штангою в новий направляючий паз, вузол обертання готовий до переміщення на його лінійну довжину. У положенні (д) вузол обертання знов блокується.

Укрупнений вид вузла обертання (е) дозволяє розрізнити вузол анти-реверсу, який забезпечує чіткість управління штангою при переміщеннях гребінчастого мікродвигуна (ж) і виключає збої у виконанні команд (несанкціоноване повернення штифта в попередній стан).

Механізми фіксації: а – загальний вид пристрою; б – вузол обертання деблокується і переходить до фази руху; в – вузол обертання знов деблокується; г – штифт зміщено до нового спрямовуючого пазу, вузол обертання готов до переміщення у лінійну частину пазу; д - вузол обертання знов за-



блоковано; е – збільшений вигляд елемента обертання з вузлом антиреверсу (зліва); ж – механізм керування штангою.

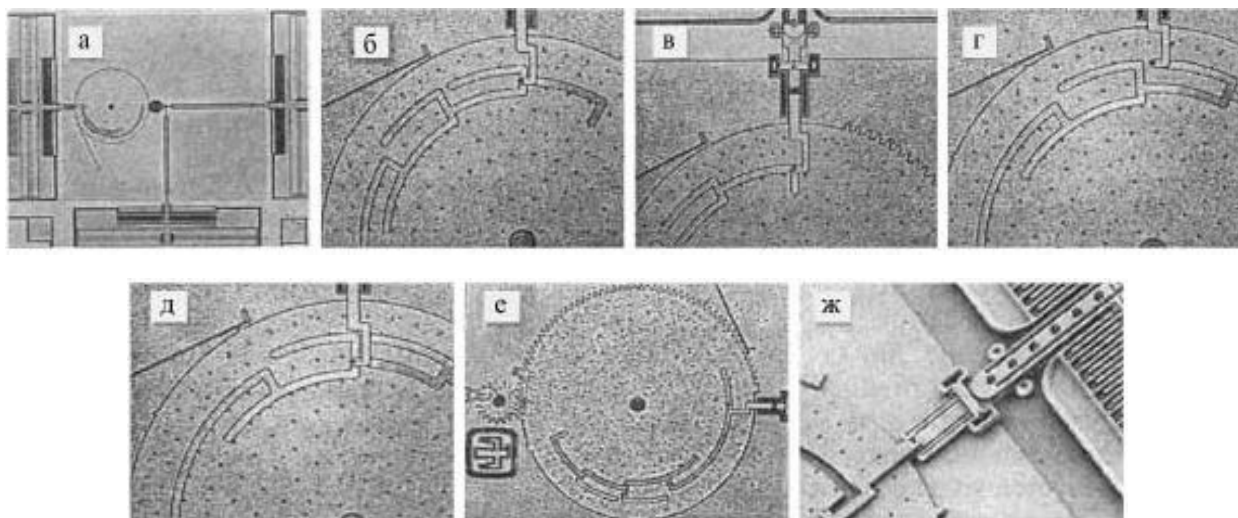


Рисунок 4.11 - Принцип дії механізмів фіксації MEMC

Таким чином, вузол обертання не може здійснювати рух, якщо штифт знаходиться в положеннях (в) і (ж) на рис. 4.11. При знаходженні штифта в положеннях (б), (г) і (д) мікродвигун вільно переміщає елемент обертання. На рис. 4.12 представлені варіанти конструкцій вузлів антиреверсу MEMC [20].

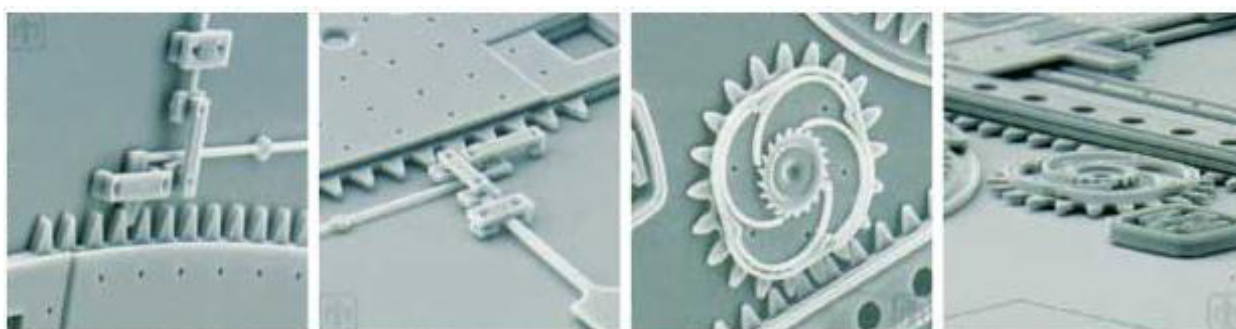


Рисунок 4.12 - Приклади конструкцій вузлів антиреверсу механізмів MEMC

### 4.3.5 Мікроважелі

До механічних пристроїв МЕМС пред'являються достатньо високі вимоги по ефективному додатку сили (при силі 1 мкН повинне забезпечуватися зсув 10 мкм лінійних механізмів). Значення, що в той же час досягається при груповій технології, для приводів головок складає, наприклад, тільки 2 мкм. Це вимушує при виготовленні приводу головок мікроважелів використовувати механічні вузли із зміщеною точкою опори у напрямі додатку сили. Тим самим забезпечується приведення мікроважелів в дію при меншому значенні прикладеної сили. Проте механічні вузли із зсувом можуть створюватися тільки під конкретне технічне або топологічне завдання МЕМС в збиток уніфікації [20].

Відомі конструкції мікроважелів забезпечують вигрaш в силі до 20:1 [1]. Привід головок мікроважелів виготовляється на основі багат шарового полікремнія товщиною 2 мкм.

Зовнішній вигляд конструкції і принцип дії механізму актюатора на основі лінійки конденсаторів із значеннями ємкостей, що змінюються, керованого системою мікроважелів, показані на рис. 4.13 [22].

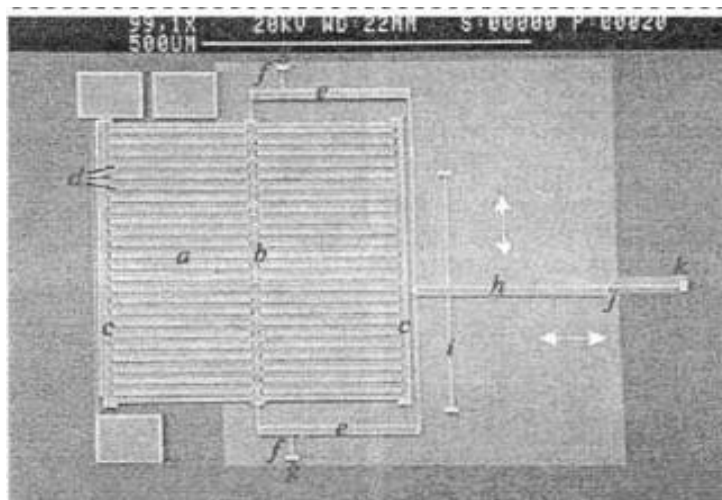


Рисунок 4.13 - Зовнішній вигляд мікроважеля і ілюстрація принципу його дії.

У складі механізму МЕМС (актюатора на основі лінійки конденсаторів із значеннями ємкості, що змінюються): *a* – множина обкладинок конденсаторів нижнього «стаціонарного» рівня; *b* – множина обкладинок конденсаторів верхнього «рухомого» рівня з двохстороннім розташуванням контактів; *c* – мікростанина для розміщення елементів пристрою; *d* – нерухомі центральний, лівий і правий електроди обкладинок конденсаторів; *e* – крайові мікроважелі; *f* – крапка еластичного поєднання; *g* – елементи кріплення крайових важелів до основи пристрою; *h* – центральний важіль (тяга); *i* – крапка опори (балка); *j* – крапка поєднання центрального важеля з пружинним кронштейном; *k* – пружинний кронштейн

Множина обкладань-електродів нижнього рівня (*a*), нерухомо розміщених на мікростанині (*c*), утворює лінійку конденсаторів з безліччю (*b*) обкладань-електродів верхнього рівня з двостороннім розміщенням контактів і шляхом переміщення обкладань конденсатора за допомогою системи мікроважелів (*e* і *h*) змінюється його ємкість. Точка опори (*i*) центрального мікроважеля виконана у вигляді балки [22].

Будь-який з нерухомих електродів-обкладань (*d*) у складі множини (*a*), будь то “центральний”, “лівий” або “правий” електроди, утворюють конденсатори з електродами-обкладаннями множини (*b*) верхнього рівня в результаті поступально-поворотного додатку сили і переміщення обкладань мікроважелями (*e* і *h*) в горизонтальному або вертикальному напрямках. Це забезпечується гнучким зчленуванням вузлів механізму в крапках (*f*, *g*, *j*).

Вся система приводиться в дію мікродвигуном (напряга живлення 5 В) шляхом приєднання до нього мікроважелів через пружинний кронштейн (*k*).

