

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему

Дослідження процесів перетворення
сигналів у оптичному абсорбційному
датчику

Виконав: студент II курсу, групи 8.17.11

спеціальності 171 «Електроніка»

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Електроніка

(код і назва освітньої програми)

В. В. Рудніченко

(ініціали та прізвище)

Керівник

доц., к.т.н. Кіселев Е. М.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент

доц. д-р. тех. наук ІВКФ "Скотх" Чернов С. А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 171 «Електроніка»
(код і назва)
Освітня програма Електроніка
(код і назва)
Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Критська Т.В.

“06” 09 2022 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Резніченко Владислав Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Дослідження процесів
перетворення сигналів у оптичному абсорбційному
датчику

керівник роботи Кісенков Є.М., к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвердені наказом ЗНУ від “02” червня 2022 року № 597-с

2 Строк подання студентом роботи 01. грудня 2022

3 Вихідні дані до роботи структура трирівневої системи
випробування концентрації озону; результати
візуально-блокового моделювання оптичного каналу датчика

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз системи визначення концентрації озону 2 Розробка
та дослідження моделі системи 3 Розробка схеми системи
4 Дослідження розробленої схеми 5 Схеми та
організація роботи лабораторії 6 Висновки та
технічна документація

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

1 Структура системи вимірювань 2 Моделювання вимірювального тракту 3 Структура системи адаптивної керування 4 Моделювання системи адаптивної корекції 5 Система обробки і керування датчиком (кр.) 6 Результати моделювання системи обробки 7 Топологія друкованої плати 8 Частини графік проекту деталізація

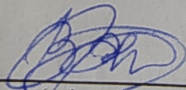
6 Консультанти розділів роботи

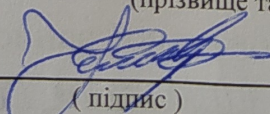
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Кісельов Є.М., доц.	01.02.22	02.03.22
2	Кісельов Є.М., доц.	02.03.22	06.04.22
3	Кісельов Є.М., доц.	06.04.22	15.06.22
4	Кісельов Є.М., доц.	15.06.22	25.08.22
5	Кісельов Є.М., доц.	25.08.22	03.10.22
6	Кісельов Є.М., доц.	03.10.22	07.11.22

7 Дата видачі завдання 01 лютого 2022

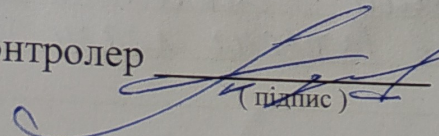
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз системи визначення концентрації озону	02.03.22	
2	Розробка та дослідження моделі системи	06.04.22	
3	Розробка схеми системи	15.06.22	
4	Дослідження розробленої схеми	25.08.22	
5	Схемика та організація роботи лабораторії	03.10.22	
6	Варіанти плати та технолога друку	07.11.22	
7	Виконання неяснозавданого замовлення		
8	Виконання графічної частини		

Студент  Резніченко В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту)  Кісельов Є.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  Туршнев М.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить 111 стор., 78 рис., 18 табл., 30 інформаційних джерел, 1 додаток на 2 стор.

ОПТИЧНІ АБСОРБЦІЙНІ ДАТЧИКИ ОЗОНУ, АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ, ДРУКОВАНА ПЛАТА, МОДЕЛЮВАННЯ

Мета роботи – дослідження методів перетворення сигналів у трипроменевому оптичному абсорбційному датчику озону

Завдання роботи – розробка візуально-блочної моделі вимірювального тракту системи визначення концентрації озону; дослідження системи перетворення вихідних сигналів оптичних абсорбційних сенсорів озону; розробка друкованої плати блоку обробки вихідних сигналів датчиків озону.

Методи рішення задач: теоретичний аналіз методів адаптивної корекції вихідних сигналів; синтез моделі адаптивної корекції; синтез схеми електричної принципової системи обробки і керування датчиками; моделювання схеми.

На основі моделювання алгоритму адаптивної корекції сигналів оптичних абсорбційних датчиків розроблено схему і конструкцію системи обробки сигналів, що дозволяють мінімізувати похибку вимірювань концентрації озону на рівні 1,6% за час 16 мкс. Показана працездатність розробленої схеми в умовах використання у складі озонаторних станцій.

Прогнозні пропозиції: проведення макетування розроблених технічних рішень.

Робота виконана на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ з 02.02.2022 по 01.12.2022

ЗМІСТ

Вступ	7
1. Аналіз результатів дослідження системи визначення концентрації озону	9
1.1. Аналіз моделі з джерелами випромінювання постійної інтенсивності	9
1.2. Вплив перешкод у робочому середовищі на точність абсорбційних оптичних датчиків	12
1.3. Визначення характеристик системи обробки сигналів абсорбційного оптично-го датчика озону при модуляції випромінювання	15
1.4. Обґрунтування обрання системи дослідження перетворення сигналів	19
2. Розробка моделі вимірювального тракту системи визначення концентрації озону	26
2.1. Структура системи вимірювання концентрації озону	26
2.2. Синтез візуально-блокової моделі системи обробки сигналів абсорбційних датчиків озону	28
2.3. Аналіз методів корекції сигналів оптичних абсорбційних датчиків	31
2.4. Синтез моделі адаптивної корекції вихідних сигналів оптичних абсорбційних датчиків озону	34
2.5. Моделювання системи обробки сигналів абсорбційних оптичних датчиків озону	39
3. Розробка системи обробки сигналів оптичних абсорбційних датчиків озону	44

3.1. Розробка схеми блоку управління джерелами випромінювання	44
3.2. Розробка схеми блоку обробки результатів вимірювання	49
3.3. Розробка блоку аналого-цифрового перетворювача	54
3.4. Розробка схеми адаптивного керування оптичними абсорбційними датчиками	58
4. Дослідження системи обробки сигналів оптичних абсорбційних датчиків	64
4.1. Моделювання блоку керування джерелами випромінювання	64
4.2. Моделювання блоку обробки вихідних сигналів датчиків	72
4.3. Розробка друкованої плати системи обробки сигналів оптичних абсорбційних датчиків озону	78
5. Економіка та організація роботи науково-дослідної лабораторії	82
5.1. Формуляр проекту	82
5.2. Характеристика робіт за проектом	83
5.3. Робоча структура проекту - WBS	84
5.4. Організаційна структура проекту - OBS	84
5.5. Структура затрат проекту - CBS	86
5.6. Матриця відповідальності	86
5.7. Система кодування проекту	86
5.8. СТР - каталог	89
5.9. Стрілчастий графік	90
5.10. Розрахунок тривалості проекту з урахуванням запасів часу	91
6. Охорона праці та техногенна безпека	94
6.1. Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів	94
6.2. Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів	98

6.3	Виробнича санітарія	99
6.4	Електробезпека	101
6.5	Пожежна безпека. Техногенна безпека	106
	Висновки	107
	Список посилань	108
	Додаток А	112

ВСТУП

Ефективність використання озонаторних станцій зумовлюються точністю і функціональністю підсистем контролю вмісту озону у робочому середовищі обладнання. Це передбачає вдосконалення існуючих і розробку нових засобів визначення концентрації озону на базі сучасних досягнень в галузі сенсоріки та обчислювальної техніки.

У [1] було показано раціональність реалізації системи вимірювання концентрації озону у озонаторній станції на базі абсорбційного методу поглинання ультрафіолетового випромінювання у робочому середовищі. Також розроблено структуру оптичного сенсора озону, що відрізняється від існуючих аналогів, використанням у якості джерела ультрафіолетового випромінювання світлодіоду з максимумом випромінювальної характеристики на довжині хвилі, що відповідає піку поглинання озону у смузі Хартлі.

На основі цих досліджень було розроблено датчик озону з використанням мікроконтролера АТМega328Р для обробки вихідних сигналів сенсора. Для мікроконтролером датчика було синтезовано програмний код управління, що займає 5466 байт у пам'яті мікроконтролера, а глобальні змінні займають 335 байт. Проведені дослідження показали працездатність розробленого програмного забезпечення.

На основі проведених досліджень було встановлено, що час підготовки датчика до функціонування складає 70 мс, а мінімальна тривалість циклу вимірювання концентрації озону становить 120 мс.

Разом з цим, у [2] було показано, що ефективність визначення концентрації озону щодо озонаторних станцій обумовлюється необхідністю підвищення точності вимірювань на основі врахування впливу поглинання ультрафіолетового (УФ) випромінювання на сторонніх домішках робочого середовища. Тому було запропоновано трипроменевий сенсор озону з двома геометрично розподіленими оптичними каналами.

Практична реалізація багатопроменевої системи визначення концентрації озону лімітується необхідністю розробки більш складних перетворень вимірювальної інформації у порівнянні з раніш розробленим однопроменевим датчиком.

Т.ч., дослідження процесів перетворення сигналів у оптичному абсорбційному датчику є актуальним науково-технічним завданням.

1 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ

1.1. Аналіз моделі з джерелами випромінювання постійної інтенсивності

Як показано у [3], зміна інтенсивності випромінювання у опорному і вимірювальному каналі системи вимірювання концентрації озону необхідно здійснювати у стаціонарних режимах роботи оптичних каналів. Таким чином, було синтезовано модель з постійним джерелом живлення випромінювачів – світлодіодів (рис. 1.1). При цьому об'єднання джерела світла з електричною частиною моделі виконується аналогічно, як і при імпульсних джерелах [4].

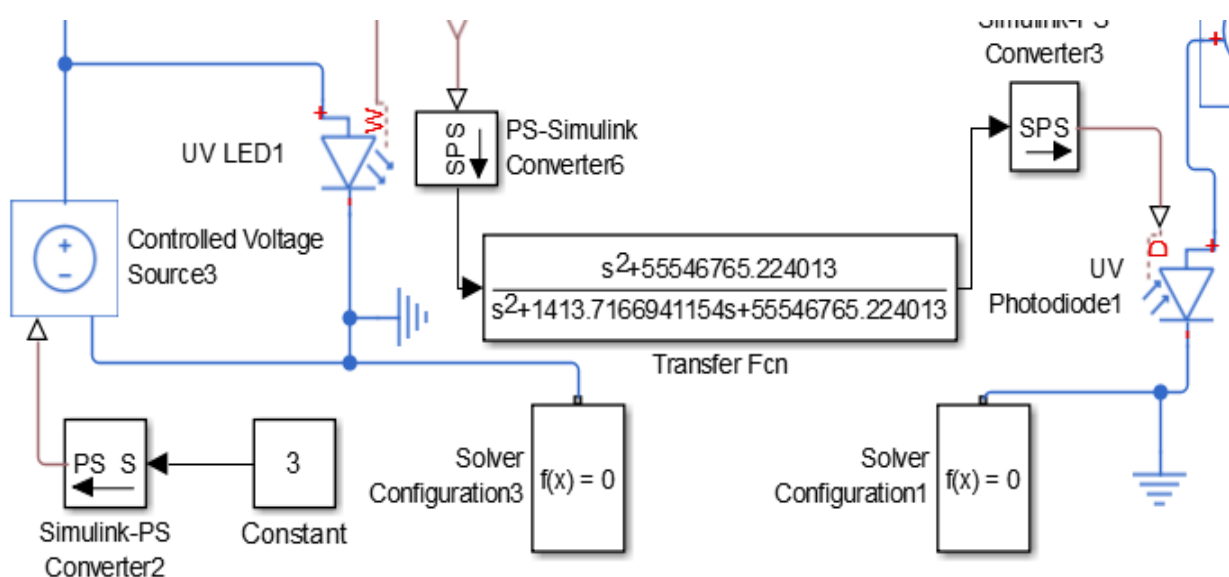


Рисунок 1.1 – Візуально-блочна модель оптичного каналу систему визначення концентрації озону

Також модель було доповнено блоками з обробки і фіксації вихідних сигналів Sample, Ozone і Error фотоприймачів, як показано на рис. 1.2. Таким

чином, відповідно до [5], визначається відношення сигналів вимірювального каналу і опорного каналу за допомогою блоку Divide.

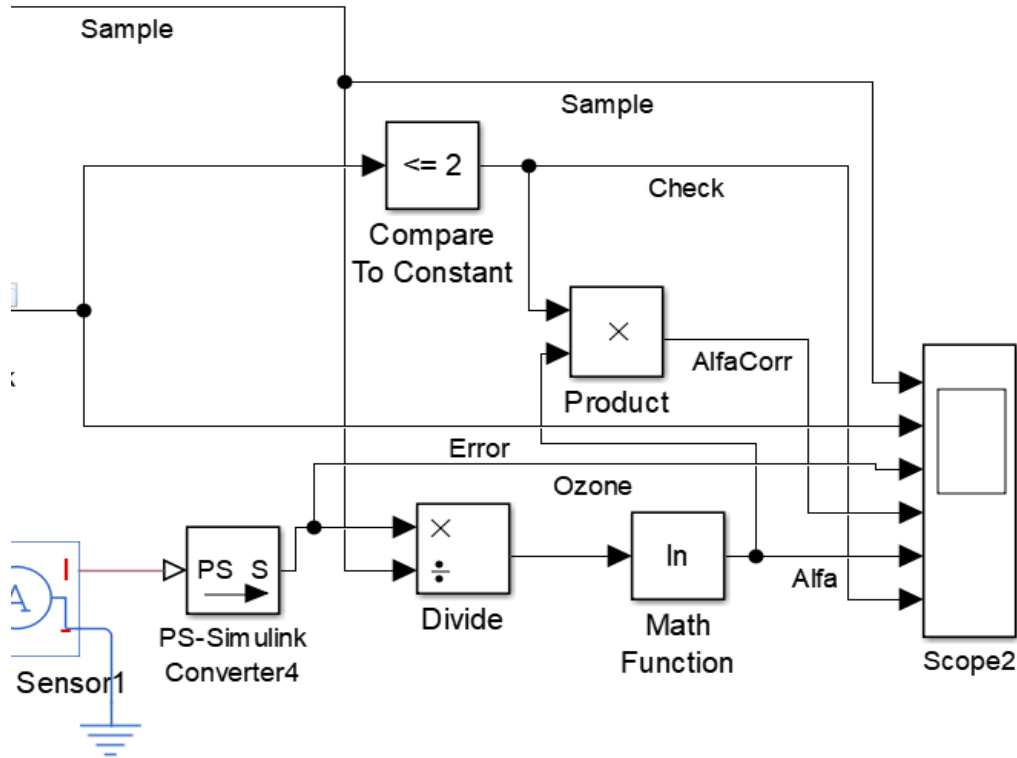


Рисунок 1.2 – Візуально-блочна модель системи обробки вихідних сигналів оптичних датчиків

За допомогою Math Function здійснюється логарифмування ступені зменшення сигналів і обчислюється коефіцієнт поглинання УФ – випромінювання молекулами озону – сигнал Alfa (рис. 1.3).

На основі Compare To Constant реалізовано сигнал про наявність сторонніх частинок у робочому середовищі і скидання, шляхом твору його вихідного значення Check на величину сигналу Alfa, результатів вимірювань до нуля (Product). Цьому сигналу відповідає значення AlfaCorr. При перевищенні вихідним сигналом широкосмугового датчика граничного значення (2 В) відбувається скидання стану компаратора до нуля і величина AlfaCorr також буде

дорівнювати нулю. На рис. 1.3 це відбувається на початкових ділянках, де спостерігається рівноважний стан функціонування випромінювачів і приймачів системи.

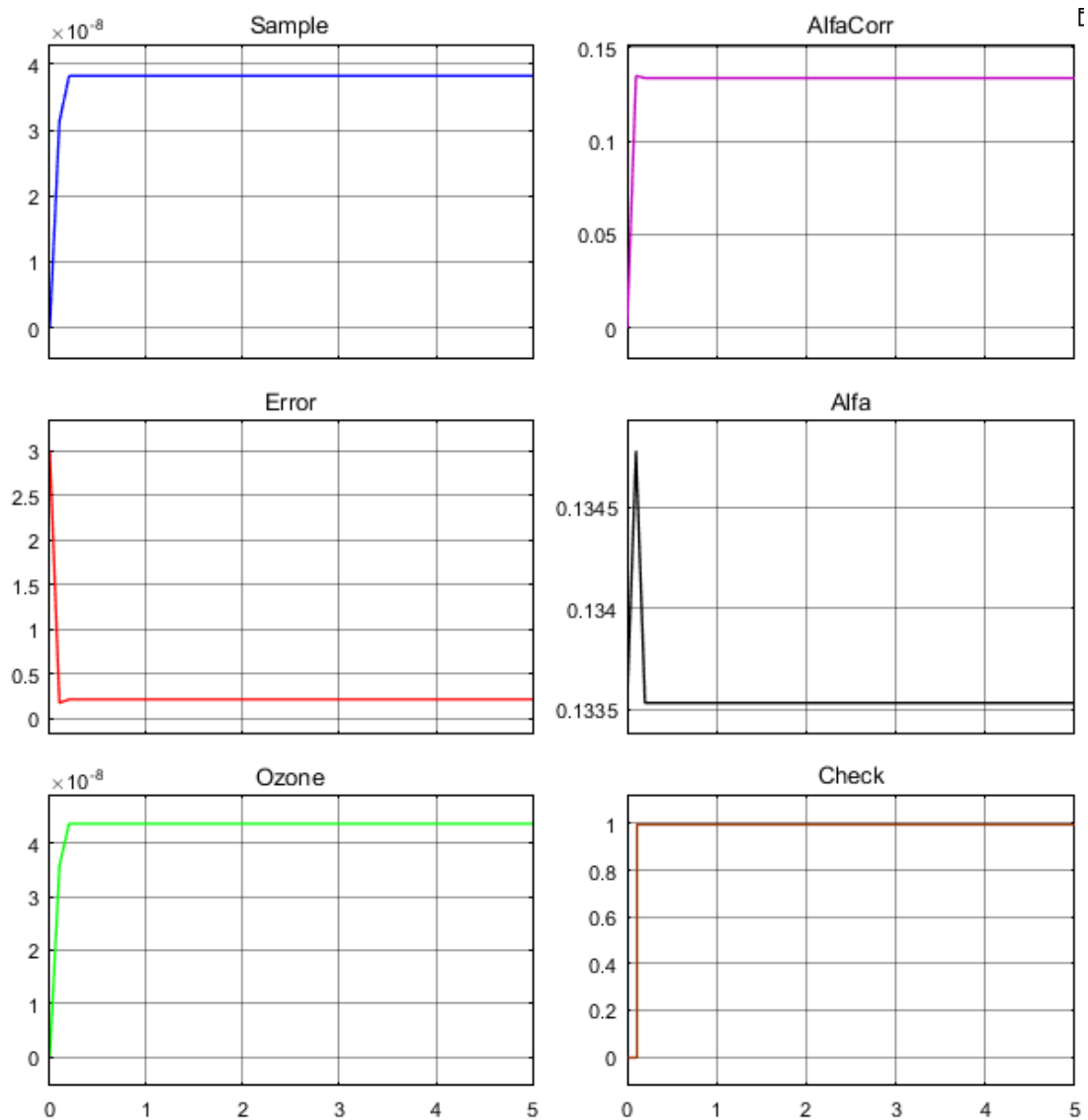


Рисунок 1.3 – Результати моделювання стаціонарного режиму роботи візуально-блочної моделі: Sample – вихідний сигнал опорного каналу, Error – вихідний сигнал широкосмугового датчика, Ozone – вихідний сигнал вимірювального каналу, AlfaCorr – скориговане значення коефіцієнту поглинання, Alfa - значення коефіцієнту поглинання, Check – сигнал, що відповідає наявності сторонніх частинок у робочому середовищі.

З цього слід, що час встановлення результатів вимірювань становить 0,21 с при значенні коефіцієнту поглинання 0,135.

1.2. Вплив перешкод у робочому середовищі на точність абсорбційних оптичних датчиків

Проблема завадостійкості інформаційно-вимірювальних систем виникає при їх проектуванні і експлуатації, що мають обмежений енергетичний потенціал. Перш за все це, стосується до інформаційно-вимірювальної техніки, в якій в якості носія інформації використовується оптичне випромінювання. Оптоелектронні інформаційно-вимірювальні системи передачі інформації ефективно працюють за умови, що співвідношення «сигнал / шум» на вході приймача випромінювання перевищує деяке порогове значення. Зменшення співвідношення «сигнал / шум» на вході приймача випромінювання при роботі в області порога призводить до швидкого зростання похибки вимірювання і, відповідно, до різкого погіршення якості вимірювання. До теперішнього часу немає єдиних і чітких визначень для порогового режиму, порогового сигналу і порогового співвідношення «сигнал / шум».

Робота інформаційно-вимірювальних систем при порогових режимах мало вивчена. Відомо лише, що разом з корисним сигналом через елементи оптоелектронної інформаційно-вимірювальної системи практично завжди проходять перешкоди, звані шумами, які можуть генеруватися і в самих елементах системи. Накладаючись на корисний сигнал, ці перешкоди спотворюють його параметри, що неминуче веде до виникнення похибок вимірювання. У більшості випадків ці перешкоди є випадковими, статистичні характеристики яких залежать від характеру завдання, структури і складу елементів оптоелектронної інформаційно-вимірювальної системи. Для зменшення інерцій-

ності оптичної інформаційно-вимірювальної системи і зниження значення її динамічних похибок смуга частот, що пропускаються частотної характеристики системи розширюється, що веде до підвищення рівня перешкод і зростання спотворень параметрів корисного сигналу від них. Таким чином, тенденції зміни динамічних похибок і похибок від шумів при зменшенні інерційності інформаційно-вимірювальних систем протилежні, і існують такі параметри системи, що визначають її частотну передавальну функцію, при яких сума динамічної похибки та похибки від шумів буде мінімальною для заданих умов роботи.

Таким чином, було проведено дослідження функціонування моделі вимірювального тракту в умовах дії випадкових перешкод [67]. З цією метою у модель з постійними джерелами живлення було додано джерело випадкових сигналів Band-Limited White Noise до оптичного каналу вимірювального тракту (рис. 1.4).

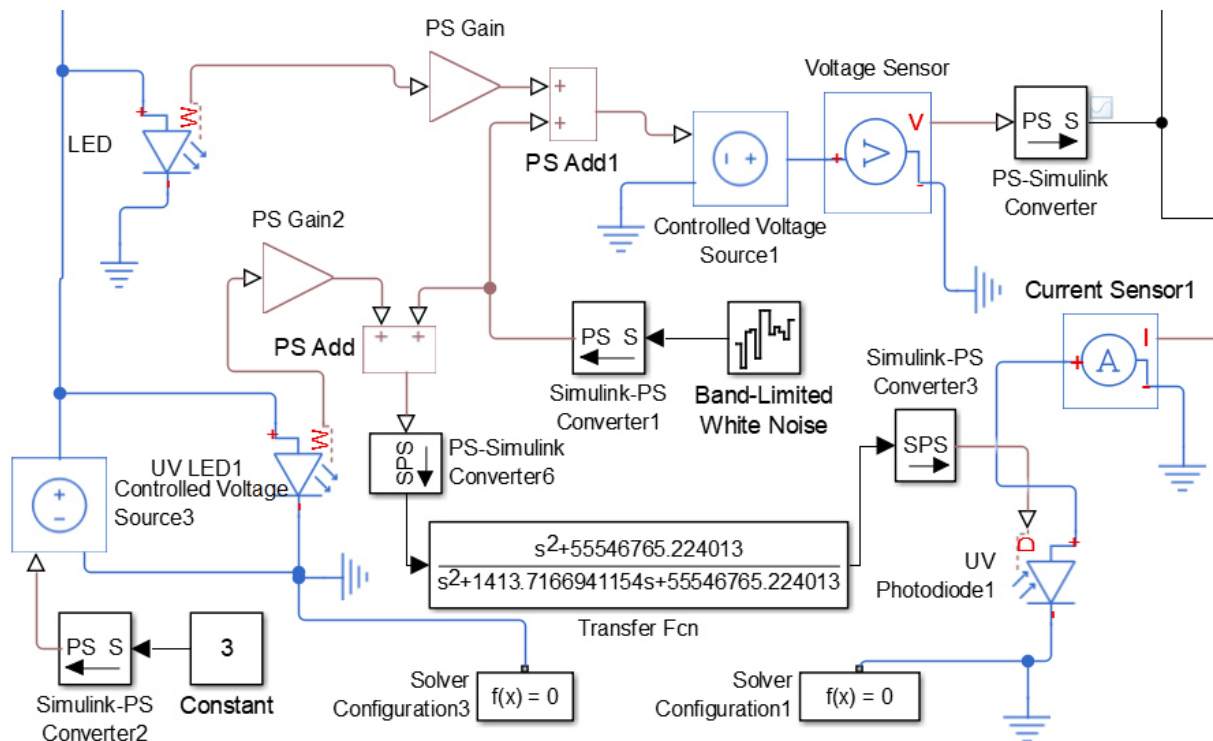


Рисунок 1.4 – Візуально-блочна модель з урахуванням впливу завад у вимірювальному каналі

В цієї моделі за допомогою підсумовування PS Add1 і PS Add реалізовано адитивну суміш випромінювання світлодіодів із завадами на входах приймачів основного і широкосмугового датчиків (рис. 1.5).

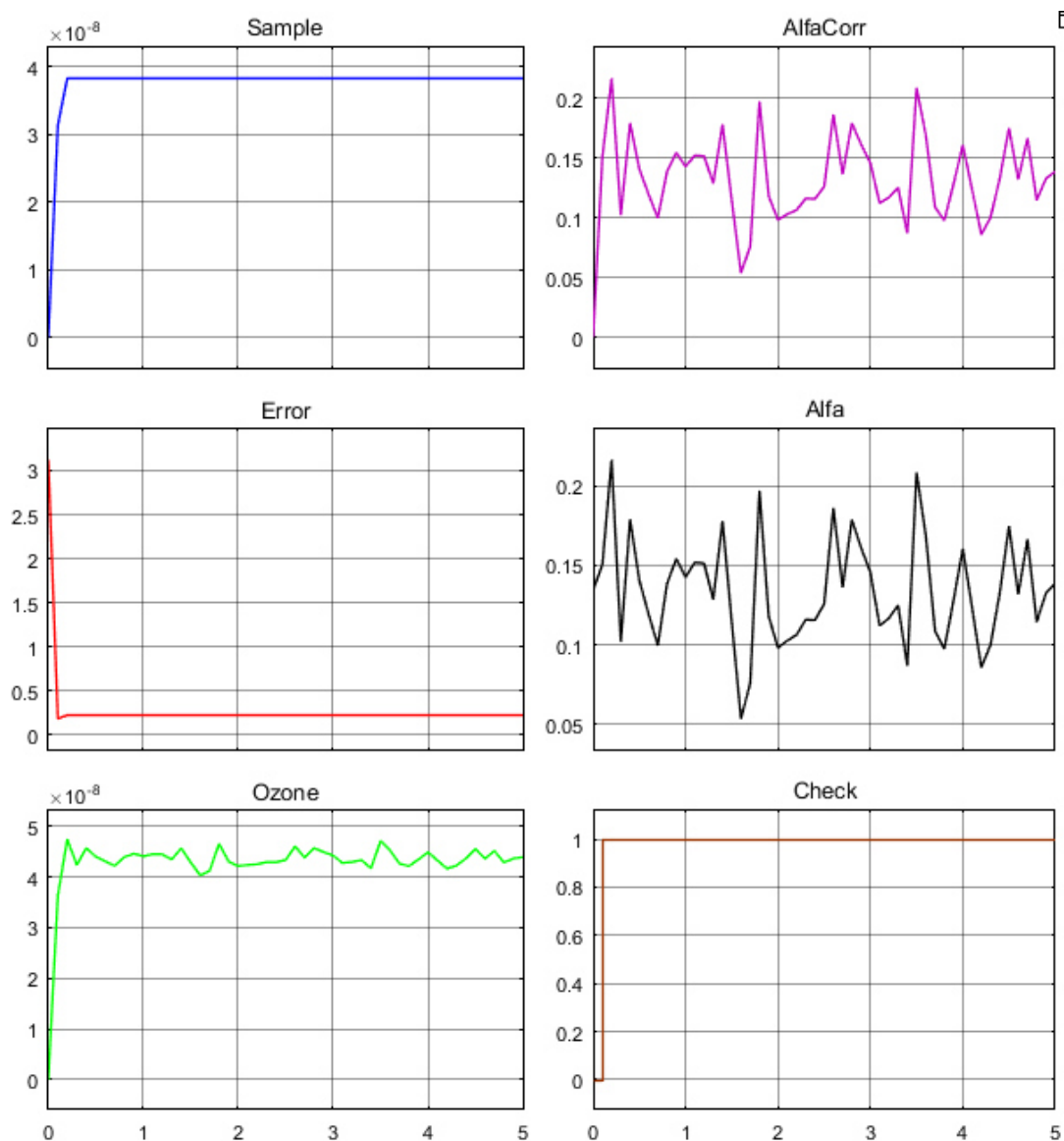


Рисунок 1.5 – Результати моделювання завадостійкості у стаціонарному режимі роботи візуально-блочної моделі з перешкодами у оптичному каналі: Sample – вихідний сигнал опорного каналу, Error – вихідний сигнал широко-смугового датчика, Ozone – вихідний сигнал вимірювального каналу, AlfaCorr – скориговане значення коефіцієнту поглинання, Alfa - значення коефіцієнту поглинання, Check – сигнал, що відповідає наявності сторонніх частинок у робочому середовищі.

З рис. 1.5 слід, що процеси поглинання УФ випромінювання AlfaCorr під дією випадкових перешкод призводять до зміни коефіцієнту поглинання від 0,056 до 0,22. Завдяки цьому виникає помилка вимірювань від 0,17 до 0,69 при потужності шумів 1нВт/Гц.

1.3. Визначення характеристик системи обробки сигналів абсорбційного оптичного датчика озону при модуляції випромінювання

З метою зменшення значення похибки вимірювань було розроблено візуально-блочну модель вимірювального тракту з модуляцією випромінювання [7], яку показано на рис. 1.6.

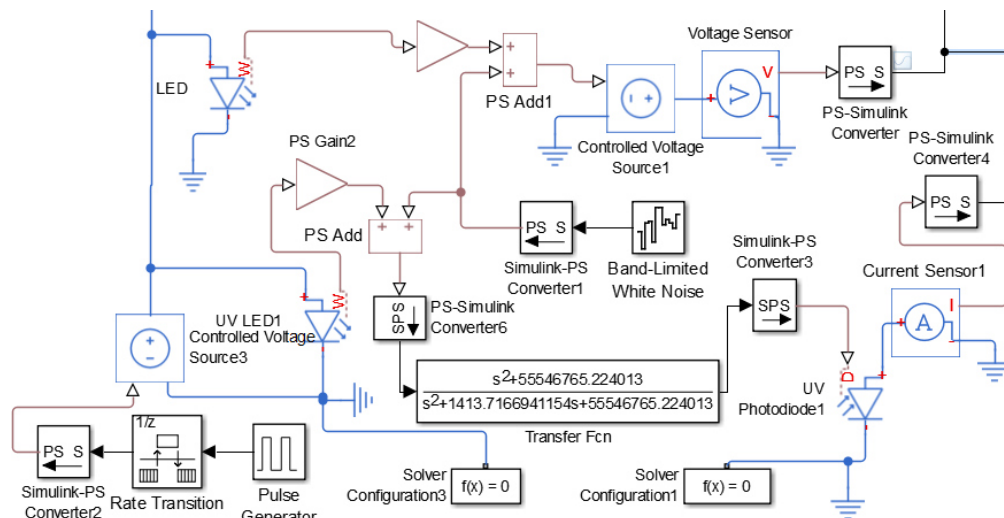


Рисунок 1.6 – Візуально-блочна модель оптичного каналу з модуляцією випромінювання

На відміну від нестационарної моделі [6], було додано блок Rate Transition для узгодження частоти модуляції випромінювання у каналі (0,33

Гц) з випадковою частотою появи завод. При цьому шпаруватість модуляції складає 0,7.

Також було запропоновано застосування обробки вихідних сигналів датчиків, так як показано на рис. 1.7.

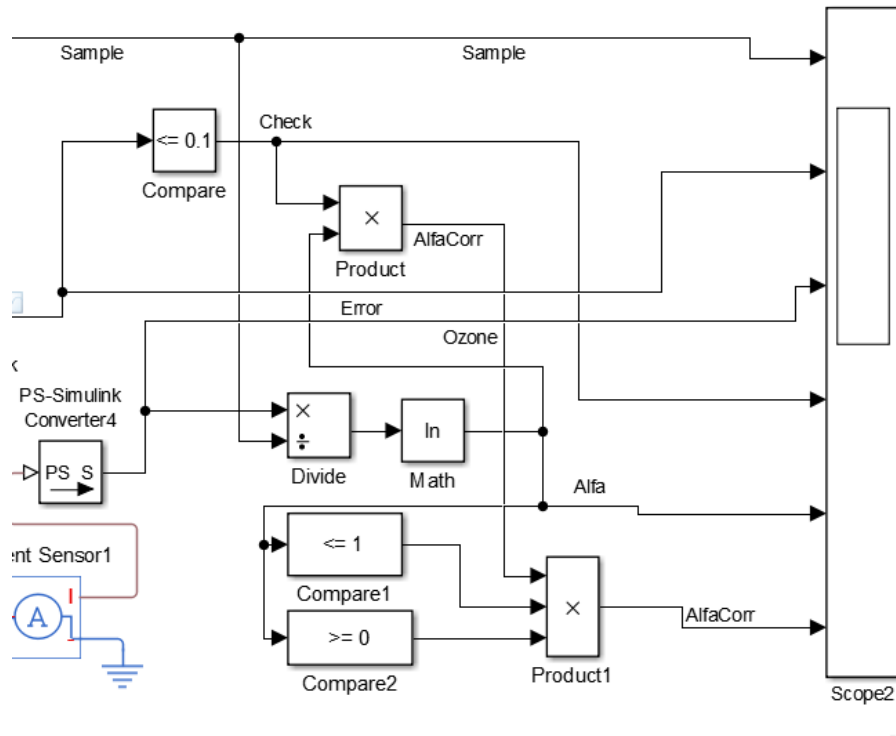


Рисунок 1.7 – Візуально-блочна модель обробки вихідних сигналів датчиків при модуляції випромінювання

Зменшення похибки вимірювання концентрації озону досягається шляхом додавання, у порівнянні з початковим варіантом (рис. 1.2), обмежувач рівня коефіцієнту поглинання Alfa на основі двох паралельно поєднаних Compare1 і Compare2. Вихідні значення цих блоків перемножуються зі значенням Alfa для врахування зміни світла на сторонніх дефектах у робочому середовищі. Результати моделювання цих процесів наведено на рис. 1.8.

