

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

**Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем**  
(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота**

**другий (магістерський)**

(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження та розробка вимірювача концентрації  
озону у повітрі

Виконав: студент II курсу, групи 8.1410-94  
спеціальності 171 «Електроніка»

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Електроніка

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації \_\_\_\_\_

(код і назва спеціалізації)

М.Ф. Лавський

(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н доц. Кисельов Є.М.

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

Рецензент заступник директора Шершов С.А.

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

Запоріжжя  
2021

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

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 171 «Електроніка»  
(код і назва)  
Освітня програма Електроніка  
(код і назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Критська Т.В.

“     ”     2021 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)**

Лавовському Максиму Дмитровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Дослідження та розробка висірвача  
концентрації озону у повітрі.

керівник роботи Кісельов Єгор Миколайович д-м фіз. наук, доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від “30” 06 2021 року № 974-С

2 Строк подання студентом роботи 06.12.2021

3 Вихідні дані до роботи Напруга живлення +12В, габаритні розміри-  
ке дімки 120/80/60 мм. Діапазон висірвувальних концентрацій -1200 ppm.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз конструктивних особливостей датчиків озону;  
2. Дослідження габаритів датчика озону; 3. Розробка схеми висірво-  
вача концентрації озону; 4. Розробка друкованої плати висірвача  
концентрації озону; 5. Економічна частинка; 6. Охорона праці та  
технологія безпеки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
 1) Характеристики сенсора; 2) Моделювання схеми; 3) Схема електричної структури; 4) Схема електричної принципи; 5) Блок-схема програми коду мікроконтролера; 6) Моделі вимірювання концентрації озону; 7) Друкована плата вимірювання; 8) Заземлювальний пристрій


### 6 Консультанти розділів роботи

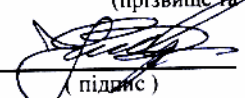
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Кісельов Е.М.	01.10.20	02.12.20
2	Кісельов Е.М.	02.12.20	10.02.21
3	Кісельов Е.М.	10.02.21	21.04.21
4	Кісельов Е.М.	21.04.21	01.10.21
5	Кісельов Е.М.	01.10.21	15.10.21
6	Кісельов Е.М.	15.10.21	01.11.21

7 Дата видачі завдання 01.10.21

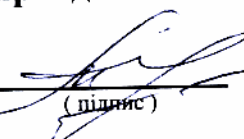
### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз конструктивних особливостей	02.12.20	
2	Вислідження злогового датчика озону	10.02.21	
3	Розробка схеми вимірювання концентрації озону	21.04.21	
4	Розробка друкованої плати вимірювання	01.10.21	
5	Економічна частина	15.10.21	
6	Охорона праці та техногенна безпека	01.11.21	
7	Оформлення презентаційної записки	15.11.21	
8	Оформлення зведення частини		

Студент  Наєвський М.Ф.  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

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

**Нормоконтроль пройдено**

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

## РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота містить 106 стор., 31 рис., 18 табл., 22 інформаційних джерел і 2 додатки на 4 стр.

Мета роботи – дослідження електро – фізичних процесів перетворення сигналів у вимірювачі концентрації озону.

Задачі роботи – дослідження схеми обробки сигналів сенсору озону; розробка схеми вимірювача концентрації озону; дослідження вимірювача; розробка друкованої плати.

Методи рішення задач – моделювання сенсору озону; синтез схеми вимірювача; синтез програмного коду керування; моделювання вимірювача; трасування друкованої плати.

Розроблено схему вимірювача концентрації озону на основі мікроконтролера ATmega 328, дослідження якої показали що час калібрування сенсору займає 100мкс при тактовій частоті мікроконтролеру 16 МГц.

Результати роботи рекомендуються використати для створення макетного зразка вимірювача

СЕНСОР, МОДЕЛЮВАННЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР, ПРОГРАМНИЙ КОД, СИГНАЛ, ДРУКОВАНА ПЛАТА, АЛГОРИТ.

Роботу виконано на кафедрі мікроелектроник та електроник інформаційних систем Інженерного навчально – наукового інституту ім.

Ю. М. Потебні ЗНУ з 01.10.2020 по 10.12.2021.

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДАТЧИКІВ ОЗОНУ	9
1.1 Фізичні процеси адсорбційних первинних перетворювачах озону	9
1.1.1 Роль електронів та дірок при адсорбції	11
1.1.2 Взаємодія поверхні з об'ємом	13
1.1.3 Хімічні реакції на поверхні напівпровідників	15
1.1.4 Фізико-хімічні методи визначення концентрації озону	17
1.2 Інфрачервоні (оптичні) датчики	18
1.3 Термохімічні (каталітичні) датчики	19
1.4 Напівпровідникові датчики	21
1.5 Фотоіонізаційні датчики	22
1.6 Електрохімічні датчики	23
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОВОГО ДАТЧИКА ОЗОНУ	26
2.1 Обґрунтування обрання датчика озону	26
2.2 Аналіз характеристик сенсору озону MQ 131	31
2.3 Обґрунтування обрання інструментарію дослідження	36
2.4 Дослідження схеми обробки сигналів датчика озону	43
3 РОЗРОБКА СХЕМИ ВИМІРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ	48
3.1 Розробка структурної схеми	48
3.2 Обґрунтування обрання мікроконтролера	49
3.3 Розробка схеми електричної принципової вимірювача концентрації озону	61
3.4 Синтез програмного коду мікроконтролера	64
3.5 Дослідження вимірювача концентрації озону	65
4 РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ВИМІРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ	68

4.1 Обґрунтування обрання інструментарію розробки	68
4.2 Розробка міжелементних з'єднань	73
4.3 Технологія створення друкованої плати	75
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	78
5.1 Аналіз небезпечних факторів, що виникають при дослідженні вимірювача концентрації озону	78
5.2 Електробезпека	80
5.3 Виробнича санітарія	81
5.4 Пожежна безпека	85
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	86
ВИСНОВОК	99
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	100
ДОДАТОК А	
ДОДАТОК Б	

## ВСТУП

Здоров'я, працездатність, самопочуття людини в значній мірі визначаються умовами мікроклімату та повітряного середовища в житлових і суспільних приміщеннях, де він проводить значну частину свого часу.

Існує багато параметрів, що є ознакою виникнення загроз людині. Знаходження тих чи інших летких речовин у повітрі можуть вказувати на наявність потенційної загрози безпеці, здоров'ю та життю людини. Летючі речовини можуть нести як пряму, і непряму загрозу. До прямих загроз безпеці людини можна віднести токсичні, вибухонебезпечні гази, що діють на організм людини різною мірою тяжкості за короткий проміжок часу, іноді моментально (запаморочення, сп'яніння, отруєння, передчасна смерть та ін.). До непрямих загроз можна віднести гази, що мають канцерогенні властивості, завдаючи шкоди на організм людини через тривалі проміжки часу (генетичні зміни, злоякісні пухлини та ін.). Деякі групи газів мають явні властивості такими як характерний запах, колір. Але так само є групи газів, які неможливо побачити або відчути людині навіть при утриманні в повітрі. гранично допустимих концентрацій.

Система аналізу вмісту окремих забруднюючих компонентів застаріла, наслідком чого є занижені середні значення критичних забруднень, які часто не відповідають європейським нормам. Наявність місць моніторингу в Україні недостатньо висока, особливо у великих містах та промислово розвинених регіонах. В той же час, подібна проблематика є надзвичайно актуальною у всьому світі. На сьогоднішній день серйозною екологічною проблемою є збільшена кількість озону в атмосферному повітрі.

Озон застосовується в багатьох областях життєдіяльності людини: підприємства з переробки і зберігання (дезодорація і очищення повітря), медицині (дезінфекція повітря, знезараження і стерилізація, озонотерапія), легкої промисловості (очищення виробів, відбілювання), системах вентиляції і кондиціонування (регенерація фільтрів, сорбентів, каталізаторів) і ін.

Незважаючи на це, озон дуже агресивний і отруйний. Значна концентрація озону в повітрі може стати причиною серйозних опіків слизової оболонки людини.

Контроль вмісту озону в повітрі виробничих і побутових приміщень необхідно здійснювати відповідно до сучасних міжнародних стандартів з охорони здоров'я і промислової санітарії. Розвиток електроніки й широке застосування її виробів у промисловому виробництві, у пристроях і системах керування найрізноманітнішими об'єктами й процесами є в цей час одним з основних напрямків науково-технічного прогресу. Сьогодні існує декілька зразків датчиків озону у повітрі. Тому для побудови вимірювача є актуальним аналіз концентрації озону.



# 1 АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДАТЧИКІВ ОЗОНУ

## 1.1 Фізичні процеси у адсорбційних первинних перетворювачах озону

При поміщенні напівпровідника у газове середовище на його поверхні відбувається адсорбція, тобто молекули озону ударяються об поверхню твердого тіла та прилипають до неї. У такому стані вони проводять деякий проміжок часу, потім відриваються від поверхні та повертаються назад. Це називається десорбцією. Таким чином, молекула озону проводить якийсь час в адсорбованому стані на поверхні твердого тіла, отже, тверде тіло завжди утримує на своїй поверхні кілька молекул.

Залежно від природи сил, які утримують адсорбовану молекулу на поверхні адсорбенту, розрізняють фізичну та хімічну адсорбції (хемосорбція).

У разі фізичної адсорбції – це сили тієї ж природи, що й сили, діючі між молекулами в озоні (так звані сили Ван дер Ваальса). При хемосорбції – це сили хімічної природи, що діють між атомами у молекулі (так звані обмінні сили).

Хемосорбція відрізняється від фізичної адсорбції рядом ознак. Насамперед при фізичній адсорбції відстань між адсорбованою частинкою та поверхнею більше, ніж при хемосорбції, коли адсорбовану частинку можна уявляти вдавненою в поверхню. По-друге, при хемосорбції частка прив'язана до поверхні міцніше, ніж при фізичній адсорбції. Зрештою, при фізичній адсорбції швидкість адсорбції тим менше, чим вища температура, у той час як при хемосорбції швидкість адсорбції надзвичайно швидко зростає із збільшенням температури. Якщо через  $dN/dt$ , де  $dN$  – число молекул, адсорбованих одиницею поверхні, а  $dt$  – часовий інтервал, що означає швидкість адсорбції, то у разі хемосорбції :

$$dN/dt = \alpha \exp(-E/kT), \quad 1.1$$

де  $\alpha$  – Коефіцієнт, що повільно зменшується з температурою;  $E$  – Енергія активації адсорбції;  $K$  – Постійна Больцмана;  $T$  – Абсолютна температура.

Адсорбцію, що підкоряється цьому закону, називають активованою адсорбцією.

Процес адсорбції закінчується тоді, коли кількість молекул, адсорбованих на даній поверхні за даний проміжок часу стає рівним кількості молекул, десорбованих за той же проміжок часу з тієї ж поверхні. При цьому настає рівновага між поверхнею та газом (адсорбційна рівновага), що характеризується певним ступенем заповнення поверхні молекулами озону. Ця ступінь заповнення поверхні, тобто кількість молекул, що утримуються поверхнею при адсорбційній рівновазі, що встановилася, залежить передусім від температури та від тиску. При заданому тиску воно зменшується зі збільшенням температури, а за заданої температури збільшується із збільшенням тиску.

Максимальна кількість молекул, здатних утримуватися на поверхні при заданій температурі характеризує адсорбційну здатність поверхні. Одна і та ж поверхня має різну адсорбційну здатність по відношенню до молекул різного газу. Адсорбційна здатність поверхні - це її ємність по відношенню до газових молекул. Адсорбційна здатність поверхні залежить від природи та від обробки поверхні і може бути змінена шляхом тих чи інших зовнішніх впливів на адсорбент. При цьому поверхня чутлива до зміни складу адсорбенту, наприклад, введення домішок всередину адсорбенту впливає на адсорбційну здатність його поверхні, деякі домішки помітно збільшують адсорбційну здатність, інші зменшують. Адсорбційна здатність іноді різко змінюється при освітленні адсорбенту. Це так званий фотоадсорбційний ефект.

Іноді хемосорбція буває незворотною, це означає, що кількість молекул, адсорбованих на поверхні під впливом освітлення, не зменшується

при вимкненні освітлення. Для того, щоб їх зняти, необхідно збільшити температуру тіла.

При ударі об поверхню, тобто в самому акті адсорбції, молекула часто розколюється на частини, так що на поверхні виявляються не самі молекули газу, а їх частини. Молекули або їх частини, адсорбовані на поверхні, можуть з'єднуватися один з одним у нових комбінаціях, утворюючи нові молекули. Таким чином, з газу на поверхню потрапляють одні молекули, а з поверхні в газ йдуть інші, поступово змінюється склад газу, відбувається його хімічне перетворення.

Адсорбовані молекули мають інші властивості, ніж ті ж молекули у вільному стані. Молекули, що не взаємодіють один з другом у вільному стані, часто вступають у взаємодію, коли вони перебувають у адсорбованому стані. Таким чином, поверхня твердого тіла є каталізатором хімічних реакцій.

### 1.1.1 Роль електронів та дірок при адсорбції

Під час руху в напівпровіднику електрони та дірки виходять на нього поверхню, де трапляються з адсорбованими молекулами озону. При цьому адсорбовані молекули та атоми відіграють ту ж роль, що і домішкові атоми, тобто вони захоплюють вільні електрони та дірки. Подібно до об'ємної домішки, адсорбовані атоми та молекули можуть виконувати функції акцепторів чи донорів. Так, наприклад, адсорбовані атоми чи молекули кисню чи хлору є типовими акцепторами.

Адсорбована молекула (або атом), яка захопила електрон або дірку, виявляється електрично зарядженою. Чим більше у напівпровіднику електронів або дірок, тим більша частка всіх адсорбованих частинок буде перебувати в зарядженому стані, в результаті поверхня напівпровідника заряджається. При адсорбції акцепторів поверхня заряджається негативно,

при адсорбції донорів – позитивно, тобто знак поверхневого заряду, що утворюється при адсорбції, залежить від природи частинок, що адсорбуються.

Таким чином, у кожний момент часу певна частка адсорбованих частинок перебуває у зарядженому стані (кожна адсорбована частка за час життя в адсорбованому стані певну частку часу проводить у зарядженому стані). Інакше кажучи, завжди існує певна ймовірність того, що нейтральна адсорбована частка зробиться зарядженою, а заряджена, навпаки, нейтралізується.