#### 4.3.6 Відбивачі

Одній з технологічних проблем проектування і виготовлення елементів МЕМС, які мають площі перетину від декількох одиниць до тисяч

мікрометрів, є отримання “товстих” об’ємних конструкцій, що виготовляються методами літографії шляхом накладення одного робочого шаруючи на інший (рис. 4.14) [20].

Для вирішення цієї проблеми спеціально розроблена технологія створення складних тривимірних структур з уніфікованих функціональних елементів, яка дозволяє будувати вузли МЕМС типу “відбивач”, “щит”, “ліфт”, “повзунок” і ін. (рис. 4.15). Кремнієві пластинки-відбивачі, поставлені на шляху лазерних променів, здатні присікати їх розповсюдження, направляти під різними кутами і тому подібне. Зміна просторового положення відбивачів здійснюється по сигналах управління.

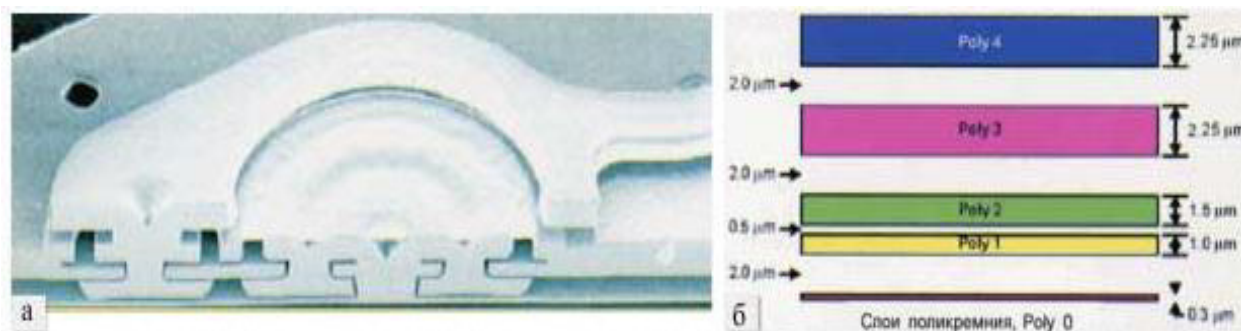


Рисунок 4.14 - Подовжній перетин багатошарового поликремниевого мікро-механічного вузла (а) і графічне представлення його конструктивно-технологічного зрізу (б)

Типова конструкція відбивача складається з двох сполучених в замок пластин (200 і 400 мкм), упорів і направляючих повзунків, керованих стрижнями-тягою (рис. 4.15,а). Додаток сили через стрижень до вузла повзунка (крапка на рис. 4.15,а) приводить до вигину пластин-відбивачів в місці замкового зчленування і їх вертикального підйому щодо площини упору (рис. 4.15,б-е) [21].

Механізми відбивачів, як правило, приводяться в рух двома мікро-двигунами, щоб забезпечити достатній для підйому пластин-відбивачів пере-

давальний момент. Проте для управління механізмом підйому відбивачів (рис. 4.15, г) використовується тільки один мікродвигун [22].

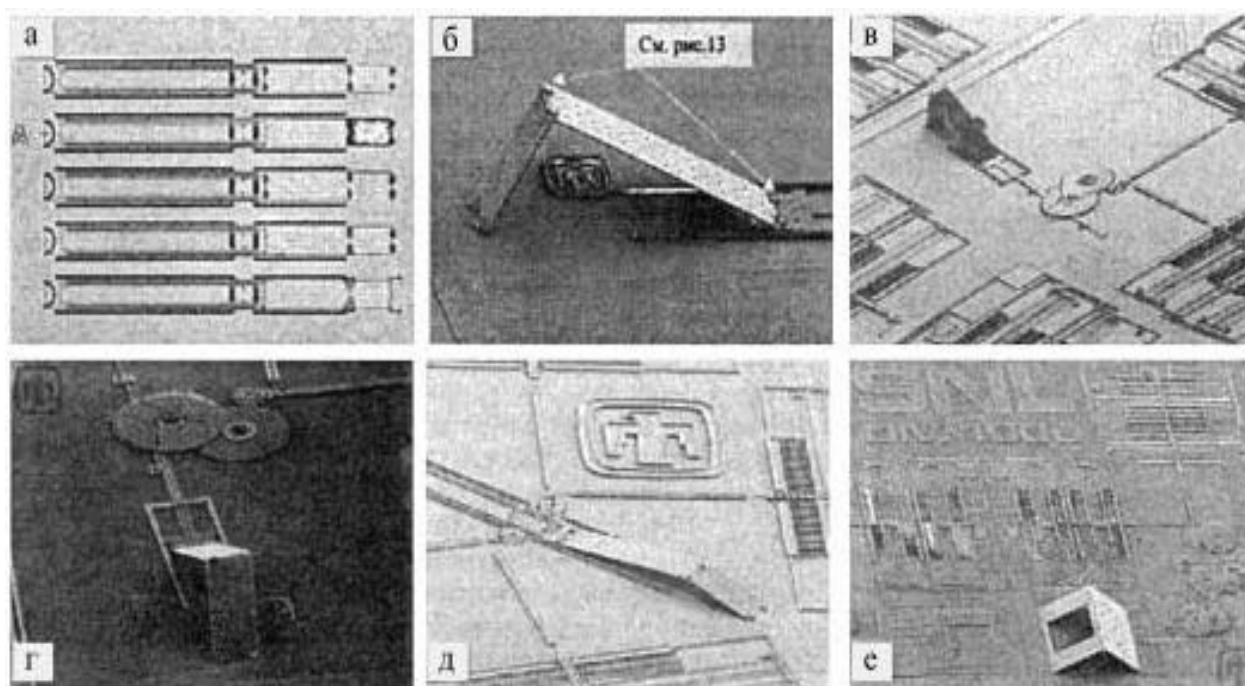


Рисунок 4.15 - Конструкції механізмів мікро відбивачів

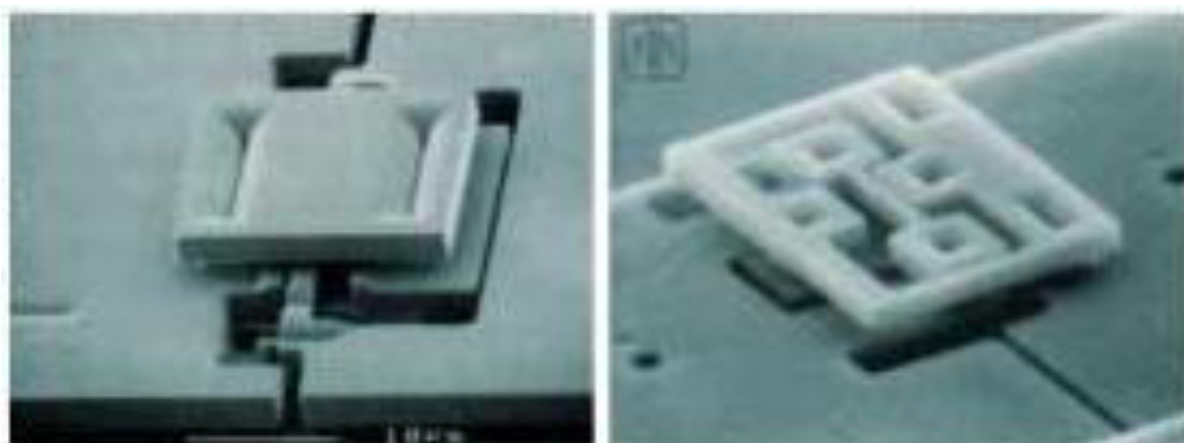


Рисунок 4.16 - Конструкція замків зчленувань кремнієвих пластин-відбивачів

### 4.3.7 Генератори-вібратори

Здвоєний генератор-вібратор одночасно забезпечує підйом і механічне переміщення об'єктів навантаження.

Механічне тіло генератора-вібратора складається з двох частин: нерухою і переміщуваною.

Принцип дії цього пристрою заснований на вібрації і поглинанні поверхневих динамічних хвиль і реалізується за допомогою почергових паралельних 10-міліметрових пластинок приводу, що підносяться, приводяться в рух пружинами. Послідовне стискування і ослаблення пружин здійснюється за допомогою переміщуваної поверхні приводу. Тим самим забезпечується зворотно-поступальний рух об'єктів щодо поверхні (пластини) приводу (рис. 4.17). Вібрації мають амплітуду 4 мкм і задаються мікродвигуном з робочою напругою живлення 4 В [22].