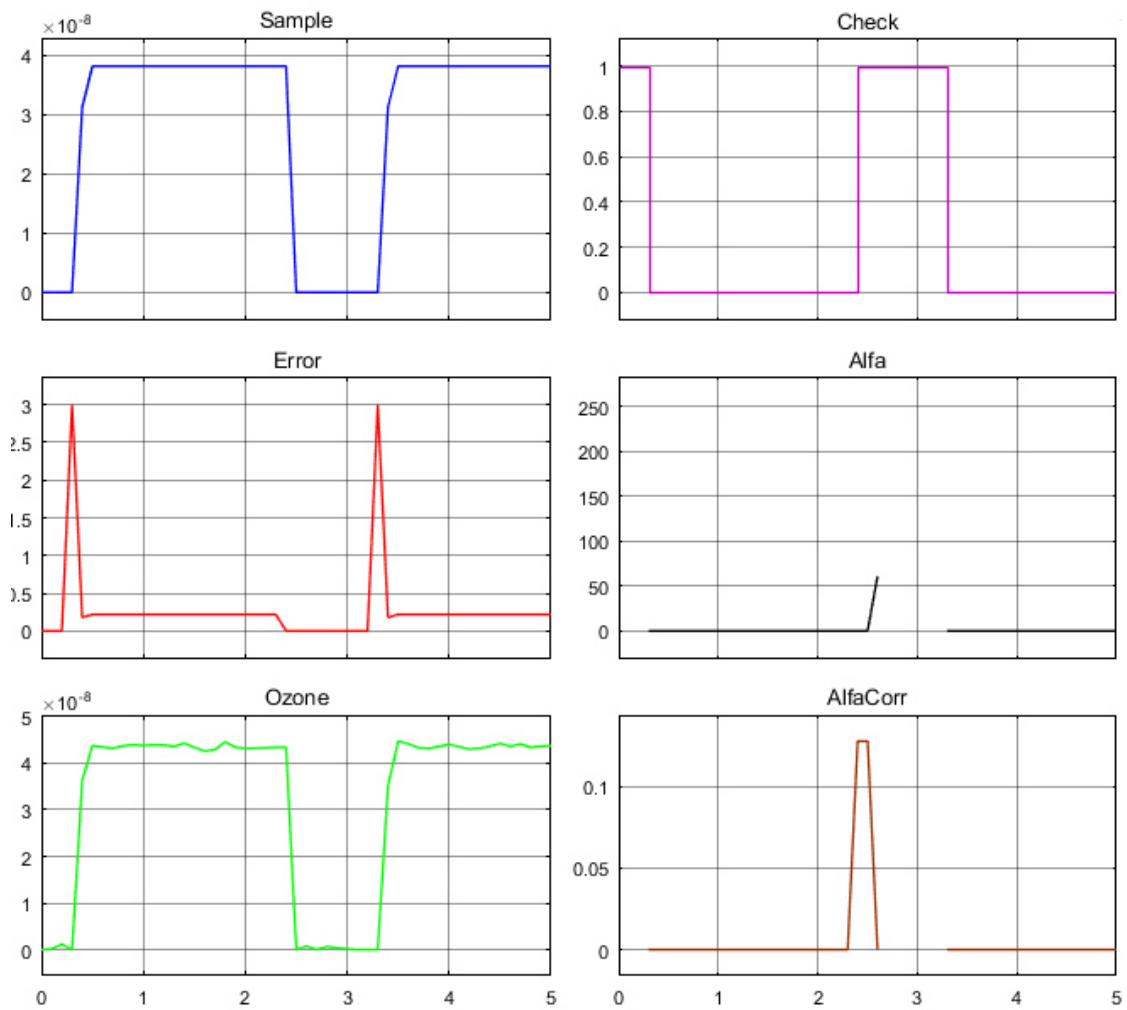


Рисунок 1.8 – Результати моделювання системи обробки вихідних сигналів датчикі з модуляцією: Sample – вихідний сигнал опорного каналу, Error – вихідний сигнал широкосмугового датчика, Ozone – вихідний сигнал вимірювального каналу, AlfaCorr – скориговане значення коефіцієнту поглинання, Alfa - значення коефіцієнту поглинання, Check – сигнал, що відповідає наявності непрозорих частинок у робочому середовищі.

З рис. 1.8 слід, що значення AlfaCorr є інформативним показником з визначення поглинання випромінювання. При цьому похибка визначення концентрації озону стабілізується на рівні 0,1 %.

У [8] було виконано моделювання завадостійкості моделі при різних значеннях частоти модуляції (рис. 1.9).

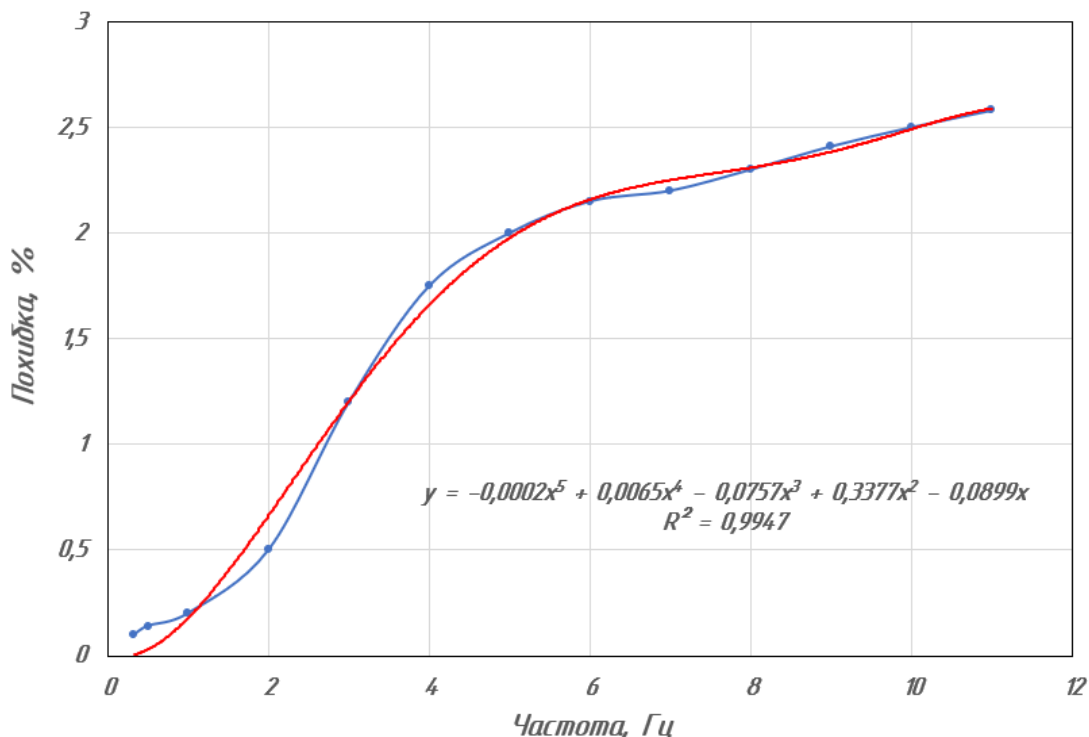


Рисунок 1.9 – Результати визначення впливу частоти модуляції випромінювання на похибку вимірювання концентрації озону

Аналіз результатів, наведених на рис. 1.9 показує, що величина похибки зростає зі збільшення частоти модуляції випромінювання за нелінійних законом від 0,1% до 2,62%.

Було проведено апроксимацію отриманих даних за допомогою лінії тренду для встановлення аналітичної залежності величини похибки вимірювань від частоти модуляції випромінювання [8]. Показано, що найбільша збіжність теоретичної залежності і отриманих даних відбувається при застосуванні поліноміальної лінії п'ятого ступеню. Встановлено, що похибка вимірювань може бути задана як:

$$D = -0,0002 f^5 + 0,0065 f^4 - 0,0757 f^3 + 0,3377 f^2 - 0,0899 f, \quad (1.1)$$

де f – частота модуляції випромінювання, Гц.

Оцінка точності апроксимації оцінювалась за допомогою коефіцієнту множинної кореляції $R^2 = 0,9947$. Це означає, що похибка апроксимації за допомогою (1.1) становить 0,53 % [8].

1.4. Обґрунтування обрання системи дослідження перетворення сигналів

Серед засобів моделювання електронних систем найбільше поширення набули пакети програмних продуктів Micro-Cap [9], NI Multisim [10], VisSim [11], Matlab Simulink [12]. Переважними для розробки моделей вимірювального тракту системи визначення концентрації озону є VisSim і Matlab Simulink.

Для обрання інструментарію розробки моделі проаналізовано ієрархії чотирьох варіантів (табл.1.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл.1.2) [13].

Таблиця 1.1 - Можливі варіанти інструментарію розробки моделі

Засіб моделювання		Стислий опис
A	Matlab Simulink	графічне середовище імітаційного моделювання, що дозволяє за допомогою блок-діаграм у вигляді направлених графів, будувати динамічні моделі, включаючи дискретні, безперервні і гібридні, нелінійні і розривні системи
B	Micro-Cap	SPICE-подібна програма для аналогового і цифрового моделювання електричних та електронних схем з інтегрованим візуальним редактором
C	NI Multisim	простий наочний інтерфейс, потужні засоби графічного аналізу результатів моделювання, наявність віртуальних вимірювальних приладів, які копіюють реальні аналоги
D	VisSim	імітаційне графічне моделювання систем різноманітної фізичної природи з інтерфейсом до Matlab Simulink

Таблиця 1.2 - Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження

Вибір робився за критеріями, наведеними в табл. 1.3.

Відносну вагу кожного критерію встановлювалась на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв (табл. 1.3),

У матриці прийняті наступні позначення [13]:

i – номер критерію;

при порівнянні 6-ох критеріїв (табл. 1.3) $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$;

X_i - локальний пріоритет, тобто відносна вага i -го критерію в глобальному критерії:

Таблиця 1.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$	X_i
1. Точність	1	0,33	3	0,14	0,2	3	0,664	0,073
2. Вартість	3	1	3	0,33	0,14	3	1,042	0,116
3. Швидкість	0,33	0,33	1	0,5	0,14	3	0,460	0,051
4. Сумісність	7	3	5	1	0,5	7	2,297	0,254
5. Вимоги до платформи	5	7	7	5	1	5	4,277	0,473
6. Зручний інтерфейс	0,33	0,5	0,33	0,14	0,5	1	0,293	0,033
Σ							9,033	1,00

$$X_i = \frac{\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}}{\sum_{i=1}^6 \sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}}, \quad (1.2)$$

\sum - сума по стовпці $\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$;

Порівняння виконувалось таким чином: відносна вага кожного критерію самого до себе дорівнює 1. Спочатку розглядався критерій «сумісність»: відносно критерію «точність» він має значну перевагу (за табл. 1.3 оцінка – 7), тоді в 4-му рядку, 1-му стовпчику вказується 7, а в 1-ому рядку, 4-му стовпчику вказується 0,14;

відносно критерію «вартість» він має помірну перевагу (за табл.1.2 оцінка – 3), тоді в 4-ому рядку, 2-му стовпчику вказується 3, а в 2-ому рядку, 4-му стовпчику вказується 0,33;

відносно критерію «швидкість» він має сильну перевагу (за табл.1.2 оцінка – 5), тоді в 4-ому рядку, 3-му стовпчику вказується 5, а в 3-ому рядку, 4-му стовпчику вказується 0,2; і т. д. щодо порівняння цього критерію з іншими.

Так само порівнюючи кожний критерій з іншими, заповнювалась табл. 1.4.

Далі в кожному рядку виконувалось перемноження усіх 6 значень і отримувался з цього добутку корінь 6-го ступеню – таким чином заповнювався сто-

впчик $\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$; далі знаходилася сума по цьому стовпчику \sum , і знаходилася для кожного рядка і заповнювався стовпчик X_i .

$$X_i = \frac{\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}}{\sum_{i=1}^6 \sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}}; \quad (1.3)$$

для кожного рядка i заповнювався стовпчик X_i .

Далі аналогічно були складані 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (табл. 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8). Оскільки порівнювалися 4 інструментарію за одним критерієм, то $i = 1, 2, 3, 4$;

$$X_i = \frac{\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}}{\sum_{i=1}^4 \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}} ; \quad (1.4)$$

Σ - сума по стовпці $\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$.

Таблиця 1.4 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «точність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	0,2	3	3	1,16	0,19
B	5	1	7	7	3,96	0,65
C	0,33	0,14	1	0,2	0,39	0,07
D	0,33	0,14	2	1	0,56	0,09
Σ					6,07	1,00

Таблиця 1.5 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	5	1	0,33	1,14	0,21
B	0,2	1	0,2	0,14	0,48	0,09
C	1	5	1	0,33	1,56	0,29
D	3	7	3	1	2,20	0,41
Σ					5,37	1,00

Таблиця 1.6 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «швидкість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	5	0,2	0,14	0,61	0,09
B	0,2	1	0,14	0,11	0,24	0,04
C	5	7	1	0,33	1,85	0,29
D	7	9	3	1	3,71	0,58
Σ					6,41	1,00

Таблиця 1.7 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «сумісність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	5	3	5	0,99	0,21
B	0,2	1	0,33	0,2	0,24	0,05
C	0,33	3	1	3	2,03	0,43
D	0,2	2	0,33	1	1,47	0,31
Σ					4,73	1,00

Таблиця 1.8 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «вимоги до платформи»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	5	0,33	0,2	0,76	0,13
B	0,2	1	0,14	0,11	0,24	0,04
C	5	7	1	0,5	2,41	0,41
D	3	9	2	1	2,47	0,42
Σ					5,88	1,00

Таблиця 1.9 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «зручний інтерфейс»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	3	5	6	3,08	0,56
B	0,33	1	3	4	1,41	0,26
C	0,2	0,33	1	2	0,60	0,11
D	0,16	0,25	0,5	1	0,38	0,07
Σ					5,47	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислювався як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт. В табл. 1.101 рядок «вага» - це стовпчик X_i таблиці, рядок «Matlab Simulink» - це значення X_i таблиць 1.4 – 1.8 для інструментарію А, строчка «Micro-Cap» - для інструментарію В і т. д. Глобальний пріоритет для кожної програмного комплексу розраховувався таким чином:

- для програми «Matlab Simulink»: $0,073 \times 0,19 + 0,116 \times 0,21 + 0,051 \times 0,09 + 0,254 \times 0,21 + 0,473 \times 0,13 + 0,033 \times 0,56 = 0,176$;

- для програми «Micro-Cap»: $0,073 \times 0,65 + 0,116 \times 0,09 + 0,051 \times 0,04 + 0,254 \times 0,05 + 0,473 \times 0,04 + 0,033 \times 0,26 = 0,100$; і т.д.

Таблиця 1.10 - Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний
Вага	0,073	0,116	0,051	0,254	0,473	0,033	
Matlab Simulink	0,19	0,21	0,09	0,21	0,13	0,56	0,176
Micro-Cap	0,65	0,09	0,04	0,05	0,04	0,26	0,100
NI Multisim	0,07	0,29	0,29	0,43	0,41	0,11	0,360
VisSim	0,09	0,41	0,58	0,31	0,42	0,07	0,364

З порівняння глобальних пріоритетів різних програмних засобів (табл. 1.10) видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта з комплексом моделювання VisSim.

За допомогою методу аналізу ієрархій проведене порівняння чотирьох програмних пакетів візуально-блочного моделювання електронних систем за наступними критеріями: 1) точність; 2) вартість; 3) швидкість; 4) сумісність; 5) вимоги до платформи; 6) зручний інтерфейс. Найбільший локальний пріоритет у критерію «вимоги до платформи» (див. табл. 1.4). За даними таблиці 1.10 локальний пріоритет за критерієм «зручний інтерфейс» є найвищим для моделювання у системі Matlab Simulink. Проте найбільший глобальний пріоритет має пакет програм VisSim. Тому цей інструментарій буде використовуватися для синтезу моделей системи обробки сигналів оптичних абсорбційних датчиків. Крім того, рекомендується також обмежене застосування системи Matlab Simulink з подальшою передачею результатів до VisSim.

Тому метою магістерської роботи є дослідження методів перетворення сигналів у трипроменевому оптичному абсорбційному датчику озону. Ця мета досягається шляхом вирішення наступних завдань:

- розробка візуально-блочної моделі вимірювального тракту системи визначення концентрації озону;
- дослідження системи перетворення вихідних сигналів оптичних абсорбційних сенсорів озону;
- розробка друкованої плати блоку обробки вихідних сигналів датчиків озону.

2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ТРАКТУ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ

2.1. Структура системи вимірювання концентрації озону

У [14] було запропоновано структуру системи вимірювання концентрації озону у воді, дія якої базується на визначенні поглинання УФ - випромінювання у робочому середовищі. На відміну від відомих варіантів реалізації [15], ця схема містить джерело УФ - випромінювання у вигляді УФ - світлодіоду. Структура розробленої системи наведена на рис. 2.1.

Озонаторна станція виконує збагачення води озоном для її дезінфекції і дезодоровання. Цьому процесі потрібно контролювати вміст розчиненого озону у воді, щоб визначати ступінь очищення і продуктивність станції. На гідравлічному виході станції для цього встановлено абсорбційний оптичний датчик озону, структура і принцип дії якого наведено у [1], що формує вимірювальний канал. Але, згідно [5] для визначення ступеню поглинання УФ випромінювання, необхідно здійснювати вимірювання інтенсивності випромінювання УФ – світлодіоду. Тому для цього, а також для врахування можливості поглинання випромінювання іншими складовими оброблюємої води, застосовано розподілену двопробеневу схему вимірювань, де значення опорного оптичного сигналу отримується за допомогою датчика, ідентичного датчику вимірювального каналу, який встановлюється на гідравлічному вході станції. Але така схема не може враховувати побічні зміни вміст води, що виникають у процесі її обробки і проходження крізь станцію і комунікації.

Тому у [7] пропонується застосування додаткового широкосмугового оптичного абсорбційного датчика, що встановлюється безпосередньо перед вимірювальним датчиком і враховує зміни макроскладу води. Такий датчик реалізується поєднанням світлодіоду видимого спектру випромінювання з

спектрально неселективним приймачем на основі болометра. Якщо його вихідний сигнал зменшується нижче критичного значення, то результати вимірювань розпізнаються як хибні.

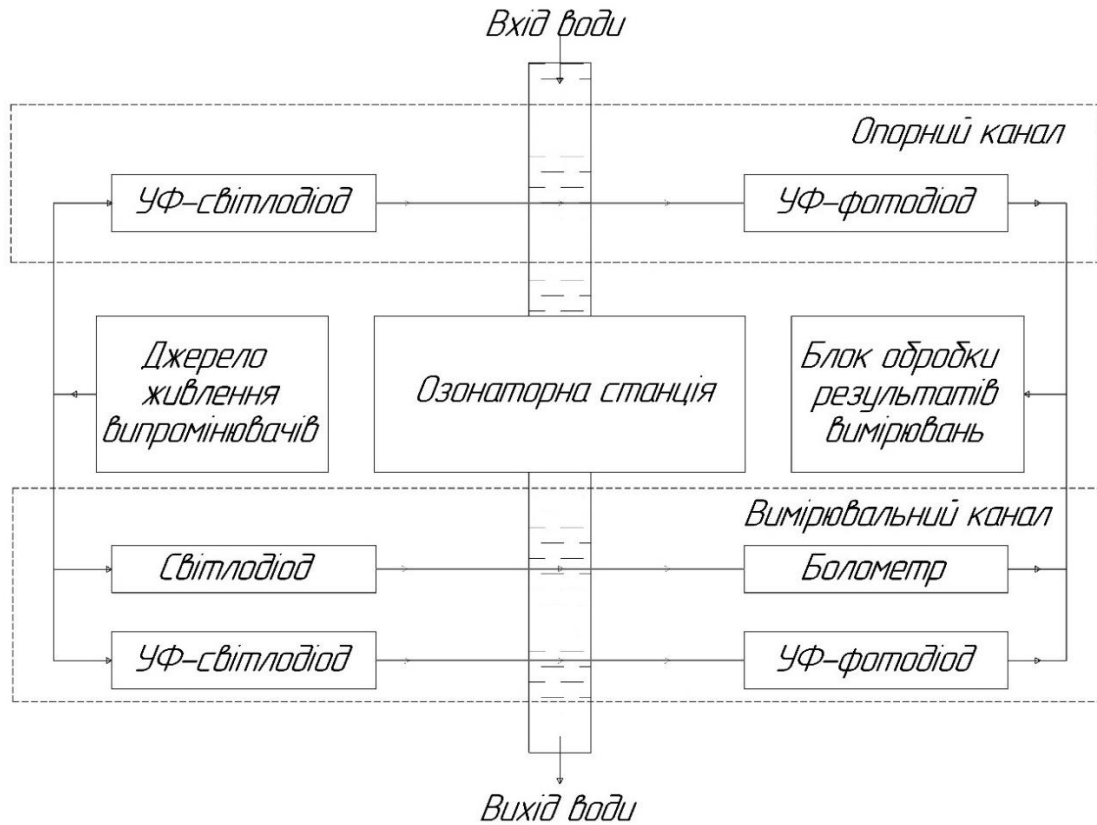


Рисунок 2.1 – Структура системи вимірювання концентрації озону

Структура передбачає наявність джерела живлення випромінювачів датчиків і схему обробки результатів вимірювань, що формує інформативний сигнал, щодо ступеня поглинання УФ випромінювання водою і здійснює корекцію щодо зміни інтенсивності в результаті змін макроскладу води.

У розробленій структурі необхідно забезпечити додаткову фільтрацію води на вході виході озонаторної станції. Також пропонується, за можливості, здійснювати переміщення обробленої води перед її подачею до вимірювального каналу.

2.2. Синтез візуально-блокової моделі системи обробки сигналів абсорбційних датчиків озону

Згідно до структурної схеми системи вимірювання концентрації озону (рис. 2.1) було розроблено у середовищі VisSim математичну модель вимірювального тракту, до якої входять джерело вимірювальних сигналів (1), ланки чистого запізнення (2,3,5), підсумовуюча ланка (4) та диференційна ланка (6).

Джерело вимірювальних сигналів (1) імітує зміну сигналу на виходах датчиків випромінювання та складається з джерела синусоїдального сигналу одиничної амплітуди.

Ланки чистого запізнення (2,3,5) разом з підсилювачами, що входять до їх складу моделюють функціонування вхідних кіл і системи фільтрації вимірювальних сигналів. До складу ланок чистого запізнення входить двоходовий блок перемноження величин, на один вхід, якого подається сигнал з джерела вимірювальних сигналів, а на другий вхід – постійний сигнал, який є підсилювачем вхідного сигналу. Далі сигнал поступає на блок інтегрування, який реалізує чисельне інтегрування. Інтегрований сигнал надходить до суматора. З виходу суматора сигнал надходить до входу І блоку ділення, де ділиться на постійну часу τ , інтегрується і надходить до підсумовуючої ланки (4).

Підсумовуюча ланка (4) разом з ланкою чистого запізнення відповідає функціям мультиплексора і АЦП, що входить до складу системи.

Диференційна ланка (6) реалізує операції з цифрової обробки вимірювальної інформації у мікроконтролері датчика.

Розроблена модель була реалізована у системі імітаційного моделювання VisSim відповідно до завдання і наведена на рис 2.2. Результати дослідження розробленої системи наведені на рис. 2.3, 2.4.

На рис 2.3, 2.4 наведені результати імітаційного моделювання при відсутності перешкод у вимірювальному тракті системи вимірювання концентрації озону.

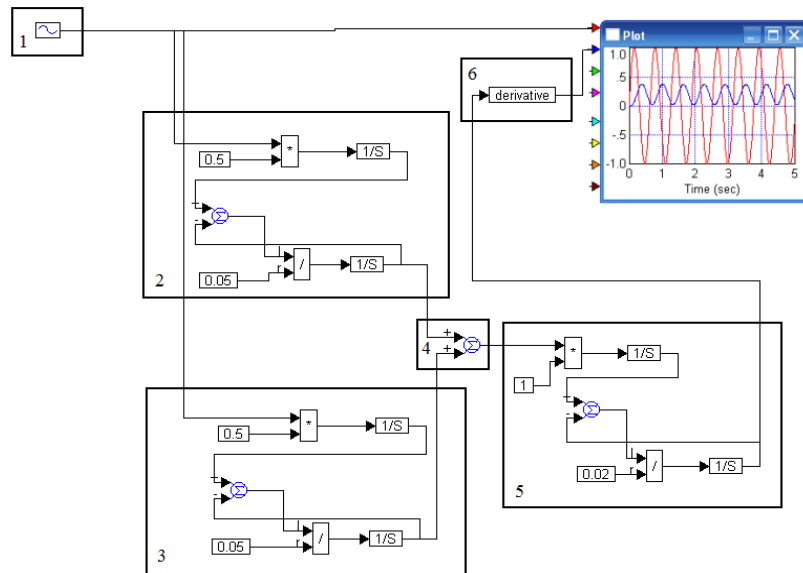


Рисунок 2.2 – Завдання для моделювання вимірювального тракту системи визначення концентрації озону

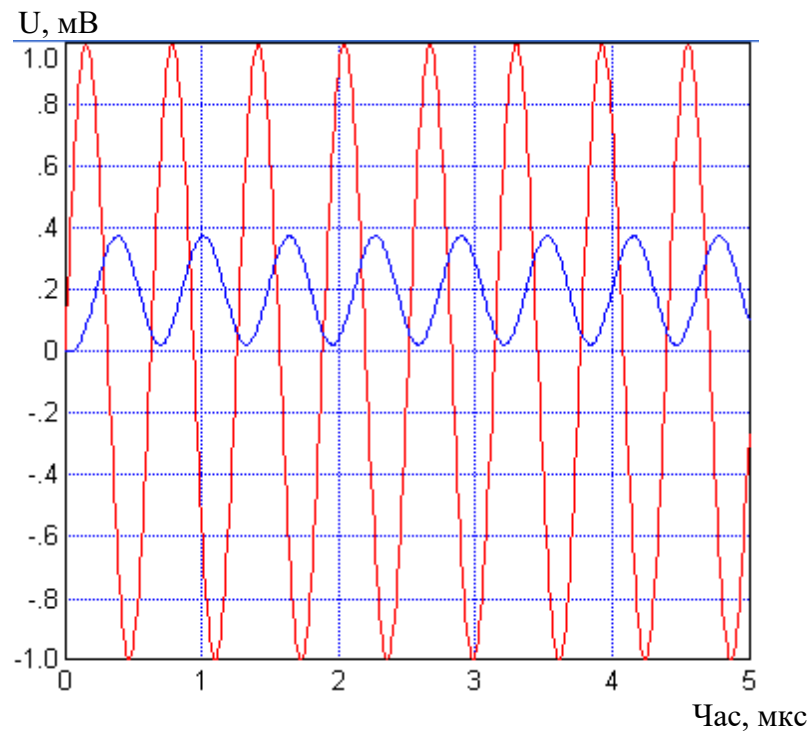


Рисунок 2.3 – Результати моделювання вимірювального тракту системи визначення концентрації озону

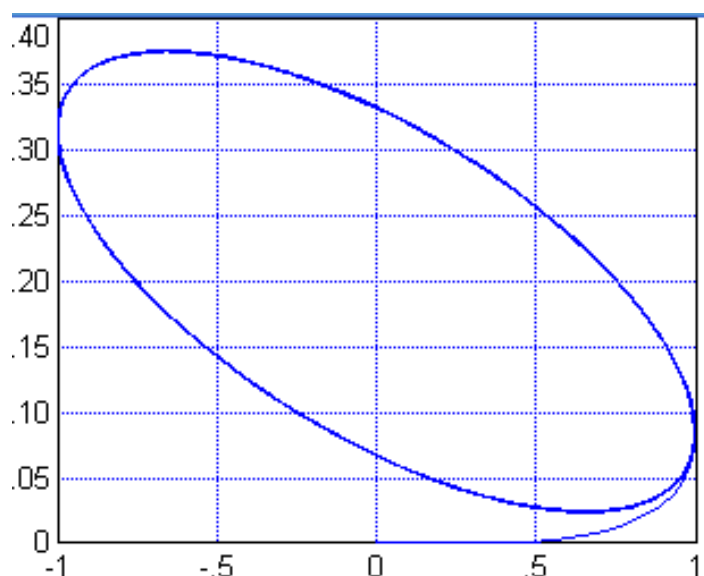


Рисунок 2.4 – Фазовий портрет вимірювального тракту системи визначення концентрації озону

Аналіз епюрів вхідних і вихідних сигналів системи показує, що стійкий режим роботи встановлюється протягом 1мс. після початку вимірювання, при цьому, згідно фазового портрету, що наведено на рис.2.4, встановлений режим характеризується стійким граничним циклом протягом подальшого часу вимірювання.

З метою аналізу стійкості розробленої системи до випадкових відхилень вимірювального сигналу від отриманих стаціонарних значень було проведено моделювання роботи вимірювального каналу при врахуванні випадкових перешкод. Для цього у розроблену модель було додано джерело сигналу зі стрибковим змінюванням вхідної величини. При цьому поєднання інформаційного сигналу з сигналом перешкоди виконувалось шляхом формування адитивної суміші сигналів на виході суматора. Епюри вихідних сигналів розробленої моделі показують, що у цьому випадку система не набуває стаціонарного стану і результати вимірювання постійно змінюються.

Результати дослідження схеми моделі вимірювального тракту системи визначення концентрації озону з врахуванням випадкових перешкод наведено на рис.2.5.

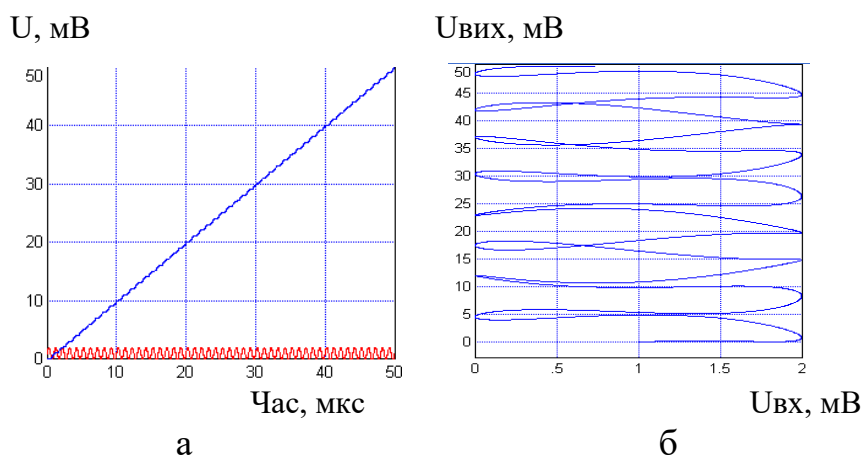


Рисунок 2.5 - Результати дослідження вимірювального тракту систем визначення концентрації озону з врахуванням випадкових перешкод: а – осцилограма результатів схеми; б – фазовий портрет системи.

Т.ч., проведені дослідження показали, що незважаючи на передбачені засоби зменшення впливу поглинання випромінювання на сторонніх домішках система є нестійкою щодо випадкових змін параметрів вимірювального каналу. До зазначених чинників також слід віднести випадкову зміну температури повітряної суміші та її тиск. Тому подальші дослідження пов'язані з розробкою засобів адаптивного керування вимірювальним каналом системи визначення концентрації озону.

2.3. Аналіз методів корекції сигналів оптичних абсорбційних датчиків

Найбільш ефективним засобом підвищення ступеня точності приладів є корекція похибок. Вимоги до технічних характеристик датчиків системи вимірювання концентрації озону (ВКО) (точності, швидкодії) при одночасному

ускладненні умов їх експлуатації постійно підвищуються. Цим вимогам відповідають вимірювальні системи, розроблені на основі використання принципу побудови адаптивних систем керування, що допускають зміни своїх параметрів і структури при зміні характеристик об'єкта і умов роботи. Тому актуальним є дослідження адаптивної корекції датчиків випромінювання системи визначення концентрації озону.

Методи адаптивної корекції (МАК) можуть бути умовно розділені на два класи: з налаштуванням і без налаштування параметрів. МАК з налаштуванням параметрів (рис.2.6) являють собою системи з блоком налаштування, що підключається до набору підсилювачів, коефіцієнти яких налаштовуються відповідно до заданого алгоритму корекції. Функція $r(t)$ – вхідний вплив, $u(t)$ – керуючий сигнал.

Похибка відхилень:

$$\bar{e}(t) = \bar{X}_m(t) - \bar{X}_{ин}(t), \quad (2.1)$$

де $\bar{X}_m(t)$ – вектор стану моделі, $\bar{X}_{ин}(t)$ – вихідні змінні МАК або змінні стани.

Вихідна характеристика вимірювальної системи компенсується за допомогою вектора параметрів, що настроюються $k(t)$, елементи якого визначаються коефіцієнт зворотного зв'язку станів вимірювальних перетворювачів. Блок адаптивної настройки забезпечує неперервну настройку вектора $\bar{k}(t)$ так, щоб виконувалася умова $\lim_{t \rightarrow \infty} \bar{e}(t) = 0$



Рисунок 2.6 – Приклад побудови системи адаптивної корекції з налаштуванням параметрів

МАК без налаштування параметрів наведено на рис. 2.7. Фіксований регулятор призначений для зменшення чутливості вимірювальної системи до невідомих заважаючих впливів. У побудові такої системи застосовують класичний підхід – використовують великий коефіцієнт підсилення контуру негативного зворотного зв'язку.

Для вирішення завдання налаштування параметрів можливо використовувати градієнтні методи, що дозволяють мінімізувати критерій якості, тобто мінімізувати похибку між реальними і заданими вихідними величинами датчиків системи ВКО.



Рисунок 2.7 – Приклад побудови системи адаптивної корекції без налаштування параметрів

З цією ж метою можливо застосовувати другий метод Ляпунова, що використовується у датчиках з невідомими постійними параметрами. У цьому методі запропонована адаптивна корекція характеристик датчиків системи ВКО з невідомими змінними за часом коефіцієнтами посилення і накладені обмеження як на невідомий параметр, так і на його похідну за часом.