Розрізняють два типи зв'язку адсорбованої частинки з поверхнею, які умовно називаються слабким та міцним зв'язком. У разі слабого зв'язку вільні електрони та дірки напівпровідника не беруть участі у зв'язку. Зв'язок здійснюється в цьому випадку власними електронами, належать адсорбованій молекулі (атому), або власними електронами, що належать атому кристалічних ґрат напівпровідник. Ці електрони зтягуються більшою чи меншою мірою з адсорбованої частинки в решітку або з ґрат на адсорбовану частинку, чим здійснюється зв'язок. У разі міцного зв'язку до неї залучається вільний електрон або дірка напівпровідника, спіймані адсорбованою часткою.

Слабкий зв'язок є електрично – нейтральним, міцний – електрично зарядженим. Середня міцність зв'язку адсорбованої частки з поверхнею визначається відносним вмістом на поверхні слабкої та міцної форм або, інакше кажучи, відносної ймовірністю перебування частки у стані слабого чи міцного зв'язку. Від цього залежить адсорбційна здатність поверхні. У свою чергу відносно зміст слабкої та міцної форм визначається концентрацією вільних електронів та дірок на поверхні напівпровідника. Таким чином, вільні електрони та дірки напівпровідника керують його адсорбційними властивостями.

Адсорбційна здатність поверхні по відношенню до акцепторних молекул тим більше, чим більше концентрація вільних електронів (або, чим

менша концентрація вільних дірок) у поверхні. Реальна поверхня відрізняється від ідеальної наявністю порушень її періодичної структури. Така поверхня містить сходи, піки, атоми, викинуті з вузлів кристалічних ґрат на поверхню, вакансії, та інші макро- та мікродофекти структури. Вони служать місцями для адсорбції газових молекул: адсорбція відбувається переважно на цих дофектах, які називаються центрами адсорбції чи адсорбційними центрами. На таких центрах, як і на ідеальній поверхні, адсорбція може йти за участю або без участі вільних електронів та дірок (міцний та слабкий зв'язок). Очевидно, природа та концентрація адсорбційних центрів лежить на поверхні залежить від «біографії» поверхні, тобто від тієї обробки, яку вона піддавалася. Таким чином, дофекти поверхні, зокрема поверхневі домішки, грають при адсорбції подвійну роль. З одного боку, ними регулюється концентрація вільних електронів і дірок, якою у свою чергу регулюються адсорбційні властивості поверхні. З іншого сторони, поверхневі дофекти власними силами можуть у ролі центрів адсорбції.

### 1.1.2 Взаємодія поверхні з об'ємом

Як відомо, на виведення електрона з напівпровідника треба витратити деяку енергію, яка називається роботою виходу електрона. Напівпровідник можуть залишити тільки ті електрони, які володіють достатнім для цього запас енергії. Випуск електронів напівпровідником називається емісією.

Така емісія може бути викликана перш за все нагріванням напівпровідника до високої температури. Це – термоелектронна емісія, чи так званий ефект Річардсона.

Емісія електронів може бути викликана також освітленням напівпровідника (Фотоелектронна емісія, або зовнішній фотоелектричний ефект). В цьому разі енергія електронів збільшується за рахунок енергії поглиненого світла.

Бомбардуючи напівпровідник швидкими частинками (іонами або електронами), можна також викликати емісію електронів (вторинна електронна емісія), при цьому бомбардуючі частинки передають свою енергію електронам напівпровідника.

Нарешті, емісія електронів може бути викликана досить сильним зовнішнім електричним полем, здатним витягти електрон з напівпровідник. І тут говорять про холодну емісію.

Робота виходу електрона в напівпровіднику може змінитися під впливом адсорбції. Заряд поверхні, що виникає при адсорбції залежно від знака (тобто від природи газу, що адсорбується), може полегшити або утруднити вихід електрона із напівпровідника. Якщо поверхня заряджена негативно, то робота виходу зростає, якщо позитивно – знижується.

Вплив газових молекул, адсорбованих на поверхні, проникає досить глибоко всередину напівпровідника. Приклад цього – вплив адсорбції на провідність напівпровідника. Якщо при адсорбції поверхня напівпровідника заряджається позитивно, то поблизу поверхні збільшується концентрація вільних електронів (створення об'ємного заряду). При цьому збільшується електронна провідність при поверхневої області, що може позначитися на провідності всього зразка загалом. Якщо ж поверхня при адсорбції заряджається негативно, це призводить до збагачення при поверхневого шару дірками, тобто до збільшення діркової провідності.

Слід зазначити, що адсорбційна здатність поверхні виявляється чутливою не тільки до домішок, розміщених на поверхні, а й до того, які домішки і яких концентраціях впроваджено в глибину напівпровідника. Вводячи невелику кількість домішки в напівпровідник, можна змінити багаторазово адсорбційну здатність його поверхні, оскільки вона залежить за інших рівних умов від концентрації вільних електронів та вільних дірок у напівпровіднику. У водночас концентрація вільних електронів та дірок регулюється домішками, що міститься у напівпровіднику. Таким чином,

домішки, розміщені в напівпровіднику, керують адсорбційними властивостями його поверхні через групу вільних електронів та дірок.

### 1.1.3 Хімічні реакції на поверхні напівпровідників

Без розуміння механізму цих реакцій неможливо збагнути принцип дії мікроелектронного газоаналізатора.

Розглянемо напівпровідник, поміщений у газове середовище, що є сумішшю різних газів, тобто суміш молекул різних сортів. Припустимо, що у цьому газовому середовищі протікає якась хімічна реакція, у яких деякі молекули зникають, а замість них виникають нові молекули. Речовини, що вступають у реакцію, називаються реагентами, а речовина, що виникає в результаті реакції, – продукт реакції.

Коли в середу реагуючих газів поміщено тверде тіло (напівпровідник), газові молекули адсорбуються на його поверхні і вступають у реакції з іншими адсорбованими молекулами або молекулами, що налітають із газової фази. Таким чином, реакція переноситься із газової фази на поверхню твердого тіла. У цьому швидкість реакції змінюється. У деяких випадках вона зростає. Таким чином, напівпровідник виступає у ролі каталізатора (прискорювача) реакції. У деяких випадках реакція прискорюється у тисячі разів.

Відносне збільшення швидкості реакції, що викликається каталізатором, характеризує так звану активність каталізатора. Каталізатор, активний щодо цієї реакції, може виявитися неактивним по відношенню до іншої. Активність каталізатора залежить від низки умов. Зокрема, від домішок, введених всередину каталізатора або адсорбованих на поверхні. Деякі домішки збільшують активність, такі домішки називають промоторами. Активність каталізатора завжди зростає зі збільшенням температури.

З погляду електронної теорії каталізу дія напівпровідника як каталізатора полягає в тому, що газові молекули, залишаючись у газовій фазі валентно-насиченими, сідаючи на поверхню напівпровідника, перетворюються (частково) на радикали. Ця дія напівпровідника обумовлена тим, що кожен кристал напівпровідника може розглядатися як велика молекула (макромолекула), що має при цьому вільні (ненасичені) валентності. Таким чином, сам напівпровідник є свого роду полірадикалом. Цим і зумовлено з погляду електронної теорії його каталітичну дію. У ролі вільних (ненасичених) валентностей каталізатора виступають вільні електрони та дірки напівпровідника. Таким чином, вільний електрон та вільна дірка в кристалі відіграють роль вільної валентності, це має місце і у разі більш складних кристалів. Розглядаючи вільні електрони та дірки напівпровідника як вільні валентності, ми можемо приписати цим вільним валентностям такі властивості. Вони не локалізовані, а можуть вільно блукати напівпровідником, зустрічатися з адсорбованими на поверхні газовими молекулами, розриваючи валентні зв'язки всередині цих молекул і насичуючись за рахунок цих зв'язків, перетворюючи таким чином валентно-насичені молекули на радикали, а радикали, навпаки, на валентно – насичені.

Сенсори хімічного складу газів знайшли застосування у хімічній та електронній промисловості, машинобудуванні, авіаційній та автомобільній техніці, космонавтиці, медико - біологічних дослідженнях та медичній практиці. Вони використовуються у складі автономних вимірювальних приладів для визначення концентрації газів у системах автоматичного регулювання виробничих процесів та оптимальної роботи двигунів, автоматизованих системах управління технологічними процесами, промислових роботах, лікувально-діагностичних комплексах та приладах побутового призначення.

До хімічних методів визначення концентрацій озону в основному належать колориметрія, йодометрія та реакції з галогенідом лужних металів та інші. Ці методи ґрунтуються на непрямому визначенні вмісту озону за



кількістю реактиву, що вступив у реакцію з озоном. Так при взаємодії йодистого калію з озоном відбувається відновлення йоду, причому його кількість пропорційно концентрації озону в газовій суміші, пропущеної через розчин. За ступенем забарвлення краплі хлороформу визначають кількість йодистого калію, що залишився в розчині. Діапазон вимірювання цих приладів від 0 до  $0,5 \text{ мг/м}^3$ . наявність необхідних реактивів; руйнування речовини, який вступив у реакцію з озоном.

#### 1.1.4 Фізико-хімічні методи визначення концентрації озону

Фізико-хімічні методи визначення концентрації озону в основному включають електрометричні, іонізаційні та термохімічні аналізи. Так, кулонометричний метод визначення озону заснований на електрохімічному відновленні озоном з розчину солей бромю, йоду та накопиченні їх на електроді. При радіоактивному випромінюванні або в процесі коронного розряду озон викликає іонізаційні точки, що залежать від його концентрації. Так, при коронному розряді концентрацію озону в розрядному проміжку визначають зміни напруги горіння коронного розряду.

Фізико-хімічні методи в основному використовуються для безперервного аналізу в газовій суміші, але в динамічних умовах електросинтезу та розпаду озону повільно реагують на аналіз концентрацій. Найбільш простим та специфічним методом визначення концентрації озону у повітряній суміші є фізичний аналіз, який виключає роль хімічної реакції. В основу цього методу входять оптичні, об'ємно-манометричні, діелькометричні та інші аналізи визначення концентрації озону. В основу об'ємного методу визначення озону покладено властивість озону, розпадаючись на кисень, збільшувати обсяг і відповідно тиск.

Діелькометричні газоаналізатори є автоматичними приладами для вимірювання концентрацій озону в діапазоні від 0 до 25 г/м у кисні.

Перевагою оптичних методів визначення озону, заснованих на поглинанні озоном ультрафіолетових або інших випромінювань є можливість визначення концентрацій у широкому діапазоні від  $10^{-6}$  до  $10^{-7}$  моль/л. Чутливість визначення по озону становить до  $10^{-7}$  моль/л. Портативні та прості в обслуговуванні хемілюмінесцентні газоаналізатори, в яких використовується люмінесценція, що виникає при змішуванні потоку газу з етиленом. Чутливість приладів становить  $10^{-7}$  моль/л.

## 1.2 Інфрачервоні (оптичні) датчики

Робота інфрачервоних датчиків заснована за принципом дисперсійного інфрачервоного методу (NDIR). Принцип роботи датчика, що визначає тип та концентрацію газу, ґрунтується на зміні інтенсивності ІЧ випромінювання до та після поглинання в інфрачервоному детекторі з вибірковою чутливістю. Детектори використовують дві хвилі, одна з яких (активна) поглинається газом, а друга (опорна) – ні. Для активної довжини хвилі вимірюється рівень сигналу, який порівнюється з еталонним значенням. Ця інформація обробляється із застосуванням сучасних алгоритмів. Результатом такої обробки є вихідний лінійний сигнал концентрації газу.

Робота датчиків такого типу залежить від стану довкілля. Вони стійкі до вібрацій, перешкод, силікатів. Так само, датчики мають високу точність, чутливість, надійність і швидкий відгук. Датчик не схильний до «перенасичення», тобто при великих концентраціях не відбувається збій роботи датчика або зміщення порогових значень. Обслуговування датчиків, при правильній установці, мінімально – перевірка нульового значення без калібрування необхідна один раз на рік, що спрощує технічне обслуговування пристроїв з сенсорами такого типу, але не виключає зовсім. Недоліками використання інфрачервоних датчиків є початкові

витрати на їхню купівлю, ідентифікація лише конкретних газів (метан і  $CO_3$ ). На рис 1.1 зображено зовнішній вигляд інфрачервоного датчика.

Підводячи підсумки можна сказати, що датчики мають хорошу селективність, відмінну стабільність вимірювань на всьому протязі експлуатації, високу чутливість і роздільну здатність, не залежать від

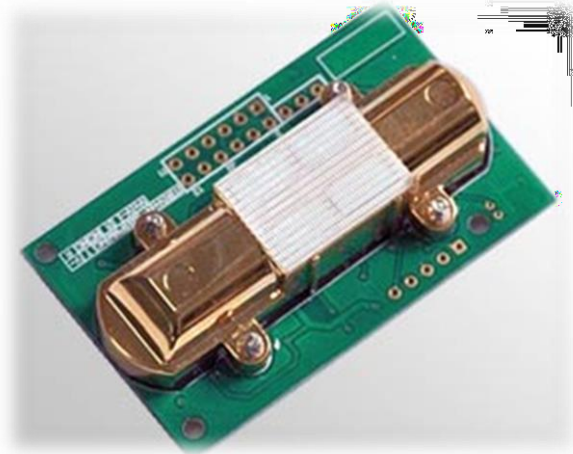


Рисунок 1.1 – Інфрачервоний датчик

концентрації кисню в повітрі, не чутливі до агресивних середовищ, не бояться вологи, не містять шкідливих речовин та відрізняються тривалим терміном служби. З недоліків можна виділити лише ціну та вузькопрофільність.

### 1.3 Термохімічні (каталітичні) датчики

Робота термохімічних датчиків ґрунтується на вимірі реакції окислення газу. Застосовуються для знаходження концентрацій горючих газів у просторі. Вплив газу на каталітичний датчик призводить до горіння газу без утворення полум'я, внаслідок чого змінюється температура кулькового датчика, що спричиняє зміну опору. Далі отримане значення

опору порівнюється з еталонним значенням опору датчика, що не зазнав впливу навколишнього середовища. Концентрація газу лінійно залежить від значення опору, тобто чим вище значення, тим вища концентрація. Концентрацію газу обчислюють шляхом відстеження змін опору. На рис 1.2 зображено зовнішній вигляд термохімічного датчика.



Рисунок 1.2 – Термохімічний датчик

Конструкція каталітичного газу виключає вплив коливань довкілля (температури, вологості, тиску) на результати вимірів. Тому каталітичні датчики, на відміну напівпровідникових, застосовуються контролю концентрації газу промислових об'єктах, цехах, будинках, в системах протипожежної безпеки та інших.

Для вимірювання вихідного сигналу датчиків застосовується міст Уїтстона (мостова схема для вимірювання опорів постійному струму).

Принцип роботи термохімічних датчиків має ряд переваг: широкий спектр речовин, що ідентифікуються (метан, зріджені вуглеводневі гази (LPG), пропан та інші горючі гази), діапазон вимірювань (0-100% об'ємного вмісту), лінійний вихідний сигнал за напругою, хороша репродуктивність і надійність вимірювань, робота датчиків не залежить від стану навколишнього середовища, невисока вартість, можливість детектування газу в безкислотному середовищі.