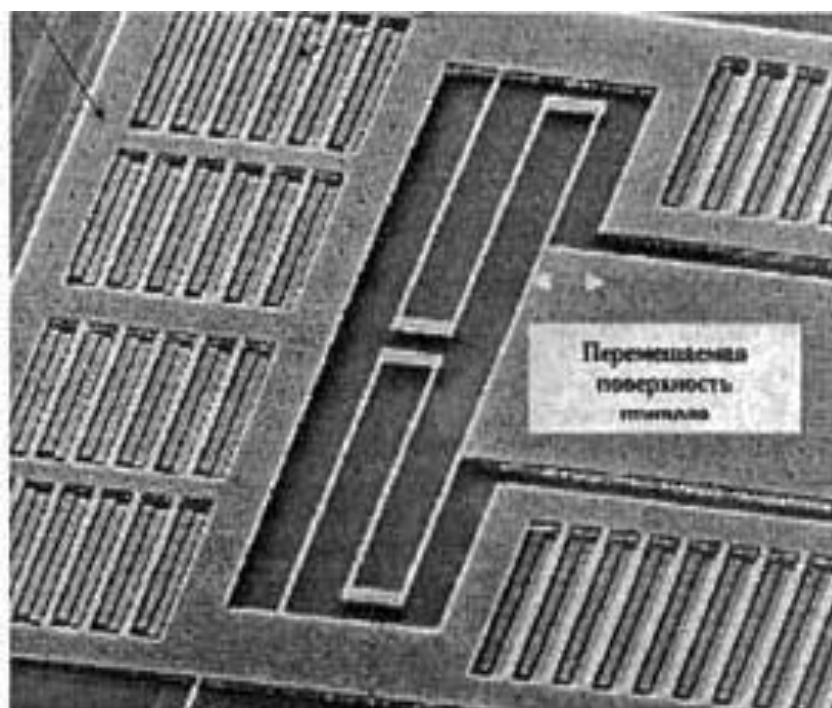


Рисунок 4.17 - Конструкція мікрогенератора-вібратора

Цей пристрій може бути використане як агрегатний елемент генератора-вібратора гіроскопа і не вимагає герметизації в захисному корпусі.

#### 4.3.8 Пристрої фотоніки

Технологія МЕМС дозволяє створювати комплексированные МЕМС з елементами квантової електроніки. У основі такої технології лежить мікро-механічна обробка поверхні полікремнієвих структур [23].

Простий пристрій фотоніки МЕМС складається з двох функціональних елементів: фоточутливого осередку і пов'язаних з нею мікромеханічних вузлів, наприклад блокування (рис. 4.18) [23].

Осередок виробляє необхідну для управління напругу 75 В при попаданні на неї через волоконно-оптичний світлопровід лазерного випромінювання діода з довжиною хвилі 850 нм. Оскільки кремнієвий фотоелемент здатний виробляти напругу 1 В, то в кінцевому пристрої методом групової технології використовується 75 осередків фотоелементів.

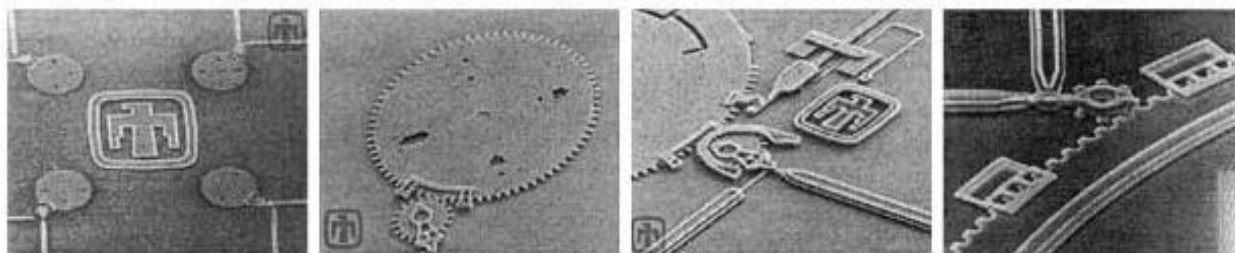


Рисунок 4.18 - Конструкція пристроїв фотоніки МЕМС і мікромеханічних вузлів

Елемент, що обертається, управляється електричними сигналами, тоді як елемент блокування – сигналом оптичним. Очевидно, що недоліком даної конструкції є використання “високовольтного” мікродвигуна. В той же час пристрій демонструє принципову можливість використання світлової енергії для управління елементами і пристроями МЕМС.

Залежно від сигналів управління, що поступають, оптична засувка може обертатися в будь-якому напрямі і з різними швидкостями. Таким чином, блокуючи або пропускаючи лазерний промінь, пристрій здійснює управління МЕМС за допомогою оптичних засобів.

Непрозорість кремнієвих елементів для лазерного випромінювання забезпечується низькотемпературним (щоб уникнути викривлення) напиленням на них тонких плівок золота або сплавів (наприклад,  $Ti$  і  $Au$ ).

У перспективі використання лазерного випромінювання з довжиною хвилі 1,06 мкм, для якого пластинки кремнію є “прозорими”, відкриває нові можливості для конструювання і експлуатації МЕМС [24].



## 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Одним з основних показників, за допомогою якого оцінюється економічна ефективність нової техніки, є величина капітальних вкладень.

До таких капітальних вкладень відносяться витрати на науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, включаючи випробування і доопрацювання дослідних зразків.

Для визначення вартості конструкторської підготовки виробництва складається кошторис витрат з моменту отримання завдання до виготовлення і заводських випробувань дослідного зразка включно і коректування документації за наслідками цих подій [25].

### 5.1 Суми витрат по статтям кошторису

Зарплата розробників по етапам розраховується, виходячи з кількості технічної документації (схем, креслень, текстової документації), що розробляється, з використанням нормативів базового підприємства на розробку різних видів документації. Зарплата виконавців по кожному етапу є сумою добуток тривалості етапів в днях на денну ставку виконавця (по всім виконавцям).

Тривалість етапу визначається як добуток кількості листів розробленої документації на відповідну норму часу в нормо-годинах на розробку, поділене на число прийнятих розробників і середню тривалість робочого дня (8,0 годин) [26].

Денна ставка виконавця визначається відношенням місячного окладу до середнього числа робочих днів в місяці (22 дні).

В таблиці 5.1 приведений розрахунок заробітної плати розробників технічної документації для системи адаптивного керування датчиком випромінювання температури.

Таблиця 5.1 - Розрахунок зарплати розробників технічної документації

№	Найменування етапу розробки	Одиниця	К-ть креслень	Норматив часу на одиницю нормо-годин	Трудомісткість етапу люд-годин	Число виконавців	Тривалість етапу, днів	Денна ставка виконавців	Зарплата за етап, грн.
1	Схема електрична принципова	Схема ф.А1	1	18,45	18,45	1	2,3	300	690
2	Схема електрична структурна	ф.А1	1	16,50	16,50	1	2,1	300	630
3	Специфікація	ф.А4	3	0,40	1,20	1	0,15	300	45
4	Розрахунки	ф.А4	9	7,30	65,1	1	7,3	300	2190
5	Записка пояснення	ф.А4	60	1,60	96,00	1	12	300	3600
6	Програмне забезпечення	ф.А4	8	9,50	76,00	1	9,5	400	3800
Разом:									10955

Зарплата на виготовлення і випробування дослідного зразка по всім етапам визначається таким чином: дослідний зразок виготовляється і випробовується в лабораторії; тривалість цих робіт узяті з досвіду базового підприємства, а потім розраховані аналогічно розрахунку заробітної плати на розробку технічної документації див. табл. 5.1.

При визначенні зарплати на виготовлення дослідного зразка трудомісткість по видам робіт збільшена на 100% проти трудомісткості

серійного виробу і підвищені розряди роботи на один з урахуванням ручних робіт в дослідному виробництві.

Таблиця 5.2 - Зарплата на виготовлення дослідного зразка

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Монтажні	6	314	30	9420
2	Регулювальні	6	150	30	4500
Разом:					13920

Зарплата виконавців на коректування документації визначається з трудомісткості розробки відповідних документів: коректування складає 15% цій трудомісткості. Накладні витрати беруться у розмірі 40...120% сумарної зарплати розробників з урахуванням виготовлення і випробування дослідного зразка і коректування документації за наслідками випробувань.

Матеріальні витрати на зразок складаються з комплектуючих виробів (табл. 5.3) на проєктовану апаратуру. При цьому, виходячи з обліку втрат, вартість матеріалів та комплектуючих збільшена на 30%.

Таблиця 5.3 - Витрати на куповані комплектуючі вироби

№	Найменування	Кількість	Ціна одиниці	Сума, грн
1	Резистори	6	10	60
2	Транзистор IRFZ34	1	34	34
3	Транзистор 2N2608	2	500	1000
4	Конденсатор	1	25	25
5	Мікросхема TL082	1	7	420
6	Мікросхема ATmega8,	2	30	30
7	Мікросхема AD5310	1	120	120
	Мікросхема SN7414	1	30	30
Разом:				1719

Собівартість дослідного зразка визначається за формою табл. 5.4.