У зв'язку з труднощами, що виникають при математичному аналізі вирішуваних завдань, і можливою нестійкою поведінкою систем визначення концентрації озону у якості базового методу ідентифікації і синтезу адаптивних

законів корекції доцільно вибрати другий метод Ляпунова і розглянути способи усунення недоліків, зв'язаних з використанням останнього.

Для цього необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити методи адаптивної корекції, що характеризуються високою швидкістю збіжності помилки відхилення, і усунути високочастотні коливання, присутні в характеристиках перехідного процесу вихідної змінної датчиків системи вимірювання концентрації озону і параметрів, що налаштовуються;
- запропонувати варіанти компромісного рішення задач синтезу адаптивних законів корекції характеристик датчиків системи ВКО, у яких параметри, що налаштовуються, являють собою коефіцієнти контурів прямого та зворотного зв'язку;
- розробити структуру систем з налаштованими параметрами і закони адаптивної корекції, що вимагають мінімальної кількості фізично нереалізованих похідних сигналів, необхідних для реалізації систем корекції;
- використовувати модифікований другий метод Ляпунова для управління датчиками системи ВКО зі змінними за часом параметрами [16].

2.4. Синтез моделі адаптивної корекції вихідних сигналів оптичних абсорбційних датчиків озону

Систему визначення концентрації озону можливо відобразити на рівні різних ступенів докладності. Якщо брати до уваги перший порядок точності вимірювальних величин, то адаптивна система буде мати крок зміни вхідної величини, що дорівнює 5 і відповідну модель, щодо визначення похибки можливо задати рівнянням:

$$\bar{e} = 4e + (a_c + Q_v - 4) \cdot X_{\text{ип}} , \quad (2.2)$$

де a_c – коефіцієнт корекції, Q_v – матриця параметрів, що налаштовуються.

Тоді рівняння закону адаптивної корекції матиме вигляд:

$$a_c(t) = \alpha \int_{t_0}^t eX_{\text{ин}} dt + \beta X_{\text{ин}} + a_c(t_0), \quad (2.3)$$

де $\alpha > 0$ та $\beta \geq 0$ – довільні константи.

Таким чином, структуру системи адаптивної корекції можливо представити у вигляді, як показано на рис.2.8.

Дослідження розробленої системи адаптивної корекції проведені у середовищі VisSim [17]. Завдання для моделювання наведено на рис.2.9.

Результати дослідження системи у вигляді залежності часу затримки та амплітуди похибки від коефіцієнта підсилення наведені на рис. 2.10.

З метою дослідження впливу параметрів системи адаптивної корекції на якість регулювання було виконано розрахунок параметру часу встановлення (t) та амплітуди похибки (e_{max}) для різних значень β . Результати цього наведені на рис. 2.11 і показують, що зміна значень β від 1 до 100 дозволяє обирати комплексне рішення між часом встановлення і максимальною за модулем амплітудою похибки відхилення.

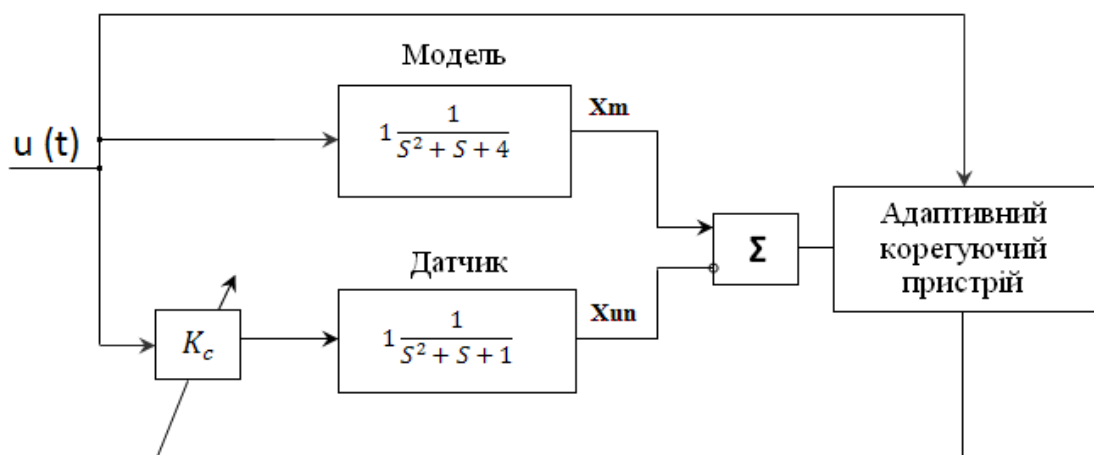


Рисунок 2.8 – Структура системи адаптивної корекції першого порядку

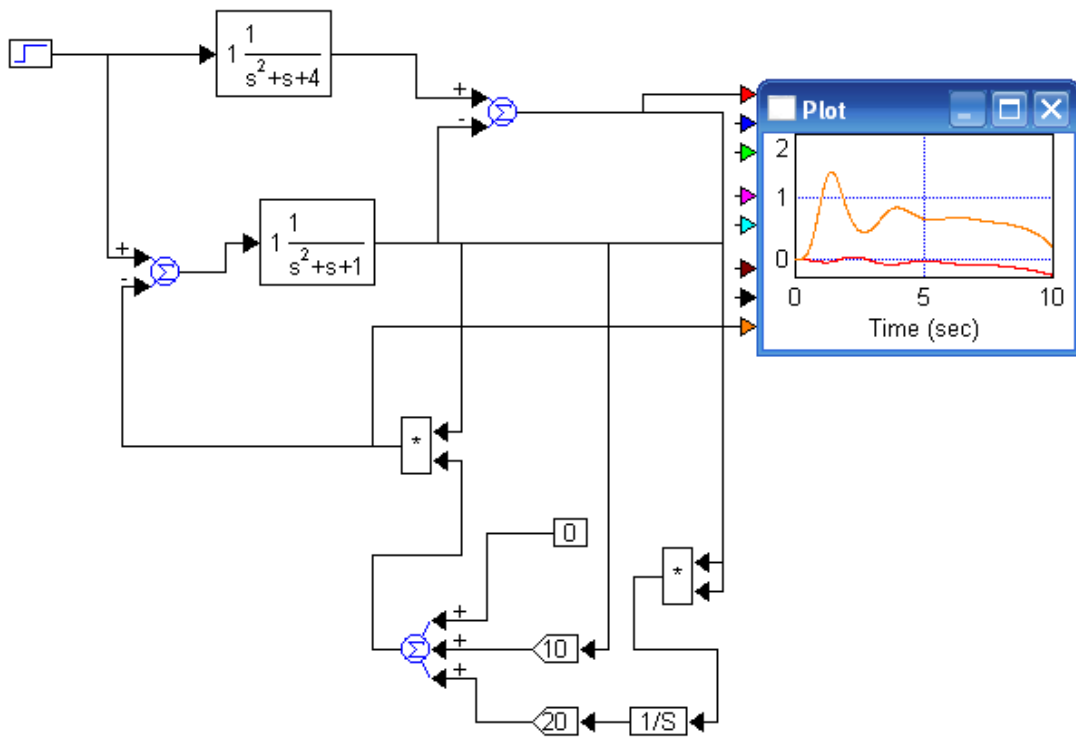


Рисунок 2.9 – Завдання для моделювання системи адаптивної корекції першого порядку

Похибка, %

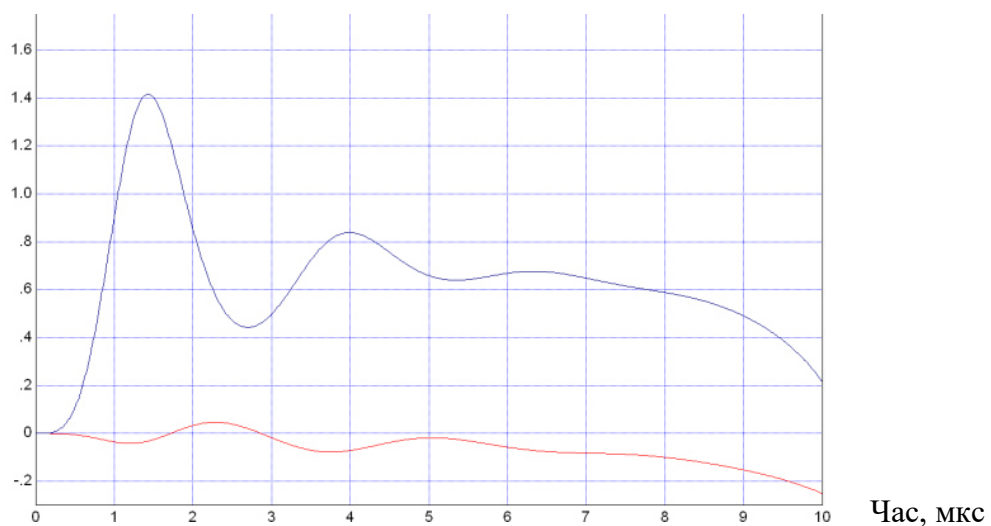


Рисунок 2.10 – Результати дослідження схеми адаптивної корекції першого порядку

Як слід з рис. 2.10 під дією дестабілізуючого впливу, що відбувається у момент часу $t=1$ похибка вимірювальної величини стрімко зростає. Це призводить до відповідного збільшення величини регулюючого впливу з метою компенсації негативного впливу. Т. ч. адаптивний коригуючий пристрій протягом часу $t=1$ повністю стабілізує сигнал на виході вимірювальної системи і мінімізує величину похибки котра дорівнює 0,2.

При цьому залежність часу встановлення та амплітуди похибки від значення коефіцієнта підсилення β при значенні коефіцієнта $\alpha = 50$ наведено на рис.2.11

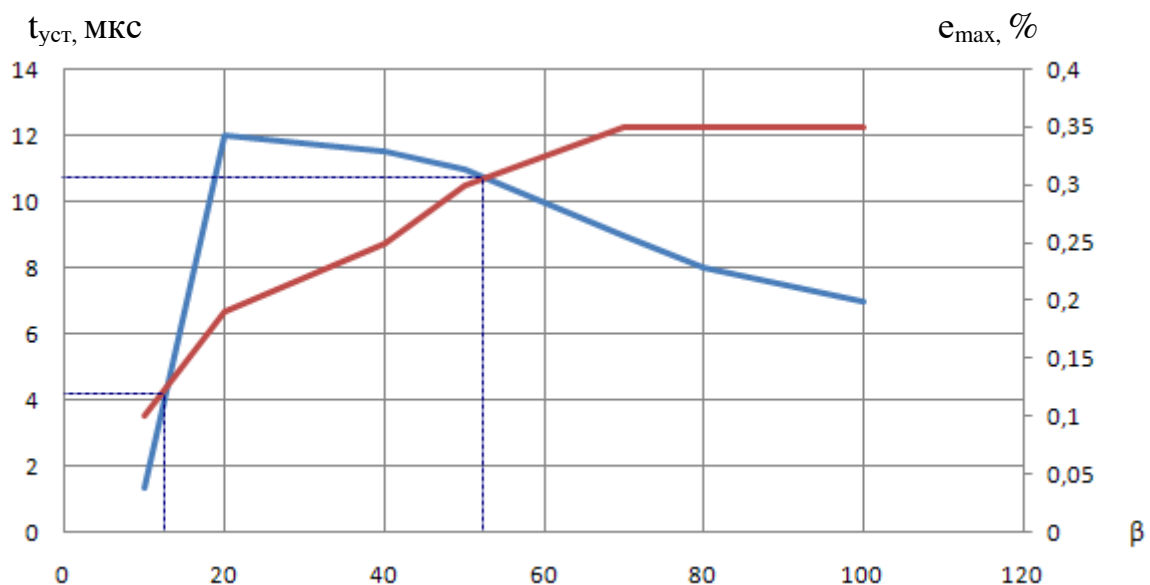


Рисунок 2.11 – Залежність часу встановлення та амплітуди похибки від коефіцієнта підсилення при $\alpha = 50$

Аналіз рис. 2.11 показує, що у точках перетину залежностей часу встановлення $t_{уст}(\beta)$ та амплітуди похибки $e_{max}(\beta)$ спостерігаються оптимальні значення параметрів системи адаптивної корекції щодо часу встановлення (t) мінімальної похибки вимірювань й максимальної амплітуди (e_{max}). З умови мінімізації параметрів системи з двох режимів було обрано значення $t_{уст} = 4,2$, $e_{max} = 0,11$ при $\beta = 17$, $\alpha = 50$.

Вплив значення константи α на функціонування системи адаптивної корекції першого порядку ілюструють залежності $t_{уст}(\beta)$ і $\epsilon_{max}(\beta)$ отримані при значеннях $\alpha = 75$, $\alpha = 100$ (рис. 2.12, 2.13).

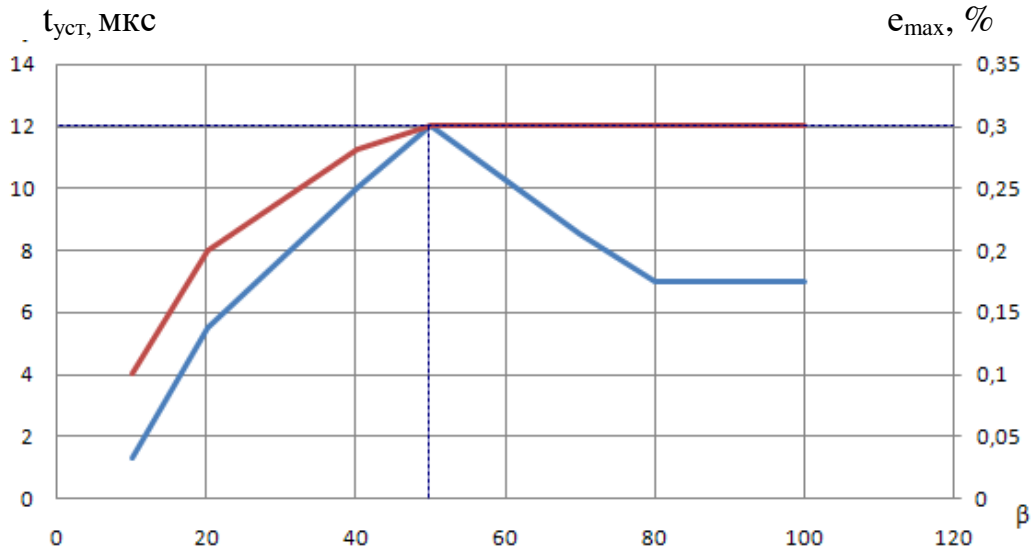


Рисунок 2.12 – Залежність часу встановлення та амплітуди похибки від коефіцієнта підсилення при $\alpha = 75$

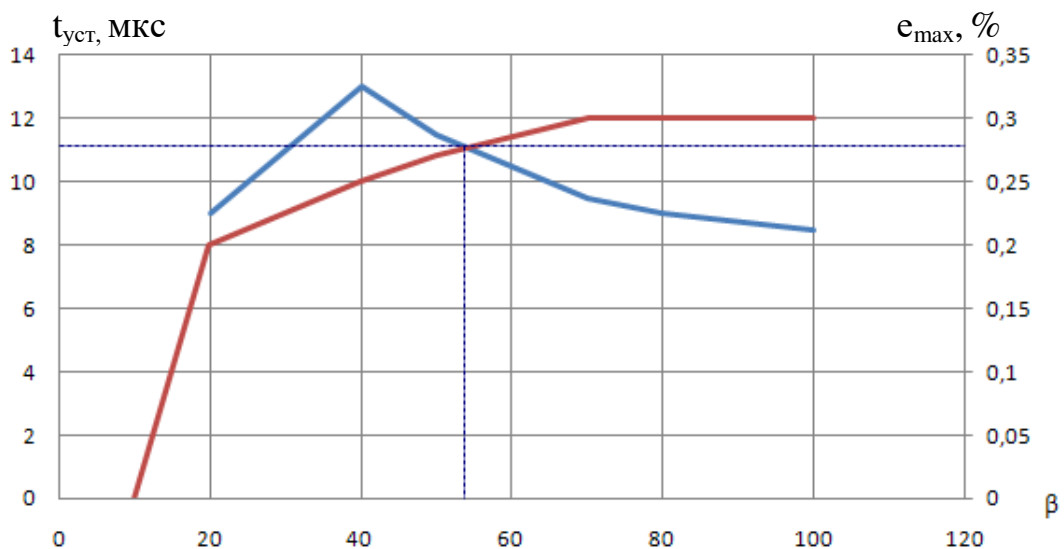


Рисунок 2.13 – Залежність часу встановлення та амплітуди похибки від коефіцієнта підсилення при $\alpha = 100$

На відміну від залежностей при $\alpha = 50$, залежності при $\alpha = 75$, і $\alpha = 100$ мають тільки один оптимальний режим, що співпадає зі значеннями при $\beta=50$ на рис. 2.11. Тому оптимальні значення часу встановлення $t_{уст}$ та амплітуди похибки e_{max} для $\alpha = 50$ і $\beta = 17$ можливо залишити без змін.

2.5. Моделювання системи обробки сигналів абсорбційних оптичних датчиків озону

Якщо врахувати другий порядок точності вимірювальних величин, то система адаптивної корекції описується рівнянням:

$$\bar{e} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -2 \end{bmatrix} \bar{e} + \begin{bmatrix} 0 \\ K - K_v K_c \end{bmatrix} u(t), \quad (2.4)$$

де $u(t)$ – скалярний вхідний вплив, K_v ($K_v > 0$) – постійний невідомий коефіцієнт датчика, K_c – коефіцієнт датчика, який наструюється, $K(K=const)$ – стала величина.

Тоді вираз закону адаптивної корекції K_c матиме вигляд:

$$K_c = \gamma \left[\int_{t_0}^t (eu + \bar{e}u) dt \right] + K_c(t_0), \quad (2.5)$$

де γ – довільна константа.

Структуру системи адаптивної корекції другого порядку можливо представити у вигляді, як показано на рис. 2.14.

Моделювання розробленої системи адаптивної корекції другого порядку було проведено у середовищі VisSim (рис 2.15) [17]. Результати дослідження схеми наведені на рис. 2.16, 2.17.

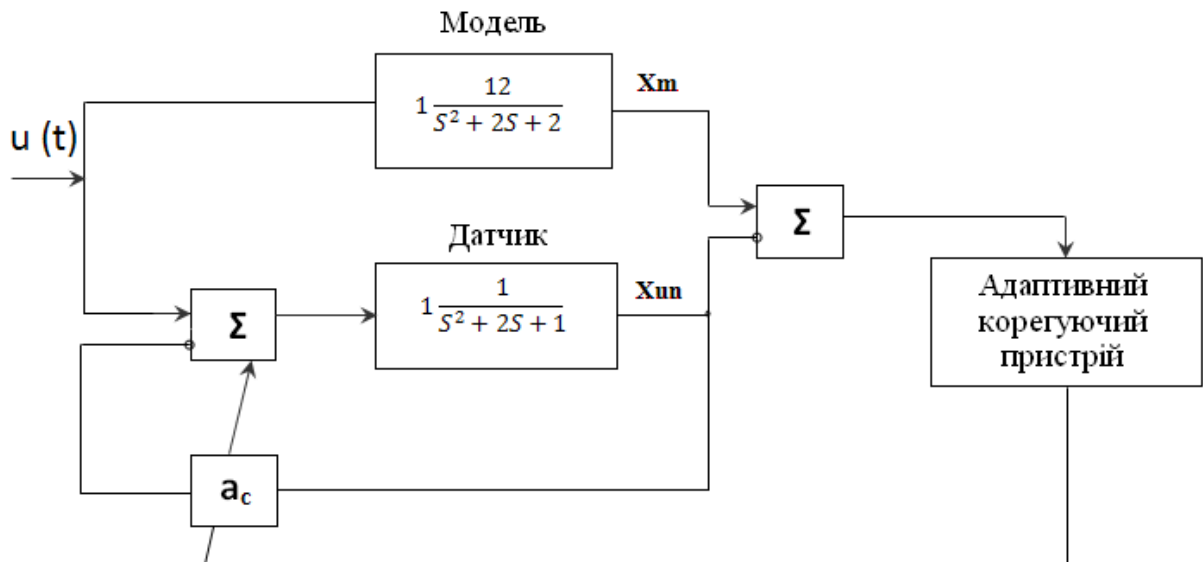


Рисунок 2.14 – Структура системи адаптивної корекції другого порядку

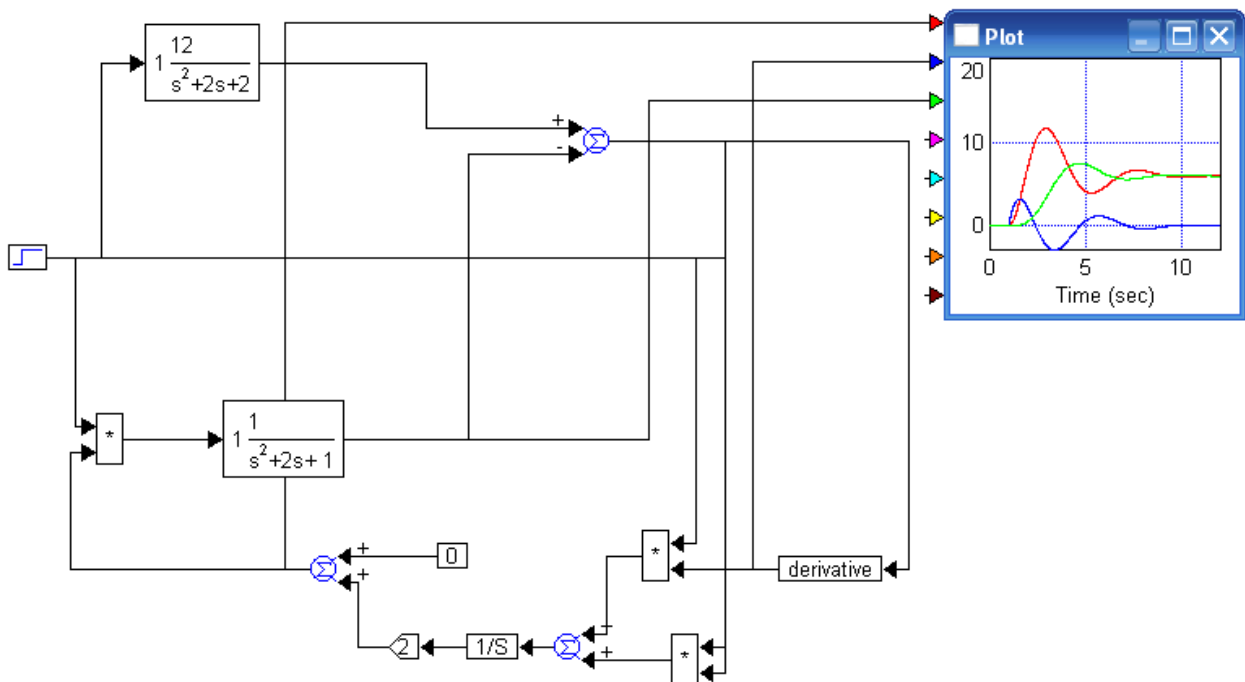


Рисунок 2.15 – Завдання для моделювання системи адаптивної корекції другого порядку

Похибка, %

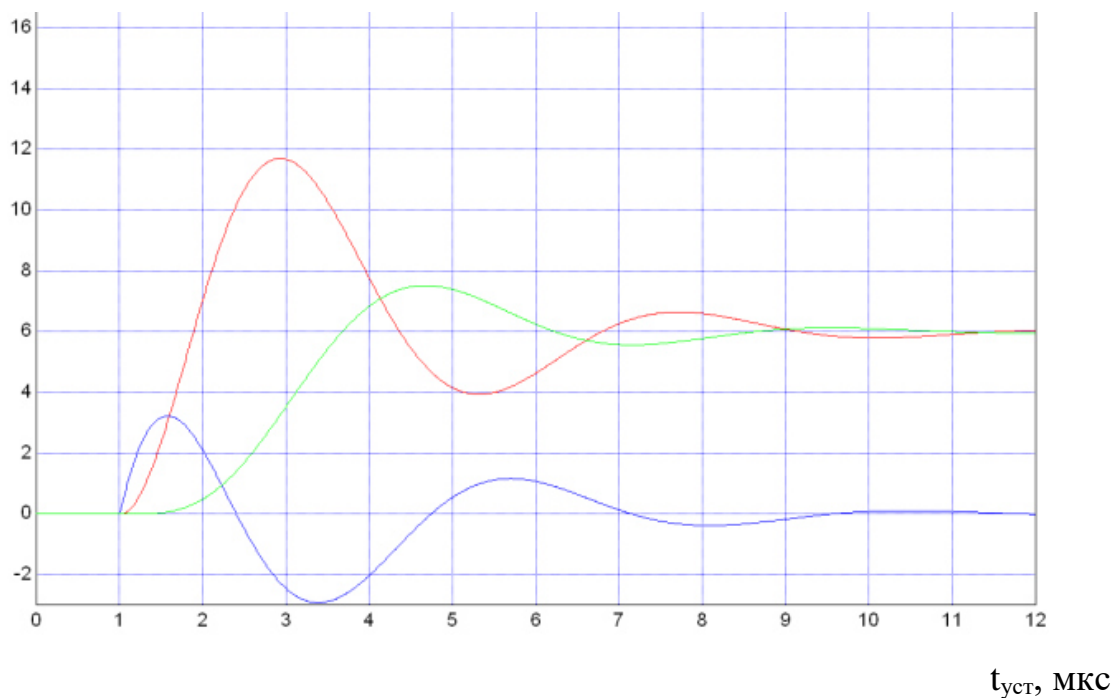


Рисунок 2.16 – Результати дослідження схеми адаптивної корекції другого порядку

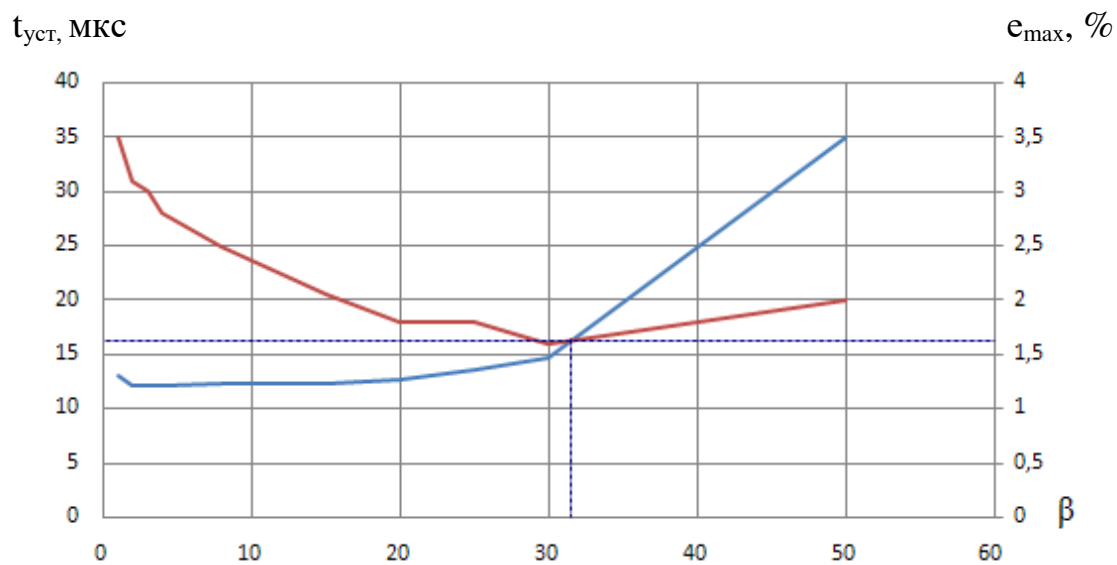


Рисунок 2.17 – Залежність часу встановлення та амплітуди похибки від коефіцієнта підсилення

Т.ч., проведені дослідження дозволили встановити, що оптимальні параметри системи адаптивної корекції другого порядку становитимуть $\beta=32$. Тоді час встановлення дорівнює 16 мкс., амплітуда похибки – 1.6.

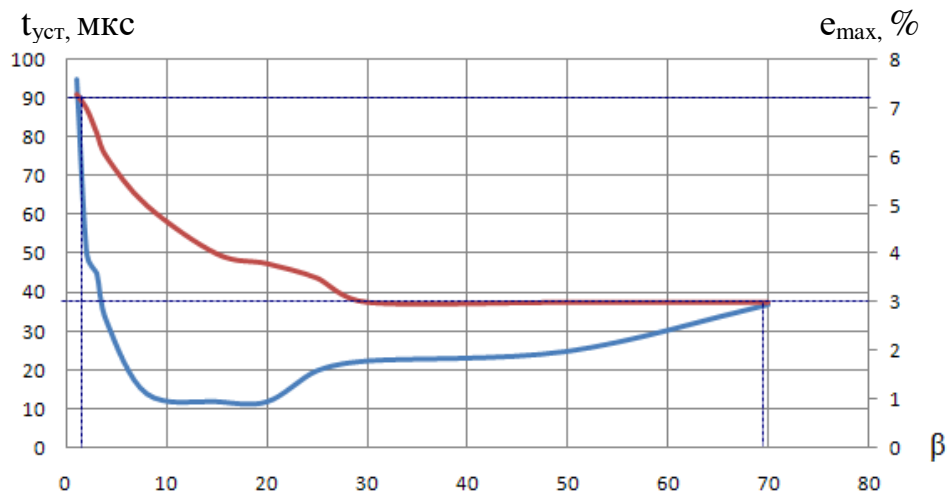


Рисунок 2.18 – Залежність часу встановлення та амплітуди похибки від коефіцієнта підсилення при синус подібній формі вхідного сигналу

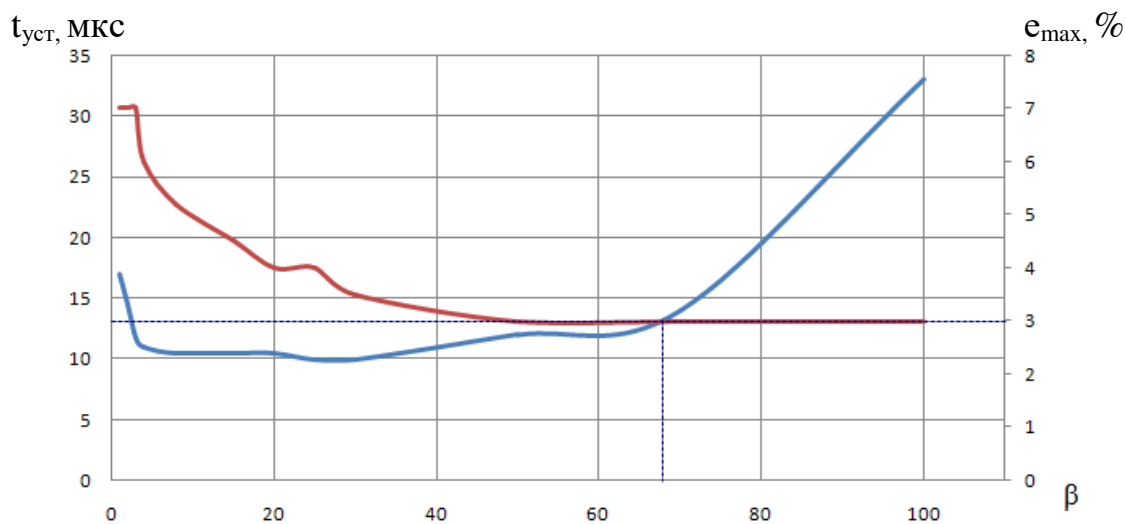


Рисунок 2.19 – Залежність часу встановлення та амплітуди похибки від коефіцієнта підсилення при імпульсному вхідному сигналу

Вплив форми вхідного сигналу на функціонування системи адаптивної корекції другого порядку ілюструють залежності часу встановлення $t_{уст}$ (β) і максимальної амплітуди похибки $e_{max}(\beta)$ отримані при синусоподібній та прямокутній формі імпульсу вхідного сигналу. (рис. 2.18, 2.19).

Як слід з рис. 2.18 система адаптивної корекції з синусоподібним сигналом на вході, має два критичних режими, які не підходять для нормальної роботи системи. При імпульсному характері вхідного сигналу (рис. 2.19) система адаптивної корекції має оптимальний режим роботи, як і на рис. 2.17, але параметри часу встановлення $t_{уст}$ і максимальної амплітуди похибки e_{max} мають більші значення, тому що сигнал має імпульсний характер на відміну від системи на рис. 2.17, де сигнал має лише одиничний імпульс на вході.

Тому подальші дослідження направлені на вдосконалення алгоритму адаптивної корекції, що дозволили б знизити похибку визначення концентрації озону.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ОПТИЧНИХ АБСОРБЦІЙНИХ ДАТЧИКІВ ОЗОНУ

3.1. Розробка схеми блоку управління джерелами випромінювання

Схема управління джерелами випромінювання абсорбційних оптичних датчиків озону розроблена згідно зі структурною схемою (рис. 2.1) і наведена на рис. 3.1.

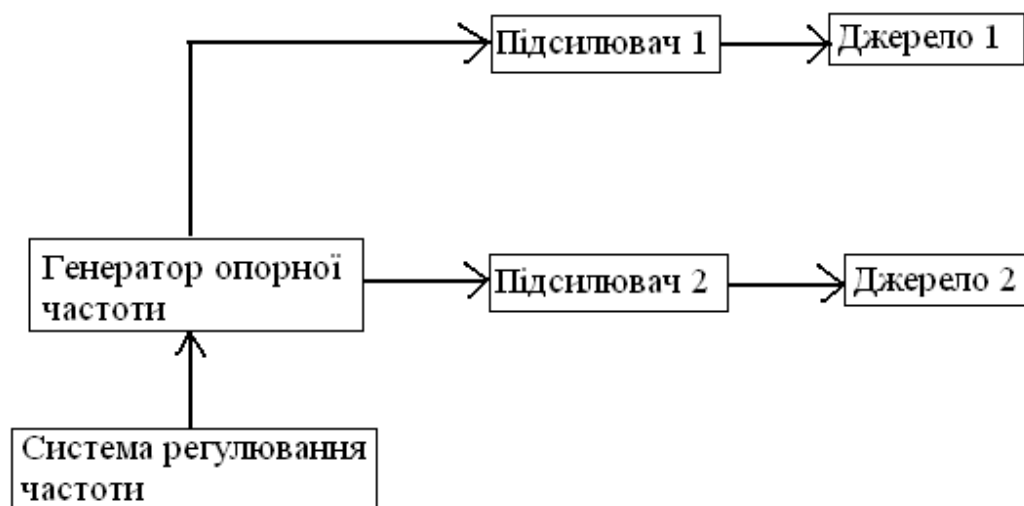


Рисунок 3.1 – Схема управління джерелами випромінювання

Схема управління джерелами випромінювання містить генератор опорної частоти, в якому передбачена система регулювання частоти, підсилювач струму, що поєднується безпосередньо з джерелами випромінювання.