Так само, є ряд істотних недоліків: схильні до впливу силікатів, можливе перенасичення газом, внаслідок впливу великих концентрацій, в результаті чого датчик може вийти з ладу, або можуть бути зміщені порогові значення. Через суттєві недоліки рекомендується проводити калібрування нуля та порогових значень датчика один раз на квартал, що суттєво збільшує вартість обслуговування.

#### 1.4 Напівпровідникові датчики

Напівпровідникові датчики призначені для визначення сірководневих сполук. Відмінна конструкторська особливість датчиків у тому, що на кремнієву підкладку наносяться шари нагрівальної плівки. Також як і каталітичних датчиків, їх дія заснована на властивостях поглинання газу поверхнею нагрітого оксиду. На рис. 1.3 зображено зовнішній вигляд напівпровідникового датчика.



Рисунок 1.3 – Напівпровідниковий датчик

У робочому стані, коли є інший газ, що викликає окислювально-відновну реакцію, концентрація негативних іонів кисню зменшується. Це

призводить до зменшення порогової напруги, і, як наслідок, зменшення опору датчика. Чутливий матеріал датчика має низьку провідність у присутності чистого повітря. З появою детектованого пального газу, провідність датчика зростає зі зростанням концентрації цього газу.

Датчики мають широкий спектр речовин, що детектуються: горючий газ, природний газ, LPG, коксовий газ, водень, пари спирту, озон, оксидвуглецю, аміак, бензол, сірководень, леткі органічні речовини (VOC).

Напівпровідникові датчики прості, надійні і мають високий рівень чутливості. Широко використовуються у детекторах побутового газу. У промисловості не застосовуються, оскільки мало точні щодо окремих газів, чутливі до атмосферної температури і вологості, повільно проходить процес очищення після ідентифікації газу. Рекомендується проводити перевірку датчиків та калібрування порогових значень один раз на квартал.

### 1.5 Фотоіонізаційні датчики

Детектування речовин фотоіонізаційними сенсорами здійснюється під впливом ультрафіолетового випромінювання. Газ проходить через сенсори датчика через що молекули органічних та неорганічних речовин іонізуються. Робота фотоіонізаційних датчиків (ФІД) заснована на вимірюванні струму, викликаного іонізацією молекул газів і парів фотонами, що випромінюється джерелом вакуумного ультрафіолетового (ВУФ) випромінювання – ВУФ-лампи. На рис 1.4 зображено зовнішній вигляд фотоіонізаційного датчика.

ВУФ – випромінювання через вікно лампи виходить в іонізаційну камеру, де встановлені два електроди, один з яких з'єднаний із джерелом живлення, а інший з електрометром. В іонізаційну камеру подається проба.

Під впливом випромінювання компоненти з енергією іонізації, меншої енергії фотонів, що випускаються ВУФ-лампкою, іонізуються. В іонізаційній камері протікає струм, величина якого пропорційна концентрації

ДОМІШОК.



Рисунок 1.4 – Фотоіонізаційний датчик

При цьому компоненти чистого повітря, що мають вищі потенціали іонізації, не іонізуються. Фотоіонізаційні датчики можуть детектувати невелику кількість газів: метан, n-алкани C1-C5 та діоксид вуглецю.

З переваг виділяється чутливість до низьких концентрацій, широкий спектр вимірюваних речовин.

### 1.6 Електрохімічні датчики

Електрохімічні датчики дозволяють визначати концентрацію газів у суміші за значенням електричної провідності розчину, що поглинув цей газ.

Електрохімічні датчики ґрунтуються на законі Фарадея і складаються з двох або трьох електродів, поміщених у рідкий електроліт. Газ, проникаючи через капілярний бар'єр (і фільтр), потрапляє робочий електрод. Робочий електрод виготовляється з каталітичного металу, що забезпечує виникнення хімічної взаємодії між газом та електролітом. До кожного виду газу використовується конкретний тип каталітичного матеріалу. Електрони, що з'являються в результаті електрохімічної реакції, забезпечують

перебіг струму між робочим і лічильним електродами. При цьому величина струму виявляється пропорційною концентрації газу. Отримане значення струму зазвичай перетворюється на напругу за допомогою резистора навантаження (10 кОм). На рис 1.5 зображено зовнішній вигляд електрохімічного датчика.



Рисунок 1.5 – Електрохімічний датчик

Датчики даного типу застосовуються виявлення токсичного газу (водень, фосфін, аміак, чадний газ, оксид сірки, оксид азоту, хлор, сірководень та інших.) у виробничих процесах. Визначення концентрації газу відбувається шляхом вимірювання струму за електрохімічним принципом. На робочому електроді всередині електричного осередку проходить процес електрохімічного окиснення. Струм який виробляється при реакції детектованого газу, прямо пропорційний концентрації газу.

Таким чином, метою магістерської роботи є дослідження електро – фізичних процесів перетворення сигналів у вимірювачі концентрації озону.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- дослідження схеми обробки вихідних сигналів сенсору озону;
- розробка схеми електричної принципової вимірювача концентрації озону;



- синтез програмного коду керування мікроконтролера;
- дослідження програмно – апаратного комплексу вимірювача концентрації озону;
- розробка друкованої плати вимірювача.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОВОГО ДАТЧИКА ОЗОНУ

### 2.1 Обґрунтування обрання датчика озону

Для вибору датчиків проаналізовано порівняння чотирьох зразків датчиків озону (табл.2.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл.2.2).

Таблиця 2.1 – Зразки датчиків озону для побудови вимірювача концентрації озону в повітрі

Модель датчика	
A	RK03Y
B	S4H2S-100
C	ME3 – O3
D	MQ-131

Таблиця 2.2 - 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. 2.3.

Відносна вага кожного критерію встановлювалась на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв (табл. 2.3).

У матриці прийняті наступні позначення:  $i$  – номер критерію; при порівнянні 6-ох критеріїв (табл. 2.3)  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ;  $X_i$  - локальний пріоритет, тобто відносна вага  $i$ -го критерію в глобальному критерії:

Таблиця 2.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$	$X_i$
1. Робочий діапазон	1	1/3	3	1/3	1/5	3	0,765	0,088
2. Швидкодія	3	1	3	1/3	1/7	5	1,135	0,130
3. Значення перенасичення	1/3	1/3	1	1/5	1/5	3	0,485	0,056
4. Довговічність	3	3	5	1	1/5	7	1,995	0,229
5. Точність	5	7	5	5	1	5	4,044	0,464
6. Вартість	1/3	1/5	1/3	1/7	1/5	1	0,293	0,033
	□						8,717	1,00

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

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

Порівняння виконувалось таким чином: відносна вага кожного критерію самого до себе дорівнює 1. Спочатку розглядався критерій «Робочий діапазон»: відносно критерію «Швидкодія» він має значну перевагу (за табл. 2.2 оцінка – 7), тоді в 4-й строці, 1-му стовпчику вказується 7, а в 1-й строці, 4-му стовпчику вказується 1/7; відносно

критерію «Значення перенасичення» він має помірну перевагу (за табл.2.2 оцінка – 3), тоді в 4-й строці, 2-му стовпчику вказується 3, а в 2-й строці, 4-му стовпчику вказується 1/3; відносно критерію «габаритні розміри» він має сильну перевагу (за табл.2.2 оцінка – 5), тоді в 4-й строці, 3-му стовпчику вказується 5, а в 3-й строці, 4-му стовпчику вказується 1/5; і т. д. щодо порівняння цього критерію з іншими.

Так само порівнюючи кожний критерій з іншими, заповнювалась табл.2.3.

Далі в кожній строці виконувалось перемноження усіх 6 значень і отримувался з цього добутку корінь 6-го ступеню – таким чином

заповнювався стовпчик  $\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$ ; далі знаходилася сума по цьому стовпчику

$\Sigma$ , і знаходилося для кожної строки і заповнювався стовпчик  $X_i$ .

$$X_i = \frac{\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}}{\sum_{i=1}^6 \sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}}$$

Далі аналогічно були складані 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (табл. 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9).

Оскільки порівнювалися 4 датчика озону за одним критерієм, то  $i = 1, 2, 3, 4$ ;

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

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

Таблиця 2.4 – Порівняння стосовно критерію «Робочий діапазон»

Перетворювач	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X <sub>i</sub>
A	1	7	7	1/3	2,010	0,348
B	1/7	1	1/2	1/5	0,346	0,060
C	1/7	2	1	1/5	0,489	0,084
D	3	5	5	1	2,943	0,508
□					5,788	1,00

Таблиця 2.5 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «Швидкодія»

Перетворювач	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X <sub>i</sub>
A	1	1/3	3	1/2	0,841	0,173
B	3	1	5	2	2,340	0,481
C	1/3	1/5	1	1/3	0,368	0,076
D	2	1/2	3	1	1,316	0,270
□					4,865	1,00

Таблиця 2.6 - Порівняння стосовно критерію «Значення перенасичення»

Перетворювач	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X <sub>i</sub>
A	1	5	1/4	1/3	0,803	0,146
B	1/5	1	1/5	1/7	0,275	0,050
C	4	5	1	1/3	1,606	0,292
D	3	7	3	1	2,817	0,512
□					5,501	1,00

Таблиця 2.7 - Порівняння стосовно критерію «Довговічність»

Перетворювач	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X <sub>i</sub>
A	1	3	5	2	2,340	0,460
B	1/3	1	3	1/3	0,758	0,149
C	1/5	1/3	1	1/5	0,338	0,066
D	1/2	3	5	1	1,655	0,325
□					5,091	1

Таблиця 2.8 - Порівняння стосовно критерію «Точність»

Перетворювач	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X <sub>i</sub>
A	1	5	3	1/4	0,927	0,206
B	1/5	1	1/4	1/5	0,416	0,093
C	1/3	4	1	1/3	1,295	0,297
D	4	5	3	1	2,383	0,404
□					5,021	1,00

Таблиця 2.9 - Порівняння стосовно критерію «Вартість»

Перетворювач	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X <sub>i</sub>
A	1	1/3	4	1/3	0,816	0,154
B	3	1	7	2	2,546	0,477
C	1/4	1/7	1	1/5	0,317	0,059
D	3	1/2	5	1	1,655	0,310
□					5,334	1,00

Таблиця 2.10 - Глобальний пріоритет

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний
Вага	0,088	0,130	0,056	0,229	0,464	0,033	
RK03Y	0,348	0,173	0,146	0,460	0,206	0,154	0,262
S4H2S-100	0,060	0,481	0,050	0,149	0,093	0,477	0,174
ME3 – O3	0,084	0,076	0,292	0,066	0,297	0,059	0,274
MQ-131	0,508	0,270	0,512	0,325	0,404	0,310	0,290

З порівняння глобальних пріоритетів різних перетворювачів (табл. 2.10) видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта реалізації вимірювача концентрації озону в повітрі з використанням напівпровідникового датчика MQ – 131.

За допомогою методу аналізу ієрархій проведено порівняння чотирьох зразків датчиків озону за наступними критеріями: 1) Робочий діапазон; 2) Швидкодія; 3) Значення перенасичення; 4) Довговічність; 5) Точність; 6) Вартість. Найбільший локальний пріоритет у критерію «Точність» (див. табл. 2.3). За даними найбільш глобальний пріоритет має напівпровідниковий датчик MQ – 131. Тому саме він й буде використовуватися для розробки вимірювача концентрації озону в повітрі.

## 2.2 Аналіз характеристик сенсору озону MQ 131

Чутливим матеріалом газового сенсору MQ131 є напівпровідниковий оксид металу, який має високу провідність у чистому повітрі. Під дією газу

провідність сенсору стає нижчою при зростанні концентрації газу. Параметри сенсора наведені у табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Технічні параметри датчика MQ-131

Діапазон вимірювань		10 — 1000 ppm
Напруга живлення	$V_c$	$\leq 24$ В
Напруга нагріву	$V_H$	5 В $\pm$ 1 В
Опір нагрівача	$R_H$	31 Ом $\pm$ 5 Ом (кімнатна темп.)
Потужність що споживається нагрівачем	$P_H$	$\leq 900$ мВт
Чутливість	S	$R_s$ (для концентрації озону 200 ppm $O_3$ ) / $R_s$ (в повітрі) $\geq 2$
Вихідна напруга	$\Delta V_s$	$\geq 1.0$ В (для концентрації озону 200 ppm $O_3$ )
Температура та вологість повітря		20 °C $\pm$ 2 °C;
Час відпалу перед введенням в		Понад 48 годин

Сенсор має хорошу чутливість до озону в широкому діапазоні та має такі переваги, як тривалий термін служби, низьку вартість та просту схему підключення.

На рис. 2.12 наведено схему підключення сенсора озону. Для сенсору потрібні два входи за напругою: напруга живлення нагрівача ( $V_H$ ) і напруга вимірювального ланцюга ( $V_C$ ).  $V_H$  використовується для подачі стандартної робочої температури до сенсору. Для живлення може використовуватись як джерело постійного, так і змінного струму. Вимірювальна напруга  $V_c$  подається через опір навантаження  $R_L$ .



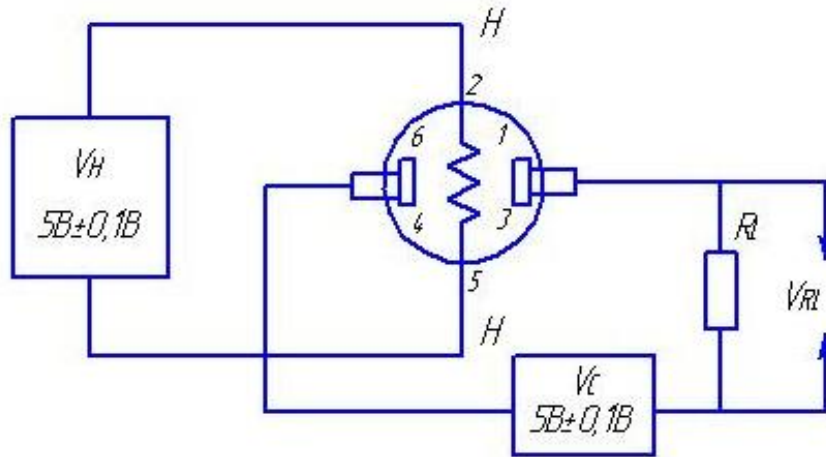


Рисунок 2.12 – Схема підключення сенсора озону

На рис. 2.13 зображено графік чутливості сенсору. По осі ординат - коефіцієнт опору сенсору ( $R_s/R_0$ ), по осі абсцис - концентрація газів, де  $R_s$  - опір сенсору в процесі вимірювань,  $R_0$  - опір сенсору в чистому повітрі.