Таблиця 5.4 - Калькуляція собівартості дослідного зразка

№	Стаття витрат	Витрати на проєктований виріб, грн.
1	Матеріали	190
2	Куповані комплектуючі вироби	1719
3	Транспортні витрати (5% (п.1+п.2))	95,45
4	Заробітна платня виробничих робочих	13920
5	Додаткова заробітна плата (10%п.4)	1392
6	Нарахування на зарплату (37%(п.4+п.5))	5665,44
7	Накладні витрати (120% п.4)	16704
Всього собівартість:		39685,89

Розрахунок кошторису витрат на конструкторську підготовку виробництва приведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 Кошторис витрат на конструкторську підготовку виробництва

№	Стаття витрат	Сума, грн.
1	Зарплата розробників по всім етапам розробки	13920
2	Зарплата на коректування технічної документації за наслідками випробувань дослідного зразка (15% п.1)	2088
3	Разом:	16008
4	Нарахування на зарплату (37% п.3)	5665,44
5	Накладні витрати (120% п.3)	16704
6	Собівартість дослідного зразка	39685,89
7	Інші витрати	1465,3
Всього вартість розробки:		95536,63

Розрахунок заробітної плати робочих в разі серійного виготовлення виробу приведено в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 - Зарплата робочих за виготовлення серійного виробу

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість нормо - год	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Монтажні	6	314	30	9420
2	Регулювальні	6	150	30	4500
3	Разом:				13920

Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції проводиться на основі калькуляційних статей, враховуючи що комплектуючі та матеріали знижені на 30% по відношенню до таблиць 5.4 та 5.4, зведених в таблицю 5.7:

Таблиця 5.7 - Калькуляція собівартості і ціни одиниці виробу

№	Стаття витрат	Витрати на виріб, грн
1	Куповані комплектуючі вироби	1719
2	Транспортні витрати (5% п.1+п.2)	95,45
3	Основна заробітна плата виробничих робочих (табл. 5.6)	13920
4	Додаткова заробітна плата (10% п.3)	1392
5	Нарахування на зарплату (37%(п.3+п.4))	5665,44
6	Загальновиробничі витрати (100% п.3)	13920
7	Разом собівартість	36711,89
8	Прибуток (30% п.7)	11013,57
Ціна виробника:		47725,46

## 5.2 Розрахунок терміну окупності розробки

Річний економічний ефект від впровадження нових виробів розраховується по формулі [26]:

$$\mathcal{E}_r = (\Pi - E_H \cdot K_v) \cdot A_r, \quad (5.1)$$

де  $\Pi$  - прибуток на одиницю продукції (з табл. 5.7  $\Pi = 11013,57$ );

$E_H$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ( $E_H = 0,15$ );

$K_v$  – питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції;

$A_r$  – річний об'єм випуску продукції при серійному виробництві.

Визначаємо питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції [26]:

$$K_v = \frac{K}{A_r}, \quad (5.2)$$

де  $K$  - капіталовкладення в розробку виробу (з табл. 5.5  $K = 95536,63$ ).

Враховуючи, що річний об'єм випуску продукції при серійному виробництві складає 60 шт/рік:

$$K_v = \frac{95536,63}{60} = 1592,27$$

Тоді передбачуваний річний економічний ефект:

$$\mathcal{E}_r = (11013,57 - 0,15 \cdot 1592,27) \cdot 60 = 646483,77$$

Ефективність розробки визначається згідно:

$$E = \frac{\mathcal{E}_r}{K}, \quad (5.4)$$

$$E = \frac{646483,77}{95536,63} = 6,77$$

Термін окупності продукції рівний зворотній величині ефективності:

$$T = \frac{1}{E}, \quad (5.4)$$

$$T = \frac{1}{6,77} = 0,15 \text{ року}$$

В таблиці 5.8 приводяться загальні економічні показники розробленої системи передачі інформації по оптичним каналам.

Таблиця 5.8 - Економічні показники

№	Показники	Один. виміру	По проектуваному виробу
1	Витрати на КПП	грн.	1548
2	Собівартість розробки	грн.	95536,63
3	Ціна підприємства	грн.	47725,46
4	Річний обсяг випуску	шт.	60
5	Річний економічний ефект	грн.	646483,77
6	Ефективність розробки		6,77
7	Термін окупності додаткових капітальних вкладень	років	0,15

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки системи адаптивного керування температурним датчиком випромінювання.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 6.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

На ділянці з розробки та дослідження системи адаптивного керування датчиком випромінювання, план якої наведено на рис. 6.1, основна частина робіт проводилася на персональному комп'ютері (ПК) і стенді з програмованими пристроями.

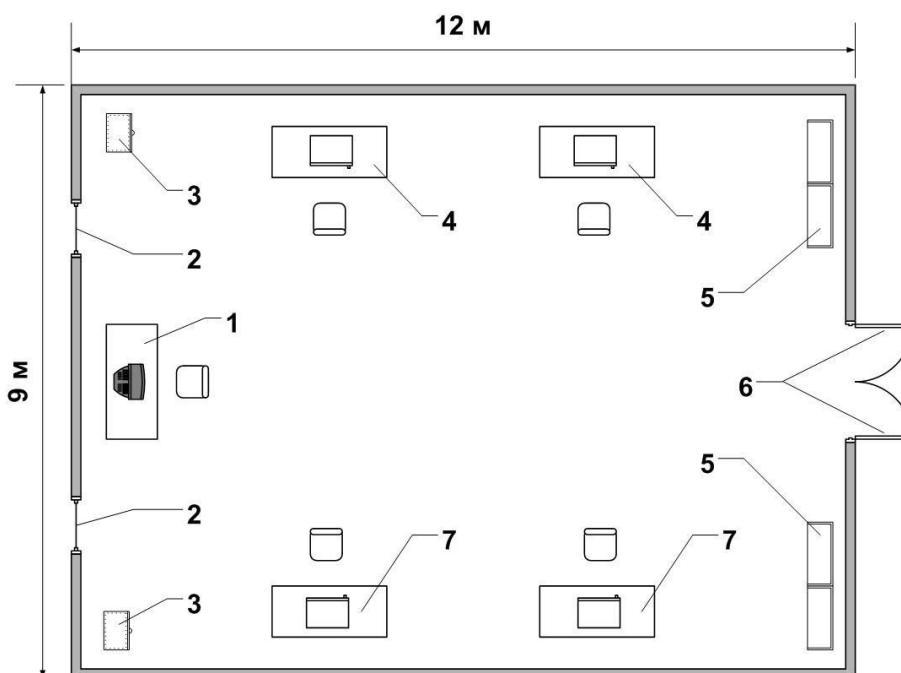


Рисунок 6.1 – План ділянки з розробки та дослідження системи адаптивного керування датчиком випромінювання: 1 – робоче місце оператора ПК; 2 – вікно; 3 – тумба; 4 – робоче місце програміста; 5 – шафа; 6 – двері; 7 – робоче місце з відладки

Всі зазначені види робіт проводились у спеціально відведеному для цього приміщенні. Висота приміщення – 3м. Т.ч., частина об'єму, яка дово-



диться на одну людину, при тому що в лабораторії знаходиться і працює 5 виконавців, складає приблизно  $64 \text{ м}^3$ . Це відповідає вимогам, згідно яких мінімальний об'єм приміщення при виконанні робіт на ПК повинен становити  $20 \text{ м}^3$ [27].

Норми подачі свіжого повітря у лабораторному приміщенні, де розташовані комп'ютери, приведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Норми подачі свіжого повітря у лабораторному приміщенні, де розташовані ПК

Характеристика приміщення	Об'ємна витрата подаваного в приміщення свіжого повітря, $\text{м}^3$ /на одну людину в годину
об'єм до $20 \text{ м}^3$ на людину	не менш 30
об'єм до $40 \text{ м}^3$ на людину	не менш 20
об'єм більш $40 \text{ м}^3$ на людину	природна вентиляція

Сьогодні загальноприйнятою є класифікація небезпечних і шкідливих чинників, які за характерними видами дій, що впливають на організм людини, підрозділяються на фізичні, хімічні, біологічні і психофізіологічні.

При проведенні робіт з розробки датчика вимірювання температури виявлена можливість наступних небезпечних та шкідливих факторів на оператора ПК:

- вплив електромагнітних випромінювань відео дисплейних терміналів;
- можливість ураження електричним струмом при експлуатації електричних пристроїв до  $1000 \text{ В}$ ;
- підвищений рівень статичної електрики;
- виникнення зорової втоми при недостатній освітленості на робочому місці;
- несприятливі параметри мікроклімату;

- небезпека виникнення пожеж.
- статичні фізичні перевантаження;
- нервовопсихічні перевантаження: розумова перенапруга; перенапруга аналізаторів.

ПК є джерелами таких випромінювань як: м'якого рентгенівського; ультрафіолетового 200 – 400 нм; видимого 400 – 700 нм; ближнього інфрачервоного 700 – 050 нм; радіочастотного 3 кГц – 30 МГц; електростатичних полів.

При експлуатації монітор ПК випромінює м'яке рентгенівське випромінювання. Небезпека цього виду випромінювання пов'язана з його здатністю вражати поверхневий шкірний покрив. Максимальний рівень рентгенівського випромінювання на робочому місці біля ПК зазвичай не перевищує 10 мкбер / год., а інтенсивність ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювань від екрану монітора знаходиться в межах 10 ... 100 мВт/м<sup>2</sup>.

УФ - випромінювання у великих дозах призводить до дерматиту шкіри, головний біль, різі в очах. Інфрачервоне випромінювання призводить до перегріву тканин людини (особливо кристалика ока), підвищення температури тіла.

Рівні напруженості електростатичних полів повинні складати не більше 20 кВ/м. Поверхневий електростатичний потенціал не повинен перевищувати 500В.

У виробничих приміщеннях, в яких робота на ВДТ і ПК є допоміжною, температура, відносна вологість і швидкість руху повітря на робочих місцях повинні відповідати санітарним нормам мікроклімату виробничих приміщень, що діють [27].