Згідно зі структурною схемою розроблено схему електричну принципову системи управління джерелами випромінювання, яку наведено на рис. 3.2.

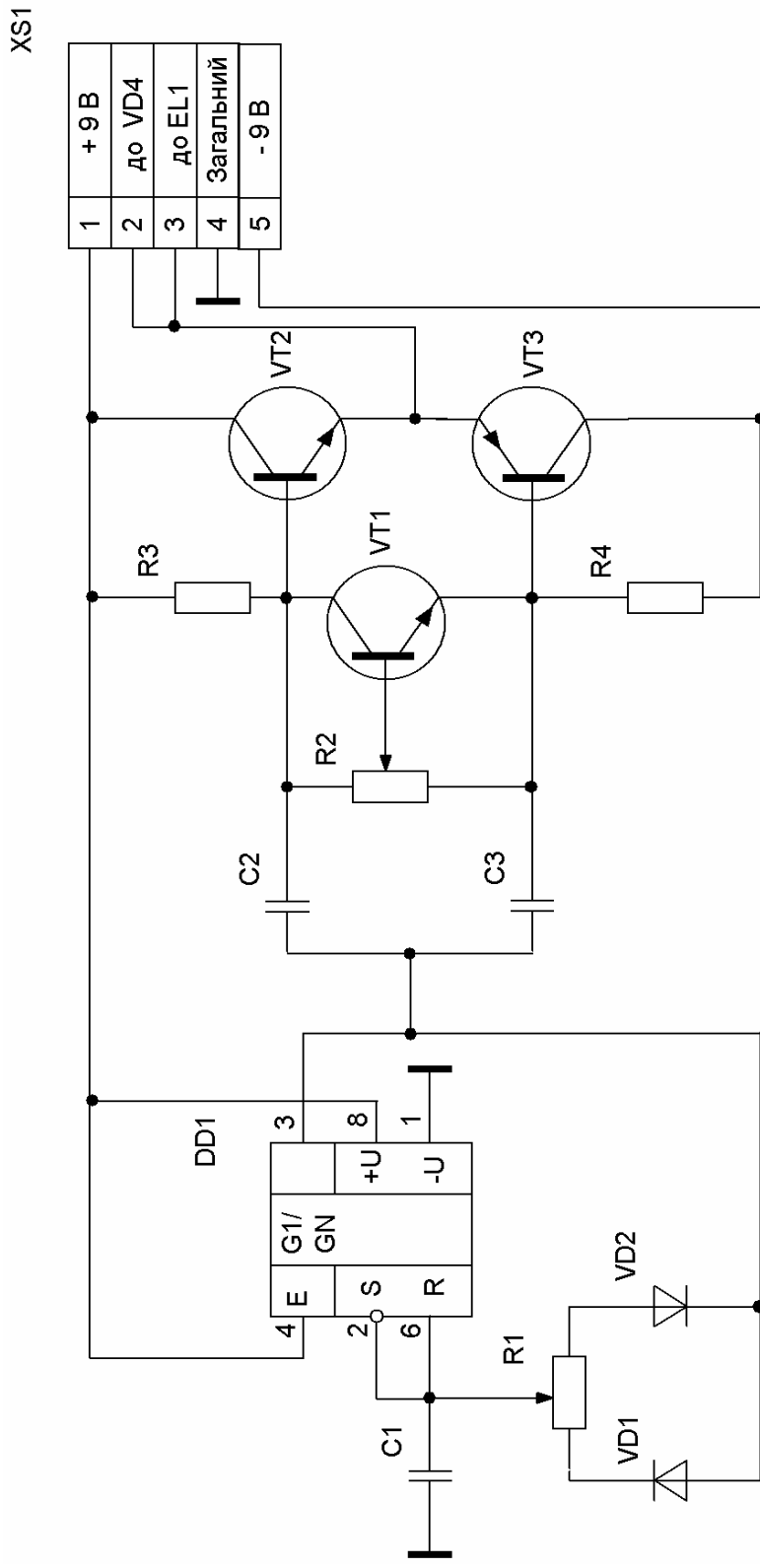


Рисунок 3.2 – Схема електрична принципова системи управління джерелами випромінювання

Генератор зібрано на основі інтегрального таймера КР1006ВІ1. В схемі генератора передбачено систему регулювання частоти за допомогою зміни величини ємності $C1$, а тривалість імпульсів регулюється змінним резистором $R1$. Функціональну схему таймера наведено на рис. 3.3.

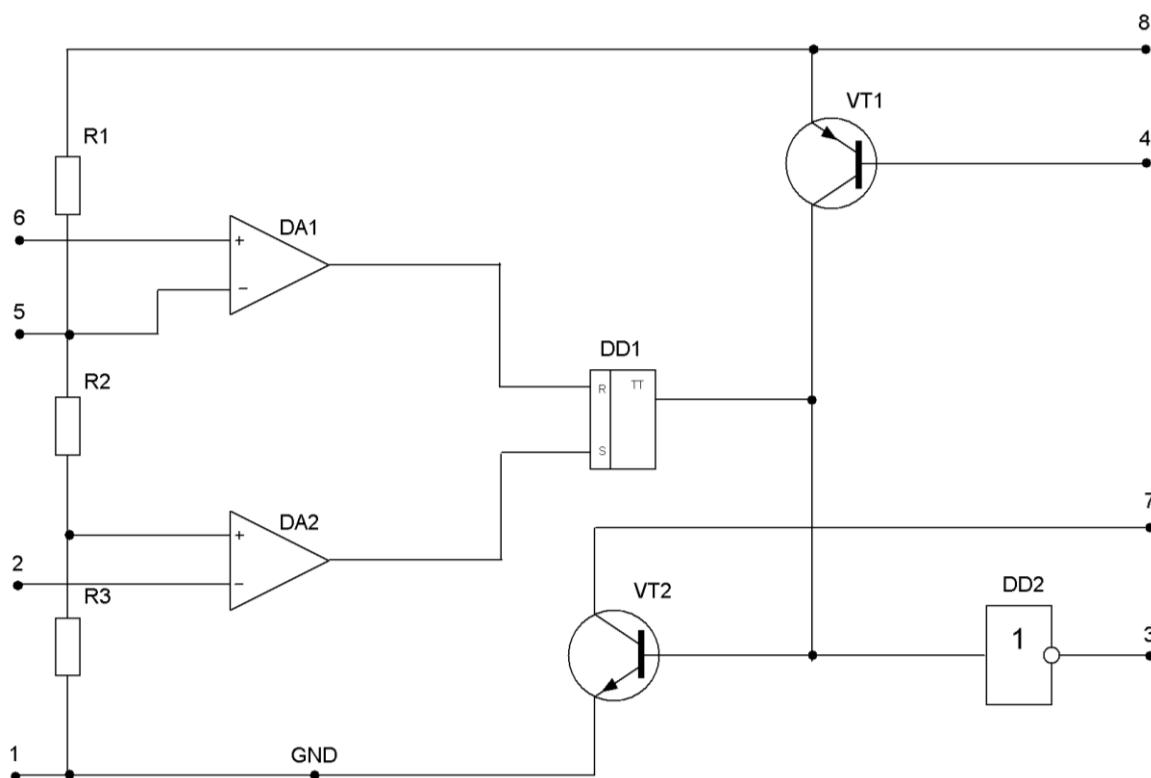


Рисунок 3.3 – Функціональна схема таймера КР1006ВІ1

Напруга живлення таймера U_{cc} – 5...16,5 В, струм навантаження (виведення 7) – 200 мА, що дозволяє управляти безпосередньо джерелами випромінювання. Вихідний опір складає близько 10 Ом як для низького, так і для високого рівнів вихідної напруги, запуск таймера здійснюється подачею на виведення 2 напруги менш $U_{cc}/3$ (цей ланцюг звичайно називають тригерним входом). При високій напрузі на виведенні 2 станом виходу таймера можна управляти за допомогою компаратора DA1 за виведенням 6, званому звичайно пороговим входом.

Якщо напруга на цьому виведенні менше 0,4 В, напруга на виході дорівнює 0,1...0,2 В, а при напрузі більше 1 В ланцюг скидання вимкнений і не впливає на роботу таймера. Окрім низькоомного виходу (виведення 3) таймер має і допоміжний високоомний вихід (виведення 7, колектор транзистора VT1), який звичайно використовується для організації зворотного зв'язку з виходу на входи (виведення 2 і 6) таймера. Допустима зміна напруги на виводах 2,4,6 і 7 знаходиться в межах 0...16,5 В. У таймері є доступ через виведення 5 до входів внутрішніх компараторів, на які подані порогові напруги. Це виведення від резистивного дільника дозволяє змінювати порогові напруги компараторів при постійній напрузі живлення, тим самим додатково управляти роботою таймера. Щоб уникнути впливу зовнішніх перешкод і пульсації напруги живлення на точність роботи таймера, рекомендується шунтувати виведення 5 конденсатором ємністю 0,01 мкФ.

У режимі прямої трансляції сигналу з входу на вихід таймер працює в діапазоні частот до 10 МГц. Значення похибки формування часового інтервалу, що приводиться в довідкових даних, рівне 0,5%, вимірюється звичайно при формуванні імпульсів тривалістю більше 10 мкс. Час наростання вихідної напруги таймера не перевищує 100 нс.

Часові параметри таймера залежать від змін U_{cc} і температури, і повністю визначаються компараторами і технологією їх виготовлення. У таймерах, виготовлених за КМОН -технологією, що відрізняється гіршим узгодженням параметрів парних транзисторів, залежність характеристик від U_{cc} і температур значно вище, ніж у таймерів, виготовлених за біполярною технологією.

Щоб параметри часозадаючого RC- ланцюга не впливали на точність формування часових інтервалів, необхідно обмежити діапазон зміни опору R і ємності C. Максимальний опір R визначається вхідним струмом I_i компараторів. Для формування стійких часових інтервалів досить вибрати максимальний опір R з умови $R_{max} < U_{cc} / I_i$; при $U_{cc}=10$ В і $I_i=0,5$ мкА $R_{max} = 20$ МОм.

Мінімальний опір R визначається максимально допустимим струмом,

який протікає через транзистор VT1 таймера при його насиченні. Хоча дозволений вихідний струм встановлюють звичайно на рівні 100 мА, не рекомендується використовувати малі опори R в поєднанні з великими ємностями C. Пояснюється це тим, що при розряді конденсатора великої ємності транзистор VT1 переходить в режим насичення через кінцевий час, протягом якого він знаходиться в активному режимі при напрузі колектор-емітер $U_{ке} = U_{сс}/2$, і при $R_{мін}$ він може вийти з ладу через велику розсіювану на ньому потужність. Тому при формуванні малих часових інтервалів рекомендується обмежитися значенням $R_{мін} = 1$ кОм і вибрати виходячи з цього ємність C. Якщо ж таймер застосовується в схемі, де $C < 100$ пФ, то опір R може бути зменшений до 150 Ом.

Мінімальна ємність часозадаючого конденсатора C повинна бути значно більше змін ємності виводів 2, 6 і 7, залежно від напруги на них. Оскільки ці зміни при перезаряді C не перевищують декількох піко фарад, при формуванні точних часових інтервалів доцільно вибрати $C < 100$ пФ. Можна застосовувати конденсатори C скільки завгодно великої ємності, якщо їх струм витoku дуже низький. Фактично ж, чим більша ємність конденсатора, тим більше його струм витoku; для нормальної роботи таймера необхідно, щоб цей струм не перевищував зарядний струм через резистор R. Для формування точних ($< 1\%$) часових інтервалів струм витoku через C повинен бути більш ніж на два порядки менше зарядного струму.

Вихідний інвертуючий підсилювач таймера UM працює в режимі АВ, унаслідок чого на перехідній характеристиці виникає “полиця” тривалістю 10...20 нс при напрузі 1,5 В. Якщо таймер навантажений на швидкодіючі ТТЛ – схеми (серія 130 або 533), то наявність такої “полиці” неможлива, оскільки вона може викликати помилкове спрацьовування логічного елемента. Для усунення цього недоліку необхідно вихід таймера зашунтувати конденсатором ємністю близько 100 пФ [18].

В схемі складеного емітерного повторювача (рис.2.16) для зменшення

нелінійних спотворень, пов'язаних з порогом відкриття транзисторів, включений транзистор VT1. Напряга між колектором та емітером цього транзистора регулюється за допомогою резистора R2. В результаті робоча напруга зміщення транзисторів VT2 і VT3 стає стабільною і не залежить від амплітуди вхідного сигналу. Крім того, підвищується температурна стабілізація вихідних транзисторів [18].

3.2. Розробка схеми блоку обробки результатів вимірювання

Схема обробки результатів вимірювань наведена на рис. 3.4.

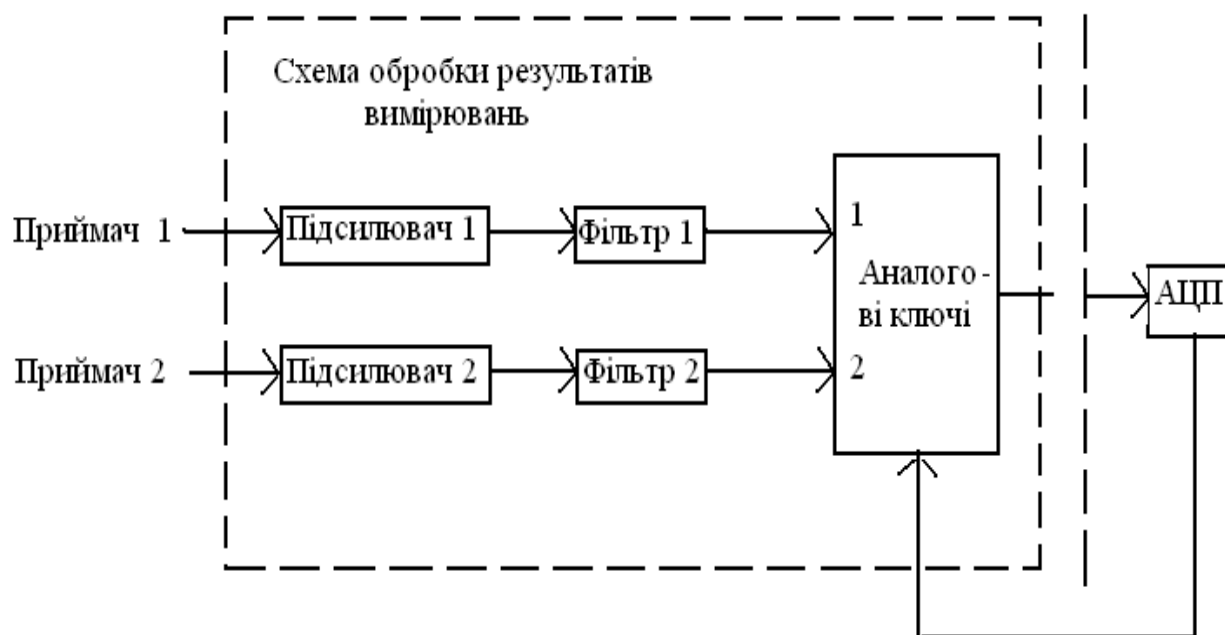


Рисунок 3.4 – Схема обробки результатів вимірювань

Згідно зі структурною схемою розроблено схему електричну принципову системи обробки результатів вимірювань (рис. 3.5).

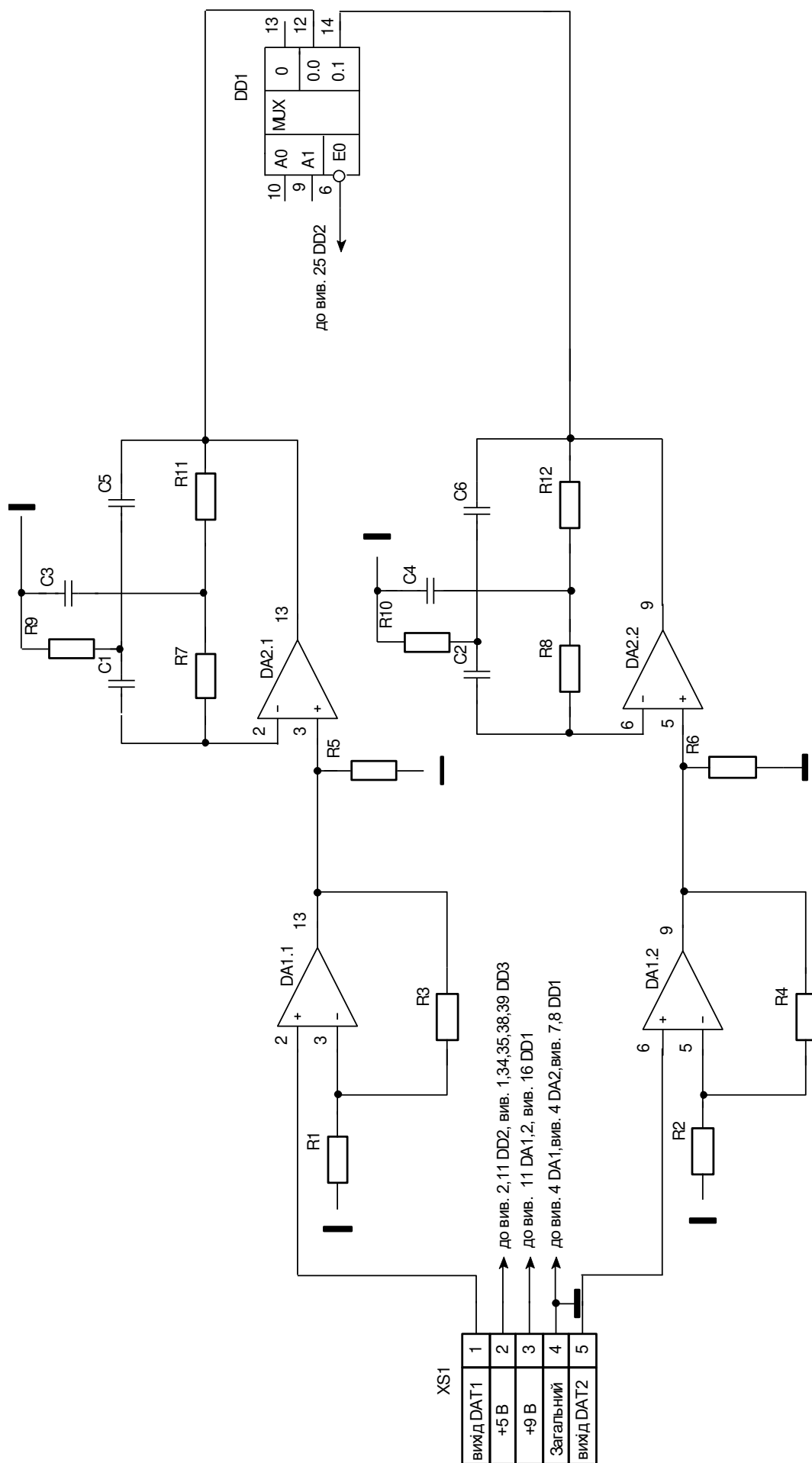


Рисунок 3.5 – Схема електрична принципова системи обробки вихідних сигналів оптичних абсорбційних сенсорів

Підсилювач розроблено на основі ОП. Коефіцієнт підсилення в такій схемі регулюється зміною величин опорів R_1 і R_3 та визначається за формулою:

$$K_{\text{пос}} = 1 + R_1 / R_3 \quad (3.1)$$

В якості DA1 вибрано мікросхему K157УД2, що є двоканальним ОП універсального призначення, що володіє низьким рівнем власних шумів (типове значення напруги шумів, наведених до входу ОП, становить 1,6 мкВ у смузі частот 20...20 000 Гц при опорі джерела сигналу рівному 0). Операційний підсилювач допускає великий діапазон вхідних диференціальних напруг, має захист від коротких замикань на виході.

Щоб кожний з ОП із замкнутою петлею НЗЗ працював стійко, до відповідних виводів (1, 14 або 7, 8) ІМС підключають коригувальні конденсатори. Ємність конденсатора залежить від глибини зворотного зв'язка. Допускається підключати коригувальні конденсатори також і між іншими виводами, наприклад, між 1 і 13 (7 і 9) або виводом 1 (7) і загальним проводом двополярного джерела живлення.

При значній довжині проводів, що підводять напругу живлення до виводів 11 і 4, варто встановлювати додатковий конденсатор, що блокує. Схема включення ІМС K157УД2 наведена на рис. 3.6. Тип корпусу ІМС K157УД2 – DIP 14, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 3.7 [19].

Фільтр побудований на операційному підсилювачі, в ланцюг негативного зворотного зв'язку якого включено подвійний Т-подібний міст. Резонансна частота мосту визначається виразом:

$$f_0 = 1/2\pi R_9 C_3 \quad (3.2)$$

Максимум посилення фільтру на резонансній частоті залежить від коефіцієнта посилення ОП і точності настройки мосту. При точності номіналів елементів 0,1% коефіцієнт передачі фільтру перевищує 50 дБ [19].

В якості DA2 вибрано ІМС КР1426УД1. Мікросхема КР1426УД1 містить два ОП з розширеним динамічним діапазоном, виконана за біполярною технологією з ізоляцією окислом, має на виході рівень шумів 0,14 мВ при напрузі живлення $18\text{ В} \pm 2\%$ і коефіцієнт гармонік $K_{\Gamma} = 0,05\%$ на частоті $f_{\text{ВХ}} = 1\text{ кГц}$ і $U_{\text{вх}} = 100\text{ мВ}$.

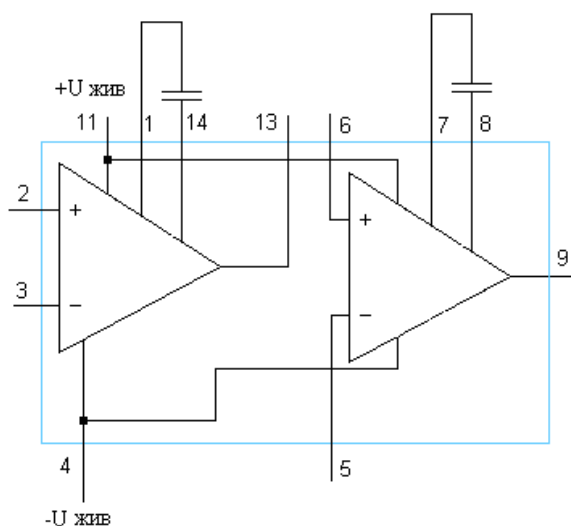


Рисунок 3.6 – Схема включення ІМС К157УД2

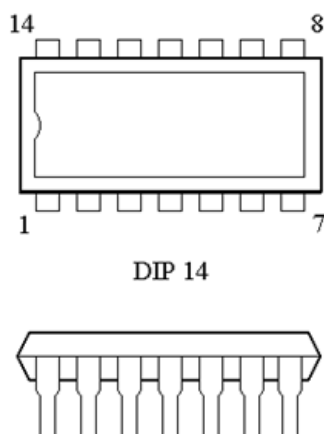


Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд і розташування контактів ІМС К157УД2

Мікросхема також виготовляється в корпусі DIP 14, вигляд якого наведено на рис. 3.7 [19].

В якості аналогового мультиплексора вибрано мікросхему К561КП1. Така ІМС є подвійним чотиріканальним мультиплексором і виготовляється

за КМОН- технологією та має наступні типові параметри: час затримки 50 нс, потужність споживання 0,4 мкВт/вентиль, напруга живлення 3 – 15 В. Функціональна схема мікросхеми складається з загальної схеми управління (дешифратор 2×4) та двох синхронно працюючих груп ключів по 4 ключа в кожній. Управління мікросхемою здійснюється за двома адресними входами 9,10 і входом заборони 6. При подачі на вхід 6 високого рівня всі ключі відкриваються, канали закриваються. При наявності низького рівня на вході 6 будь-якій з чотирьох можливих комбінацій значень на входах 9,10 відповідає один відкритий канал в кожному мультиплексорі одночасно. Вхід 6 має найбільший пріоритет з усіх входів управління.

В мультиплексорі використовується модифікована схема ключа, завдяки якій опір відкритого каналу має слабку залежність від зміни вхідного сигналу в діапазоні комутованих напруг, лежачих в діапазоні між значеннями напруг живлення на входах 7 та 16 (різниця напруг має бути менше 15 В).

Мікросхема К561КП1 виготовлена в корпусі 238.16-1 (DIP16). Зовнішній вигляд корпусу наведено на рис. 3.8 [21].

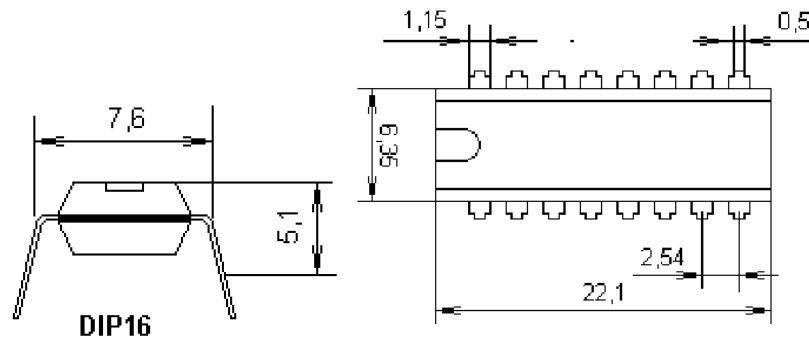


Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд і розташування контактів ІМС К561КП1

Вибрані елементи схеми задовольняють вимогам з точності та мають низьку вартість.

3.3. Розробка блоку аналого-цифрового перетворювача

У тих випадках, коли необхідно знати про те, перевищує реєстрована фізична величина певний рівень чи ні, достатньо бінарного датчика. Коли ж вимагається одержувати інформацію в деякому безперервному інтервалі значень фізичної величини, необхідно використовувати датчики аналогового типу. По вигляду змінного вихідного електричного параметра аналогові датчики діляться на три групи: із змінною вихідною напругою, струмом або опором.

Типові способи з'єднання аналогових датчиків з ЕОМ представлені на рис. 3.9.

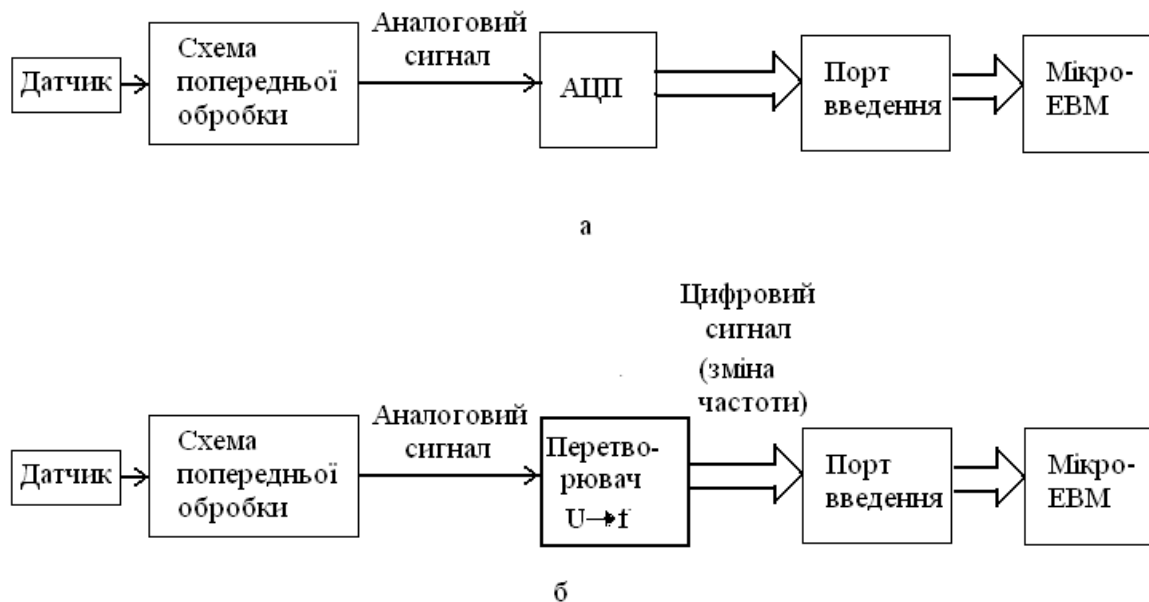


Рисунок 3.9 – Способи з'єднання датчиків аналогового типу і ЕОМ: а – з використанням АЦП; б – з використанням перетворення «напруга – частота»

Найпоширеніший спосіб – з використанням АЦП. Вихідний сигнал датчика після первинної обробки перетворюється на аналогову напругу оптимального рівня, а потім за допомогою АЦП перетворюється в цифровий сигнал.

Коли датчики і мікроконтролери (МК) розташовані на значній відстані

один від одного, зручним є спосіб з'єднання, при якому аналогова напруга перетворюється, за допомогою перетворювача «напруга – частота», у відповідну зміну частоти несучої або імпульсів. Вибравши для передачі сигналів різних датчиків різні частоти, можна зменшити число сигнальних жил в з'єднувальному кабелі між датчиками і МК. До того ж при передачі цифровими сигналами із змінною частотою підвищується перешкодостійкість системи.

При проектуванні системи контролю раціонально для з'єднання датчика з МК використати АЦП, тому що він забезпечує кращу точність перетворення, ніж перетворювач «напруга – частота», та є більш надійним.

В якості АЦП вибрано мікросхему ICL7135, що є прецизійним АЦП з подвійним інтегруванням та точністю ± 1 на 20000 імпульсів тактуючого сигналу (рис. 3.10).

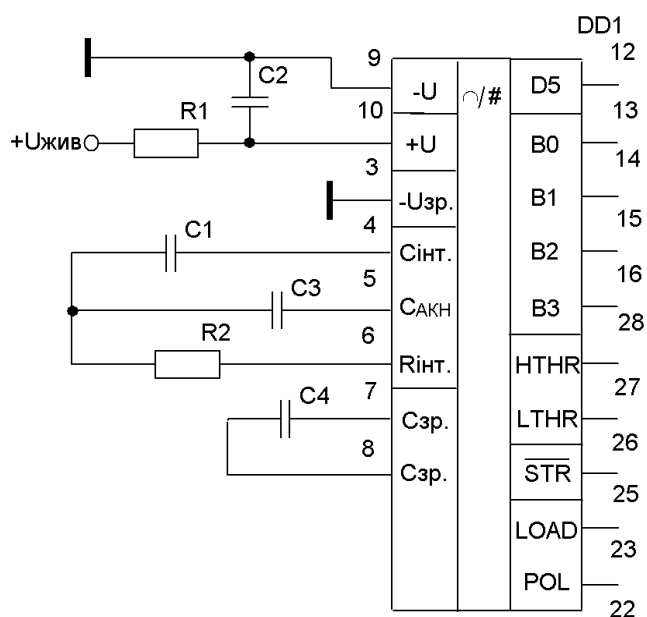


Рисунок 3.10 – Типове включення мікросхеми ICL7135

Ця мікросхема вимірює напругу з точністю до п'яти десяткових розрядів. ICL7135 обладнано системою автоматичного визначення нульового рівня та полярності, вона має мультиплексовані двійкові виходи, може також з'єд-

нуватися з комп'ютером, напруга живлення ± 5 В. Струм споживання від позитивної та негативної шин дорівнює відповідно 1,1 та 0,8 мА.

Аналогова секція приладу потребує наявності таких зовнішніх елементів, як опорний конденсатор С4, конденсатор автоматичного визначення нуля С3, інтегруючий конденсатор С1 та резистор R2, номінали яких обираються згідно з технічною документацією виготовника.

Послідовність виводу даних наведена на рис. 3.11.