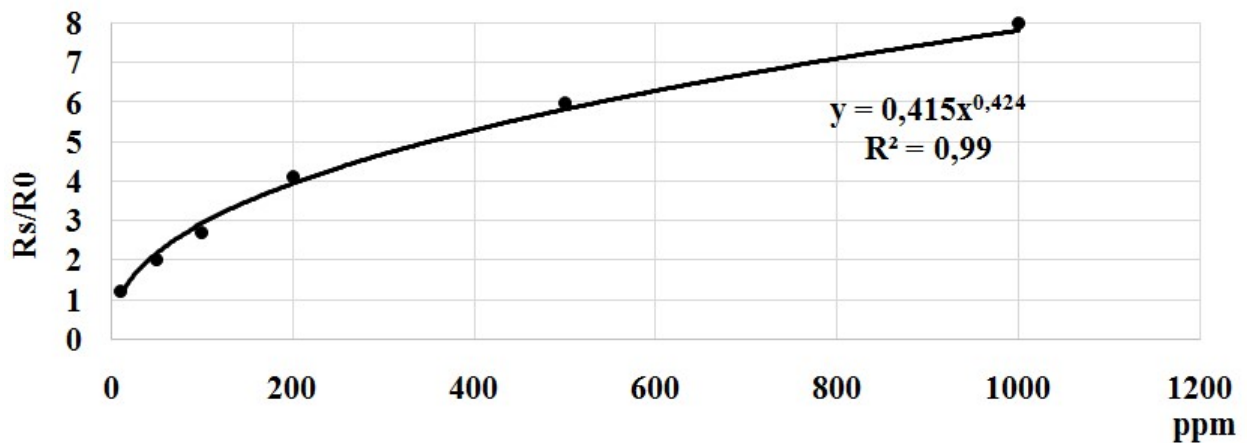


Рисунок 2.13 – Залежність чутливості сенсору від концентрації озону

На рис. 2.14 наведено залежність чутливості сенсору від концентрації озону при опорі навантаження  $R_L$ , що становить 10 кОм.

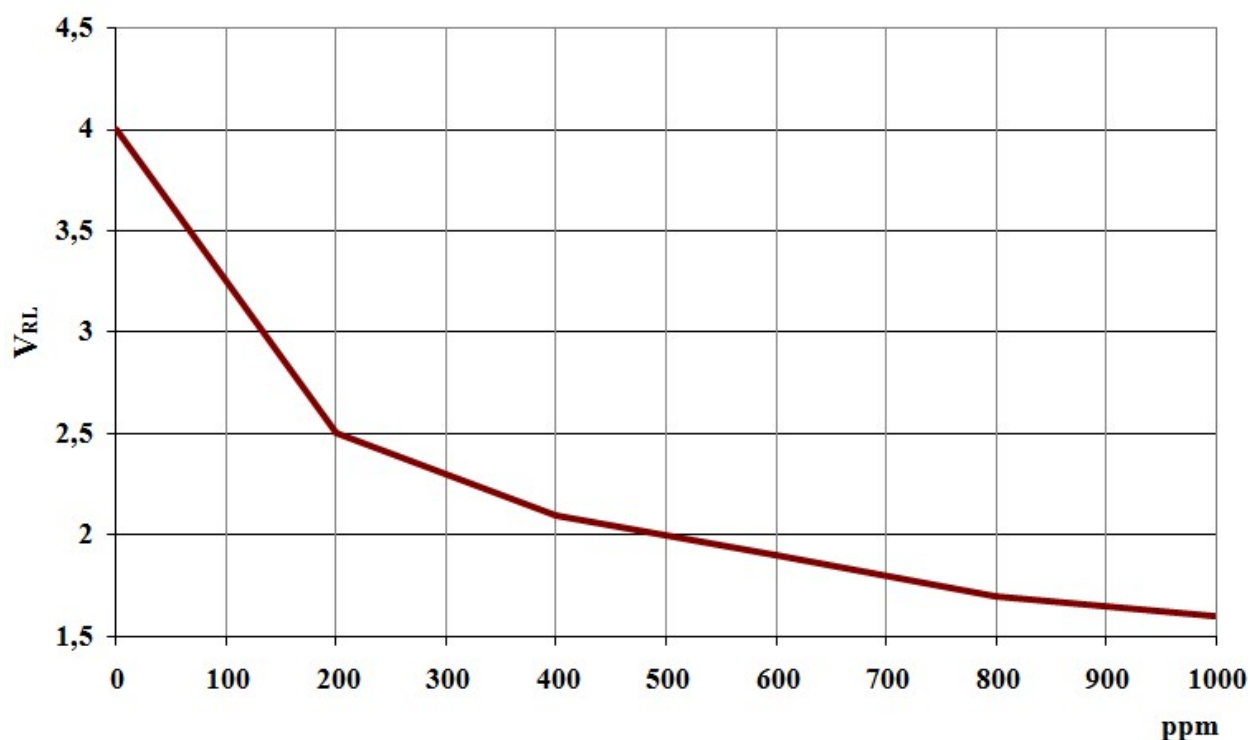


Рисунок 2.14 – Залежність вихідної напруги сенсора від концентрації озону

На рис. 2.15 зображено залежність приросту опору сенсору від температури та вологості.

Під дією пари органічного кремнію чутливий матеріал сенсору може втратити чутливість і ніколи не відновиться. Тому сенсор не повинен знаходитись під дією кремнієво вмістних матеріалів.

У атмосфері агресивних газів може відбуватись корозія корпусу та зовнішніх виводів сенсору.

На робочі характеристики сенсору значно впливає забруднення поверхні чутливого елемента солями лужних металів або молекулами галогенів.

З рис. 2.15 слід що чутливість сенсору буде знижуватись у вологій атмосфері або ж при зануренні у воду.

Для обробки і підсилення вихідного сигналу сенсора озону можливо використовувати схему що наведено на рис. 2.16.

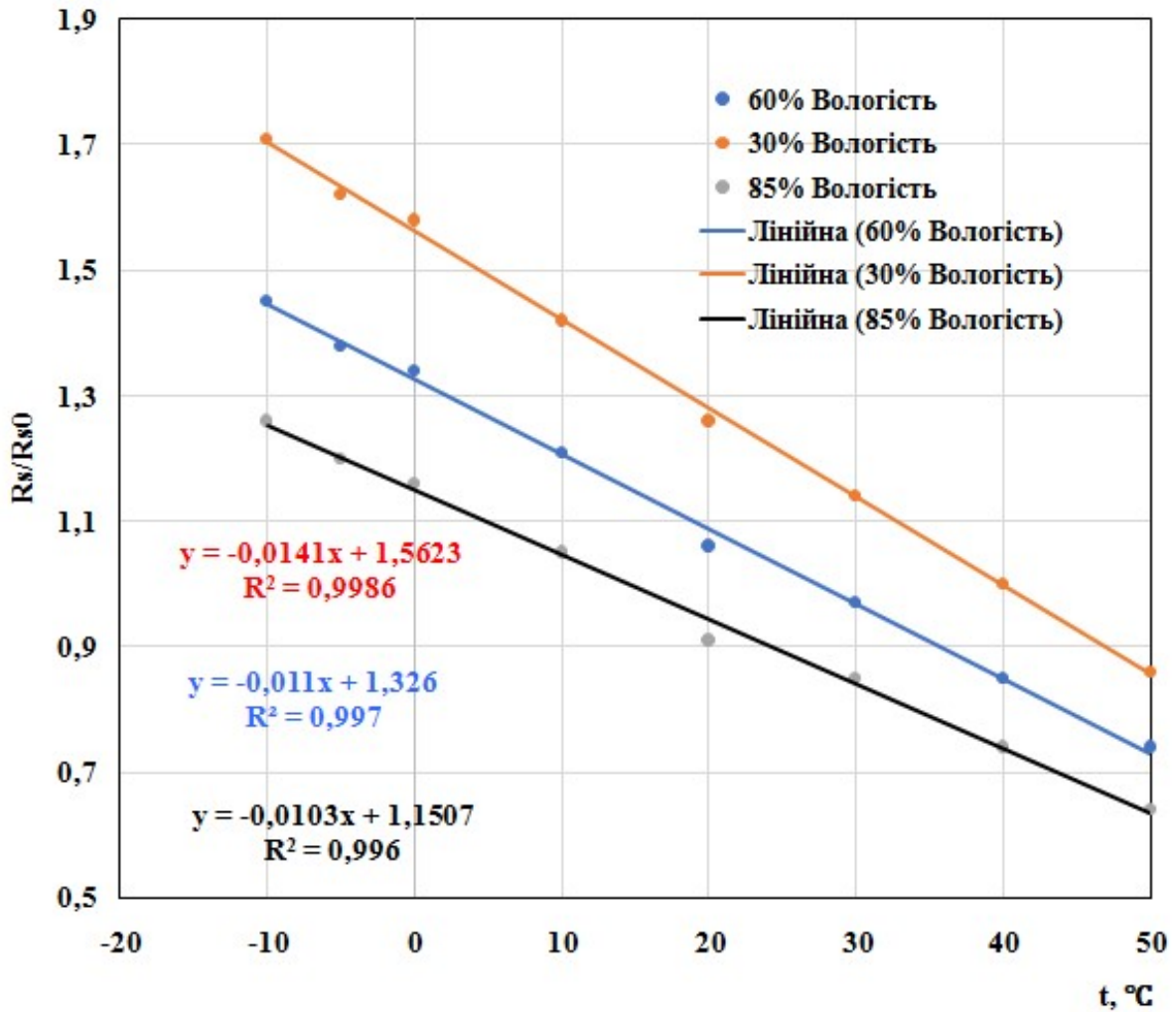


Рисунок 2.15 – Залежність опору сенсору від температури і вологості повітря

Подача напруги не має бути вище встановленого значення. Навіть якщо датчик фізично не пошкоджений або зламаний, це призводить до ушкодження нижніх ліній або нагрівача, а також призводить до погіршення характеристик чутливості датчика.

Знаходження сенсору впродовж тривалого часу в середовищі з високою концентрацією газу негативно впливає на його характеристики.

При потраплянні невеликої конденсації води на поверхню сенсору його чутливий матеріал втрачає свої властивості та негативно впливає на роботу сенсору.

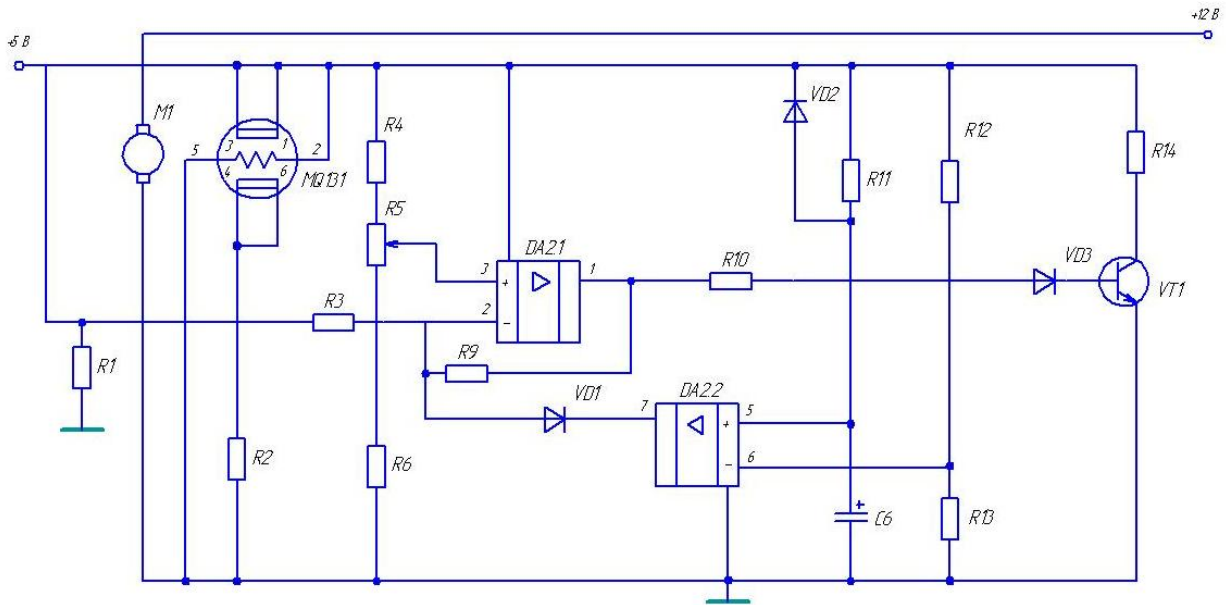


Рисунок 2.16 – Схема формування вихідного сигналу з сенсора

При тривалій дії несприятливих умов на роботу сенсору сильно впливає висока вологість, температура або сильне забруднення.

Під дією постійної вібрації або сильного струсу сенсор зламається.

### 2.3 Обґрунтування обрання інструментарію дослідження

Комп'ютерне моделювання в даний час є основним інструментом дослідження, найважливішою складовою процесу проектування електронних пристроїв, що дозволяє прорахувати різні режими роботи електротехнічного пристрою та передбачити його поведінку в аварійних режимах роботи. Воно поєднує у собі малі витрати на проведення наукових досліджень та високу ефективність.

Сучасні програми моделювання електронних ланцюгів представляють віртуальні лабораторії, які включають великі бібліотеки електронних компонентів. Вони дозволяють перевірити, чи задовольняє спроектований пристрій вимогам технічного завдання, коли використовуються реальні

компоненти з характеристиками, що відрізняються від ідеальних. Багато програм дозволяють автоматизувати всі стадії проектування електронних пристроїв, включаючи підготовку принципів схем, моделювання процесів в аналогових та цифрових ланцюгах, компоновання та трасування друкованих плат, редагування та розширення бібліотек компонентів. Необхідною умовою для ефективного використання моделюючих програм є розуміння алгоритмів, реалізованих у програмі та знання принципів побудови моделей електронних компонентів. Неправильне застосування моделей компонентів, налаштування та використання обчислювальних алгоритмів можуть призвести до отримання помилкових результатів моделювання.

SPICE – це симулятор для проведення комп'ютерного моделювання роботи аналогових та цифрових електричних кіл. LTspice є універсальним середовищем для проектування та створення електричних схем з інтегрованим симулятором змішаного моделювання. Програма дозволяє швидко змінювати компоненти та параметри електронних схем, випробовувати працездатність нових варіантів, знаходити оптимальні рішення. Можливе завантаження списку з'єднань, згенерованого іншими інструментами для малювання схем або створеного вручну (розширення \*.sp, \*.cir, \*.net чи \*.but). Від аналогічних програм (Microcap, OrCAD) розглянуте програмне забезпечення відрізняється малим обсягом необхідного дискового простору і більш високою швидкістю моделювання процесів.