Недостатня освітленість робочої зони природним світлом виникає внаслідок недостатньої площі світлових прорізів, їхнього забруднення, а також нераціонального розташування робочого стола щодо джерел природного світла.

При роботі з ПК застосовують клавішний ввід. Робочі цикли при ро-

боті на клавішних апаратах, як правило, багаторазово повторюються. Велике їхнє число за робочу зміну приводить до нервово-м'язового стомлення, що може бути основним фактором м'язової перенапруги й виникнення професійних захворювань рук.

Нервова перенапруга обумовлена напругою уваги. Часта й тривала перенапруга може служити джерелом ряду захворювань серцево-судинної, нервової, зорової й іншої систем організму.

Зорова робота вимагає частого перемикання з однієї поверхні на іншу, що відбувається на тлі нерівномірних яскравостей. Особливо несприятливі такі перепади яскравості, які викликають сліпучий ефект. Від сліпучої дії світла спочатку найбільше всього погіршується контрастна чутливість ока, а потім гострота зору. При незадовільному розподілі яскравості в освітленому просторі виникає відчуття зорового дискомфорту. Дискомфортні умови для роботи ока можуть виникнути не тільки в результаті більших яскравостей у полі зору, але й внаслідок недостатньої освітленості поля зору.

ПК, друкуючі пристрої, обладнання для кондиціонування повітря, вентилятори систем охолодження і трансформатори в самих ПК є також джерелами шумів та вібрацій. У лабораторних приміщеннях освітніх установ, де розташовані ПК, рівні шуму та вібрації не повинні перевищувати допустимих значень, установлених діючими санітарно - епідеміологічними нормативами для житлових і громадських будівель. Тривала дія шуму високої інтенсивності (вище 80 дБ) призводить до патологій слухового органу та негативно впливає на нервову систему. Шум призводить до швидкої стомлюваності людини, що в свою чергу веде до виробничих помилок.

Рівень шуму на робочому місці, при роботі за комп'ютером, не повинен перевищувати 50 дБ, а при наявності друкуючого пристрою не більш 75 дБ. Вібрація може викликати деякі професійні захворювання, при яких змінюються фізіологічні та психічні функції організму.

Т. ч., у лабораторному приміщенні при дослідницькій роботі на ПК на людину впливають різні виробничі фактори, які в основному негативно

впливають на її здоров'я і можуть викликати професійні захворювання [27].

## 6.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Основним способом захисту від статичної електрики є заземлення периферійного устаткування, а також зволоження навколишнього повітря.

При відсутності природного освітлення використовується штучне. Для загального освітлення використовуються лампи денного світла, тому що їхній спектр близький до природного.

Для запобігання виникнення шкідливих наслідків від статичних фізичних перевантажень, необхідно обладнати місце так, щоб виключити незручні пози, тривалі напруги. Дисплей повинен бути встановлений на такій висоті й під таким кутом, щоб шия працівника не була зігнута й утримувалася в такому стані напруженими м'язами. Клавіатура повинна розташовуватися так, щоб до її не потрібно було тягтися, руки не повинні бути у висячому положенні або перенапружені. Не можна довго перебувати в одній позі. Щогодини, протягом 15 хв., необхідно займатися якою-небудь справою, зробити розминку.

Для запобігання перенапруги аналізаторів необхідно визначити режим яскравості. Для цього потрібно встановити рівень яскравості, співвідношення рівнів яскравості в полі зору, рівень контрасту. Оптимальною вважається така яскравість, при якій проявляється контрастна чутливість ока, гострота зору й швидкість розрізнення сигналів. Нижньою комфортною границею рівня яскравості світних сигналів можна вважати  $30 \text{ кд/м}^2$ , верхня комфортна границя визначається значенням сліпучої яскравості. Яскравість об'єктів на екрані повинна бути погоджена з яскравістю фону екрана й навколишнім освітленням. При зворотному контрасті контраст яскравості повинен перебувати в межах 85-90% з можливістю регулювання яскравості об'єктів, а при прямому контрасті 75-80% з можливістю регулювання яскравості фону. Прямий контраст пе-

реважніше зворотного. Оптимальне співвідношення яскравостей між екраном, його найближчим оточенням і далеким оточенням становить 5:2:1. Відстань зчитування інформації з екрана може бути від 400 мм і більше.

Оскільки монітор ПК є джерелом випромінювання електромагнітних та електростатичних полів, то при підвищеному рівні напруженості цих полів слід скоротити час роботи за комп'ютером, робити п'ятнадцятихвилинні перерви протягом півтора годин роботи, обов'язково застосовувати захисні екрани, не розміщувати їх концентровано в робочій зоні і вимикати їх, якщо на них не працюють.

Для зниження рівня шуму стіни і стеля приміщень, де встановлені комп'ютери, можуть бути фанеровані звукопоглинальними матеріалами, а також використовуються різні звукопоглинаючі пристрої. Зниження шуму в джерелі випромінювання можливо забезпечити застосуванням м'яких килимків з синтетичних матеріалів, а під ніжками столів, на яких вони встановлені, - прокладки з м'якої гуми завтовшки 6-8 мм.

Т. ч., для безпечної роботи людини, лабораторне приміщення, де знаходяться ПК, повинно відповідати діючим санітарно - епідеміологічним нормам [28].

### 6.3 Виробнича санітарія

У виробничих приміщеннях, в яких робота на відеотерміналах і персональних комп'ютерах є основною (диспетчерські, операторські, розрахункові, кабінети і пости управління, зали обчислювальної техніки і ін.) повинні забезпечуватися оптимальні параметри мікроклімату відповідно до табл. 6.2.

Як вказано у табл. 6.2, до категорії 1а відносяться роботи, що виконуються сидячи і що не вимагають фізичної напруги, при яких витрата енергії складає до 120 ккал/год. До категорії 1б відносяться роботи, що виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходьбою і такі, що супроводжуються деякою фізичною напругою, при яких витрата енергії складає від 120 до 150 ккал/год.

Таблиця 6.2 - Оптимальні норми мікроклімату для приміщень з відео-терміналами і персональними комп'ютерами

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С (не більш)	Відносна вологість повітря %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Легка – 1а	22-24	40-60	0.1
Теплий	Легка – 1а	23-25	40-60	0.1

Т.ч., лабораторія з розробки і дослідження датчика тонів Короткова відноситься до категорії 1а. При цьому рівні позитивних і негативних аероіонів в повітрі лабораторії повинні відповідати нормам, приведеними в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 - Рівні іонізації повітря приміщень при роботі з відеотерміналами і персональними комп'ютерами

Рівні	Кількість іонів в 1 см <sup>3</sup> повітря	
	n <sup>+</sup>	n <sup>-</sup>
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально допустимі	50000	50000

При проведенні робіт з розробки і дослідження датчика тонів Короткова необхідне достатнє забезпечення чистоти повітря і заданих метеорологічних умов у виробничих приміщеннях, що є завданням вентиляції. За допомогою вентиляції віддаляється забруднене або нагріте повітря з приміщення і подається свіжий.

У лабораторії використовуються механічна припливно-витяжна загальнообмінна вентиляція. При цьому притока повітря повинна скласти 95% об'єму витяжки. Не дістаючи 5 % припливного повітря поступають з суміж-

них, чистіших приміщень [28].

При виконанні основної роботи з розробки і дослідження датчика тонів Короткова рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати 50дБ.

Освітленість на поверхні столу в зоні розміщення робочого документа повинна бути 400 лк.

Слід обмежувати пряму блискіть від джерел освітлення, при цьому яскравість поверхонь (вікна, світильники і ін.), що світяться, знаходяться в полі зору, повинна бути не більше  $200 \text{ кд/м}^2$ .

Слід обмежувати відбиту блискіть на робочих поверхнях (екран, стіл, клавіатура і ін.) за рахунок правильного вибору світильників і розташування робочих місць по відношенню до джерел природного і штучного освітлення, при цьому яскравість відблисків на екрані з відеотерміналами не повинна перевищувати  $40 \text{ кд/м}^2$  і яскравість стелі, при застосуванні системи відбитого освітлення, не повинна перевищувати  $200 \text{ кд/м}^2$ . Показник засліпленої для джерел загального штучного освітлення у приміщенні лабораторії повинен бути не більше 40.

Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50 до 90 градусів з вертикаллю в подовжній і поперечній площинах повинна складати не більше  $200 \text{ кд/м}^2$ , захисний кут світильників повинен бути не менше 40 градусів.

Світильники місцевого освітлення повинні мати відбивач, що не просвічує, із захисним кутом не менше 40 градусів. Коефіцієнт пульсації не повинен перевищувати 5%, що повинне забезпечуватися застосуванням газорозрядних ламп в світильниках загального і місцевого освітлення з високочастотними пускорегулюючими апаратами для будь-яких типів світильників.

В приміщенні лабораторії джерелами шуму є елементи комп'ютерної техніки. Нормований рівень шуму для операторів ПК складає 50 дБ. В досліджуємої лабораторії рівень шуму не перевищує норму.