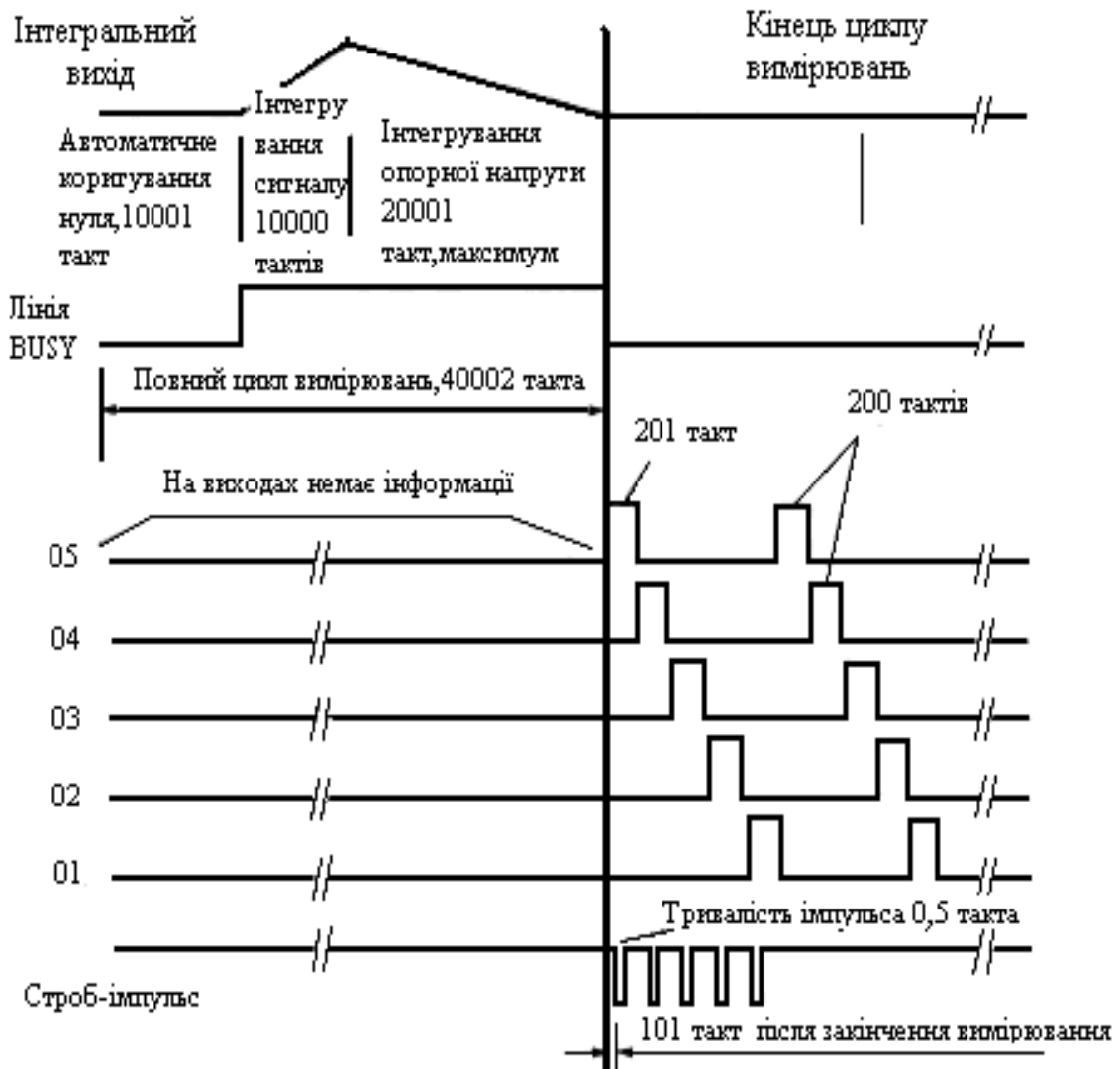


Рисунок 3.11 – Часові діаграми АЦП ICL7135

Мікросхема має п'ять розрядних формувачів (виходи 12,17,18,19 і 20) та шину виводу кожного розряду в двійково-десятьковому коді (виходи 16, 15, 14,

13). Виведення виміряного значення напруги здійснюється порозрядно, починаючи зі старшого. На виходах розрядних формувачів (від 12) послідовно формується позитивний імпульс, його значення синхронно поступає на шину виведення розряду. Вихід STROBE (контакт 26) може використовуватися для послідовної передачі виміряної напруги на зовнішні пристрої.

Коли на вході (контакт 25) підтримується високий рівень, АЦП працює з інтервалами в 40002 такти між циклами вимірювань. Якщо на цей вхід подати низький рівень, то перетворювач завершить поточний цикл вимірювання та спиниться до тих пір, доки на ньому утримується низький рівень. Короткочасний позитивний імпульс (менше 300 нс) ініціює новий вимірювальний цикл.

Вихід BUSY (контакт 21) переходить в одиничний стан з початком інтегрування сигналу і залишається в ньому, доки напруга на конденсаторі інтегратора не дорівнюватиме нулю. Цей вихід може використовуватися для передачі інформації про виміряну напругу по одному проводу.

Мікросхема ICL7135 з'єднується з МК через UART6402 (рис. 3.12).

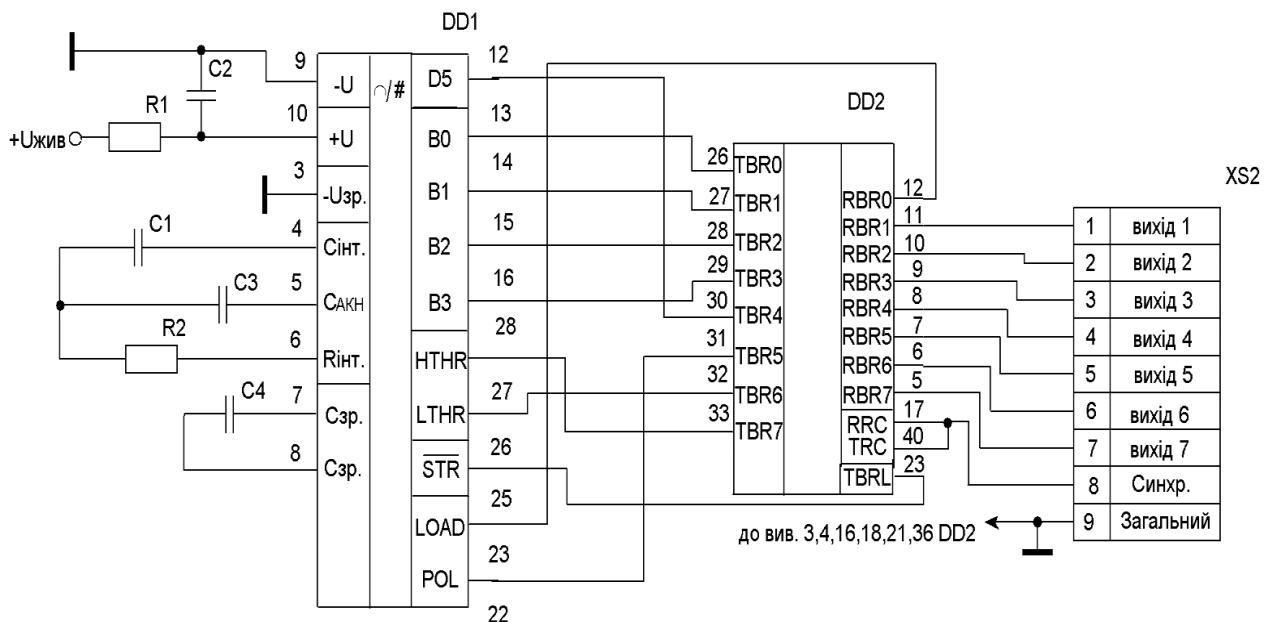


Рисунок 3.12 – Схема з'єднання АЦП ICL7135 з мікроконтролером через UART6402

При цьому виходи 13,14,15,23,27,28 і 12 підключені до входів буферного регістра передатчика (TBR0 – TBR7) UART6402. Вхід 25 з'єднується з виходом RBR0 буферного регістра приймача. Під час роботи послідовні дані передаються з комп'ютера в UART6402, що переводить RBR0 з нуля в одиницю і потім знову в нуль. По позитивному фронту цього сигналу мікросхема ICL7135 починає цикл перетворення, після чого 5 стробуючих імпульсів з виходу STROBE ініціюють передачу даних UART.

На рис. 3.13 наведено повну розроблену схему електричну принципову пристрою обробки результатів вимірювань концентрації озону.

МК за 5 разів зчитує 5 розрядів перетворених даних. Тактова частота АЦП дорівнює 153,6 кГц, вона виробляється кварцовим генератором CD4060. UART повинен передати дані за 1,3 мс. Якщо UART працює на швидкості 9600 бод, з 8 бітами даних, одним стоповим бітом та бер перевірки на парність, то час передачі складе близько 1 мс. Отже, така настройка UART коректна [21].

3.4 Розробка схеми адаптивного керування оптичними абсорбційними датчиками

На основі структурної схеми системи визначення концентрації озону (рис. 2.1) і результатів досліджень за п.п. 2.3 – 2.5 було розроблено схему електричну принципову, що здійснює адаптивне керування оптичними абсорбційними датчиками, що наведено на рис. 3.14. Розроблена схема базується на використанні МК АТМega328P [22] (DD2). Для синхронізації його функціонування використовуються зовнішній генератор, який виконано на конденсаторах C7, C9 і кварцовому резонаторі ZQ2. Сигнал від генератора подається на входи Xtal1 Xtal2 МК. Цифровий код, що відповідає вихідному сигналу оптичних абсорбційних оптичних датчиків озону подається від системи обробки сигналів датчиків на входи PC0 – PC6 МК. На вхід PD7 подаються сигнали широкосмугового сенсору датчика озону.

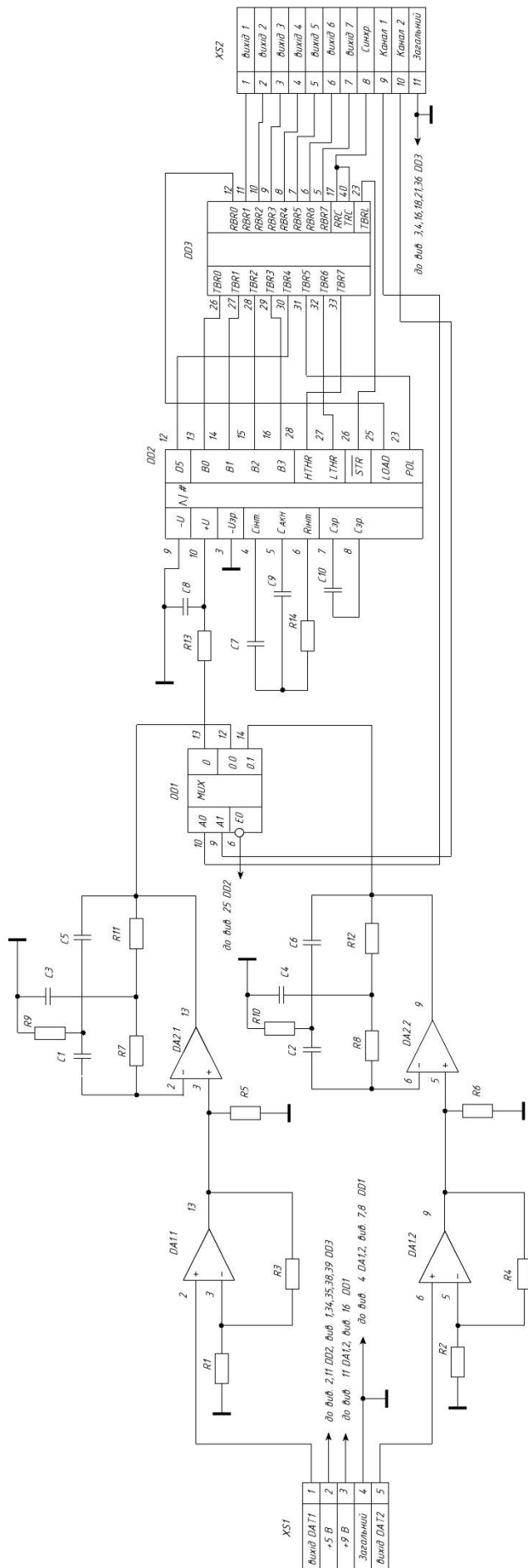


Рисунок 3.13 – Схема електрична принципова пристрою обробки вихідних сигналів датчиків

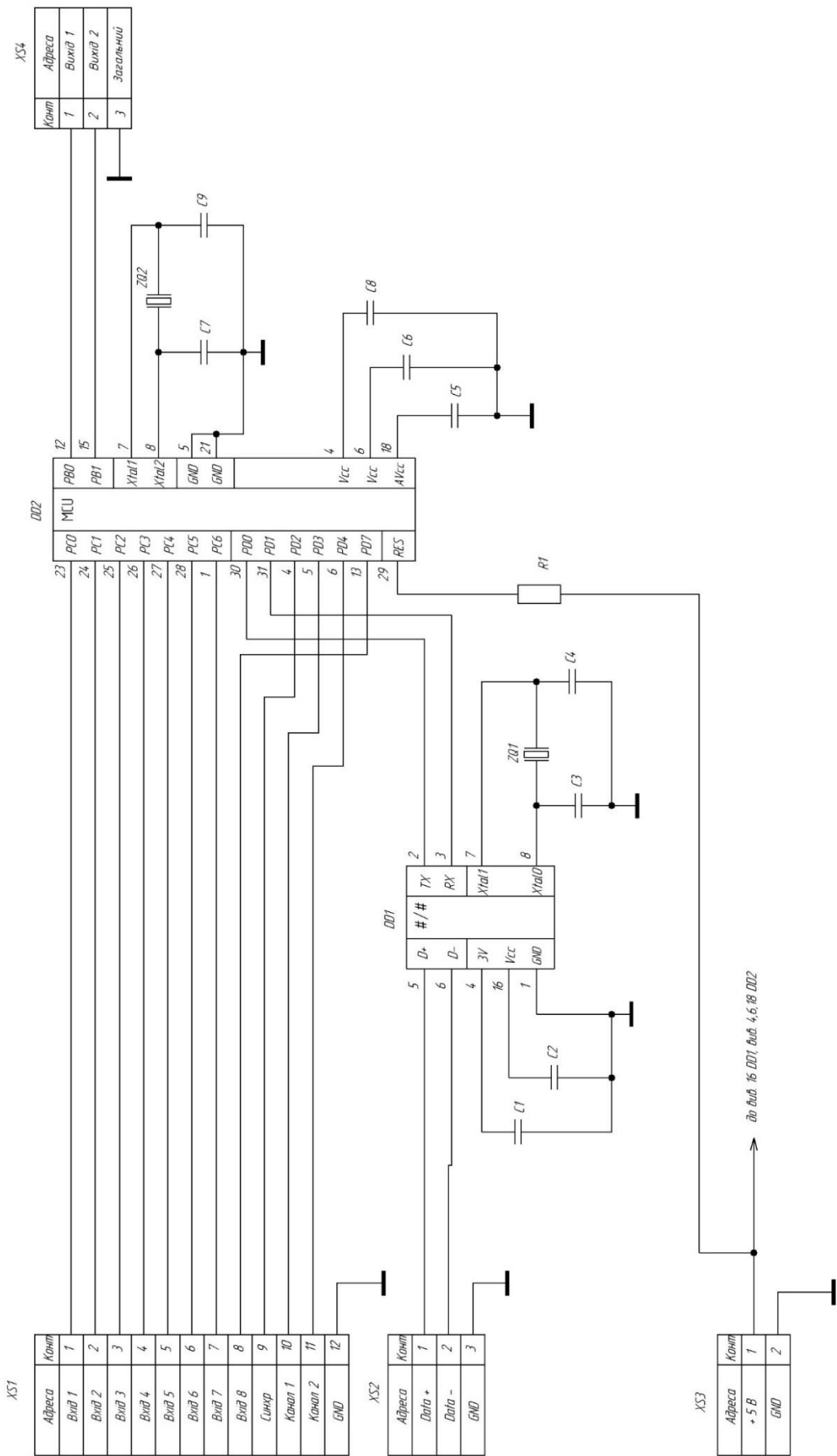


Рисунок 3.14 – Схема електрична принципова блоку адаптивного керування оптичними абсорбційними датчиками

Синхронізація роботи адаптивного керування і схеми обробки сигналів датчиків відбувається за виходом PD2, а керування перемиканням входів мультиплексора здійснюється за виходами PD3, PD4.

В залежності від стану робочого середовища системи визначення концентрації озону і відповідно до алгоритму адаптивного керування джерелами випромінювання оптичних абсорбційних датчиків на виходах PB0 і PB1 МК формуються керуючі сигнали, що надходять до схеми управління УФ – світлодіодами.

З урахуванням схеми адаптивного керування і схеми електричної принципової системи обробки сигналів оптичних абсорбційних датчиків було розроблено схему електричну принципову трипроменевого датчика системи визначення концентрації озону, що наведено на рис. 3.15, а перелік елементів до якої – у Додатку А.

При використанні систем реального часу опит стану датчиків, визначення значення поточної похибки і формування відповідного керуючого впливу на датчик повинні бути зазначені з максимально високим пріоритетом. Це пов'язано з тим що унеможлиблюється затримка між визначенням похибки і генерацією керуючого сигналу. Ці процеси відбуваються синхронно, але з фазовим зсувом, тобто процеси встановлюються з однаковим кроком, але у різних моменти часу.

Адаптивний алгоритм, що реалізується МК виконується з низьким пріоритетом який нижче ніж пріоритети обробки переривань і функцій, а також пов'язаних з ними процесів. Крім того, для зменшення обчислювальних витрат передбачено виконання операцій у момент зміни значень похибки.

Розроблений алгоритм використовує змінну для визначення керуючого впливу атомарним чином. За цим методом відповідна змінна змінюється і зчитується у момент закінчення обчислень у одному рядку, що запобігає невизначеному стану системи. За допомогою внутрішнього таймеру МК виконується врахування перебігу програмного коду у реальному часі. У випадку якщо поточний час не досяг значення встановленого кроку, то на контактах Вихід 1, Вихід 2 XS3 підтримується попереднє значення напруги.

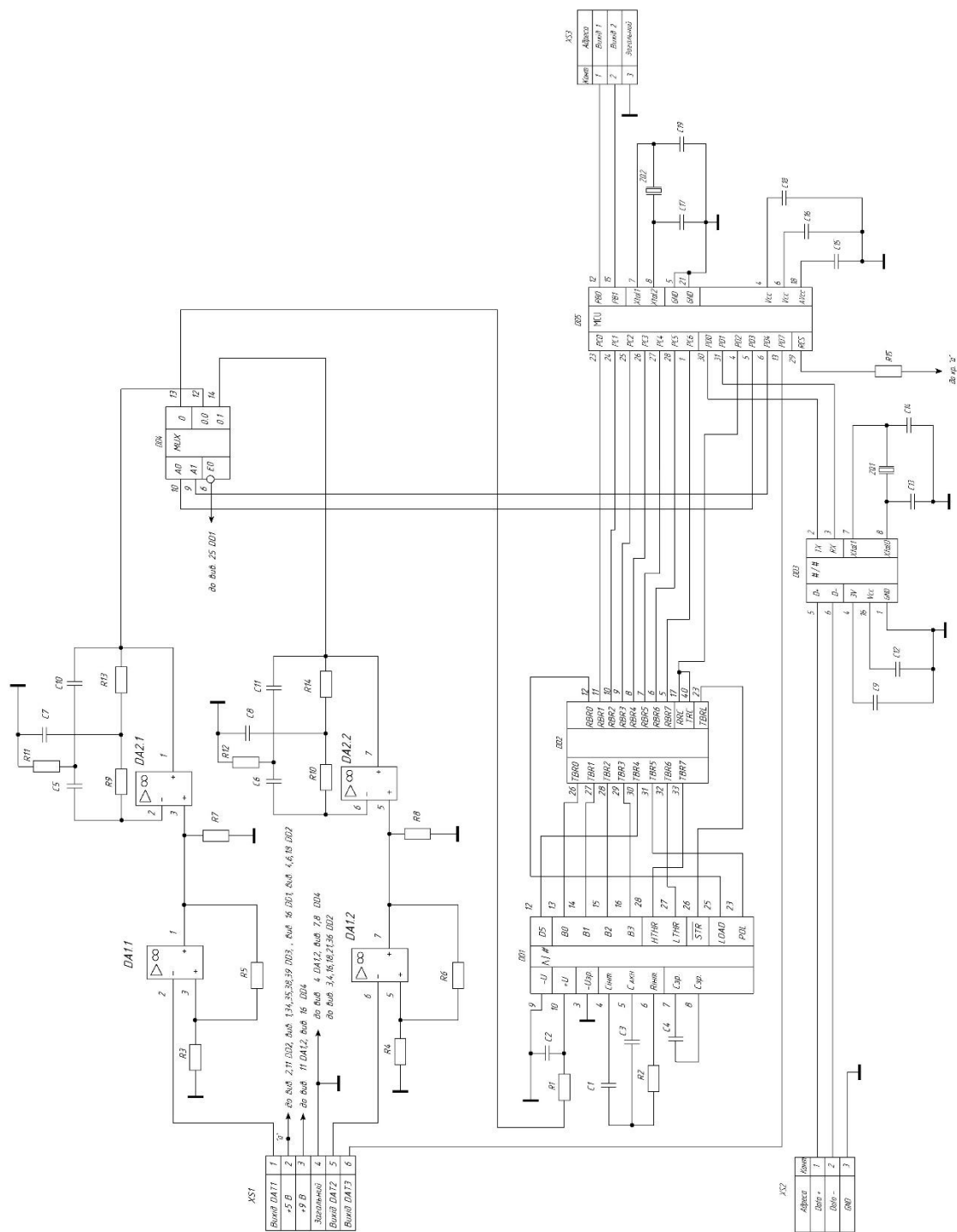


Рисунок 3.15 – Схема электрична принципова системи обробки і керування трипроменевим датчиком озону

Наведена схема відрізняється від системи, що представлена у (рис. 3.14), тим, що аналого-цифрове перетворення здійснюється зовнішнім АЦП. Це дозволяє підвищити точність перетворення і звільнити МК від відповідного навантаження. Крім того, операції порівняння і диференціювання вихідних сигналів кожного оптичного каналу відбувається у аналоговому вигляді. При цьому програмним чином реалізується алгоритм адаптивного керування світлодіодами, яких засновано на використанні модифікованого другого методу Ляпунова (п.п. 2.5).

4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ОПТИЧНИХ АБСОРБЦІЙНИХ ДАТЧИКІВ

4.1. Моделювання блоку керування джерелами випромінювання

Схема управління джерелами випромінювання складається з генератора опорної частоти, системи регулювання частоти та підсилювачів.

Дослідження розробленої схеми управління джерелами випромінювання проводилось на основі моделювання в системі Electronics Workbench 5.1 (EWB). Згідно зі схемою електричною принциповою системи управління джерелами випромінювання завдання для моделювання розділено на два функціонально-логічних модуля: завдання для моделювання генератора імпульсів та завдання для моделювання підсилювача струму на основі емітерного повторювача. Вигляд завдання для моделювання генератора в форматі системи EWB показаний на рис. 4.1.

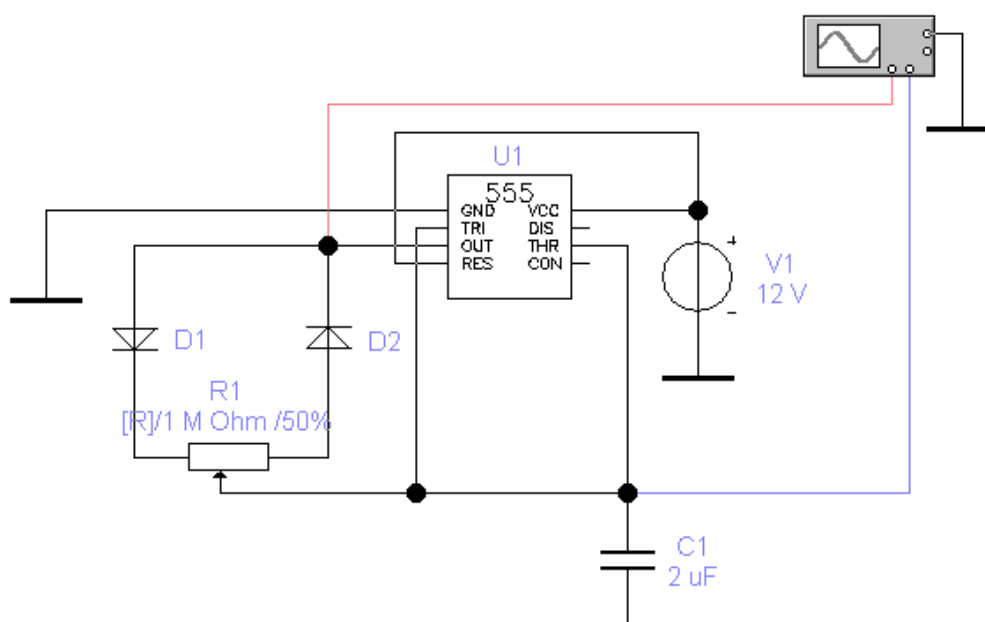


Рисунок 4.1. – Завдання для моделювання генератора на інтегральному таймері NE555

В схемі генератора опорної частоти на інтегральному таймері NE555 (аналог КР 1006 ВІ1) регулювання частоти здійснюється шляхом зміни величини ємності C_1 , а тривалість імпульсів регулюється змінним резистором R_1 . Осцилограма напруг на вході і виході таймера наведена на рис. 4.2.

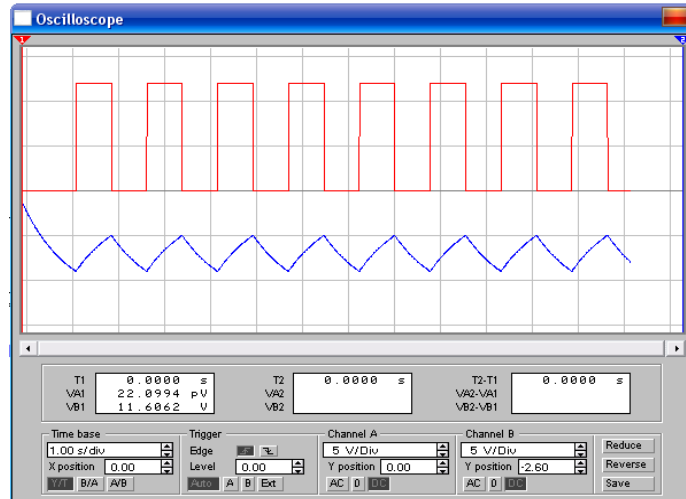


Рисунок 4.2 – Осцилограма вхідної та вихідної напруги інтегрального таймера NE555

Для дослідження спектру внутрішніх шумів генератора використовувався аналіз шумів Noise системи EWB. Результати моделювання представлені на рис. 4.3 розподілом спектральної щільності (в одиницях $V^2/\text{Гц}$) напруги шуму на вході і виході інтегрального таймера.

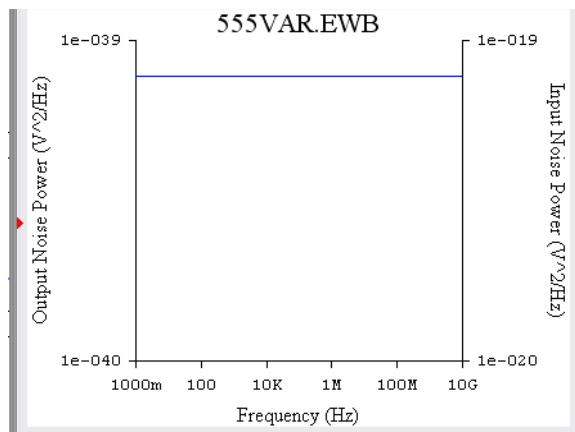


Рисунок 4.3 – Шумова характеристика вхідної та вихідної напруги інтегрального таймера NE555

Результати дослідження показують, що рівень шумових складових має рівномірний характер в діапазоні частот від 1 Гц до 10 ГГц. Відповідно для входу – $1 \cdot 10^{-19}$ В²/Гц і на виході – $1 \cdot 10^{-39}$ В²/Гц.

Таким чином, власні шуми досліджуваної схеми не вносять суттєвих гармонік у вихідний сигнал і не впливають на роботу схеми.

Для дослідження впливу величини ємності C1 на частоту вихідного сигналу генератора використовувався вид аналізу Parameter Sweep системи EWB. Результати дослідження показано на рис. 4.5 у вигляді зміни вихідного сигналу генератора при різних значеннях ємності C1.

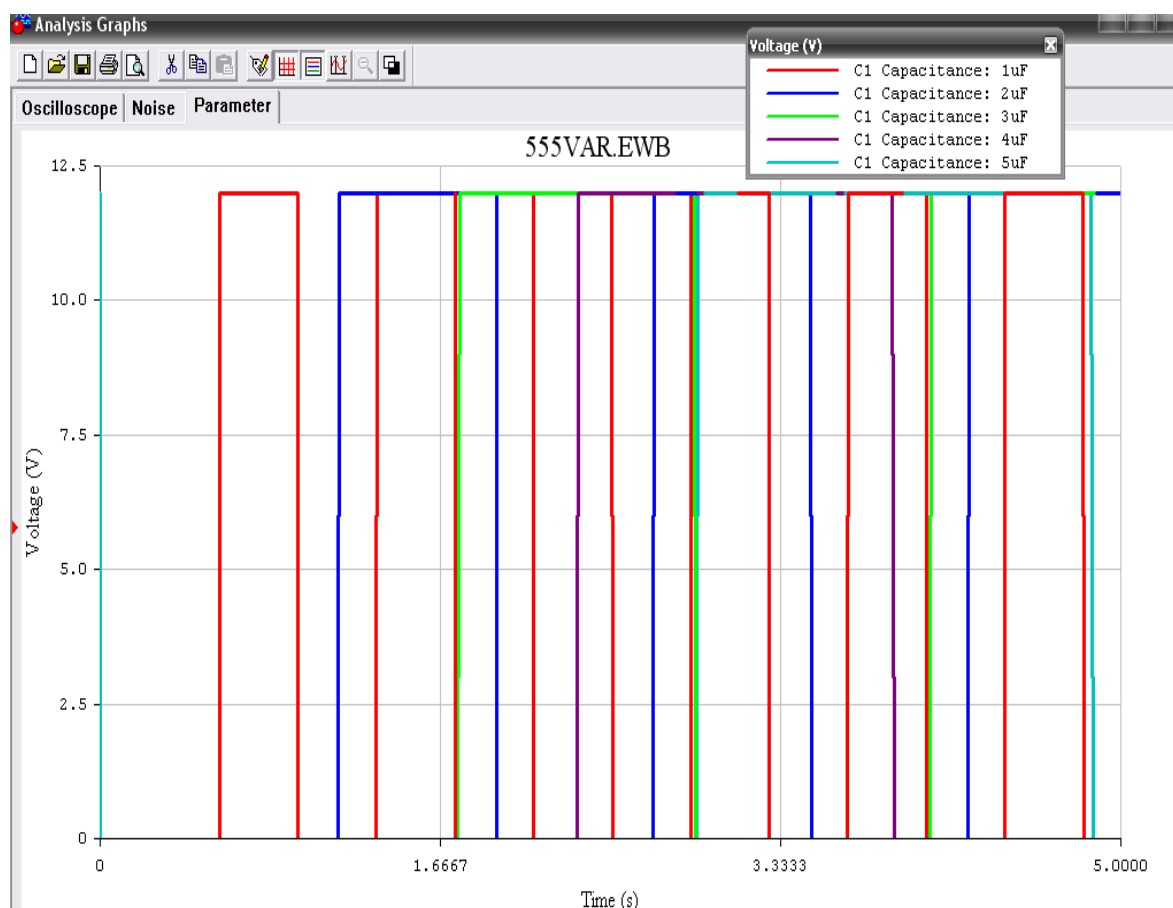


Рисунок 4.5 – Зміна вихідної напруги таймера в залежності від величини ємності C1 для інтегрального таймера NE555

Як витікає з рис. 4.5 величина частоти вихідного сигналу змінюється від 1,3 Гц до 0,2 Гц при зміні ємності від 1 до 5 мкФ.

Таким чином, змінюючи величину конденсатора $C1$, можливо регулювати частоту генератора та, отже, підстроювати частоту вимірювальних оптичних імпульсів.

Результати дослідження за аналізом Parameter Sweep тривалості імпульсів вихідного сигналу в залежності від величини резистора $R1$ наведені на рис. 4.6.

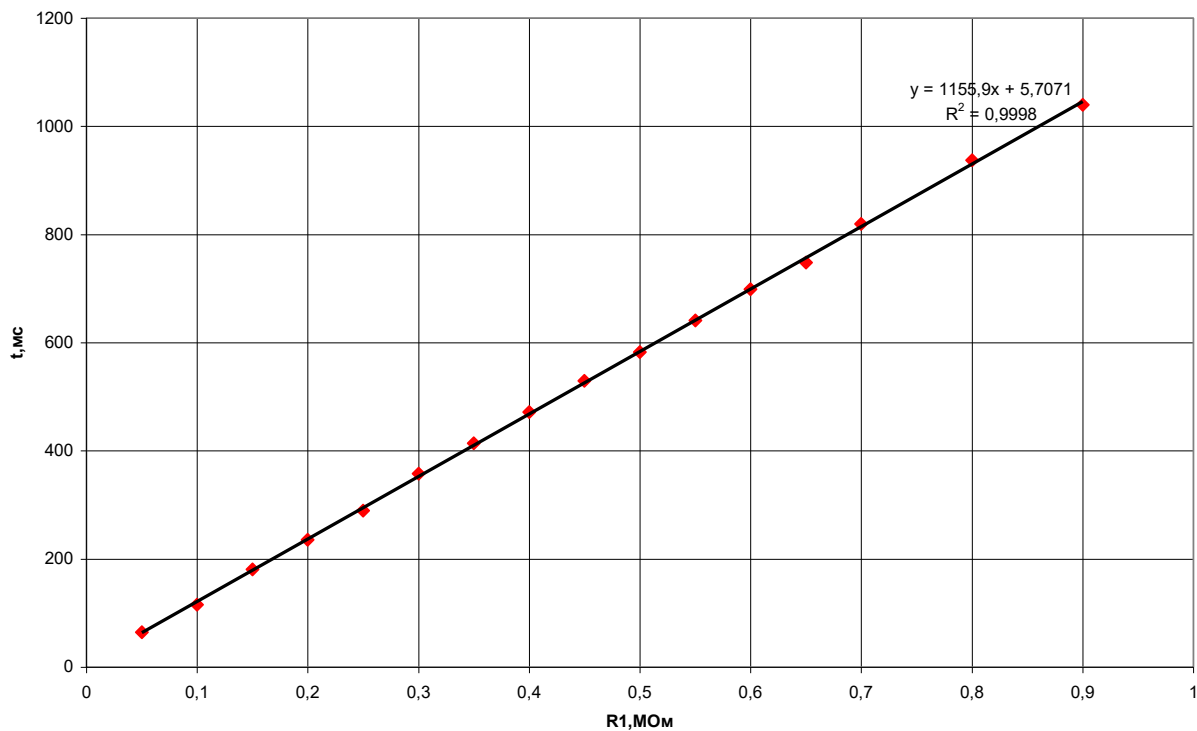


Рисунок 4.6 – Залежність тривалості імпульсів від величини опору $R1$ для схеми генератора на NE555

Для перевірки гіпотези про лінійність залежності $t(R1)$ була проведена апроксимація за допомогою лінії тренду в MS Excel. Результати апроксимації показують, що аналітична залежність $t(R1)$ може бути представлена у наступному вигляді:

$$t = 1526,7 * R1 + 9,7696$$

При цьому тривалість імпульсів вихідного сигналу вимірюється в мс, а величина опору R1 – в МОм.

Адекватність отриманих результатів оцінювалася за допомогою коефіцієнта множинної регресії R^2 , значення якого склало 0,9998. Таким чином, точність регулювання тривалості вихідних імпульсів генератора може бути встановлена з максимальним рівнем похибки 0,0002.