LTspice містить повну бібліотеку компонентів компанії Linear Technology Corporation (пасивні елементи та інтегральні схеми, включаючи рідкісні моделі імпульсних контролерів та регуляторів). Оскільки програма використовує стандартні SPICE - моделі електронних деталей, до наявної бази можна додавати бібліотеки сторонніх виробників, а також створювати власні моделі. Редактор має ієрархічну структуру, малювання електронних кіл середньої та великої складності виконується за допомогою створення

підсхе. Глибина ієрархії та розмір схеми обмежуються лише ресурсами комп'ютера. Цей симулятор дозволяє проводити:

- амплітудно-частотний аналіз, при цьому необхідно встановити кількість точок даних між лініями, тип шкали, нижні та верхні частоти;
- аналіз перехідних процесів;
- спектральний аналіз, який можливий лише після дослідження перехідних процесів;
- аналіз гармонік, що включає обчислення рівнів та загального коефіцієнта гармонічних спотворень у відсотках;
- спектральний аналіз шумових характеристик у вибраній точці схеми, а також шумові характеристики, наведені до входу.

Крім цього в LTspice можна побудувати сімейство амплітудно-частотних характеристик при покроковому зміні номіналу обраного елемента. Результати всіх моделювань відображаються у графічному вікні, при цьому існує можливість їхнього подальшого аналізу. На відміну від інших програм LTspice здатний записувати в wav-файл сигнал із будь-якої точки ланцюга. Частота дискретизації та кількість розрядів встановлюються користувачем, а отриманий файл може редагуватись у спеціалізованій програмі. Дані з файлів із розширенням \*.wav, крім внутрішніх джерел, що генеруються програмою, можуть бути вхідними сигналами робочих схем. Для проектування друкованих плат передбачено побудову списку з'єднань з функцією впорядкування імен висновків. З недоліків LTspice необхідно відзначити досить незручний інтерфейс та обмежену кількість бібліотек елементів.

Програмний комплекс LTspice розроблений у компанії Linear Technology. Організація була заснована в 1981 році і базується у місті Мілпітас (Каліфорнія, США). Компанія проектує, виробляє та продає лінійні інтегральні мікросхеми - джерела та регулятори напруги, компаратори, підсилювачі, лінійні регулятори, зарядні пристрої батарей, монолітні фільтри, Ethernet- контролери, конвертери DC-DC. Її продукція

використовуються у мобільних телефонах, мережевих рішеннях, ноутбуках та настільних комп'ютерах, пристроях контролю безпеки, медичних пристроях, автомобільній електроніці, системах супутникової навігації та управління виробничими процесами.

Дистрибутив програми включає готові приклади схем і керівництво користувача. Мова інтерфейсу LTspice – англійська, проте в інтернеті можна знайти русифікатор.

Розглянуте програмне забезпечення регулярно оновлюється і підтримує всі операційні системи сімейства Microsoft Windows.

Професійна програма аналогового, цифрового та змішаного моделювання та аналізу ланцюгів електронних пристроїв середнього ступеня складності Мігросар має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, невибагливість до обчислювальних ресурсів персонального комп'ютера та великий спектр можливостей стали основою популярності Micro-Cap серед студентів та викладачів мікроелектроніки. Алгоритм роботи включає створення електричної ланцюга в графічному редакторі, завдання параметрів аналізу та вивчення отриманих даних. Програма самостійно складає рівняння ланцюга та проводить моментальний розрахунок. Будь-яка зміна схеми або параметрів елементів призводить до автоматичного оновлення результатів. Графічний редактор спирається на бібліотеки електронних компонентів, які можна поповнювати на основі експериментальних або довідкових даних за допомогою вбудованого модуля Shape Editor. Усі номінали та параметри елементів можуть бути як незмінними, так і залежними від температури, часу, частоти, стану схеми, інших параметрів. Анімовані деталі (світлодіоди, реле, семисегментні індикатори та деякі інші елементи) змінюють стан відповідно до сигналів, що на них надходять. Моделювання включає цілий набір різних аналізів: перехідних процесів, передавальних характеристик по постійному струму, малосигнальних частотних характеристик, чутливостей по постійному струму, нелінійних спотворень, методу Монте-Карло та багатьох інших. Досвідчені користувачі можуть створювати макромоделі, які

полегшують імітаційне моделювання без втрат інформації. Дозволяється одночасно використовувати різні стандарти елементів схеми. Повна підтримка SPICE-моделей дозволяє застосовувати проекти з інших програм (DesignLab, OrCAD, P-CAD). З недоліків можна відзначити лише необхідність встановлення додаткових елементів, оскільки обсяг бібліотек Micro-Cap (навіть у повній версії) явно недостатній.

Micro-Cap – англomовний пакет, але бажаючі можуть легко знайти в мережі русифікатор програми від відомих фахівців по роботі з ним – Сергія та Марини Амеліних. У деяких користувачів після русифікації серед моделювання виникають проблеми з відображенням кирилических шрифтів.

Програма була написана у 1982 році фірмою Spectrum Software, з того часу вона постійно розширюється та вдосконалюється. Фірма, у свою чергу, була заснована Енді Томпсоном у лютому 1980 року, спочатку позиціонуючись на написанні програм для Apple. Вона розташована в одному з основних міст Силіконової долини - Саннівейл (штат Каліфорнія, США).

Вартість Micro-Cap складає кілька тисяч доларів, проте на сайті розробника можна завантажити вільно розповсюджену Evaluation Version, яка має багато можливостей повнофункціональної. Основні відмінності – це не більше 50 елементів у схемі, урізана бібліотека компонентів, обмеження на побудову ряду графіків та повільну швидкість роботи. Micro-Cap підтримує всі операційні системи сімейства Windows.

Головна особливість NI MultiSIM – простий інтерфейс, потужні засоби графічного аналізу результатів моделювання, наявність віртуальних вимірювальних приладів, що копіюють реальні аналоги. Бібліотека елементів містить понад 2000 SPICE-моделей компонентів National Semiconductor, Analog Devices, Phillips, NXP та інших виробників. Є електромеханічні моделі, імпульсні джерела живлення, перетворювачі потужності. Інструмент Convergence Assistant автоматично виправляє параметри SPICE, коригуючи помилки моделювання. NI MultiSIM випускається у двох варіантах –



Professional та Education.

Версія MultiSIM Education призначена для навчальних закладів і включає навчальні курси, підготовлені апаратні рішення та робочі підручники. Основне завдання – закріпити теоретичний матеріал, наочно продемонструвавши роботу тих чи інших законів та процесів у реальних проектах. Для цього крім інтерактивних компонентів програма здатна взаємодіяти з апаратними платформами NI myDAQ (бібліотека контрольно-вимірювального обладнання) та NI ELVIS (віртуальний інструментарій для навчальної майстерні), що уможливорює створення цілих віртуальних лабораторій систем управління, енергетики, мехатроніки та силової техніки.

Версія MultiSIM Professional спеціально створена для швидкого прототипування та вирішення задач оптимізації з'єднань. Пропонується розширений інтерфейс користувача, нестандартні методи аналізу, засновані на фірмовій системі NI LabVIEW, і звичайні алгоритми імітаційного моделювання схем за стандартом SPICE.

Останні версії програми мають покращену функціональність, нові інструменти для моделювання, розширену базу елементів, завдяки чому розробка та створення проектів електричних схем може виконуватися набагато точніше і швидко. NI MultiSIM може взаємодіяти з середовищем розробки систем вимірювання LabVIEW, що дозволяє зіставляти теоретичні дані з реальними, безпосередньо в ході створення схем друкованих плат. Це зменшує кількість проектних помилок та прискорює реалізацію проектів. Зворотною стороною цього стали завищені системні вимоги до обладнання. Навантаження на процесор і пам'ять при роботі з великими схемами та при трасуванні дуже велике.

Мова інтерфейсу лише англійська, але існують варіанти русифікації. Робоча платформа – 32-розрядна Windows XP, Vista, 7, 10 чи 64-розрядна – Vista, 7, 10.

Proteus - потужна система автоматизованого проектування, що дозволяє віртуально змоделювати роботу величезної кількості аналогових та

цифрових пристроїв.

Програмний пакет Proteus VSM дозволяє зібрати схему будь-якого електронного пристрою та симулювати його роботу, виявляючи помилки, допущені на стадії проектування та трасування. Програма складається із двох модулів. ISIS – редактор електронних схем із наступною імітацією їх роботи. ARES – редактор друкованих плат, оснащений автотрасувальником Electra, вбудованим редактором бібліотек та автоматичною системою розміщення компонентів на платі. Крім цього, ARES може створити тривимірну модель друкованої плати.

Proteus VSM включає більше 6000 електронних компонентів з усіма довідковими даними, а також демонстраційні ознайомлювальні проекти. Програма має інструменти USBCONN та COMPIM, які дозволяють підключити віртуальний пристрій до портів USB та COM комп'ютера.

При підключенні до цих портів будь-якого зовнішнього приладу віртуальна схема працюватиме з ним, начебто вона існувала насправді. Proteus VSM підтримує такі компілятори: CodeVisionAVR та WinAVR (AVR), ICC (AVR, ARM7, Motorola), HiTECH (8051, PIC Microchip) та Keil (8051, ARM). Існує можливість експорту моделей електронних компонентів із програми PSpice.

Незважаючи на те, що програма працює з пристроями, що складаються з кількох мікроконтролерів і навіть із чіпами від різних виробників в одному пристрої, необхідно чітко розуміти, що симуляція повторює роботу реальної схеми абсолютно точно! Щоб уникнути помилок, потрібно чітко представляти кінцевий результат.

Proteus VSM є комерційним продуктом. Є безкоштовна демонстраційна версія. Вона має всі функції та можливості платного пакета, але не дозволяє зберегти або роздрукувати результат роботи, створити свій власний мікроконтролер.

Меню програми англomовне. Повного русифікатора для Proteus VSM немає. Встановлювати програму необхідно в папку без символів кирилиці в

назві. Операційні системи, в яких працює САПР - це Windows 2000, XP, Vista, 7, 10.

Таким чином, для дослідження схеми обробки сигналів датчика озону раціональним є застосування MultiSIM.

#### 2.4 Дослідження схеми обробки сигналів датчика озону

З метою дослідження схеми обробки сигналів датчика озону було проведено її моделювання у системі MultiSIM 13.0. Завдання для моделювання наведено на рис. 2.16.

У наведеному завданні для моделювання датчика озону MQ – 131 використано джерело струму  $i_1$ , що керується напругою.

Провідність цього джерела встановлено на рівні  $1 \cdot 10^{-5}$  См відповідно до даних п.п. 2.2.

Також зі схеми виключено виконуючі та індикаторні елементи з метою узагальнення області використання приладу.

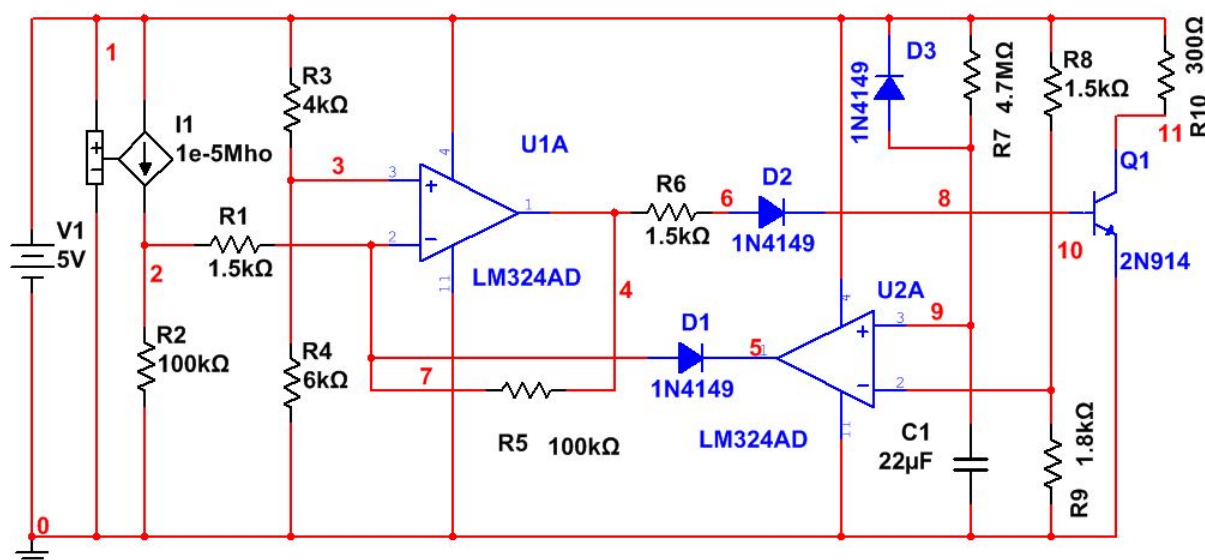


Рисунок 2.16 – Завдання для моделювання схеми обробки сигналів сенсору озону

Для отримання перетворювальних характеристик системи використовувався вид аналізу «Parameter sweep» де визначався вплив змін провідності датчика на вихідну напругу схеми, що знімається з колектора транзистора  $Q_1$ .

Отримані таким чином характеристики наведені на рис 2.17 для різних значень опору транзисторів  $R_3$  та  $R_4$ , дільника напруги на неінвертувальному ході операційного підсилювача U1A.