## 6.4 Електробезпека

На підставі ППЕ-87 дане приміщення за ступенем небезпеки поразки електричним струмом відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки поразки електричним струмом, так як умови, що створюють підвищену небезпеку поразки електричним струмом ( вологість, струмоведачий пил, висока температура, можливість одночасного торкання до струмоведаючих частин і заземлення) відсутні .

Джерелами електробезпеки в приміщенні лабораторії є: електропроводка; розетки і вилки для підключення ПК до електричної мережі; ПК і програматори; вимикачі освітлення; освітлювальні прилади.

Струми статичної електрики, які виникають в процесі роботи комп'ютера на корпусах монітора, системного блоку і клавіатури, можуть призводити до розрядів при дотику до цих елементів. Такі розряди небезпеки для людини не представляють, але можуть призвести до виходу з ладу комп'ютера. Для зниження величин струмів статичної електрики використовуються нейтралізатори, місцеве і загальне зволоження повітря, використання покриття підлог з антистатичним просоченням.

Так як, у лабораторному приміщенні для дослідницької роботи, окрім ПК, розташована велика кількість електричного обладнання то його слід віднести до групи приміщень з підвищеною небезпекою [29].

Поразка електричним струмом може відбутися в результаті несправних розеток і вилок ПК, а також пристроїв місцевого освітлення, короткого замикання.

Для захисту від електротравм у приміщенні слід використовувати сховану, добре ізольовану електропроводку. Розподіл енергії здійснюється за допомогою розподільного щита з ізольованими кабелями і розетками, що виключають можливість короткого замикання. Розподільний щит має запобіжники, що спрацьовують при критичному режимі роботи. Персонал, що обслу-



говує ПК, зобов'язаний пройти навчання безпечним методам роботи на робочому місці і перевірку знань правил техніки безпеки.

ГОСТ 12.1.038-82 установлює гранично припустимі рівні напруг до-тику (В), і струмів (мА), що протікають через тіло людини, призначені для проектування способів і засобів захисту людей при взаємодії з електроустановками виробничого і побутового призначення постійного і змінного струму частотою 50 і 400 Гц.

### 6.5 Пожежна безпека. Техногенна безпека

Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі і системою пожежного захисту. У всіх службових приміщеннях обов'язково має бути «План евакуації людей при пожежі», що регламентує дії персоналу у разі виникнення вогнища загоряння і вказує місця розташування пожежної техніки.

Евакуація із лабораторного приміщення, у разі надзвичайної ситуації, проводиться способом, який передбачає організоване виведення людей із приміщення через усі можливі виходи пішим ходом по заздалегідь розроблених маршрутах. У лабораторному приміщенні має бути присутній план евакуації та закріплена відповідальна особа за пожежну безпеку. Горючими компонентами у лабораторному приміщенні з ПК є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, перфокарти і перфострічки, ізоляція кабелів і ін. Джерелами запалювання у лабораторному приміщенні можуть бути електричні схеми від ПК, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де в результаті різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри і дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

У сучасних ПК дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються

сполучні дроти, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції.

Для відводу надлишкової теплоти від ПК служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійній дії ці системи являють собою додаткову пожежну небезпеку.

Для більшості лабораторних приміщень встановлена категорія пожежної небезпеки В [30].

## 6.6 Розрахунок пристрою заземлення.

Розрахунок заземлюючого пристрою зводиться до розрахунку заземлювача, так як заземлюючі провідники в більшості випадків приймають за умовами механічної міцності та стійкості до корозії.

Нормативний опір відповідно до умови роботи відповідає 4 Ом. Контур заземлення можливо спорудити з зовнішньої сторони з розположенням вертикальних електродів по контуру. В якості вертикальних заземлювачів приймаємо електроди з розміром 18.00 мм и довжиною 2.50 м, які погружають в землю. Верхні кінці електродів розташовуємо на глибині 0.70 м від поверхні землі. До них зварюються горизонтальні електроди з тієї ж сталі, що і вертикальні електроди[31].

Попередньо з врахуванням площі, (20\*15 м), яку займає об'єкт, намічаємо місцезнаходження заземлювачів по периметру довжиною 70 м.

Параметри двохшарового глини в місці спорудження, кліматичні коефіцієнти та інші вихідні дані для розрахунку зведені до таблиці 6.4

Питомий розрахунковий коефіцієнт опору двохшарового ґрунту отримуємо за формулою:

$$\rho = \frac{(\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L)}{(\rho_1 \cdot (L - H + t_{\text{полосы}}) + \rho_2 \cdot (H - t_{\text{полосы}}))}, \text{ Ом} \cdot \text{ м} \quad (6.8)$$

$$\rho = \frac{(50.00 \cdot 60.00 \cdot 2.50)}{(50.00 \cdot (2.50 - 7.00 + 0.70) + 60.00 \cdot (7.00 - 0.70))} = 39.89 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Таблиця 6.4– Вихідні дані

Позначення	Найменування	Од. вим.	Значення
$R_f$	Нормований опір розтікання струму в землю	Ом	4.00
$\rho_1$	Питомий опір верхнього слою ґрунту	Ом*м	50.00
$\rho_2$	Питомий опір нижнього слою ґрунту	Ом*м	60.00
$d$	Діаметр стержня	мм	18.00
$L$	Довжина вертикального заземлювача	м	2.50
$H$	Товщина верхнього слою ґрунту	м	7.00
$t_g$	Глибина закладення горизонтального заземлювача	м	0.70
$t$	Відстань від поверхні землі до середини заземлювача	м	1.95
$k_1$	Кліматичний коефіцієнт для вертикальних електродів	–	1.90
$k_2$	Кліматичний коефіцієнт для горизонтальних електродів	–	5.75
$b$	Ширина сталевієї полоси	мм	50.00
$l_a$	Довжина горизонтального заземлювача	м	70.00

Опір розтіканню одного вертикального електрода визначається за формулою:

$$r_e = \frac{0,366 \cdot k_1 \cdot \rho}{L} \cdot \left( \lg \left( \frac{2 \cdot L}{0,95 \cdot d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \lg \left( \frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} \right) \right), \text{ Ом} \quad (6.9)$$

$$r_e = \frac{0.366 \cdot 1.90 \cdot 39.89}{2.50} \cdot \left( \lg \left( \frac{2 \cdot 2.50 \cdot 1000}{0.95 \cdot 18.00} \right) + \frac{1}{2} \cdot \lg \left( \frac{4 \cdot 1.95 + 2.50}{4 \cdot 1.95 - 2.50} \right) \right) = 28.97 \text{ Ом.}$$

Орієнтовану кількість вертикальних заземлювачів визначаємо за формулою:

$$n_3 = \frac{r_B}{R_i \cdot \eta_a}, \quad (6.10)$$

де  $\eta_a$  – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів.

$$n_3 = \frac{28.97}{4.00 \cdot 0.78} = 12 \text{ шт.}$$

Опір горизонтального заземлювача визначимо за формулою :

$$r_3 = \frac{0.366 \times k_2 \times \rho}{l_a \times \eta_a} \times \log_{10} \left( \frac{2 \times l_a}{b \times t_g} \right) \quad (6.11)$$

$$r_3 = \frac{0.366 \cdot 5.75 \cdot 39.89}{70.00 \cdot 0.60} \cdot \lg \left( \frac{2 \cdot 70.00^2 \cdot 1000}{50.00 \cdot 0.70} \right) = 10.89 \text{ Ом.}$$

Таблиця 6.5 - Параметри вертикальних и горизонтальних заземлювачів

Позначення	Найменування	Од. вим.	Значення
$\eta_a$	коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів	–	0.78
$\eta_g$	коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів	–	0.60
$h$	Відстань між заземлювачами	м	11.67

Повний опір вертикальних заземлювачів  $R$  не повинен перевищувати значення визначеного за формулою:

$$R = \frac{R_i \cdot r_3}{r_3 - R_i} \quad (6.12)$$

$$R = \frac{10.89 \cdot 4.00}{10.89 - 4.00} = 6.32 \text{ Ом.}$$

З урахуванням повного опору вертикальних заземлювачів більш точна кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням з'єднувальної полоси визначається за формулою:

$$n = \frac{r_z}{R \times \eta_a}, \quad (6.13)$$

$$n = \frac{28.97}{6.32 \cdot 0.78} = 6 \text{ шт.}$$

Приймаємо до встановлення 6 вертикальних заземлювачів, загальна довжина горизонтального заземлювача 70.00 м при середній відстані між вертикальними заземлювачами 11,67 м.