Вигляд завдання для моделювання підсилювача струму на основі емітерного повторювача наведено на рис. 4.7.

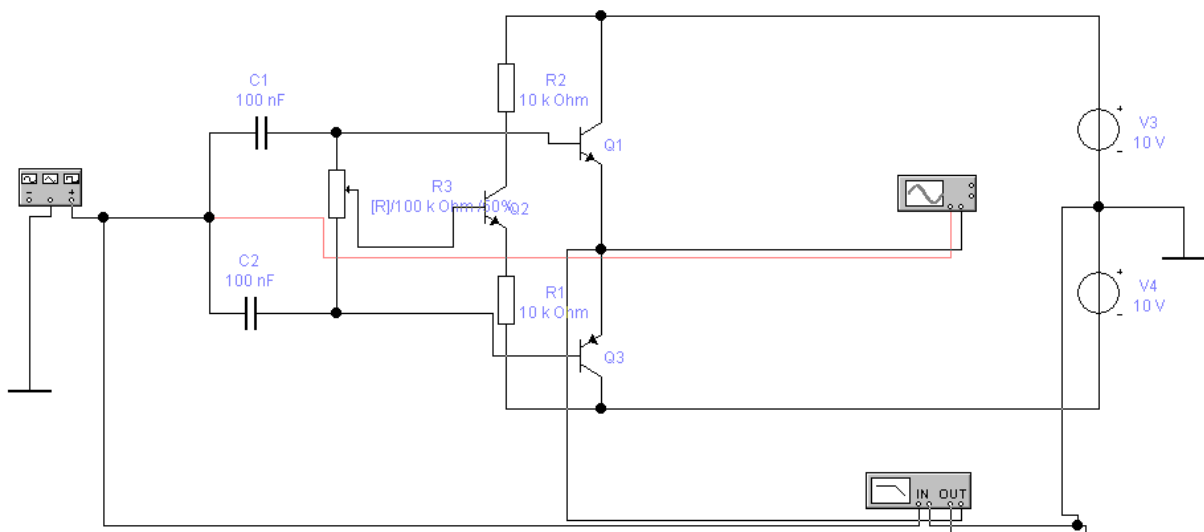


Рисунок 4.7 –Завдання для моделювання емітерного повторювача

В схемі на рис. 4.7 вхідний сигнал моделюється генератором синусоїдальних імпульсів. Віртуальний прилад Vode Plotter призначений для дослідження амплітудно-частотної та фазово-частотної характеристик схеми (АЧХ та ФЧХ). Віртуальний осцилограф візуалізує форму та величину вхідного та вихідного сигналів.

Осцилограма вхідної та вихідної напруг складеного емітерного повторювача наведена на рис. 2.34.

Амплітудно-частотна та фазово-частотна характеристики наведені на рис. 2.35.

Для дослідження спектру внутрішніх шумів емітерного повторювача використовувався аналіз шумів Noise системи EWB. Результати моделювання представлені на рис. 4.10 розподілом спектральної щільності (в одиницях $V^2/Гц$) на вході і виході схеми.

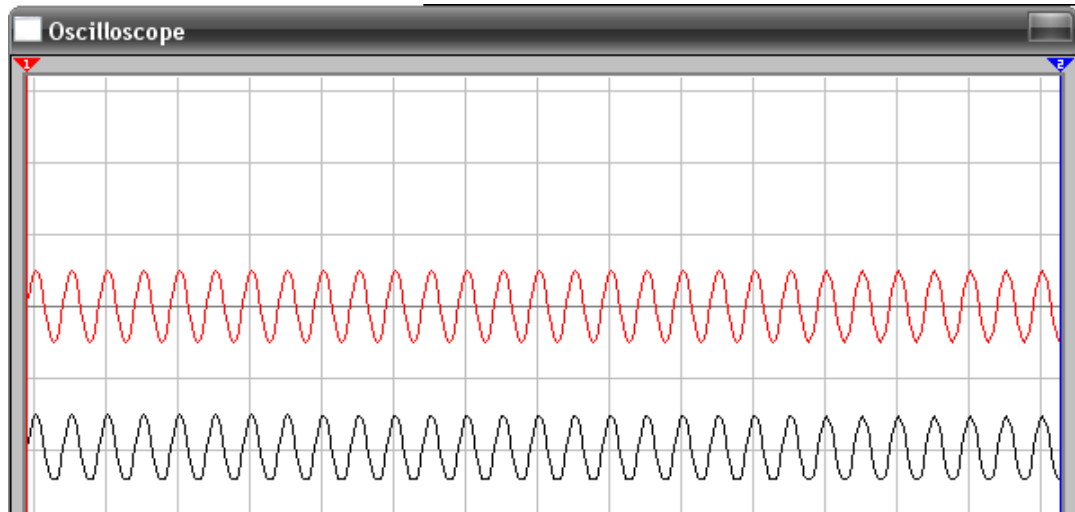


Рисунок 4.8 - Осцилограма вхідної та вихідної напруги складеного емітерного повторювача

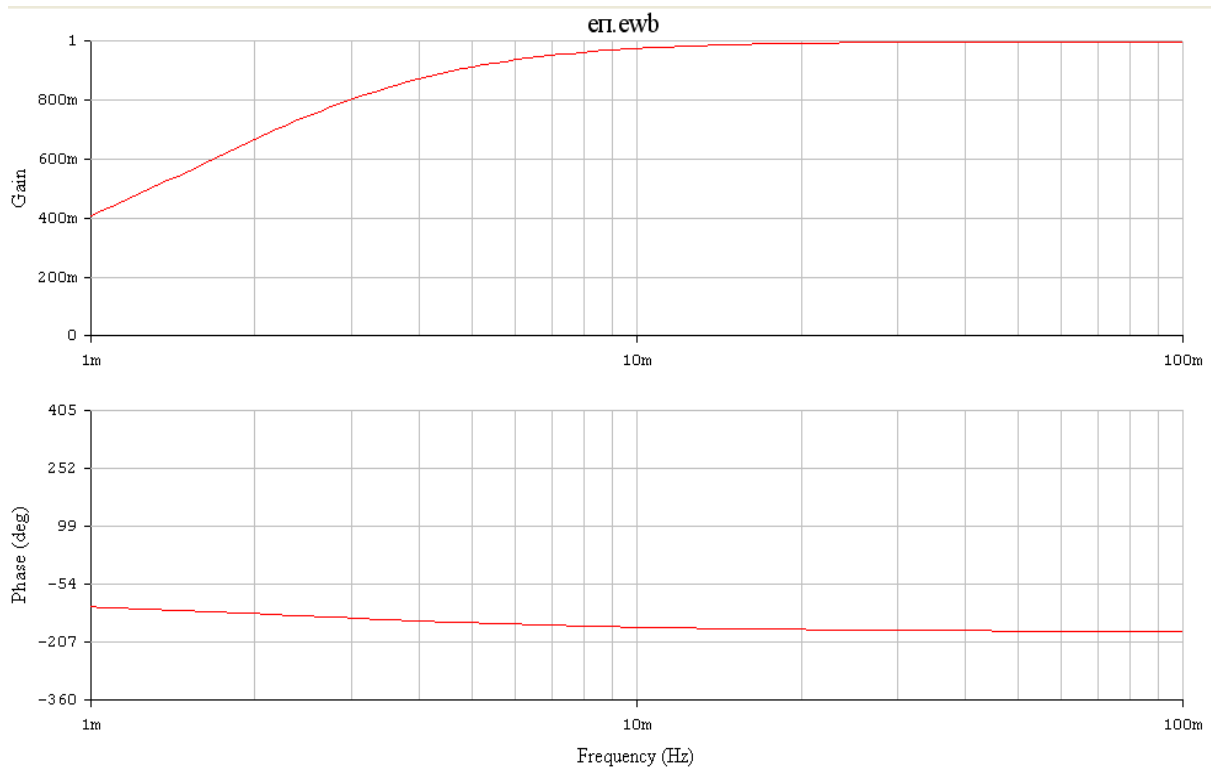


Рисунок 4.9 – АЧХ та ФЧХ емітерного повторювача

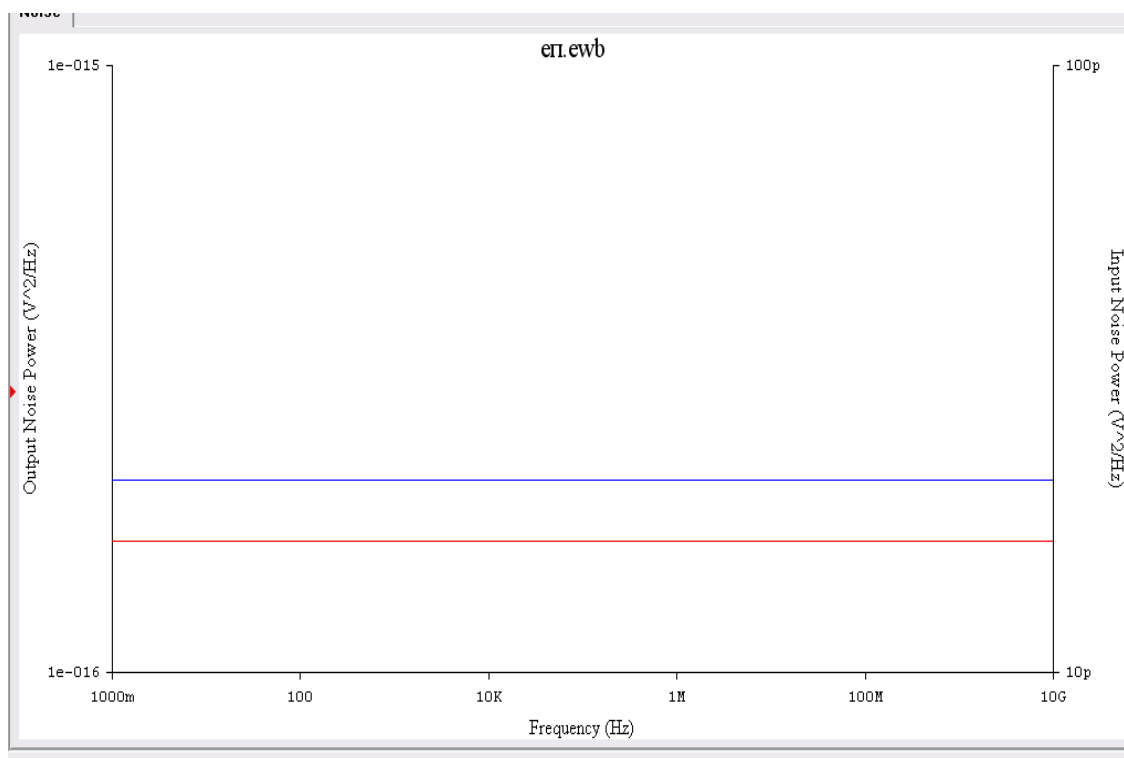


Рисунок 4.10 – Шумова характеристика складеного емітерного повторювача

Результати дослідження показують, що рівень шумових складових має рівномірний характер в діапазоні частот від 1 Гц до 10 ГГц. Відповідно для входу – $25 \cdot 10^{-12} \text{ В}^2/\text{Гц}$ і на виході – $1,2 \cdot 10^{-16} \text{ В}^2/\text{Гц}$.

Таким чином, власні шуми досліджуваної схеми не вносять суттєвих гармонік у вихідний сигнал і не впливають на роботу схеми.

Для дослідження стабільності роботи схеми використовується метод аналізу Monte Carlo. При такому аналізі випадковим чином змінюються параметри елементів в межах допустимого відхилення від номіналу та перевіряється вплив на роботу схеми.

Результати аналізу роботи схеми за методом Монте Карло наведені на рис. 4.11.

Температурний аналіз функціонування схеми показує, що в діапазоні температур від -20 до 80 °С емітерний повторювач працює стабільно (рис. 4.12).

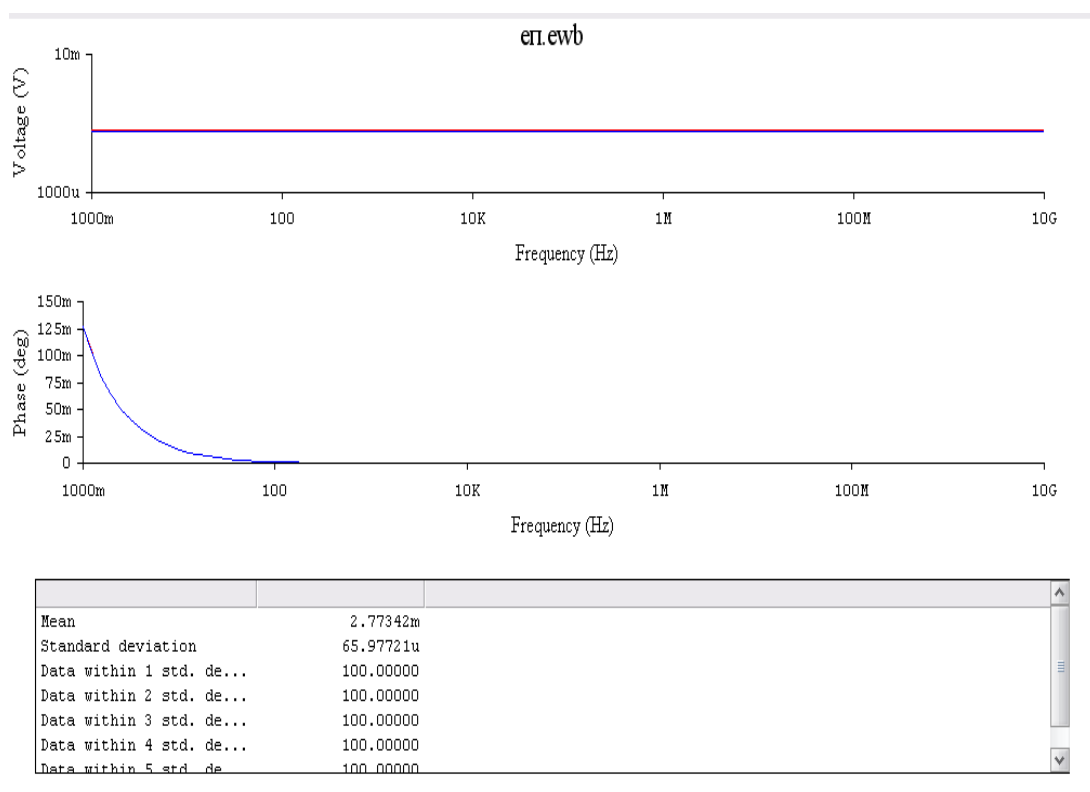


Рисунок 4.11 - Результати аналізу роботи схеми емітерного повторювача методом Монте Карло

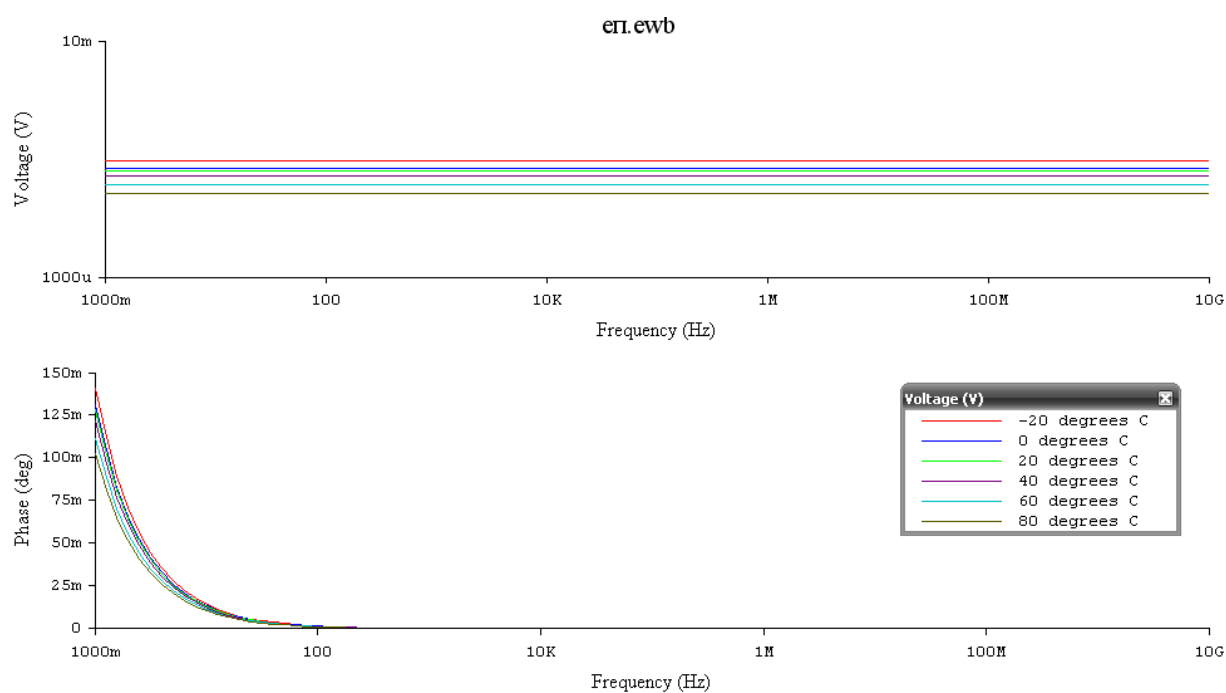


Рисунок 4.12 – Результати температурного аналізу роботи схеми емітерного повторювача

Таким чином, важливими перевагами схеми емітерного повторювача є низький рівень власних шумів, слабка залежність функціонування схеми від температури та випадкових змін параметрів елементів.

4.2. Моделювання блоку обробки вихідних сигналів датчиків

Схема обробки результатів вимірювань містить два підсилювачі, два фільтри та аналоговий мультіплексор. Згідно зі схемою електричною принциповою схеми обробки результатів вимірювань завдання для моделювання розділено на три функціонально-логічних модуля: завдання для моделювання підсилювача напруги, завдання для моделювання фільтру та завдання для моделювання аналогового мультіплексора. Вигляд завдання для моделювання підсилювача напруги в форматі системи EWB показаний на рис. 4.13.

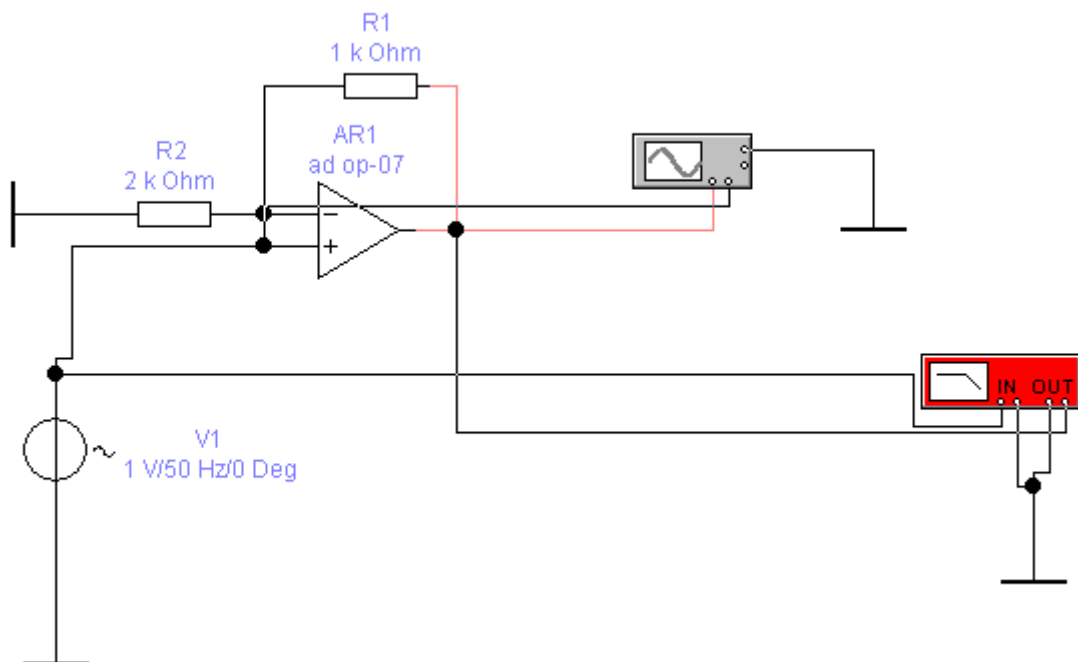


Рисунок 4.13 – Завдання для моделювання підсилювача напруги на операційному підсилювачі

Осцилограма вхідної та вихідної напруг при значеннях опорів $R1=1\text{ кОм}$

і $R_2=2$ кОм наведена на рис. 4.14.

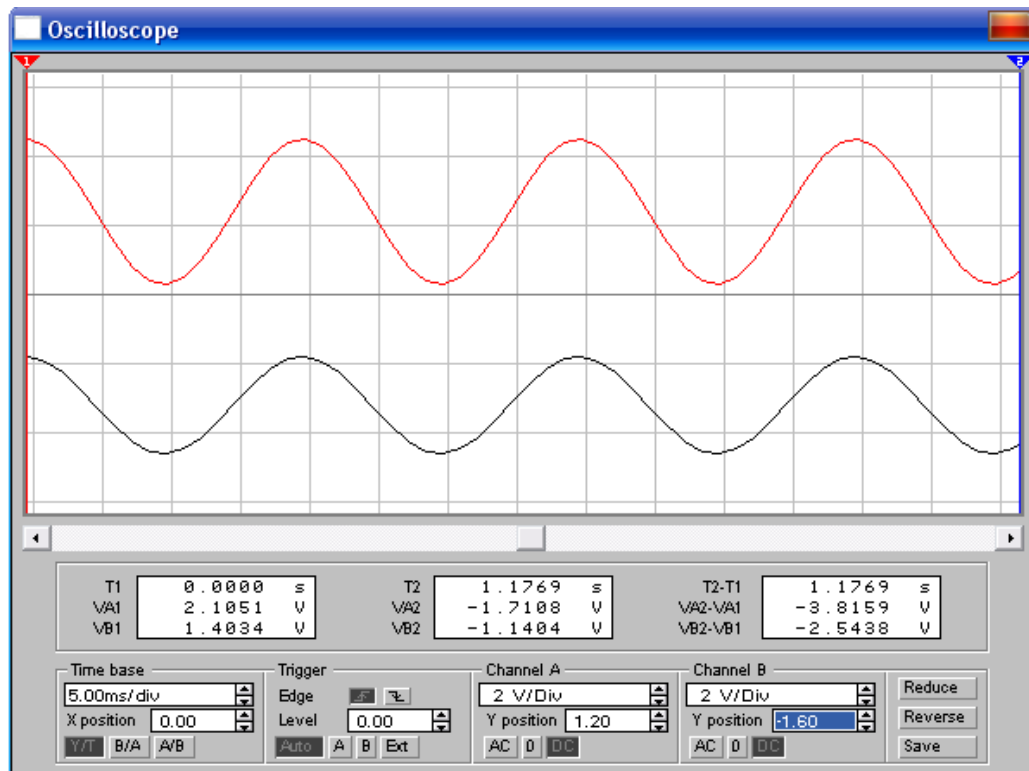


Рисунок 4.14 - Осцилограма вхідної та вихідної напруг підсилювача при значеннях опорів $R_1=1$ кОм і $R_2=2$ кОм

Дійсно, коефіцієнт посилення має дорівнювати 1,5, що добре узгоджується з результатами моделювання.

Результаті дослідження у вигляді АЧХ та ФЧХ підсилювача показано на рис. 4.15.

Визначимо смугу пропускання підсилювача на рівні 0,9 від максимального значення. Як слідує з рис. 4.15, смуга пропускання, визначена по АЧХ, складає від 0 до 141 кГц з максимальним значення коефіцієнта посилення 1,5.

Аналогічно для ФЧХ смуга пропускання складає від 0 до 35 кГц з постійним значенням зсуву фаз 180° .

Співвідношення отриманих значень дозволяє вибрати в якості характеристичної смуги пропускання підсилювача значення від 0 до 140 кГц.

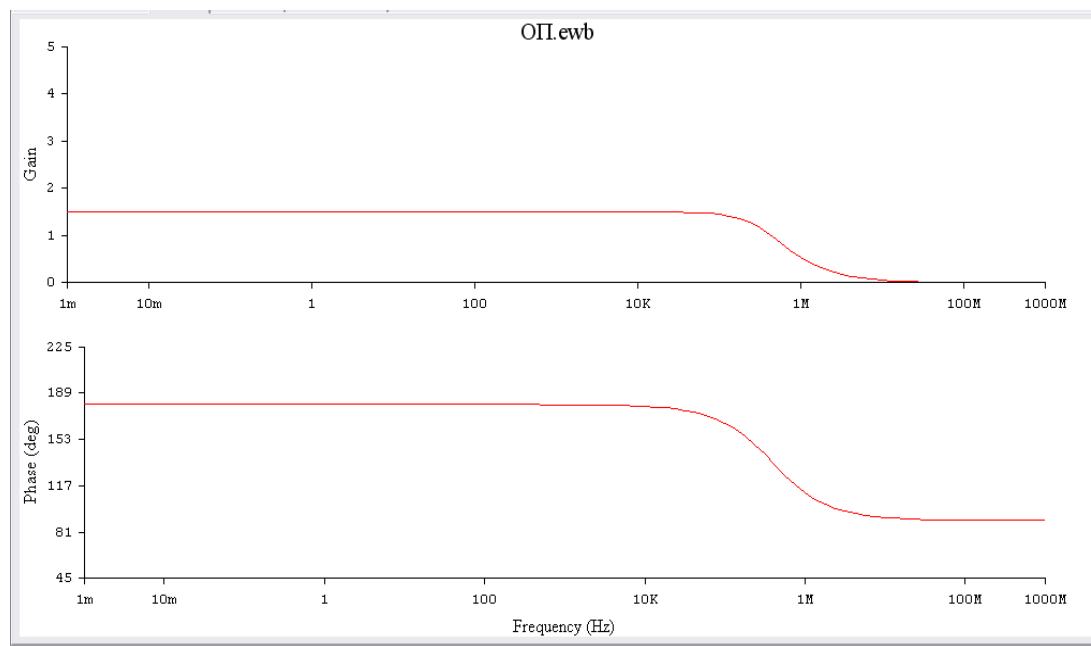


Рисунок 4.15– Амплітудно-частотна та фазово-частотна характеристики підсилювача

Для дослідження стабільності роботи схеми використовується метод аналізу Monte Carlo. Результати аналізу роботи схеми за методом Монте Карло наведені на рис. 4.16.

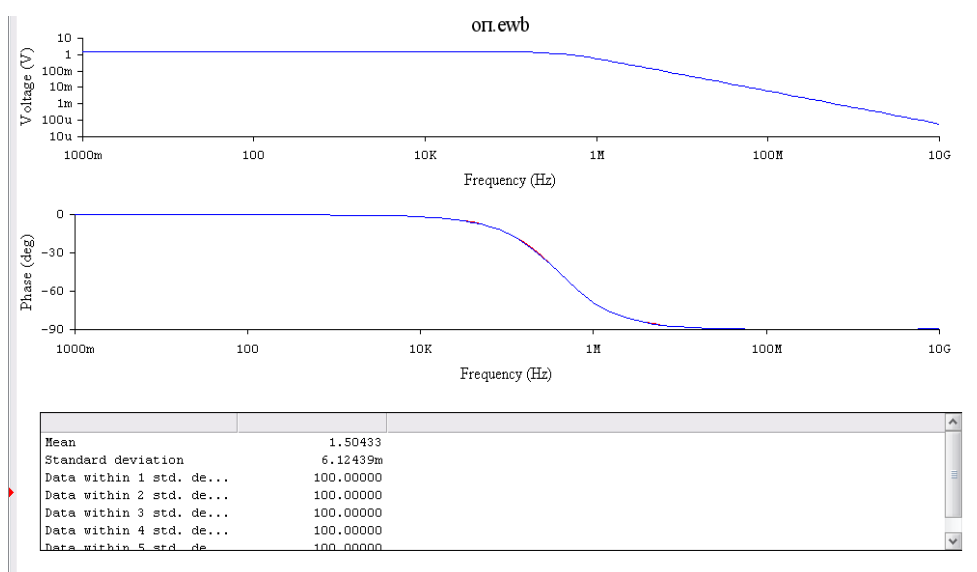


Рисунок 4.16 - Результати аналізу роботи схеми за методом Монте Карло

Дослідження показало, що схема підсилювача має слабку залежність від випадкової зміни величин елементів схеми.

Вигляд завдання на моделювання смугового фільтра наведена на рис. 4.17.

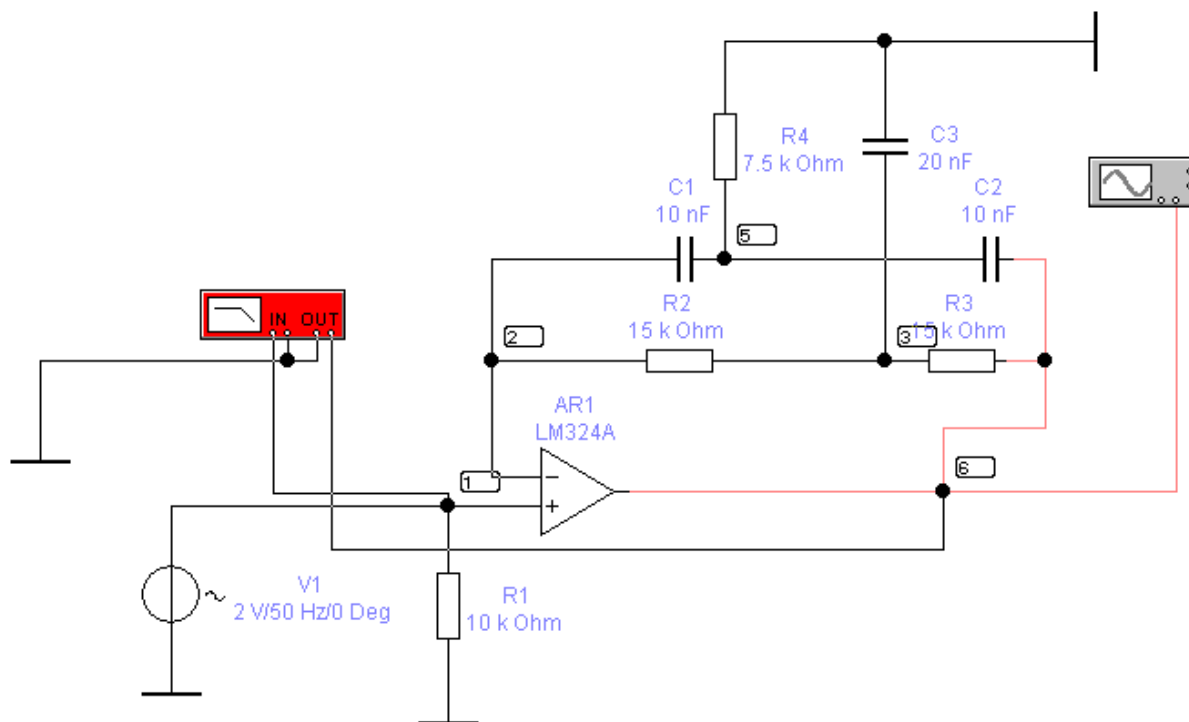


Рисунок 4.17 – Завдання для моделювання смугового фільтра

На рис. 4.18 наведено АЧХ та ФЧХ фільтра.

Резонансна частота схеми повинна становити 1 кГц, що підтверджується результатами моделювання (рис. 4.18).

Результати температурного аналізу схеми фільтра, наведені на рис. 4.19, показують, що АЧХ та ФЧХ фільтра практично не змінюються при зміні температури в діапазоні від -20 до 80 °С.

Таким чином, розроблена схема фільтра має температурну стабільність характеристик в зазначеному діапазоні.

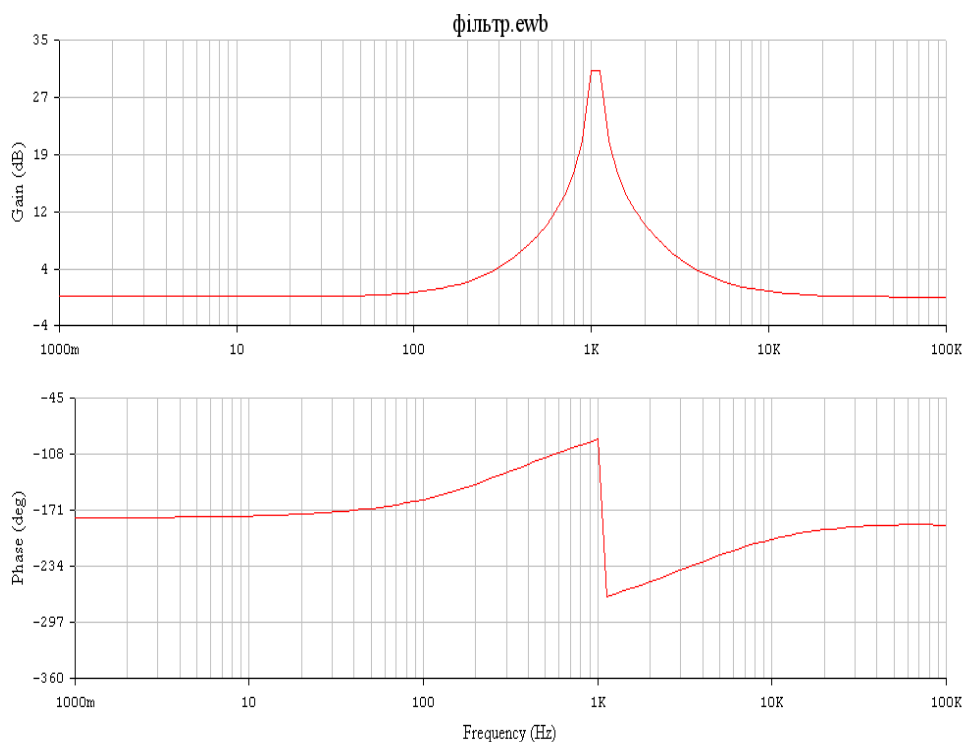


Рисунок 4.18 – Амплітудно-частотна та фазово-частотна характеристики фільтру

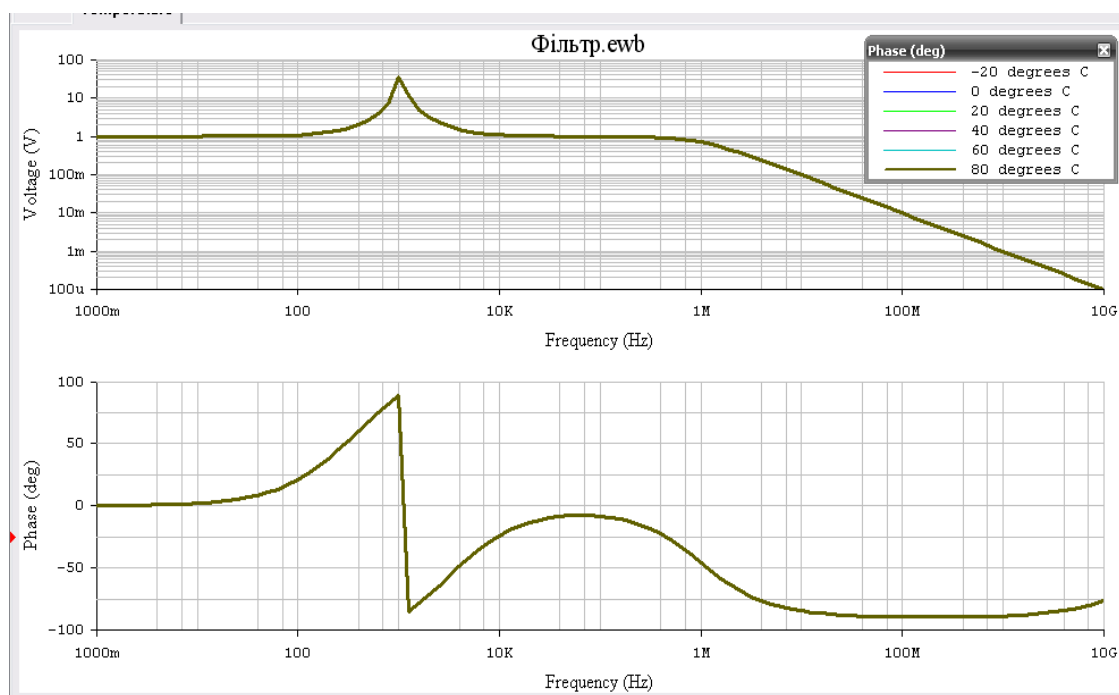


Рисунок 4.19 – Результати температурного аналізу фільтру

Результати аналізу шумових характеристик показані на рис. 4.20.