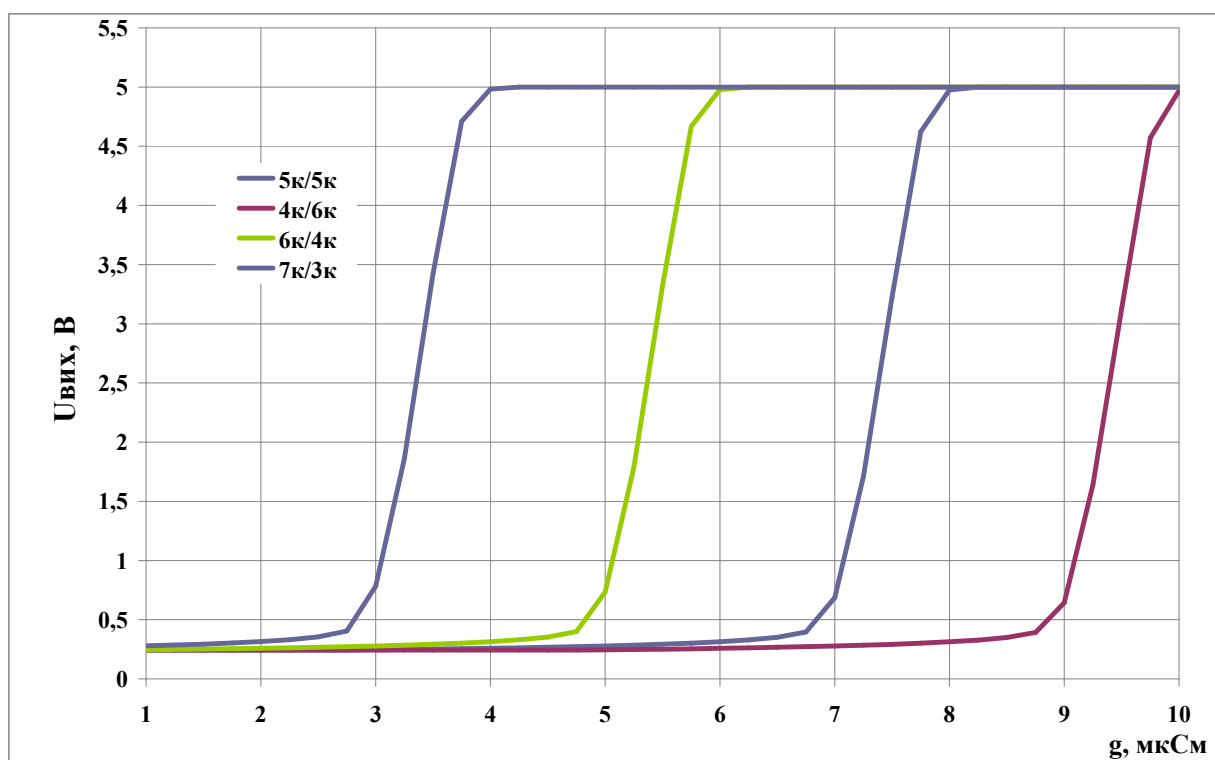


Рисунок 2.17 – Перетворювальні характеристики системи

Як слід з рис. 2.17 передавальна характеристика має вигляд лінійної ділянки з чутливістю  $\approx 5,66$  В/См. Тобто динамічний діапазон зміни вхідної провідності становить  $= 0,7$  мкСм. Абсолютні значення мінімальної та максимальної провідності лінійної частини передавальної характеристики змінюється при зміні опорів резисторів дільника, зберігаючи величину чутливості. Як показано у п.п. 2.2. робочий діапазон зміни провідності датчика MQ – 131 знаходиться у межах від 5 мкСм до 10 мкСм. Таким чином

робоча ділянка отриманих додатних характеристик не узгоджується з характеристиками датчика.

Тому, для розширення динамічного діапазону передавальної характеристики системи обробки сигналів датчика було виконано оптимізацію підсилення каскаду на U1A шляхом зміни глибини негативного зворотного зв'язку резистором  $R_5$  при фіксованому значенні опорів резисторів вхідного дільника  $R_3 = 6\text{кОм}$ ,  $R_4 = 4\text{кОм}$ . Отримані таким чином результати показані на рис. 2.18.

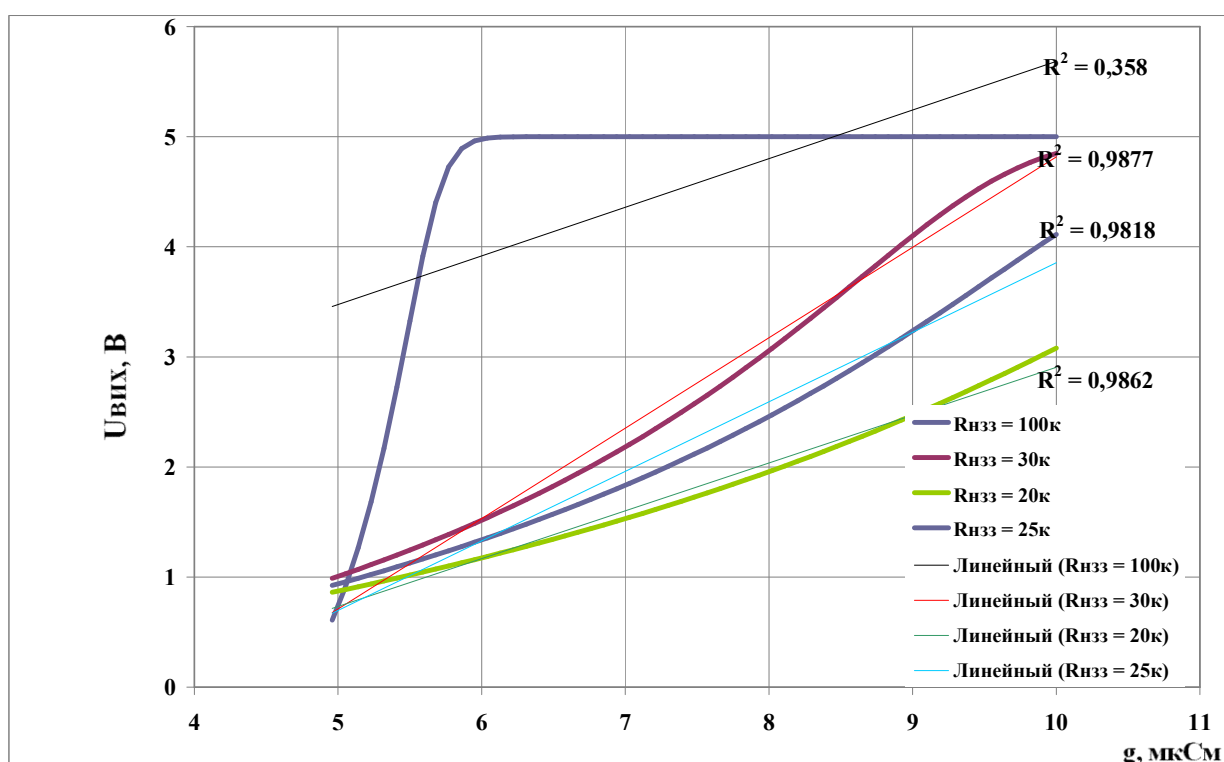


Рисунок 2.18 – Результати моделювання впливу опору зворотного зв'язку на передавальну характеристику схеми.

З рис. 2.18 слід, що при зменшенні опору резистора у ланцюзі зворотного зв'язку підсилювального каскаду розширюється динамічний діапазон за провідністю датчика при зменшенні чутливості від  $\approx 5,66\text{ В/См}$  до  $\approx 0,353\text{ В/См}$ .

Таким чином для здійснення параметричної оптимізації передавальної характеристики схеми необхідно оцінити ступінь лінійності враховуючи зміну динамічного діапазону вихідної напруги.

На рис. 2.18 для цього було використано коефіцієнт множинної регресії  $R^2$ . В результаті здійснено оцінювання впливу опору резистора в ланцюзі негативного зворотного зв'язку, що наведено на рис. 2.16.

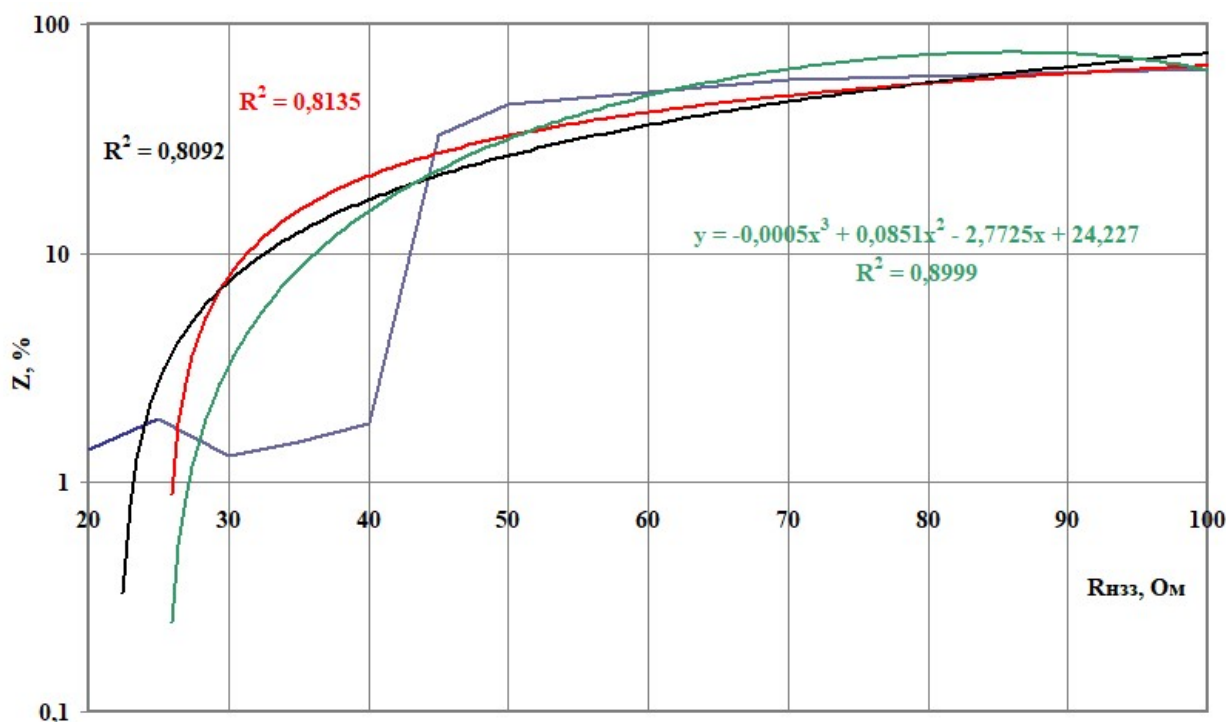


Рисунок 2.19 – Залежність похибки вимірювань від опору негативного зворотного зв'язку.

Аналіз рис. 2.19 показує, що з точки зору мінімізації похибки вимірювань оптимальним є значення резистору у ланцюзі негативного зворотного зв'язку – 25 кОм. При цьому вихідна напруга схеми змінюється у діапазоні від 0,95 В до 4,15 В, що забезпечує достатньо роздільну здатність з наступними схемами обробки і перетворення сигналів.

Для встановлення аналітичної залежності похибки вимірювань від опору ланцюга негативного зворотного зв'язку було проведено апроксимацію

даних лінійною, логарифмічною та поліноміальною залежністю. Найбільший ступінь збігу при цьому спостерігався для апроксимації за допомогою поліному третього ступеню ( $R^2 = 0,899$ ). Тому аналітична залежність може бути наведена як:

$$Z = 0,000 R^3 + 0,0851 R^2 - 2,772 R + 24,23, \quad 2.1$$

де  $Z$  - похибка вимірювань концентрації озону, %;  $R$  – опір ланцюга негативного зворотного зв'язку, МОм. Як слід з рисунку 2.19 за допомогою формули 2.1 дозволяє визначити похибку вимірювання концентрації озону з точністю 0,111.

### 3 РОЗРОБКА СХЕМИ ВИМІРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ

#### 3.1 Розробка структурної схеми

Концепція побудови сучасних інформаційно – вимірювальних систем передбачає виконання обробки даних у цифровому виді. Для цього вихідний сигнал датчиків перетворюється у відповідний цифровий код за допомогою одного з двох методів:

- використання аналого – цифрового перетворювача (АЦП);
- використання перетворювачів «напруга – частота».

Перший метод є переважно з точки зору точності перетворення, а другий з міркувань зниження матеріальних витрат, тому для підвищення параметрів вимірювача концентрації озону було запропоновано його реалізацію з використанням АЦП. Розроблено відповідно до цього структурну схему блоку обробки сигналів датчика озону наведено на рис 3.1.

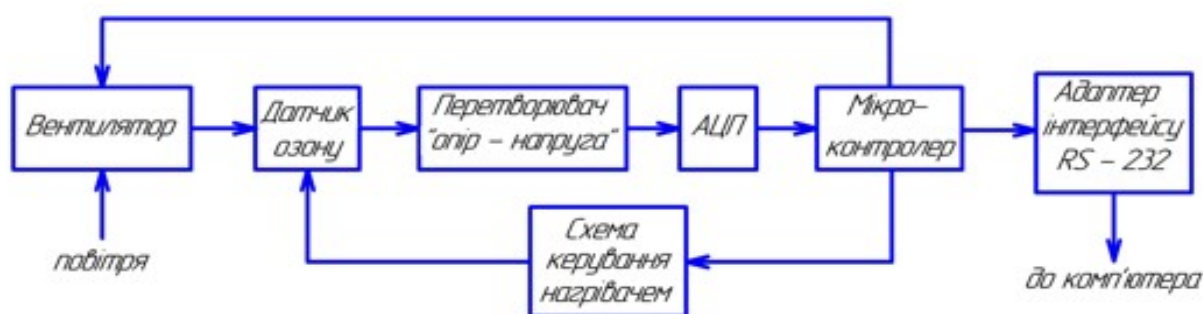


Рисунок 3.1 – Структурна схема вимірювача концентрації озону

В наведеній схемі для створення ламінарного потоку повітря до чутливого елемента датчика озону використовується вентилятор. Так як під дією молекул озону змінюється опір датчика, то необхідне використання перетворювача, напруга якого пропорційна зміні провідності сенсора. Далі



сигнал надходить на вхід АЦП, що формує цифровий код який відповідає рівню концентрації озону. Для обробки дискретних даних у значення концентрації застосовується мікроконтролер. Також за його допомогою через схему керування нагрівачем здійснюється підготовка датчика до проведення вимірювань. Крім того, результати вимірювань можуть бути передані у цифровому вигляді до комп'ютера через адаптер інтерфейсу «RS 232», для наступного збереження та аналізу статистичними методами.

### 3.2 Обґрунтування обрання мікроконтролера

Основою виробництва мікроконтролерів стоїть фірма Intel із сімействами восьмирозрядних мікроконтролерів 8048 та 8051. Архітектура MCS-51 отримала свою назву від першого представника цього сімейства – мікроконтролера 8051, випущеного у 1980 році на базі технології NMOS. Вдалий набір периферійних пристроїв, можливість гнучкого вибору зовнішньої чи внутрішньої програмної пам'яті та прийнятна ціна забезпечили цьому мікроконтролеру успіх на ринку. З погляду технології мікроконтролер 8051 був для свого часу дуже складним виробом - у кристалі було використано 128 тис. транзисторів, що вчетверо перевищувало кількість транзисторів у 16-розрядному мікропроцесорі 8086.

Основними елементами базової архітектури є:

- 8-розрядне АЛП на основі акумуляторної архітектури;
- 4 банки регістрів, по 8 у кожному;
- вбудована пам'ять програм 4Кбайт;
- внутрішнє ОЗУ 128 байт;
- бульбовий процесор;
- 2 шістнадцятирозрядні таймери;
- контролер обробки переривань із двома рівнями пріоритетів;
- контролер послідовного каналу (UART);

- чотири 8-розрядні порти введення/виводу, два з яких використовуються як шина адреси/даних для доступу до зовнішньої пам'яті програм і даних;
- вбудований тактовий генератор.