Конструкція заземлюючого пристрою вказана на рисунку 6.2.[31], монтажні параметри одного заземлювача в двошаровому ґрунті на рисунку 6.3,

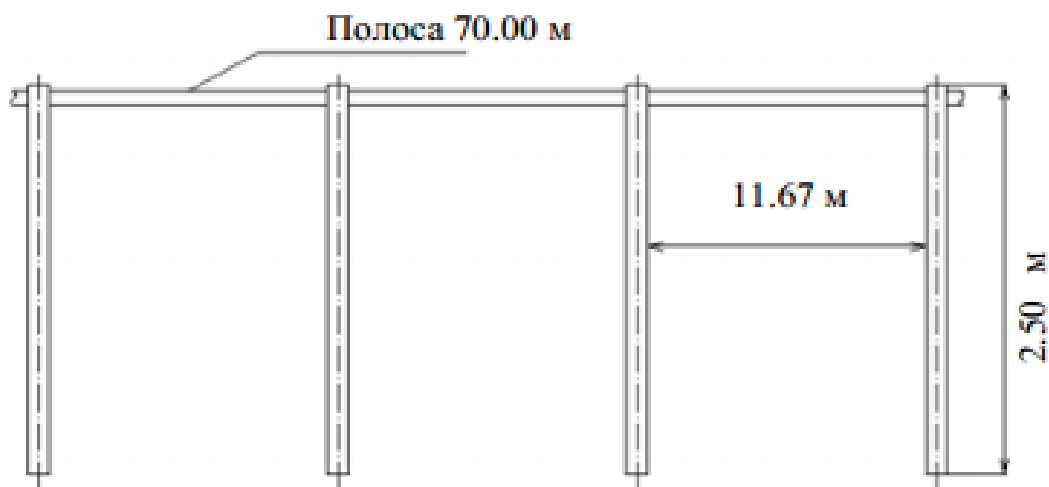


Рисунок 6.2. - Конструкція заземлюючого пристрою

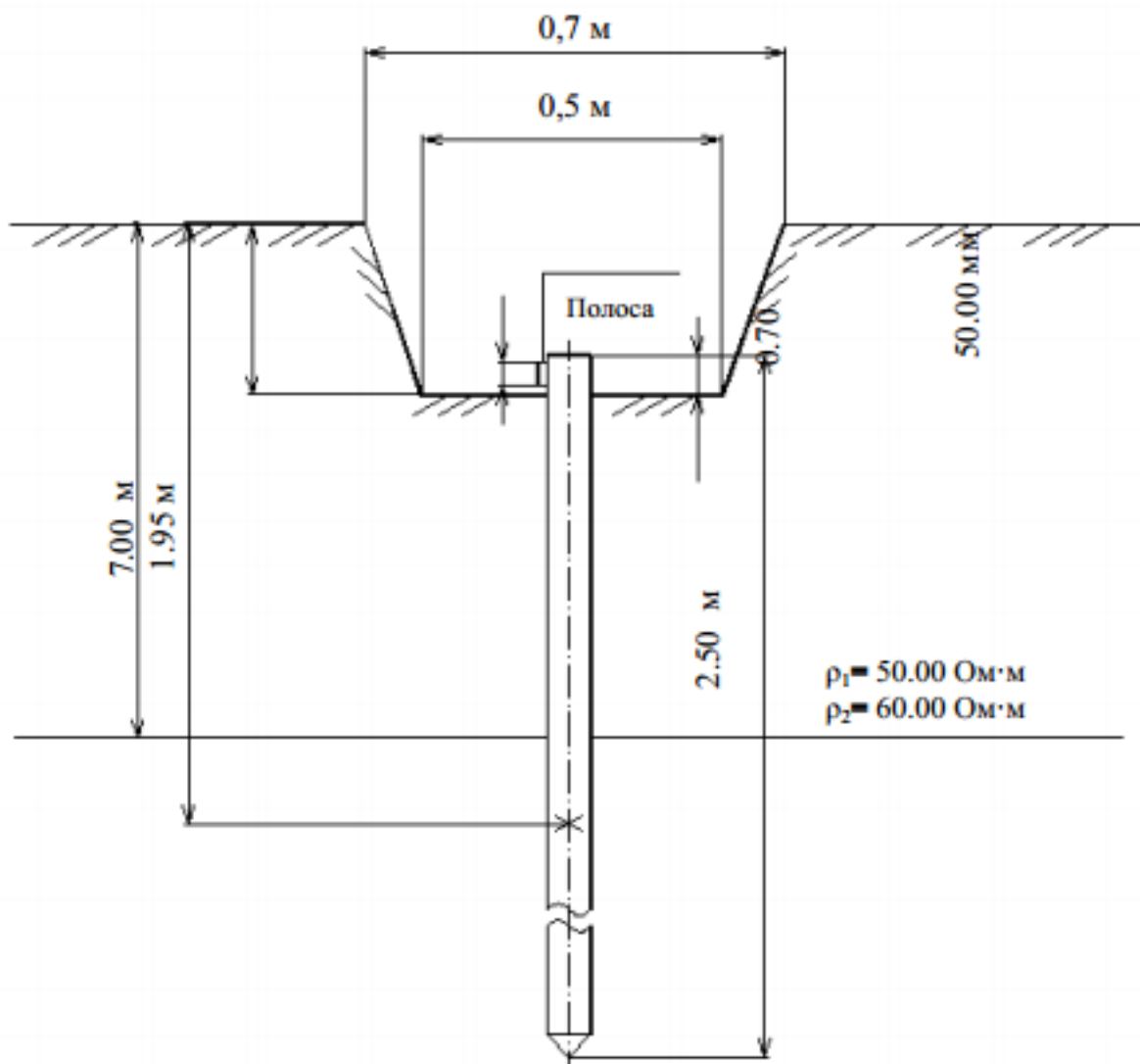


Рисунок 6.3. - Установка одного заземлювача в двошаровому ґрунті

Кінцева відстань між вертикальними заземлювачами вздовж з'єднувальної полоси вказується на плані заземлюючого пристрою.

## ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу фізичних процесів у піроелектричному датчику випромінювання синтезовано його передавальну функцію, що реалізована у вигляді візуально-блочної моделі у середовищі Mathlab Simulink. Дослідження розробленої моделі показали, що чутливість датчика залежить від частоти модуляції випромінювання і товщини шару піроелектрика.

2. Встановлено, що пік чутливості датчика зсувається до нижчих частот при збільшенні товщини шару піроелектрика. При цьому також спостерігається зменшення чутливості з 3,3 В/Вт до 1,2 В/Вт.

3. Показано, що під дією збільшення термічної постійної часу зростає чутливість датчика, разом зі зсувом її максимуму у ділянку більш низьких частот.

4. Встановлено, що для отримання оптимальної чутливості датчиків необхідно здійснювати регулювання частоти модуляції випромінювання.

5. Розроблено пристрій адаптивного регулювання частоти модуляції випромінювання датчика на основі мікроконтролеру Atmega8.

6. Показано, що розроблена схема працює за допомогою програмного коду, що займає 1.49 кбіт. у пам'яті мікроконтролера.

7. Розроблено друковану плату системи адаптивного керування модулятором випромінювання з розмірами : довжина 16,50 мм, ширина 20,05 мм, висота 2 мм.

8. Показано, що витрати на дослідження і розробку системи адаптивного керування модулятором випромінювання становлять 95536 грн. 63 коп., а термін окупності капітальних вкладень 0,15 років.

9. Результати роботи пройшли апробацію на двох науково технічних конференціях [32, 33].

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Царенко О.М. Основи фізики напівпровідників і напівпровідникових приладів : навчальний посібник. Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2011. 90 с.
2. Михеев В.П., Просандеев А.В. Датчики и детекторы : учебное пособие. Москва : МИФИ, 2007. 18 с.
3. ГОСТ Р 8.625-2006. Государственная система обеспечения единства измерений. Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний. С. 15-18.
4. Д. Фрайден. Современные датчики. Справочник. Москва : Техносфера, 2005. 592 с.
5. Гордов А.Н., Жагулло О.М., Иванова А.Г. Основи температурних вимірів. Москва : Энергоатомвидат, 1992. 70 с.
6. Бурштинський М.В., Хай М.В. Апарати захисту та керування в електричних установках низької напруги. Підручник. Львів : ТзОВ „Простір М”, 2013. 602 с.
7. Отраслевое применение датчиков. Каталог продукции ТЕКО, 2011 г. 105 с.
8. Лайнс М. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. Москва : "Мир", 1981. С. 598 - 603.
9. Струков Б.А. Пирозлектрические материалы: свойства и применения. Соросовский образовательный журнал. Физика. 1998. Т. 2, №5. С. 96 – 101.
10. Достижения в технике передачи и воспроизведения изображений. Т.3. Москва : "Мир", 1980. С. 12-88.
11. Датчики. URL: [http://www.nbu.gov.ua/Portal/natural/Tr/2008\\_2/G3.html](http://www.nbu.gov.ua/Portal/natural/Tr/2008_2/G3.html) (дата звернення 28.10.2020).