Результати аналізу показують, що максимальна щільність напруги шумових складових спостерігається на частоті 1 кГц і складає $1,57 \cdot 10^{-13}$ В²/Гц, а мінімальна – на частоті 198 кГц і складає $9,92 \cdot 10^{-20}$ В²/Гц.

Результати аналізу схеми фільтру методом Монте Карло наведені на рис. 4.21.

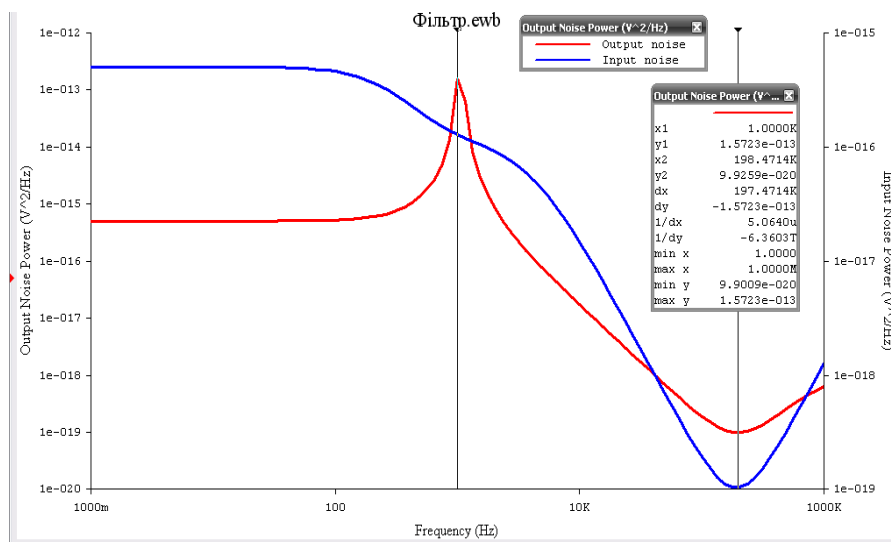


Рисунок 4.20 – Результати аналізу шумових характеристик схеми фільтр

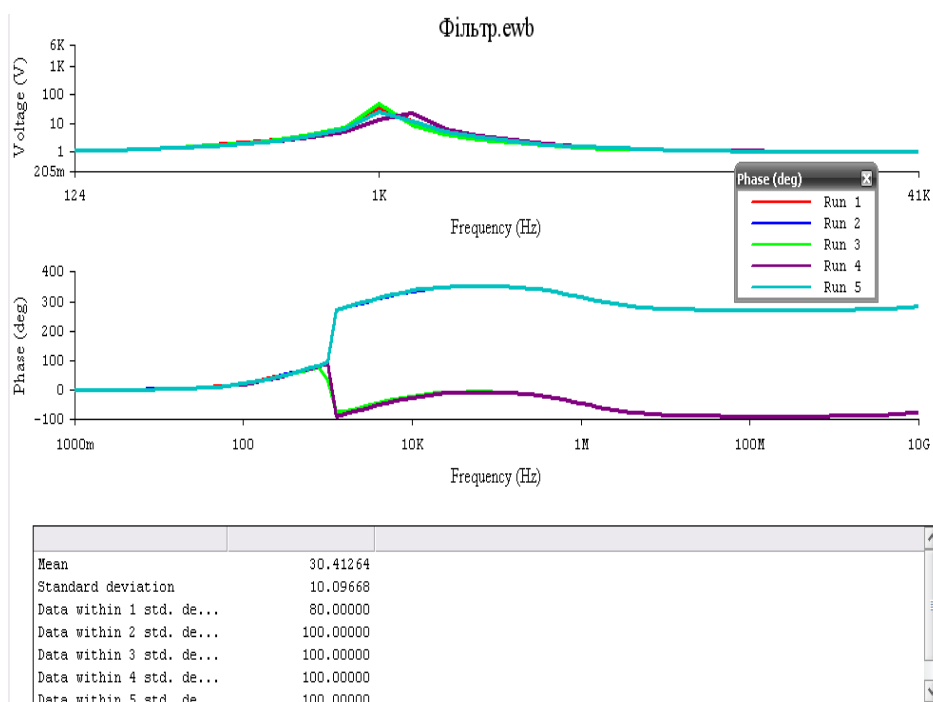


Рисунок 4.21 – Результати аналізу методом Монте Карло

Результати аналізу методом Монте Карло показують, що при випадковій зміні параметрів елементів схеми фільтра в діапазоні $\pm 10\%$ від номінальних значень на АЧХ змінюється коефіцієнт посилення не більш, ніж на 5% номінального значення, а смуга пропускання залишається незмінною, що підтверджує працездатність схеми в заданому діапазоні відхилення номінальних значень.

4.3. Розробка друкованої плати системи обробки сигналів оптичних абсорбційних датчиків озону

На основі схеми електричної принципової системи обробки і керування датчиками озону було розроблено друковану плату у середовищі DipTrace [23].

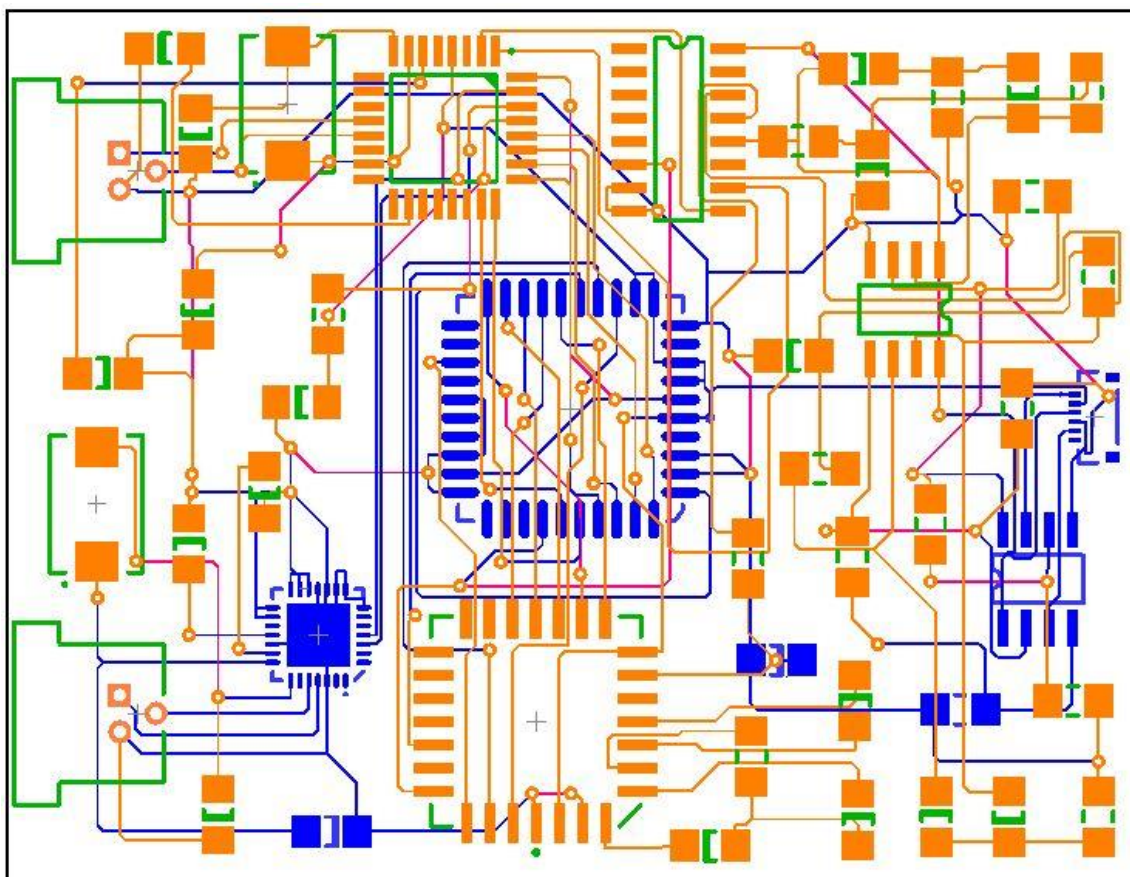


Рисунок 4.22 – Загальний вигляд трасування друкованої плати

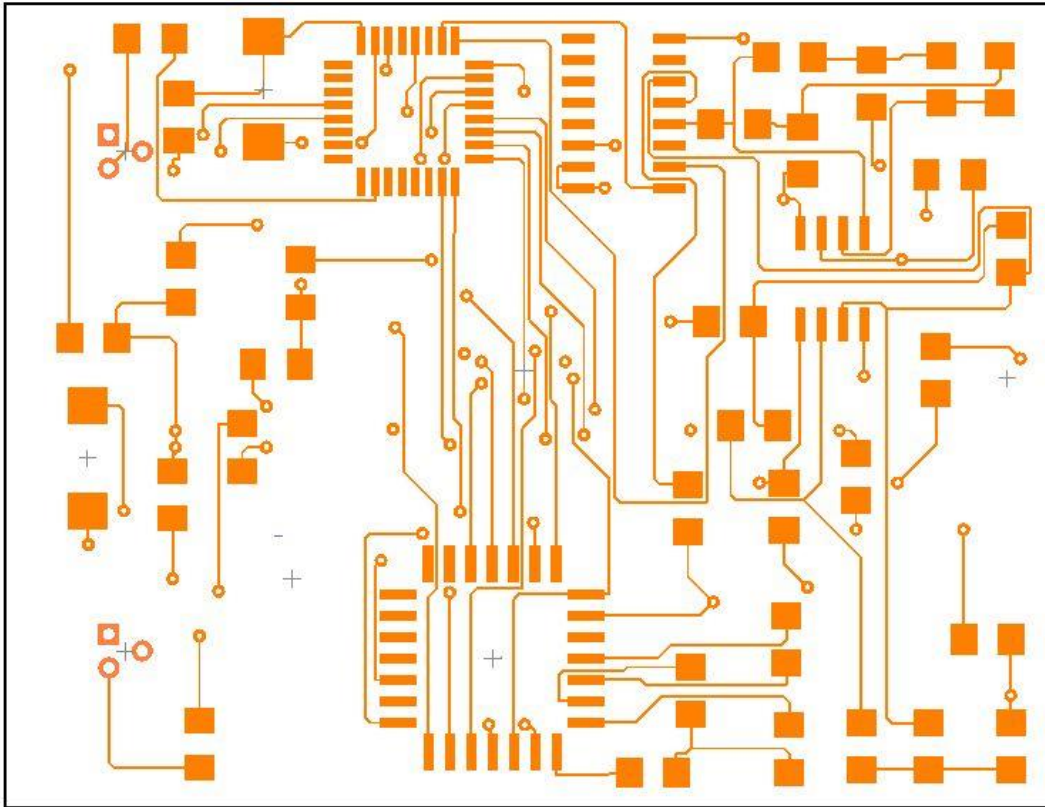


Рисунок 4.23 - Трасування друкованої плати з верхнього боку

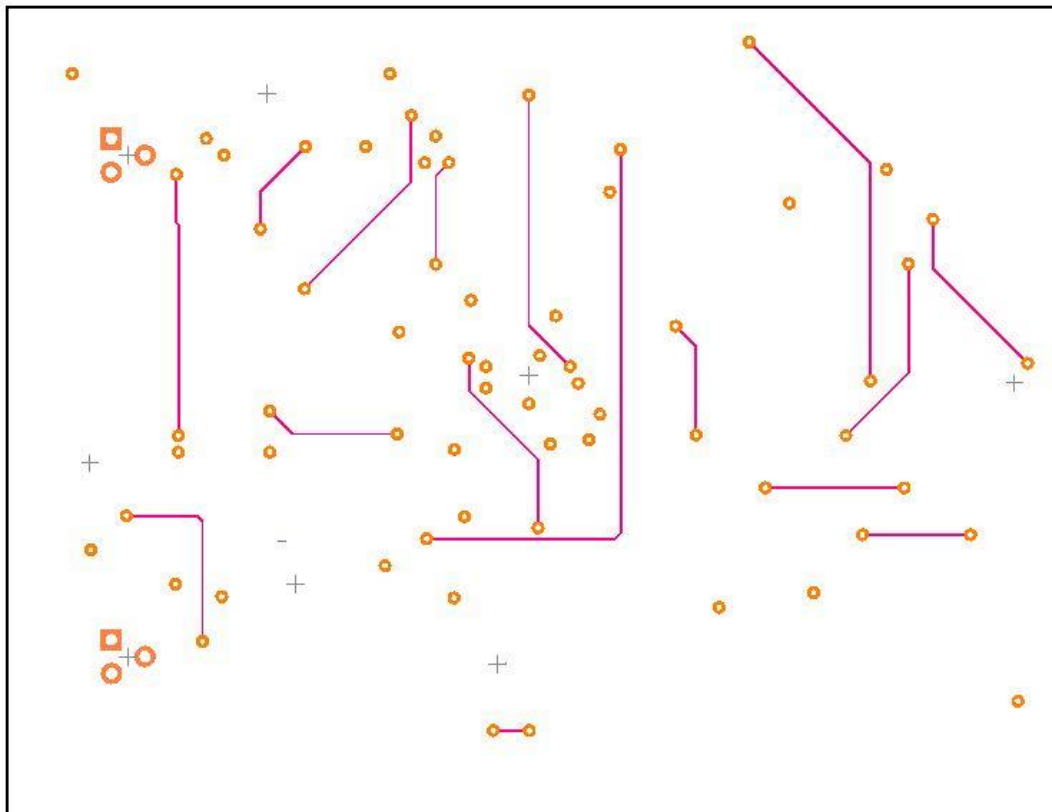


Рисунок 4.24 - Трасування другого рівня друкованої плати

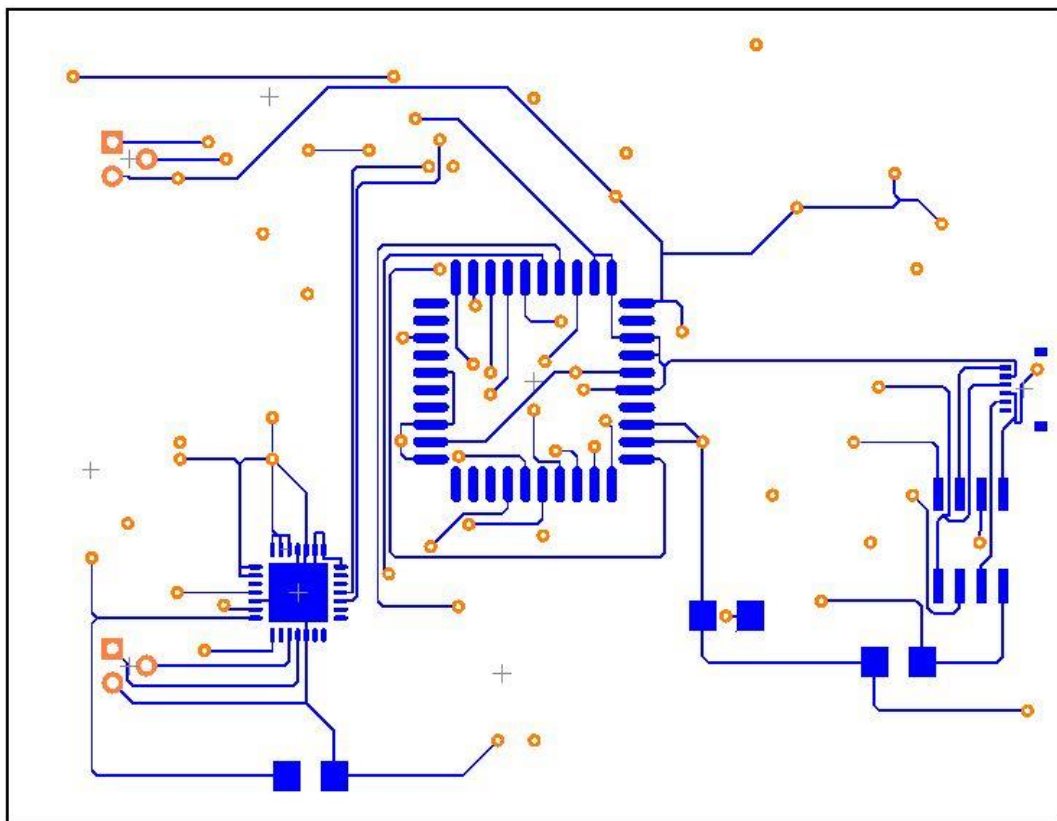


Рисунок 4.25 - Трасування друкованої плати з нижнього рівня

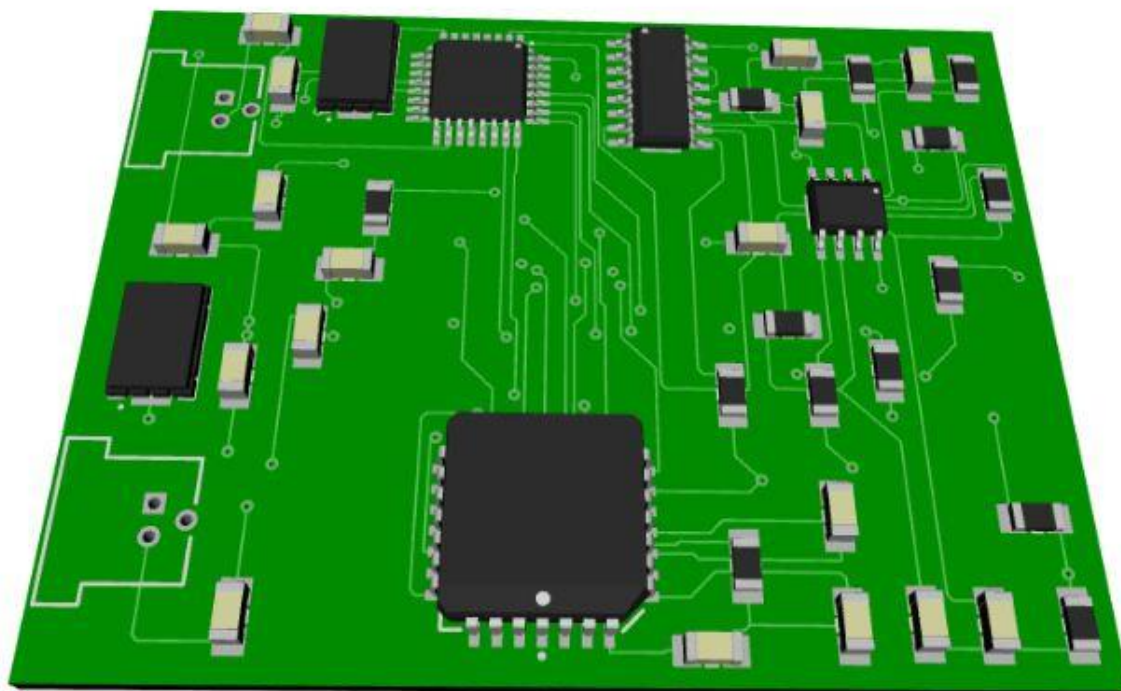


Рисунок 4.26 – Тривимірне моделювання датчика з верхньої сторони

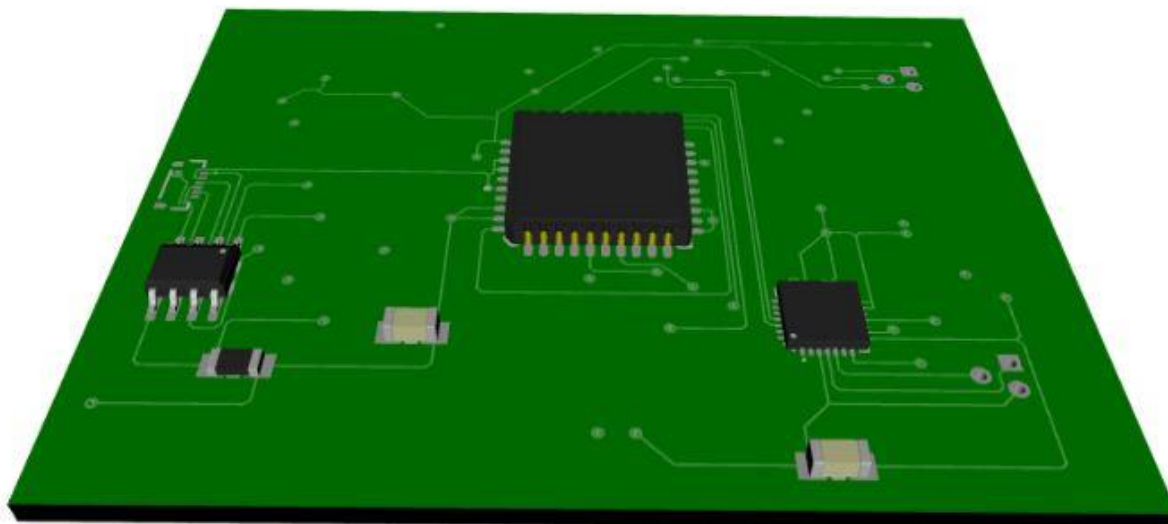


Рисунок 4.26 – Тривимірне моделювання датчика з нижньої сторони

Особливостями такої конструкції є використання елементів схеми у корпусах для поверхневого монтажу. Такий підхід дозволяє зменшити ваго-габаритні характеристики трипроменевого датчика і зменшити його собівартість у масовому виробництві.

Розроблено тришарову друковану плату датчика з розмірами: довжина 62 мм, ширина 48 мм, висота 25 мм. Зазор між провідниками дорівнює мм, розмір перехідних отворів мм з діаметром свердла 0,4мм.

5 ЕКОНОМІКА ТА ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

5.1 Формуляр проекту

Таблиця 5.1 – Формуляр проекту

Завдання	№ проекту	1
	Дата замовлення	02.02.2022
	Назва проекту	Дослідження процесів перетворення сигналів у оптичному абсорбційному датчику
	Замовник ПІБ	
	Адреса	
	Контактна особа, ПІБ Телефон і факс	
Договірна ціна	Усього	1
	План оплати	попередня оплата – 50%
	Додаткові умови	-
Строки	Початок	08.04.2022
	Проміжні строки	-
	Кінець	01.12.2022
Партнери	Кооперація	-
	Субпідрядники	-
	Завдання	-
Персонал	Керівник	
	Заступник	
	Співробітники	
Проект	Скорочена назва	-
	Цілі	Розробка трипроменевого датчика
	Критичні строки	1. 01.09.22 (синтез моделі адаптивного керування)
		2. 15.11.22 (розробка Трипроменевого датчику)
	Особливості та проблеми	Моделювання обробки вихідних сигналів оптичних абсорбційних датчиків

5.2 Характеристика робіт за проектом

Таблиця 5.2 - Характеристика робіт за проектом

Характеристика робіт за проектом			
Код роботи	Назва (зміст) роботи	Безпосередньо попередня робота	Тривалість, діб
1.1.1	Аналіз результатів дослідження системи визначення концентрації озону	-	5
1.1.2	Обґрунтування обрання системи дослідження	1.1.1	6
1.1.3	Підготовка технічного звіту	1.1.2	4
1.2.1	Синтез візуально блокової моделі системи обробки сигналів		4
1.2.2	Синтез моделі адаптивної корекції	1.2.1	2
1.2.3	Моделювання системи обробки сигналів датчиків	1.2.2	3
1.2.4	Підготовка технічного звіту	1.2.3	4
1.3.1	Розробка схеми блоку управління	1.2.4	2
1.3.2	Розробка схеми обробки	1.2.4	5
1.3.3	Розробка АЦП	1.3.1, 1.3.2	5
1.3.4	Розробка блоку адаптивного керування	1.3.3	15
1.4.1	Моделювання блоку керування	1.3.1	10
1.4.2	Моделювання блоку обробки	1.3.2	7
1.4.3	Моделювання блоку адаптивного керування	1.3.3, 1.3.4	7

Характеристика робіт за проектом			
Код роботи	Назва (зміст) роботи	Безпосередньо попередня робота	Тривалість, діб
1.4.4	Розробка друкованої плати системи управління датчиками	1.3.4	5
1.4.5	Усунення недоліків роботи системи	1.4.3, 1.4.4	7
1.4.6	Аналіз результатів	1.4.3	7
1.4.7	Підготовка технічного звіту	1.4.6	8

5.3 Робоча структура проекту - WBS

WBS (Work Breakdown Structure) будується в результаті декомпозиції робіт. Вона визначає об'єм робіт, виконання яких призводить до досягнення мети проекту [24]. Структура наведена на рис. 5.1.

5.4 Організаційна структура проекту - OBS

OBS (Organization Breakdown Structure) визначає виконавців проекту та встановлює систему підпорядкованості. OBS має вигляд ієрархічної системи. Структура OBS визначається структурою проектної організації [24]. Структура наведена на рис. 5.2.

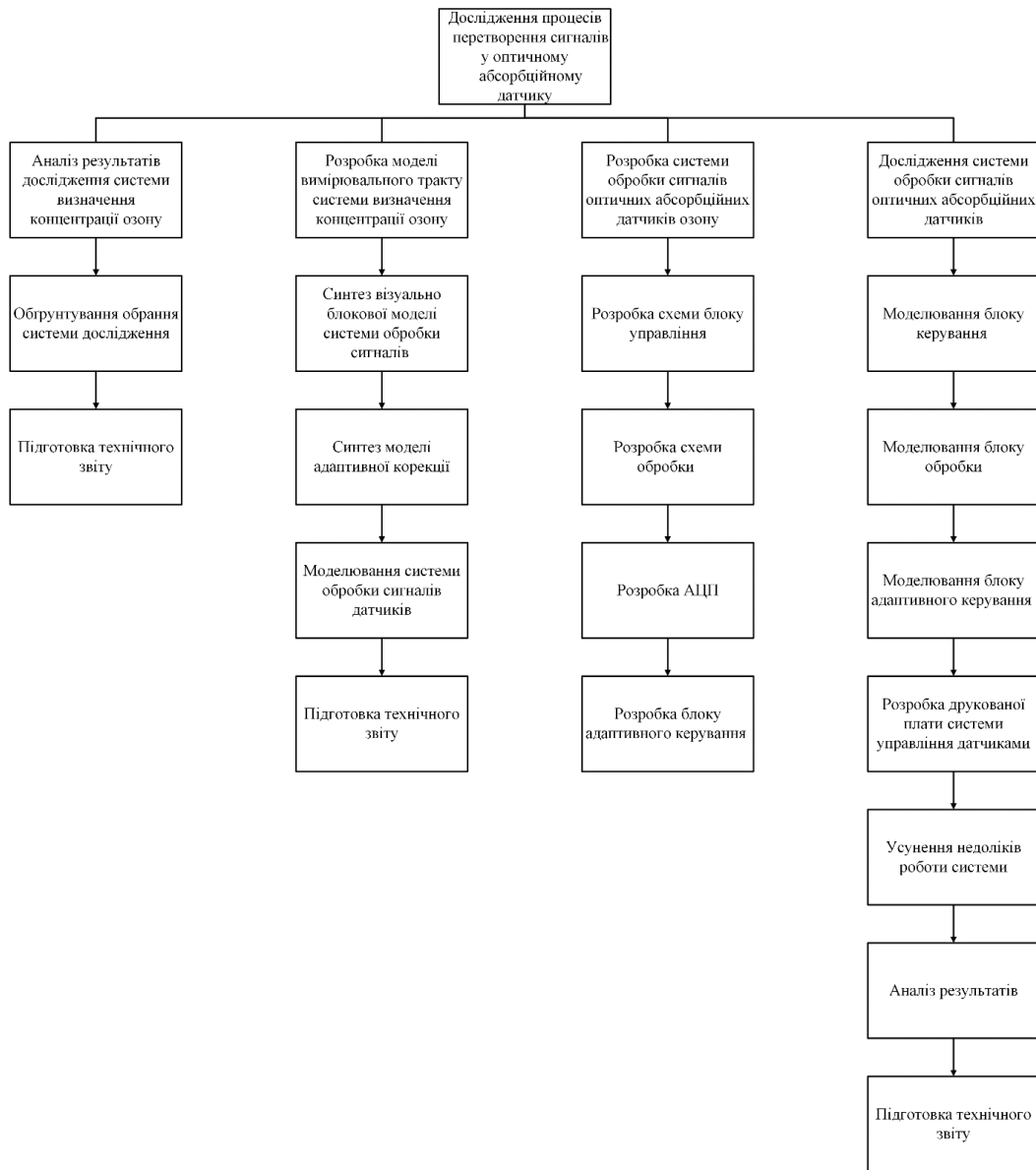


Рисунок 5.1 – Робоча структура проекту – WBS

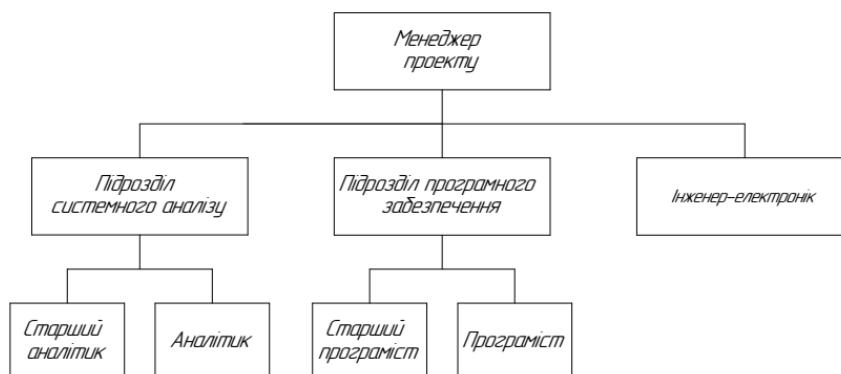


Рисунок 5.2 – Організаційна структура проекту - OBS

5.5 Структура затрат проекту - CBS

CBS (Cost Breakdown Structure) будується в результаті декомпозиції загальних витрат на проект. Структура CBS наведена на рис. 5.3.

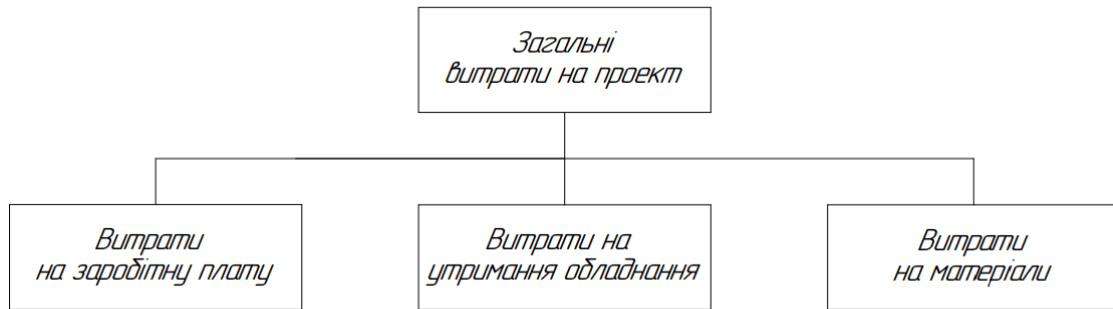


Рисунок 5.3 – Структура затрат проекту - CBS

5.6 Матриця відповідальності

Матриця відповідальності закріплює роботи за виконавцями та встановлює їх міру відповідальності. Вона пов'язує WBS та OBS. Вона наведена у табл. 5.3.