Наступним важливим кроком у розвитку MCS-51 став перехід технології виготовлення на CHMOS. Це дозволило реалізувати режими Idle і Power Down, що дозволили різко знизити енергоспоживання кристала і відкрили шлях до застосування мікроконтролера в енергозалежних програмах, наприклад, в автономних приладах з батарейним живленням.

І останнім важливим етапом розвитку цього напрямку фірмою Intel у рамках 8-бітної архітектури став випуск мікроконтролерів 8xC51FA/FB/FC, які для стислості часто позначаються як 8xC51FX. Головною відмінністю цієї групи кристалів є наявність у них масиву програмованих лічильників (PCA).

Мікроконтролери сімейства MCS-251. Спочатку найбільш "вузькими" місцями архітектури MCS-51 були 8-розрядне АЛУ на базі акумулятора та відносно повільне виконання інструкцій (для виконання найшвидших інструкцій потрібно 12 періодів тактової частоти). Це обмежувало застосування мікроконтролерів сімейства у додатках, що вимагають підвищеної швидкодії та складних обчислень (16- та 32-бітових). Проблема модернізації ускладнювалася тим, що до початку 90-х років вже була створена маса матеріалу у галузі програмного та апаратного забезпечення, і одним з основних завдань розробки нової архітектури була реалізація апаратної та програмної сумісності зі старими розробками на базі MCS-51. Для вирішення цього завдання було створено спільну групу зі спеціалістів компаній Intel та Philips. В результаті з'явилися 2 істотно відмінні сімейства: MCS-251/151 у Intel і 51XA у Philips.

Основні характеристики архітектури MSC-251:

- 24-розрядний лінійний адресний простір, що забезпечує адресацію до 16М пам'яті (мікроконтролери сімейства MCS-251, що випускаються, мають адресний простір пам'яті обсягом 256К);

- система команд мікроконтролерів сімейства MCS-251 містить усі 111 команд, що входять до системи команд мікроконтролерів сімейства MCS-51 ("старі" команди), і, крім того, до неї входять 157 "нових" команд. Коди деяких нових команд мають формат 4 байти;
- реєстрова архітектура, що допускає звернення до регістрів як до байтів, слів та подвійних слів;
- сторінковий режим адресації для прискорення вибірки інструкцій із зовнішньої програмної пам'яті;
- черга інструкцій;
- розширений набір команд, що включає 16-бітові арифметичні та логічні інструкції;
- розширений адресний простір стеку до 64К;
- виконання найшвидшої інструкції за 2 такти;
- сумісність лише на рівні двійкового коду з програмами для MCS-51.

Мікроконтролери сімейства MCS-96 фірми Intel призначені для використання в контрольно-вимірювальних системах і приладах як мікропроцесорні пристрої, що вбудовуються. Основними перевагами мікроконтролерів сімейства MCS-96 є:

- розширена розрядна сітка, що дозволяє виконувати операції з даними, представленими у форматі "байт" (8 біт) та форматі "слово" (16 біт), а деякі операції - у форматі "подвійне слово" (32 біти);
- покращена система операцій, що містить операції множення та поділу для чисел зі знаком і без знака при різних форматах представлення даних, операції зсуву на задану кількість розрядів, операції групового пересилання;
- досконала система команд, що має у своєму складі двоадресні та триадресні команди арифметичних та логічних операцій з різними

способами адресації, що дозволяє створювати компактні та швидкодіючі програми;

- різноманітність розташованих на кристалі периферійних пристроїв, що виконують функції введення та виведення даних, подій та аналогових сигналів, обслуговування запитів переривання без переривання поточної програми, контролю правильності функціонування мікроконтролера, що дозволяє розробляти малогабаритні та надійні пристрої з мінімальним числом додаткових мікросхем;
- наявність великої кількості програмних і програмно-апаратних засобів підтримки розробки апаратури з урахуванням мікроконтролерів сімейства MCS-96.

Мікроконтролери INTEL MCS 196/296 - високопродуктивні 16-розрядні мікроконтролери для вирішення завдань вбудованого керування обладнанням: від виробів побутової техніки, периферійних пристроїв ЕОМ до автомобільної та літакової електроніки.

У сімейство MCS-196 фірми Intel (іноді використовується і назва 80C196) входить понад 30 різновидів мікроконтролерів. Це 16-розрядні швидкодіючі ІС високого ступеня інтеграції, орієнтовані на вирішення завдань управління процесами в реальному масштабі часу. Типові області застосування цих мікроконтролерів - управління двигунами, модеми, гальмівні системи, контролери жорстких дисків, медичне устаткування.

Історія MCS-196 налічує понад 12 років. За цей час фахівці фірми Intel збільшили адресний простір з 64 Кбайт до 6 Мбайт, підвищили тактову частоту з 10 до 50 МГц, покращили швидкодію в 16 разів і досягли зниження ціни на кристал приблизно в 4 рази.

Прообразом контролерів сімейства PIC з RISC архітектурою послужив периферійний контролер (Peripheral Interface Controller - PIC), розроблений в 1975 відділенням компанії General Instrument Microelectronics Inc для підтримки введення-виведення 16-розрядного процесора. Оскільки до

контролера не пред'являлося високих вимог щодо обробки даних, він мав обмежений набір команд, при цьому майже всі команди в ньому виконували один машинний цикл. Інша особливість контролера - використання Гарвардської архітектури, заснованої на розподілі шин та областей пам'яті для даних та команд. Пізніше відділення компанії General Instrument виділилося в самостійну фірму (Microchip Technology Ltd.), яка наприкінці 1980-х років розробила і виготовила перші моделі мікроконтролерів сімейства PIC16C5x. Подальший розвиток та вдосконалення контролерів йшло шляхом розширення складу периферійних пристроїв та набору команд, удосконалення технології та поліпшення характеристик. Протягом минулих років фірмою випущено кілька сімейств PIC, кожне з яких постійно поповнюється новими моделями (версіями).

Огляд PIC-контролерів. В даний час фірма Microchip випускає п'ять сімейств мікроконтролерів:

- PIC 16 C 5 X включає недорогі контролери з мінімальним набором периферійних пристроїв;
- PIC12Cxxx містить МК у мініатюрному 8-вивідному корпусі з вбудованим тактовим генератором та модулем 8-розрядного моделей);
- PIC16x/7x/8x/9x поєднує МК з розвиненою периферією (таймери-лічильники з опціями захоплення/порівняння, широтно-імпульсні модулятори, аналогові компаратори, АЦП, контролери послідовних інтерфейсів);
- PIC 17C4x/5xx включає високопродуктивні МК з розширеною системою команд та великою периферією. Мікроконтролери цього сімейства мають вбудований апаратний множник 8 r 8, що виконує операцію множення за машинний цикл;
- PIC18Cxxx — нове сімейство з оптимізованим під використання Cі-компілятора RISC –ядром та частотою внутрішньої шини до 10 МГц.

Молодші моделі. До них відносяться МК серії 16C5x та 8-вивідні МК серії 12C5xx, які реалізують нижній рівень можливостей мікроконтролерів сімейства PICMicro і використовуються для створення невеликих та простих додатків. Вони виконують безліч команд старших моделей і програмно сумісні з ними. Молодші моделі зіграли велику роль у розвитку сімейства PICMicro. Однак обмежені можливості обробки переривань, малий обсяг доступної пам'яті програм і RAM, відсутність внутрішньо системного програмування та портів вводу/виводу з розширеними функціями, зниження вартості технологічних витрат стали причинами переходу до моделей мікроконтролерів середнього рівня, які продавалися за такою ж (і навіть нижчою) ціни, як і МК молодших моделей.

Середні моделі. Моделі середнього рівня утворюють закінчену лінію мікроконтролерів (серія 16Cxx) з безліччю різних функцій і набули найбільш широкого поширення. Вони мають таку ж базову архітектуру, як мікроконтролери молодших моделей, але суттєво відрізняються можливостями обробки переривань.

Старші моделі. Мікроконтролери старших моделей (серії 17Cxx) розроблялися взаємодіючі з іншими цифровими пристроями. Тому в них відсутні наявні в моделях середнього рівня АЦП та пристрої для підключення датчиків. У контролерах застосовуються 16-бітні команди, здатні адресувати по 128К байт пам'яті програм та пам'яті даних (64К слів по 16 біт). Для читання/запису пам'яті програм МК використовується модифіковане ядро центрального процесора, що дозволяє різним командам звертатися до всіх регістрів процесора. Це підвищує гнучкість мікроконтролерів та розширює області їх застосування. Молодші і середні моделі такої можливості не мають. Крім того, у старших моделях PICMicro є кілька векторів переривань, тоді як у мікроконтролерах середнього рівня використовується лише один вектор переривання.

Загальними характеристиками більшості моделей контролерів є:

- RISC – архітектура (з двоступінчастим конвеєром), що забезпечує виконання більшості команд процесора за один машинний цикл;
- Гарвардська архітектура (з роздільними шинами даних та програм), що забезпечує одночасний доступ до пам'яті даних та програм;
- КМОП технологія, що забезпечує: повністю статичний режим роботи, при якому зупинка тактового генератора не призводить до втрати логічних станів внутрішніх вузлів; • широкий діапазон напруги живлення (2...6 В) та температур (–40...+70 °С); • мале енергоспоживання;
- наявність таймера-лічильника з програмованим попереднім дільником, сторожового таймера з вбудованим R C-генератором, таймера-лічильника реального часу - TM R 0, регістру стану - STATUS; регістру непрямої адресації - FSR та ін;
- прямий та непрямий режими адресації; режим зниженого споживання енергії.

Фірма Motorola має найширшу в світі номенклатуру мікроконтролерів (близько 300 моделей - від найпростіших дешевих 8-розрядних до високопродуктивних 32-розрядних мікроконтролерів з RISC-ядром і потужною периферією), що охоплює практично всі галузі застосування. Тому користувач має можливість вибрати для свого застосування оптимальну модель мікроконтролера, як за набором вбудованих функцій, так і за економічними параметрами. Важливою особливістю мікроконтролерів є їхня висока якість і надійність.

Перший мікроконтролер популярного досі сімейства HC05 з'явився одночасно з контролером 8051АН. Нині сімейство HC05 налічує близько 180 різних типів контролерів, виконаних з урахуванням принстонської архітектури. Завдяки різноманітності периферійних модулів при незмінному і дуже простому процесорному ядрі HC05 перед розробником відкриваються широкі можливості з реалізації різних технічних рішень при повному задоволенні вимог (високої продуктивності, низької вартості виробу та ін)

без надлишкових ресурсів в архітектурі. Пізніше з'явилися універсальні та більш продуктивні мікроконтролери сімейства HC11 як доповнення до дешевих «замовних» контролерів сімейства HC05.

Відмінними рисами сімейства HC11 є:

- можливість виконання операцій над 16-розрядними операндами;
- додаткові способи адресації;
- підвищена частота внутрішньої шини (до 4 МГц);
- три типи пам'яті на кристалі: одноразово програмованого ПЗУ програм, статичного ОЗУ даних та ПЗУ даних з електричним способом програмування та стирання.

Представлене фірмою «Motorola» нове 8-розрядне сімейство HC08 має поступово замінити мікроконтролер сімейства HC05 та стати новим «промисловим стандартом» 8-розрядних МК фірми. Основні переваги сімейства HC08:

- програмна сумісність «знизу вгору» із процесорним ядром сімейства HC05 (на рівні вихідного тексту та об'єктних кодів);
- наявність 8-розрядного АЛУ, що дозволяє підвищити продуктивність центрального процесора HC08 у 6 разів у порівнянні з процесором сімейства HC05. Це стало можливим завдяки підвищенню частоти обміну внутрішньої шини до 8,0 МГц, суміщення циклів виконання та вибірки наступної команди, введення спеціальних команд перегляду таблиць та організації циклів, збільшення способів адресації операндів.
- використання FLASH-технології для ПЗП програм користувача. Розроблено дві моделі повністю ідентичних мікроконтролерів, що відрізняються лише технологією занесення інформації до ПЗУ програм (maskROM або FLASH). Контролери з пам'яттю програм типу FLASH дозволяють реалізувати режим програмування в системі, в цьому режимі прикладна програма заноситься на згадку про контролера, який стаціонарно розташований на платі виробу.



Коди програми передаються за послідовним інтерфейсом від персонального комп'ютера;

- наявність розширеного набору контролерів послідовного обміну у бібліотеці периферійних модулів сімейства. Крім стандартних портів асинхронного (SCI) та синхронного (SPI) обміну, розроблені контролери для роботи в промислових мережах з протоколом CAN та для перспективної шини обчислювальної техніки USB;
- покращені можливості налагодження мікроконтролерів: вбудований монітор та спеціальний порт дозволяють робити налагодження прикладних програм управління безпосередньо на платі кінцевого виробу без використання дорогих схемних емуляторів;
- використання спеціальних схемотехнічних рішень підвищення надійності роботи мікроконтролерів за умов електромагнітних перешкод.

AVR – це назва популярного сімейства мікроконтролерів, яке випускає компанія Atmel. Крім AVR під цим брендом випускаються мікроконтролери та інші архітектури, наприклад, ARM та i8051.

Існує три види мікроконтролерів:

- AVR 8-розрядний;
- AVR 32-розрядний;
- AVR xMega;

Найбільш популярним вже більше десяти років є саме 8-бітне сімейство мікроконтролерів. Багато радіолюбителів почали використовувати мікроконтролери з нього.

Мікроконтролери AVR 8-bit у свою чергу діють на двох популярних сімействах:

- Attiny –в основному мають від 8 пінів і більше. Об'єм їх пам'яті функціонує зазвичай скромне, чим у наступному;

- Atmega – більш продвинуті мікроконтролери, мають більше кількості пам'яті, виводів і різних функціональних вузлів;

Найпотужнішим підсмейством мікроконтролерів є xMega – ці мікроконтролери випускаються в корпусах з величезною кількістю пінів, від 44 до 100. Тільки необхідно для проектів з великою кількістю датчиків і виконавчих механізмів. Крім того, збільшений обсяг пам'яті та швидкість роботи дозволяють отримати високу швидкодію.

Розробник може використовувати аналоговий сигнал, що підводиться його на вхід мікроконтролера та маніпулює з даними про його значення. Цю роботу виконує АЦП. Дана функція дає змогу спільно використовувати з мікроконтролером, а також приймати різні параметри навколишнього середовища за допомогою датчиків.

У поширених AVR - мікроконтролерах Atmega328, використовується 8-канальний АСР, з розрядністю 10 біт. Розрядність – це величина, яка характеризує якість, точність і чутливість аналогового входу.