12. Дьяконов В. П. Simulink 5/6/7 : Самоучитель. Москва : ДМКПресс, 2008. 84 с.
13. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналогово-цифровых электронных устройств. Москва : Издательский дом «Додэка - XXI», 2005. 528 с.
14. АЦП микроконтроллера ATmega8, цифровой вольтметр. URL: <https://shemabook.ru/joomla-overview/1325-atmega8.html/> (дата звернення 28.10.2020).
15. Трамперт В. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR-микроконтроллеров. Киев : «МК-Пресс», 2006. 208 с.
16. Карлащук В. И. Электронная лаборатория на IBM PC. Моделирование элементов телекоммуникационных и цифровых систем на VisSim и Electronics. Москва : Солон-Пресс, 2006. Т. 2. 640 с.
17. Електроніка: Proteus Design Suite Version 8. URL : <http://www.labcenter.com/index.cfm> (дата звернення 28.10.2020).
18. Березин А. С. Технология и конструирование интегральных микросхем. Москва : Радио и связь, 1992. 320 с.
19. DipTrace. Руководство пользователя. Novarm Ltd, 2016. 25 с.
20. Adams T. M. Introductory MEMS: Fabrication and Applications, 2010. 444 с.
21. Beeby S., Ensell G., Kraft M., White N. MEMS Mechanical Sensors. Artech House, 2004. 281 с.
22. Резнев А. А., Вернер В. Д.. Тенденции развития МЭМС. Амиант, 2010. 572 с.
23. Джексон Р. Г. Новейшие датчики. Москва : Техносфера, 2007. 384 с.
24. Котюк А.Ф. Датчики в современных измерениях. Москва : Радио и связь, 2006. 96с.
25. Техніко-економічне обґрунтування проектно-конструкторських робіт: методичні вказівки до самостійної роботи та виконання дипломних і

контрольних робіт для студентів спеціальності 7.0908.04 «Фізична і біомедична електроніка». Запоріжжя: ЗДІА, 2010. 17 с.

26. Бриль А. Р. Функционально-стоимостный анализ в экономических расчетах. Львов : Издательство ПГУ, 1989. 148 с.

27. Громадський Ю.С., Шелудько Б.І., Розинський Д.Й. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. Мінбуд України, 2006. 30 с.

28. Правила експлуатації електрозахисних засобів: НПАОП 40.1-1.07-01. Мінсоцполітики України, 2001. 30 с.

29. ДНАОП 0.00–1.21–98: затв. наказ Держнаглядодохоронпраці від 09.01.98 № 4. С. 30-33.

30. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні: зареєстровано в Міністерстві юстиції України 05 березня 2015 р. за № 252/26697. С. 18-20.

31. В.М. Москальова. Охорона праці. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. Рівне : НУВГП , 2009. 150 с.

32.Костик І.В. Аналіз залежності чутливості датчика випромінювання від частоти модуляції світлового потоку. Збірник наукових праць XIII університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Молода наука-2020»: ЗНУ, 2020. Т. V. С. 60.

33. Кісельов Є. М., Костик І.В. Побудова системи накопичення і перетворення вторинної енергії. Матеріали XXV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА. Енергетика, електроніка та інформаційні технології Запоріжжя: ІННІ ЗНУ, 2020. Т. 3. С. 48.

Програмний код управління мікроконтролером системи адаптивного керування датчиком випромінювання

```
#include <iom8.h>
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <avr/interrupt.h>

#define ADC_VREF_TYPE 0x20
#define DDR_SPI DDRB
#define DD_MOSI 3
#define DD_SCK 4
#define DD_SS 2
#define SPE 6
#define MSTR 4
#define SPR0 0
#define SPR1 1
#define SPIF 7

#define F_CPU 4000000

unsigned char adc0 = 0x00;
unsigned char adc1 = 0x00;
unsigned char cnt0 = 0;
unsigned char cnt1 = 0;
unsigned char cEnable = 0x00;
unsigned int idac = 0;
```

```
ISR(ANA_COMP_vect)
{
    if((cEnable & 0xFF) == 0xFE)
        cEnable |= 0x01;
    else
        cEnable &= 0xFE;
}
```

```
ISR(INT0_vect)
{
    if((cEnable & 0x02) == 0x00)
    {
        cnt0 = 0;
        TIMSK |= 0x41;
        cEnable |= 0x02;
    }
}
```

```
ISR(TIMER2_OVF_vect)
{
    TCNT2=0x7B;
    cnt1++;
    if(cnt1 == adc1)
    {
        TIMSK &= 0x3E;
        PORTB &= 0xFE;
        cnt1 = 0;
    }
}
```

```
ISR(TIMERO_OVF_vect)
```

```
{
    TCNT0=0xFA;
    cnt0++;

    if(cnt0 == adc0)
    {
        PORTB &= 0xFE;
        cnt0 = 0;
    }
    if(cnt0 == 1)
    {
        PORTB |= 0x01;
    }
}
```

```
unsigned char read_adc(unsigned char adc_input)
```

```
{
    ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
    _delay_us(10);
    ADCSRA|=0x40;
    while ((ADCSRA & 0x10)==0);
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCH;
}
```

```
void SPI_MasterInit()
```

```
{
    SPCR = 0x52;//DAC - AD5310 (MSB - first, LSB - second)
```

```
}
```

```
void SPI_MasterTransmit(unsigned char cData)
```

```
{
```

```
SPDR = cData;
```

```
while(!(SPSR & (1<<SPIF)));
```

```
}
```

```
int main()
```

```
{
```

```
PORTB=0xFE;
```

```
DDRB=0xFF;
```

```
PORTD=0xFF;
```

```
DDRD=0x1F;//1F
```

```
TCCR0=0x02;
```

```
TCNT0=0x00;
```

```
TCCR2=0x03;
```

```
GICR|=0x40;
```

```
MCUCR=0x03;
```

```
GIFR=0x40;
```

```
ACSR=0x08;
```

```
SFIOR=0x00;
```

```
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x84;

TIMSK=0x00;

SPSR=0x00;

sei();

SPI_MasterInit();
SPI_MasterTransmit(0xAA);

while (1)
{
    adc0 = read_adc(0);
    if((PIND & (1<<5)) == (1<<5))
    {
        TIMSK |= 0x01;
        if((cEnable & 0x01) == 0x00)
        {
            if((ACSR & 0x20) == 0x20)
            {
                if(idac<0x0FFF)
                    idac+=1;
            }
            if((ACSR & 0x20) == 0x00)
            {
                if(idac>0x00)
```

```
        idac-=1;
    }
}
PORTB &= 0xFB;
SPI_MasterTransmit(idac>>8);
SPI_MasterTransmit(idac);
PORTB |= 0x04;
}

if((PIND & (1<<5)) == 0x00)
{
    adc1 = read_adc(1);
    if((cEnable & 0x02) == 0x02)
    {
        cEnable &= 0xFD;
    }
}
}
}
```



Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	кп.	Примітка
A1			ЕС М.019152.00.00.00.00.Д1	Моделювання системи адаптивного керування тепловим датчиком випромінювання		
				Візуально-блочна модель датчика		
A1			ЕС М.019152.00.00.00.00.Д2	Моделювання системи адаптивного керування тепловим датчиком випромінювання		
				Результати моделювання чутливості датчика		
A1			ЕС М.019152.00.00.00.00.Е3	Моделювання системи адаптивного керування тепловим датчиком випромінювання		
				Схема електрична принципова		
A1			ЕС М.019152.00.00.00.00.Д3	Моделювання системи адаптивного керування тепловим датчиком випромінювання		
				Результати моделювання		
A1			ЕС М.019152.00.00.00.00.Д4	Моделювання системи адаптивного керування тепловим датчиком випромінювання		
				Структура системи		
A1			ЕС Д2.16034.1.00.00.00.00.Д5	Моделювання системи адаптивного керування тепловим датчиком випромінювання		
				Блок-схема алгоритму керування мікроконтролером		
			ЕС Д2.16034.1.00.00.00.00.Д6	Моделювання системи адаптивного керування тепловим датчиком випромінювання		
				Результати розробки пристрою		
			ЕС Д2.16034.1.00.00.00.00.Д7	Моделювання системи адаптивного керування тепловим датчиком випромінювання		
				Економічне обґрунтування		
			ЕС Д2.16034.1.00.00.00.00.Д8	Моделювання системи адаптивного керування тепловим датчиком випромінювання		
				Заземлюваній пристрій		

ЕС Д2.16034.1.00.00.00.00

Зм.	Арк.	№ докцм.	Підп.	Дата
Розроб.		Костик		11.12.20
Перевір.		Кісельов		11.12.20
Н.контр.		Турішев		01.12.20
Затверд.		Критська		16.12.20

Моделювання системи адаптивного керування тепловим датчиком випромінювання

Літ.	Арк.	Аркцифв
		1
ІННІ ЗНУ		
8.1719		

Копіював

Формат А4

Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
	Конденсатори		
C1	CR-0805-10 нФ	1	
	Мікросхеми		
DA1	TL082	1	
DD1	ATmega8	1	
DD2	AD5310	1	
DD3	SN7414N	1	
	Резистори		
R1	CR-1206-2000м+/- 5%	1	
R2, R3	CR-1206-10кОм+/- 5%	2	
R4	CR-1206-100кОм+/- 5%	1	
R5-R7	CR-1206-1,5кОм+/- 5%	3	
	Транзистори		
VT1	2N2608	1	
VT2, VT3	IRFZ34	1	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Костик	<i>[Signature]</i>	01.12.20
Перевір.		Кісельов	<i>[Signature]</i>	01.12.20
Т.контр.		Туришев	<i>[Signature]</i>	01.12.20
Затверд.		Критська	<i>[Signature]</i>	01.12.20

ЕС М.019152.00.00.00.00.ПЕ

Моделювання системи адаптивного керування тепловим датчиком випромінювання перелік елементів

Літ.	Арк.	Аркциві
	1	3

ІННІ ЗНУ  
8.1719

Копіював

Формат А4