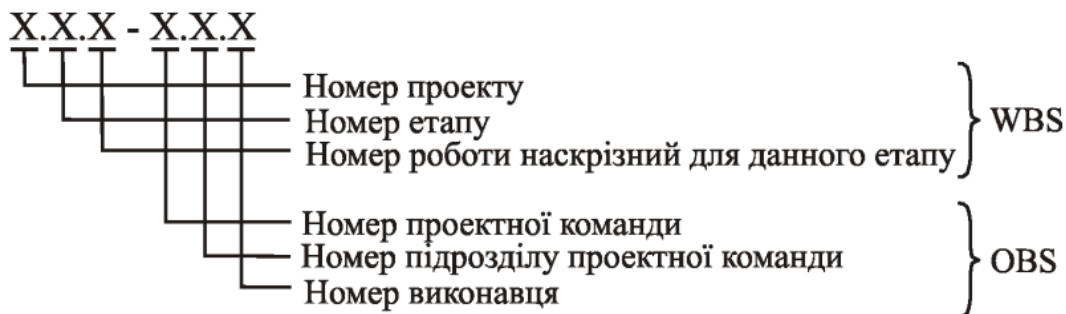
5.7. Система кодування проекту

Система кодування дозволяє структурувати проект, встановити взаємовідносини WBS та OBS. У кодуванні використовуються багатозначні коди. Структуру коду введено за допомогою наступної форми:

Таблиця 5.3 - Матриця відповідальності

Виконавці	Роботи																	
	Аналіз результатів дослідження системи визначення концентрації озону	Обґрунтування обрання системи дослідження	Підготовка технічного звіту	Синтез візуально блокової моделі системи обробки сигналів	Синтез моделі адаптивної корекції	Моделювання системи обробки сигналів датчиків	Підготовка технічного звіту	Розробка схеми блоку управління	Розробка схеми обробки	Розробка АЦП	Розробка блоку адаптивного керування	Моделювання блоку керування	Моделювання блоку обробки	Моделювання блоку адаптивного керування	Розробка друкованої плати системи управління датчиками	Усунення недоліків роботи системи	Аналіз результатів	Підготовка технічного звіту
Менеджер проекту			p				p				p				p		p	p
Старший аналітик	p	p	s				s			p				p		p		s
Аналітик	s	s		p	p			p	p		s	p	p			s	s	
Старший програміст					s	p	+		s				s	s	s	+	+	
Програміст		+		s		s		s		s	+	s	+	+				
Інженер електронік	+		+	+	+	+		+	+	+		+			+			+

p - первинна відповідальність, s - вторинна відповідальність, + - виконавець



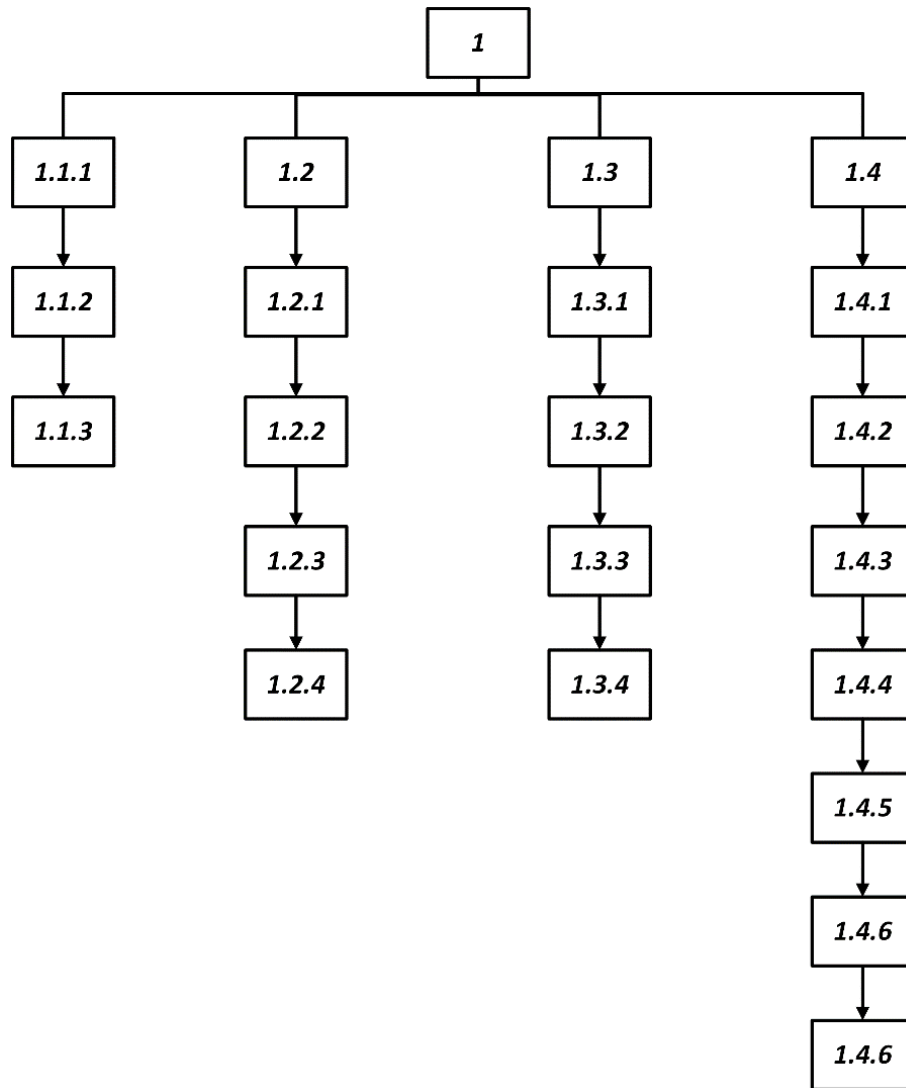


Рисунок 5.4 - Система кодування WBS

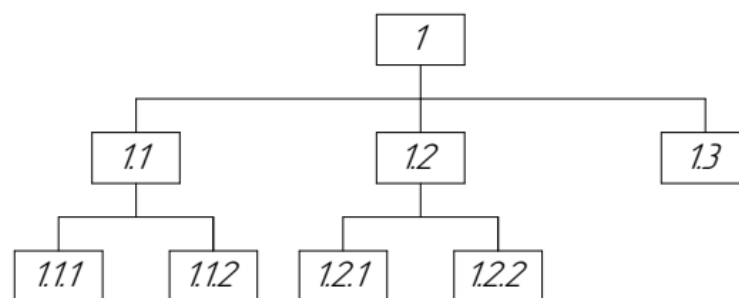


Рисунок 5.5 - Система кодування OBS

5.8 CTR - каталог

Після створення системи кодування було зроблено словник (табл. 5.4), який визначає елементи й облік затрат та гарантує розуміння усім залученим до проекту зміст і значення елементів WBS та OBS [24].

Таблиця 5.4 - CTR – каталог

№	Код роботи	Назва чи зміст роботи	Затрати, грн	Тривалість, дні	Необхідні ресурси
1	2	3	4	5	6
1	1.1.1	Аналіз результатів дослідження системи визначення концентрації озону	12000	5	Аналітик 2 особи Електронік 1 особа
2	1.1.2	Обґрунтування обрання системи дослідження	14400	6	Аналітик 2 особи Програміст 1 особа
3	1.1.3	Підготовка технічного звіту	6400	4	Аналітик 1 особа Електронік 1 особа
4	1.2.1	Синтез візуально блокової моделі системи обробки сигналів	9600	4	Аналітик 1 особа Програміст 1 особа Електронік 1 особа
5	1.2.2	Синтез моделі адаптивної корекції	4800	2	Аналітик 1 особа Програміст 1 особа Електронік 1 особа
6	1.2.3	Моделювання системи обробки сигналів датчиків	7200	3	Програміст 2 особи Електронік 1 особа
7	1.2.4	Підготовка технічного звіту	6400	4	Аналітик 1 особа Програміст 1 особа
8	1.3.1	Розробка схеми блоку управління	4800	2	Аналітик 1 особа Програміст 1 особа Електронік 1 особа
9	1.3.2	Розробка схеми обробки	12000	5	Аналітик 1 особа Програміст 1 особа Електронік 1 особа
10	1.3.3	Розробка АЦП	8000	5	Аналітик 1 особа Програміст 1 особа
11	1.3.4	Розробка блоку адаптивного керування	24000	15	Аналітик 1 особа Програміст 1 особа

№	Код роботи	Назва чи зміст роботи	Затрати, грн	Тривалість, дні	Необхідні ресурси
12	1.4.1	Моделювання блоку керування	24000	10	Аналітик 1 особа Програміст 1 особа Електронік 1 особа
13	1.4.2	Моделювання блоку обробки	16800	7	Аналітик 1 особа Програміст 2 особи
14	1.4.3	Моделювання блоку адаптивного керування	16800	7	Аналітик 1 особа Програміст 2 особи
15	1.4.4	Розробка друкованої плати системи управління датчиками	8000	5	Програміст 1 особа Електронік 1 особа
16	1.4.5	Усунення недоліків роботи системи	16800	7	Аналітик 2 особи Програміст 1 особа
17	1.4.6	Аналіз результатів	11200	7	Аналітик 1 особа Програміст 1 особа
18	1.4.7	Підготовка технічного звіту	12800	8	Аналітик 1 особа Електронік 1 особа

5.9 Стрілчастий графік

Стрілчастий графік являє собою граф, вузлам якого відповідають події, а стрілкам – роботи [24]. При побудові стрілчастого графіку використовуються позначення приведені на рис. 5.6. Стрілчастий графік представлено на рис. 5.7.

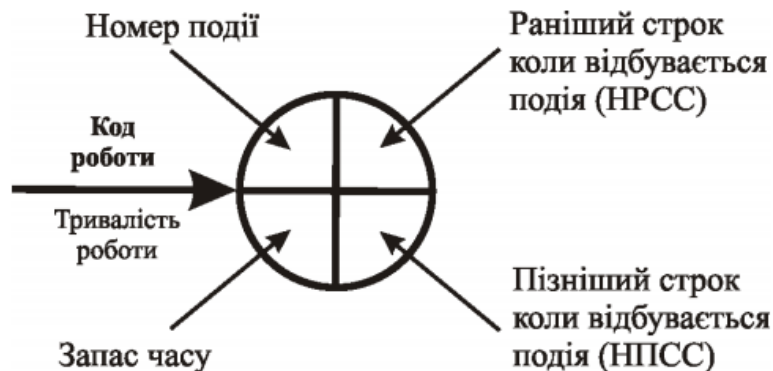


Рисунок 5.6 - Позначення для стрілчастого графіку

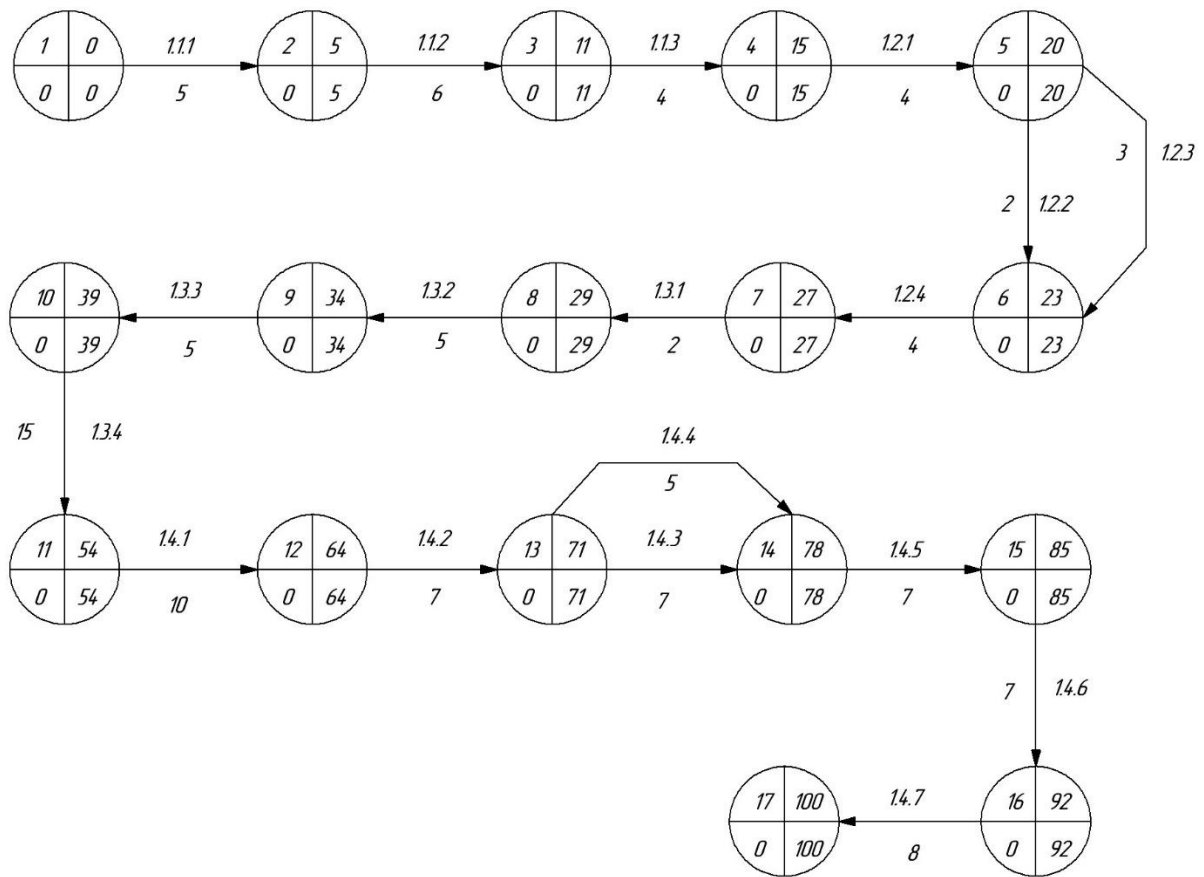


Рисунок 5.7 - Стрілчастий графік

5.10 Розрахунок тривалості проекту з урахуванням запасів часу

Більшість реальних проектів виконуються в умовах невизначеності стосовно строків виконання деяких робіт. Тому при визначенні загального терміну виконання проекту потрібно враховувати імовірнісний характер визначення термінів виконання робіт. Для визначається три оцінки для кожної i -ї роботи, що входять до критичного шляху, за допомогою експертної оцінки:

- a_i - оптимістичний прогноз тривалості i -ї роботи;
- b_i - песимістичний прогноз тривалості i -ї роботи ;
- m_i - найбільш ймовірний прогноз тривалості i -ї роботи.

Далі було проведено розрахунок дисперсної тривалості і-ї роботи за допомогою формули [25]:

$$\sigma^2_i = \left(\frac{b_i - a_i}{6} \right)^2 \quad (5.1)$$

Після цього було розраховано математичне очікування тривалості і-ї роботи за допомогою формули [25]:

$$t_i = \frac{a_i + 4 \cdot m_i + b_i}{6} \quad (5.2)$$

Математичне очікування проекту визначається за допомогою формули:

$$t = \sum_{i=1}^n t_i, \quad (5.3)$$

де n - кількість робіт, що належать до критичного шляху.

Стандартне відхилення терміну виконання проекту визначено через формулу [25]:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma^2_i}. \quad (5.4)$$

Результати занесено в табл. 5.5

Ймовірність виконання проекту було прийнято в 0,9. Тоді величина ϕ визначається як:

$$\varphi = F - 0.5 = 0.9 - 0.5 = 0.4 \quad (5.5)$$

Таблиця 5.5 - Тривалість проекту з урахуванням запасів часу

Код роботи	a_i	m_i	b_i	σ_i^2	t_i
1.1.1	4	5	7	0,25	5,17
1.1.2	4	6	8	0,44	6,00
1.1.3	3	4	6	0,25	4,17
1.2.1	3	4	6	0,25	4,17
1.2.2	4	5	7	0,25	5,17
1.2.4	3	4	6	0,25	4,17
1.3.1	1	2	4	0,25	2,17
1.3.2	3	5	7	0,44	5,00
1.3.3	3	5	6	0,25	4,83
1.3.4	11	15	17	1,00	14,67
1.4.1	8	10	12	0,44	10,00
1.4.2	5	7	9	0,44	7,00
1.4.3	5	7	8	0,25	6,83
1.4.5	5	7	8	0,25	6,83
1.4.6	4	7	8	0,44	6,67
1.4.7	6	8	9	0,25	7,83
				σ	t
				2,86	100,67

По таблиці нормального розподілу $\varphi(z)$ [25] було визначено $z = 1,29$. Далі було проведено розрахунок необхідного терміну виконання проекту, який необхідно прийняти для того, щоб не зірвати строки виконання з ймовірністю 90%:

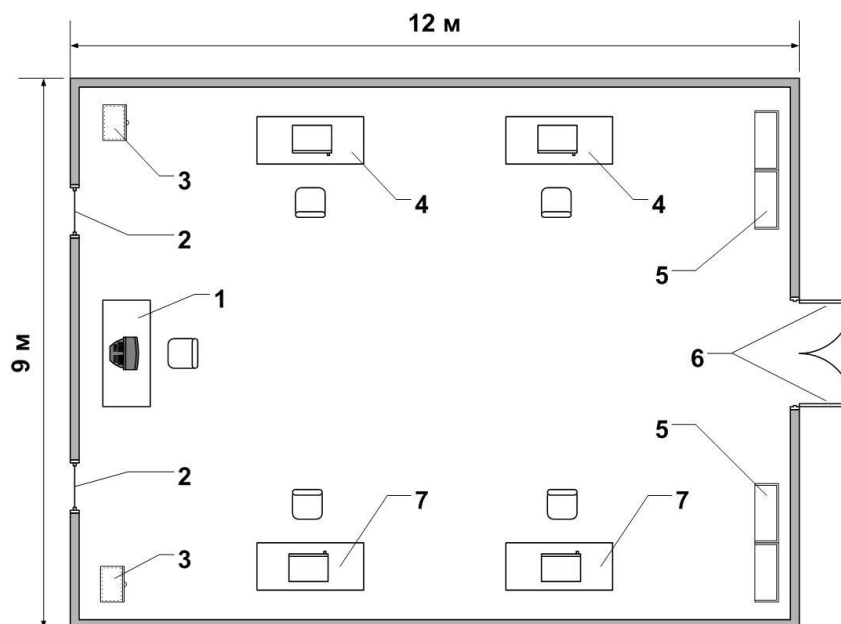
$$Q = z \cdot \sigma + t = 1,29 \cdot 2,86 + 100,67 = 104 \quad (5.6)$$

Отже, термін виконання проекту, який необхідно прийняти для того, щоб не зірвати строки виконання з ймовірністю 90%, становить 104 робочих дні.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

6.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

На ділянці з розробки та дослідження датчика озону, план якої наведено на рис. 4.1, основна частина робіт проводилася на персональному комп'ютері (ПК) і стенді з програмованими пристроями.



1 – робоче місце оператора ПК; 2 – вікно; 3 – тумба; 4 – робоче місце програміста; 5 – шафа; 6 – двері; 7 – робоче місце з відладки

Рисунок 6.1 – План ділянки з розробки та дослідження датчика озону

Всі зазначені види робіт проводились у спеціально відведеному для цього приміщенні на кафедрі ЕІСПЗ ІННІ ЗНУ і керувались і контролювались оператором ПК. Висота приміщення – 3м. Т.ч., частина об'єму, яка доводиться на одну людину, при тому що в лабораторії знаходиться і працює 5 виконавців, складає приблизно 64 м^3 . Це відповідає вимогам, згідно яких мінімальний об'єм приміщення при виконанні робіт на ПК повинен становити 20 м^3 .

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, м ³ /на одну людину в годину
об'єм до 20 м ³ на людину	не менш 30
об'єм до 40 м ³ на людину	не менш 20
об'єм більш 40 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 озону 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 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 – 1000 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/м².

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 [26].

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 роботі 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 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 переважніше 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 [27].

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.

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

Період року	Категорія роботи	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

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. Т.ч., лабораторія з розробки і дослідження датчика УФ – випромінювання 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 ³ повітря	
	n ⁺	n ⁻
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально допустимі	50000	50000

При проведенні робіт з розробки і дослідження датчика озону 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 суміжних, чистіших приміщень [28].

При виконанні основної роботи з розробки і дослідження датчика УФ – випромінювання 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 блескність від джерел освітлення, при цьому яскравість поверхонь (вікна, світильники і ін.), що світяться, знаходяться в полі зору, повинна бути не більше 200 кд/м².

Слід обмежувати відбиту блескність 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 кд/м² і яскравість стелі, при застосуванні системи відбитого освітлення, не повинна перевищувати 200 кд/м².

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 кд/м², 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, струмоведучий пил, висока температура, можливість одночасного торкання до струмоведучих частин і заземлення) відсутні .

Джерелами електронезбезпеки 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 [30].

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 обслуговує 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 дотику

(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.

Електропроводка в приміщенні схованого типу, тому випадкове торкання проводів з напругою 220 В виключено, за умови дотримання правил техніки безпеки. Вимикачі штучного освітлення ізольовані струмонепровідним облицюванням.

Заземленню підлягають вимірювальні установки, напруга живлення яких становить 220 В. У якості заземлювачів обираємо сталеві вертикальні штирі довжиною $l = 2$ м, діаметром $d = 0,03$ м, діаметром сполучної смуги $b = 0,03$ м. Грунт – суглинок.

Згідно [26] допустимий опір заземлюючого пристрою (R_n) дорівнює 4 Ом. Визначимо питомий електричний опір ґрунту (суглинку) ρ відповідно до [26], що дорівнює 100 Ом · м. Розрахуємо опір розтікання струму одного вертикального штиря:

$$R_b = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \ln \frac{4 \cdot 2}{0,03} = 44,46 \text{ Ом}.$$

Орієнтування приймемо кількість заземлювачів:

$$n = \frac{R_1}{R_n} = \frac{44,46}{4} = 11,1 \approx 11.$$

Визначимо довжину горизонтальної смуги (по контуру):

$$l_2 = a \cdot n,$$

де a – відстань між вертикальними електродами ($a=3$ м),

$$l_2 = 3 \cdot 11 = 33 \text{ м}$$

Опір горизонтальної смуги:

$$R_{2c} = \frac{\rho}{\pi \cdot l_2} \cdot \frac{4 \cdot l_2}{b} = \frac{100}{3,14 \cdot 33} \cdot \ln \frac{4 \cdot 33}{0,03} = 8,09 \text{ Ом.}$$

Коефіцієнт екранування для вертикального заземлювача:

$$\eta_B = \frac{0,68 + 0,56}{2} = 0,62$$

і для горизонтальної смуги

$$\eta_2 = \frac{0,34 + 0,4}{2} = 0,37.$$

Опір групи вертикальних заземлювачів:

$$R_{gp} = \frac{R_{B3}}{n \cdot \eta_B} = \frac{44,46}{11 \cdot 0,62} = 6,579 \text{ Ом.}$$

Опір горизонтальної смуги з урахуванням екранування:

$$R_r = \frac{R_{го}}{\eta_r} = \frac{8,09}{0,37} = 21,864 \text{ Ом.}$$

Опір заземлювача в цілому:

$$R_3 = \frac{R_{gp} \cdot R_r}{R_{gp} + R_r} = \frac{6,579 \cdot 21,864}{6,579 + 21,864} = 5,021 \text{ Ом.}$$

Як видно, опір заземлювача перевищує нормативне (4 Ом), тому збільшимо кількість заземлювачів:

$$n = 12,$$

тоді опір заземлювача в цілому складі $R_3 = 4,6$ Ом, що теж більше ніж R_H .

Якщо $n = 13$, то $R_3 = 4,2 > R_H$. Якщо $n = 14$, то $R_3 = 3,97 < R_H$.

Кількість заземлювачів дорівнює 14, які розміщені по контуру лабораторії (9 x 12м), як наведено на рис. 6.2.

Т.ч., для виконання захисного заземлення використовується 14 вертикальних стержнів діаметром 0,03 м, завдовжки 2 м, кожен з яких має опір 44,46 Ом. Опір сполучної смуги 8,09 Ом.

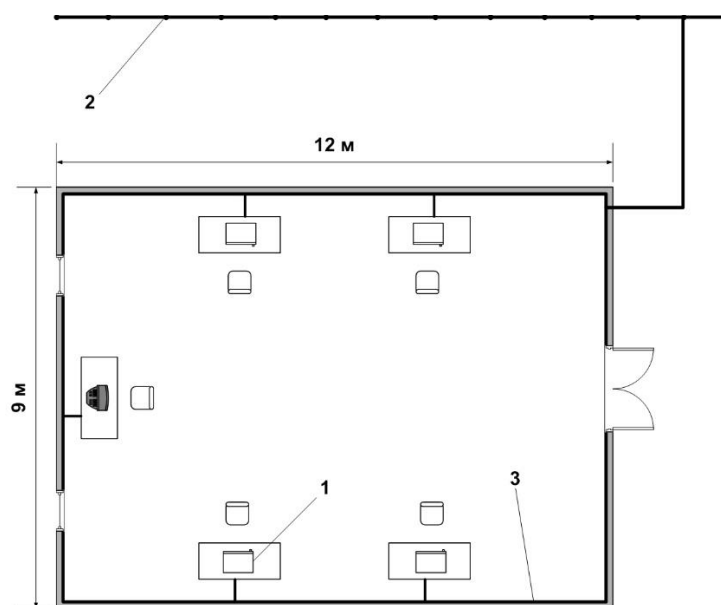


Рисунок 6.2 – Розташування заземлювачів в лабораторії

1 – електроустаткування, що заземляється

2 – заземлювачі

3 – сполучна смуга

Опір заземлювачів в цілому складі 3,97 Ом, що забезпечує безпечну роботу в лабораторії.

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.

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.

ВИСНОВКИ

1. Показано, що існує потреба у датчиках озону, що відрізняються можливістю корегування результатів вимірювань в залежності від стану робочого середовища.
2. На основі методу аналізу ієрархій встановлено, що для дослідження процесів перетворення сигналів у оптичних абсорбційних датчиках найбільший глобальний пріоритет має пакет програм VisSim.
3. Розроблено візуально – блочну модель адаптивної корекції сигналів абсорбційних оптичних датчиків озону що базуються на основі модифікованого другого методу Ляпунова.
4. Визначено оптимальні параметри розробленої адаптивної системи корекції, що дозволяють мінімізувати похибку вимірювань концентрації озону на рівні 1,6% за час 16 мкс.
5. Розроблено схему системи обробки і керування сигналами оптичних абсорбційних датчиків що дозволяє реалізувати алгоритм адаптивного керування.
6. Показана працездатність розробленої схеми в умовах використання у складі озонаторних станцій.
7. Розроблено друковану плату схеми обробки сигналів датчиків з розмірами 62x48x25 мм.
8. Встановлено, що термін виконання проекту, який необхідно прийняти для того, щоб не зірвати строки виконання з ймовірністю 90%, становить 104 робочі дні.
9. Визначені потенційні небезпечні та шкідливі фактори у приміщенні лабораторії з дослідження процесів перетворення сигналів оптичних абсорбційних датчиків озону і розроблено заходи з поліпшення умов праці.
10. Результати роботи пройшли апробацію на чотирьох науково-технічних конференціях.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Кісельов Є. М., Алексієвський Д. Г., Туришев К. О. Датчик озону для дезінфектора рідини та повітря. *III Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні системи та технології в медицині» (ISM–2020)* : збірник наукових праць Харків: Національний аерокосмічний університет, 2020. С. 186–187.
2. Кісельов Є. М., Алексієвський Д. Г., Туришев К. О., Резніченко В. В. Порівняльний аналіз сенсорів ультрафіолетового випромінювання для оптичних абсорбційних датчиків озонаторних станцій. Європейський вектор модернізації інженерної та економіко-управлінської освіти в умовах сталого розвитку промислового регіону : матеріали Міжнародної науково - практичної конференції (27-28 травня 2021 року, м. Запоріжжя) Запоріжжя: ЗНУ Інженерний навчально-науковий інститут, 2021. С. 138-140.
3. Кісельов Є. М., Масленников Д. А. Моделювання оптичного каналу датчика озону. *Матеріали XXV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів. Енергетика, електроніка та інформаційні технології*. Запоріжжя : ІННІ ЗНУ. 2020. Т. 3. С. 53.
4. Масленников Д. Розробка структури системи визначення концентрації озону. *III Молода наука - 2020* : збірник наукових праць студентів, аспірантів і молодих вчених : том V : «Секція Інженерного інституту ЗНУ». Запоріжжя : ЗНУ, 2020. С. 63–64.
5. Khan S., Newport D., Le Calvé S. Gas Detection Using Portable Deep-UV Absorption Spectrophotometry : A Review. *Sensors*. 2019, No 19. P. 5210.
6. Резніченко В. В., Кісельов Є. М. Розробка макету оптичного каналу абсорбційного датчика озону. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2021» : у 5 т Запоріжжя: ЗНУ, 2021. Т. 5 С. 37-38.

7. Кісельов Є. М., Алексієвський Д. Г., Туришев К. О. Синтез моделі трипроміневого датчика озону. Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ІТММ'2021: тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 16 – 18 березня 2021 р.) Дніпро: НМетАУ, 2021. С. 148-151.

8. Кісельов Є. М., Алексієвський Д. Г., Туришев К. О., Резніченко В. В. Порівняльний аналіз сенсорів ультрафіолетового випромінювання для оптичних абсорбційних датчиків озонаторних станцій. Європейський вектор модернізації інженерної та економіко-управлінської освіти в умовах сталого розвитку промислового регіону : матеріали Міжнародної науково - практичної конференції (27-28 травня 2021 року, м. Запоріжжя) Запоріжжя: ЗНУ Інженерний навчально-науковий інститут, 2021. С. 138-140.

9. Амелина М. А., Амелин С. А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8. Москва : Горячая линия – Телеком. 2007. 464 с.

10. Макаренко В. Программа моделирования Multisim Blue и ее основные возможности. *ЭКиС*. 2014. № 10. С. 12.

11. Карлащук В. И. Электронная лаборатория на IBM PC. Лабораторный практикум на Electronics Workbench и VisSim по элементам телекоммуникационных систем. Москва : Солон-Пресс. 2010. 481с.

12. Курбатова Н. В., Пустовалова О. Г. Основы MatLab в примерах и задачах : учебно-методическое пособие. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет. 2017. 69 с.

13. Швець Є. Я., Головка О. П. Техніко-економічне обґрунтування проектно-конструкторських робіт : методичні вказівки до самостійної роботи та виконання дипломних і контрольних робіт. Запоріжжя : ЗДІА. 2010. 17 с

14. Jun-Seok Oh et al. In-situ UV Absorption Spectroscopy for Observing Dissolved Ozone in Water. *Journal of Photopolymer Science and Technology*. 2016. Vol. 29, No 3. P. 427–432.

15. Majewski J. Methods for measuring ozone concentration in ozone-treated water. *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*. 2012. Vol. 88, No 9b. P. 253–255.

16. Перестюк М.О., Чернікова О.С. Теорія стійкості. – К.: ВПЦ «Київський університет 2009. С. 3.
17. Dayan Adionel Guimaraes. Digital Transmission A Simulation-Aided Introduction with VisSim/Comm. Springer Heidelberg Dordrecht London New York 2009, С. 887. DOI 10.1007/978-3-642-01359-1
18. КР1006ВИ1 DIP-8 прецизійний інтегральний таймер (-40°C ...+70°C) Carled. URL: <https://car-led.org/ua/p1485493253-kr1006vi1-dip-pretsizijnij.html>
19. К157УД2 двоканальний операційний підсилювач універсального призначення. Carled. URL: <https://car-led.org/ua/p40607471-k157ud2-dvokanalnij-operatsijnij.html>
20. Мікросхема К561КП1. *alldatasheet.com*. URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/17719/PHILIPS/HEF4052BP.html>
21. ICL7135CPIZ Intersil. *Rcscomponents*. URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/icl7135cpiz_22153.html
22. Atmega328P. *microchip.com*. URL: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-Atmega328P_Datasheet.pdf
23. Программний продукт DipTrace2.2. \URL: <http://www.dip-trace.com/index.php>
24. Алексєєв О. Г., Алексієвський Д. Г., Шмалій С. Л., Таранець А. В. Підсумкова атестація здобувачів вищої освіти другого рівня «магістр» : методичні реко-мендації до виконання дипломних робіт з напрямку підготовки 171 «Електроніка». Запоріжжя : 2018. 30 с.
25. Батенко Л. П., Загородних О. А., Ліщинська В. В. Управління проектами : навчальний посібник. Київ : КНЕУ. 2003. 231 с.
26. Малишева І. В. Охорона праці та техногенна безпека : методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та техногенна безпека» дипломного проекту (роботи). Запоріжжя : ЗДІА. 2011. 24с
27. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.

28. Гандзюк М.П., Желібо Є. П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підруч. для студ. вищих навч. закладів. 2004 – 408 с.

29. Винокурова Л.Е., Васильчук М.В., Гаман М.В. Основи охорони праці: Підручн. для проф.- техн. навч. закладів. -2-ге вид., допов., перероб. – К. : Вікторія, 2001. – 192 с.

30. Шудренко І. В. Основи охорони праці : навч. посіб. / І. В. Шудренко. – Житомир : Видавець, О. О. Євенок, 2016. –214 с.

ДОДАТОК А

Зона	Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка
		Кварцові резонатори		
	ZQ1	TQB-2-12МГц	1	
	ZQ2	TQB-2-16МГц	1	
		Конденсатори		
	C1	MURATA CR 500 0,47 мкФ ±5%	1	
	C2,3,4	MURATA CR 500 1,0 мкФ ±5%	2	
	C5,6,10	GHM 0,01 мкФ ±10%	3	
	C7,8	GHM 0,22 мкФ ±20%	2	
	C9	CR-0805-0,1 мкФ	1	
	C12	CR-0805-10 мкФ-10В	1	
	C13,14	CR-0805-22 нФ	2	
	C15,16,18	CR-0805-100 нФ	3	
	C17,19	CR-0805-22 нФ	2	
		Мікросхеми		
	DA1	KP1409УД1А	1	
	DA2	KP1409УД282	1	
	DD1	K561КП1	1	
	DD2	K561ЛП2	1	
	DD3	ICL7107	1	
		Резистори		
	R1,2	CR1206 100кОм ±5%	2	
	R3,4	CR1206 2кОм ±5%	2	
	R5,6	CR1206 1кОм ±5%	2	
	R7,8	CR1206 10кОм ±5%	2	
	R9,10	CR1206 15кОм ±5%	2	
ЕС М.21365.00.00.00.00. ЕЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Виконав		Резніченко В.В.		
Перев.		Кісельов Е.М.		
Реценз.				
Н. контр.		Туришев К.О.		
Замб.		Критська Т.В.		
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛІВ У ОПТИЧНОМУ АБСОРБЦІЙНОМУ ДАТЧИКУ перелік елементів			Стадія	Аркуш
			У	1
				2
			ІННІ ЗНУ зр. 8.1711	