Щоб керувати потужністю навантажень у вашому розпорядженні, є ШІМ-канали, їх можна діяти, наприклад, для регулювання яскравості, температури або оборотів двигуна.

Це дозволяє обчислити значення з 8 аналоговими датчиками. А до цифрових виводів підключаються цифрові датчики, що може бути очевидним. Однак цифровий сигнал може бути лише 1 (єдиною) або 0 (нулем), у той час як аналоговий може приймати безліч значень.

Для вимірювача концентрації озону було обрано мікроконтролер ATmega328.

ATmega328 – це 8-бітний 28-контактний мікроконтролер AVR, що виробляється Microchip, що відповідає RISC Architecture. Він виготовляється за малоспоживаючою КМОН (комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник) технологією, яка у поєднанні з удосконаленою RISC архітектурою дозволяє досягти найкращого співвідношення швидкодії-енергоспоживання. Мікроконтролер побудований за двошинною

(гарвардською) архітектурою та має роздільні шини пам'яті програм та пам'яті даних. Структурна схема мікроконтролера зображена на рис. 3.2.

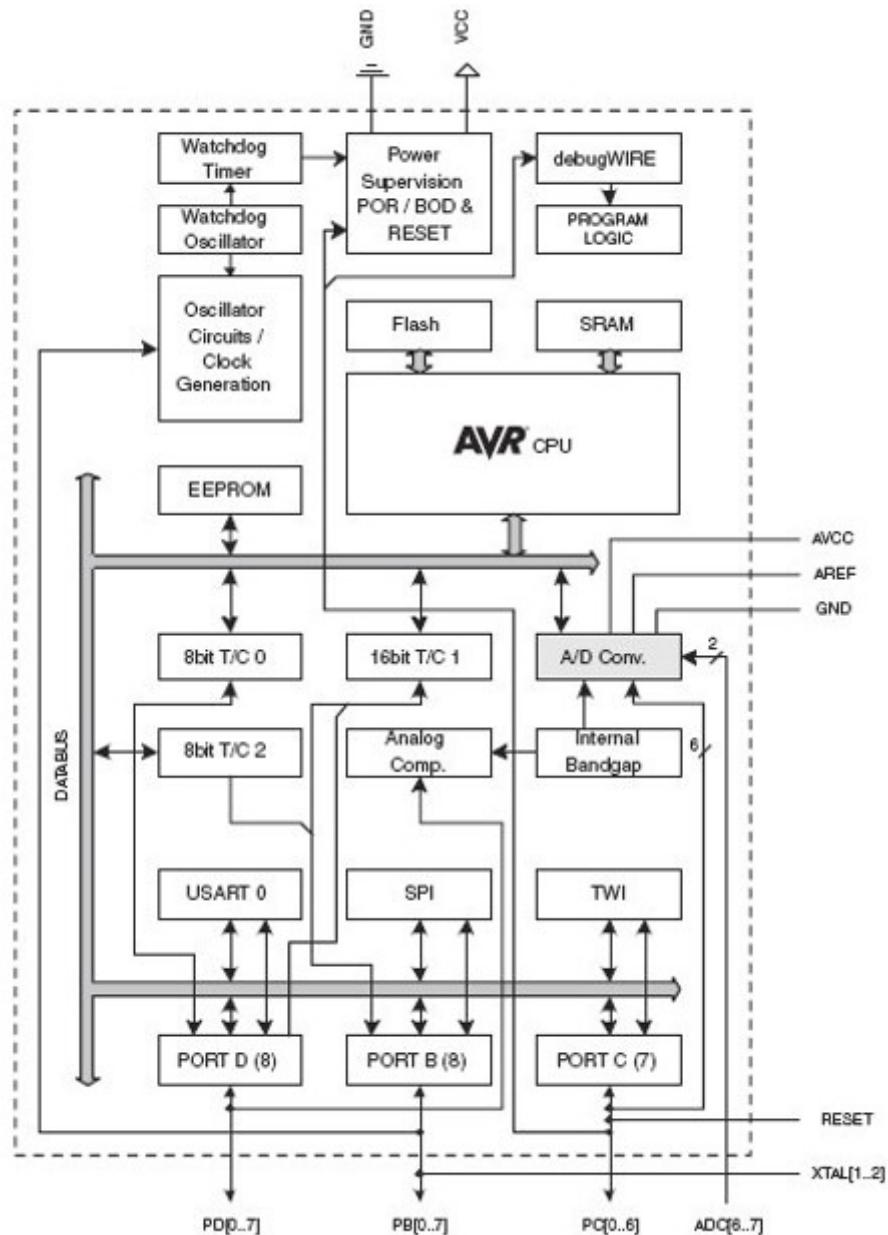


Рисунок 3.2 – Структурна схема мікроконтролера ATmega328

Мікроконтролер має наступні характеристики:

- FLASH пам'ять програм об'ємом 32 Кбайт (кількість циклів стирання / запису не менше ніж 1000);
- оперативна пам'ять об'ємом 2 Кбайт;

- пам'ять даних на основі EEPROM об'ємом 2 Кбайт (кількість циклів стирання / запису не менше ніж 100000);
- можливість захисту від читання та модифікації пам'яті програм та даних;
- можливість програмування в системі через послідовний інтерфейс SPI та JTAG;
- різноманітні способи синхронізації;
- наявність декількох режимів зниженого енергоспоживання;
- наявність детектору зниження напруги живлення;
- можливість програмного зниження частоти тактового генератора.

Підсистема вводу/виводу має 3 порти введення-виводу (23 лінії): В (8 ліній), С (7 ліній) та D (8 ліній); програмне конфігурування та вибір портів вводу/виводу; виводи можуть бути запрограмовані як вхідні або як вихідні; вхідні буфери із тригером Шмітта на всіх виводах; можливість підключення до всіх входів внутрішніх резисторів.

Периферійні пристрої мають 8 розрядні таймери/лічильники (таймери T0 та T2), 16-розрядний таймер/лічильник (таймер T1), сторожовий таймер WDT, 6 каналів ШІМ, аналоговий компаратор, 6-ти каналний 10-розрядний АЦП, повнодуплексний універсальний синхронний/асинхронний приймач (USART), послідовний синхронний інтерфейс SPI та послідовний двопровідний інтерфейс TWI (аналог інтерфейсу I2C).

Архітектура ядра. Арифметико-логічний пристрій (АЛУ), що виконує всі обчислення, підключений безпосередньо до 32 робочих регістрів, об'єднаних в регістровий файл.

АЛУ виконує одну операцію (читання регістрів, виконання операції та запис результату в регістр) за один машинний цикл. Практично кожна з команд (за винятком команд, у яких одним з операндів є 16-розрядна адреса) займає один осередок пам'яті програм. Конвеєризація полягає в тому, що під час виконання поточної команди здійснюється вибірка з пам'яті та дешифрація коду наступної команди.

Пам'ять програм необхідна для зберігання команд, управляючих функціонуванням мікроконтролера. Пам'ять програм має 16-розрядну організацію, тому для ATmega328 її довжина дорівнює 16 К (16×1024) 16-ти розрядних слів. Логічно пам'ять програм розділена на дві нерівні частини - область прикладної програми та область завантажувача (2 КБ). В останній може розташовуватися спеціальна програма (завантажувач), що дозволяє мікроконтролеру самостійно керувати завантаженням та розвантаженням прикладних програм. Для адресації пам'яті програм використовується 16-розрядний лічильник команд (Program Counter). На адресу \$0000 пам'яті програм знаходиться вектор скидання. Після ініціалізації (скидання) мікроконтролера виконання програми починається з цієї адреси (за цією адресою повинна розміщуватись команда переходу до ініціалізаційної частини програми). Починаючи з адреси \$0002 розміщується таблиця векторів переривань.

### 3.3 Розробка схеми електричної принципової вимірювача концентрації озону

Схему електрична принципова вимірювача концентрації озону розроблена відповідно до структурної схеми (рис 3.1) наведено на рис. 3.3.

У наведеній схемі у якості DD1 використано мікросхему CH340G – перетворювач інтерфейсів USB - UART, що випускається китайською компанією WCH яка з'явилася на ринку порівняно недавно, і дуже швидко набула широкої популярності. З основних причин цього можна назвати низьку вартість, підтримку основних операційних систем, роботу з рівнями 3,3 В та 5 В і завдяки мінімальним додатковим компонентам має зручний для паяння корпус SOIC-16.

CH340G створює віртуальний послідовний порт, що емулює всі функції реального COM-порту (з повним контролем сигналів керування передачі даних – RTS, DTR, DCD, RI, DSR та CTS).

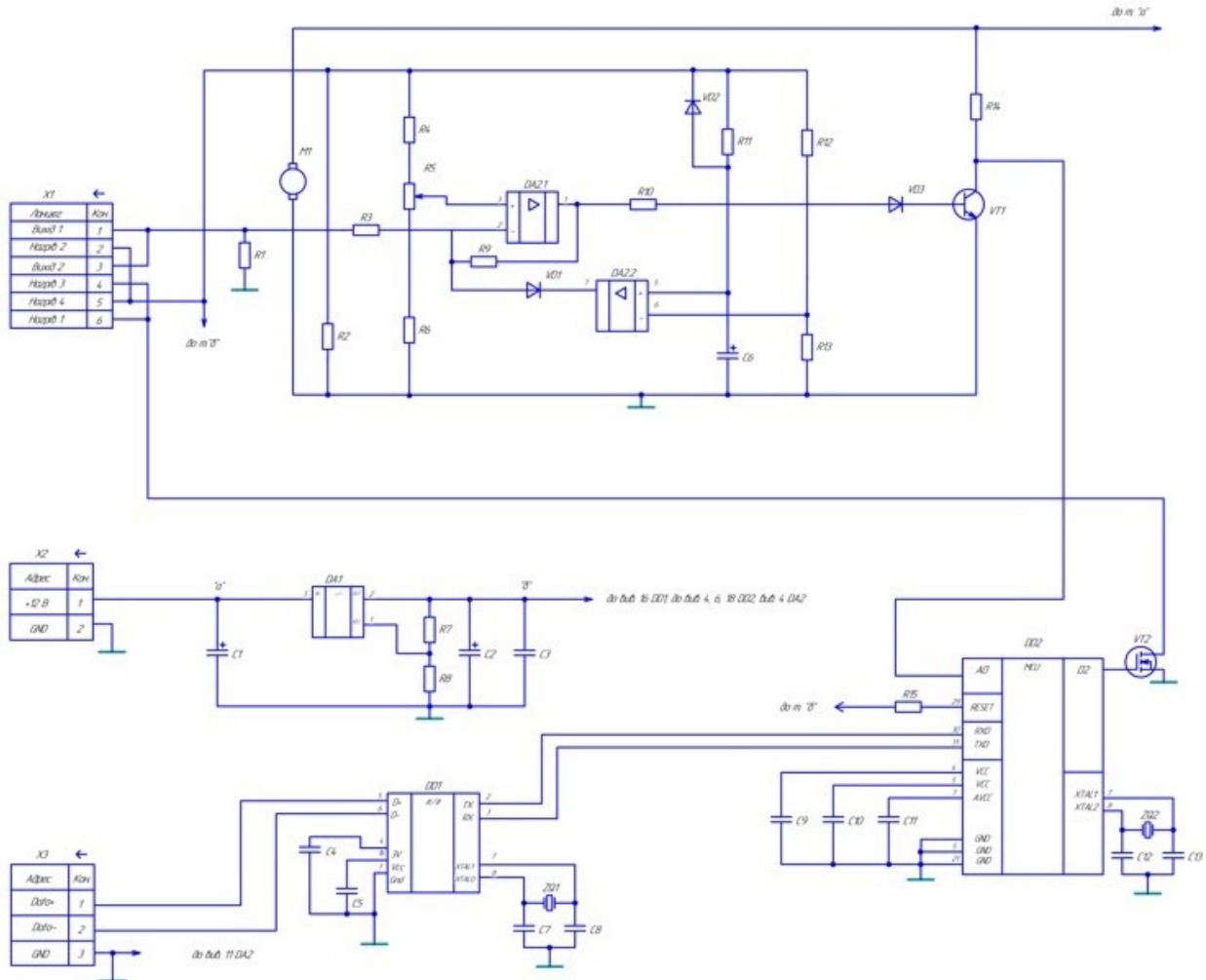


Рисунок 3.3 – Схема електрична принципова вимірювача концентрації озону

Мікросхема підтримує специфікацію USB 2.0. Швидкість обміну UART може бути в діапазоні від 50 біт/сек, до 2 Мбіт/сек. Апаратна частина підтримує послідовний дуплексний інтерфейс із внутрішнім буфером FIFO.

Мікросхема вимагає мінімум зовнішніх компонентів - 4 конденсатори та кварцовий резонатор. Наявність внутрішніх підтягуючих резисторів для

шини USB та ланцюгів подавлення відбитого сигналу дозволяє підключати виводи UD+ та UD- безпосередньо до відповідних сигналів роз'єму USB.

У якості операційних підсилювачів DA2.1, DA2.2 використано LM324. Мікросхема відрізняється прямим диференціальним входом, компенсацією внутрішніх частот при разовому посиленні та неможливістю короткого замикання.

Робота операційного підсилювача LM324 можлива в спектрі напруги джерела електроенергії 3-32 В. Є два види корпусів для випуску цієї мікросхеми - SOIC і DIP.

Корпус мікросхеми складається з чотирьох не пов'язаних один з одним підсилювачів. Вони відрізняються своїми перевагами щодо типових варіантів пристроїв, що використовуються у конструкціях однополярного живлення. Ці підсилювачі мають спільне джерело електроживлення. Вони оснащені інвертуючими та неінвертуючими входами, одним виходом. Можливе використання 1-полярного та 2-полярного джерела.

Диференціал напруги на вході може досягти напруги електроживлення. У приладу нижній показник спектра синфазного сигналу входу – менше на 0,3 В. У входу та виходу граничний показник дорівнює 1,5 В.

З особливостей можна виділити внутрішню частотну компенсації, захист від короткого замикання, великий коефіцієнт посилення за постійною напругою – 100 дБ, широка смуга пропускання (одиничний коефіцієнт посилення) – 1 МГц, мінімальний струм споживання – 700 мкА який майже не залежить від напруги живлення, низький вхідний струм усунення – 45 нА завдяки температурній компенсації, низькі вхідні диференціальні напруга зміщення – 2 мВ та струм зміщення – 5 нА.

Діапазон диференціальної вхідної напруги визначається величиною напруги живлення.

Перелік елементів до схеми електричної принципової вимірювача концентрації озону наведено у Додатку А.

### 3.4 Синтез програмного коду мікроконтролера

Для керування мікроконтролера вимірювача концентрації озону було розроблено на мові C++ програмний код блок-схема якого наведена на рис. 3.4, а його повний текст у Додатку Б.

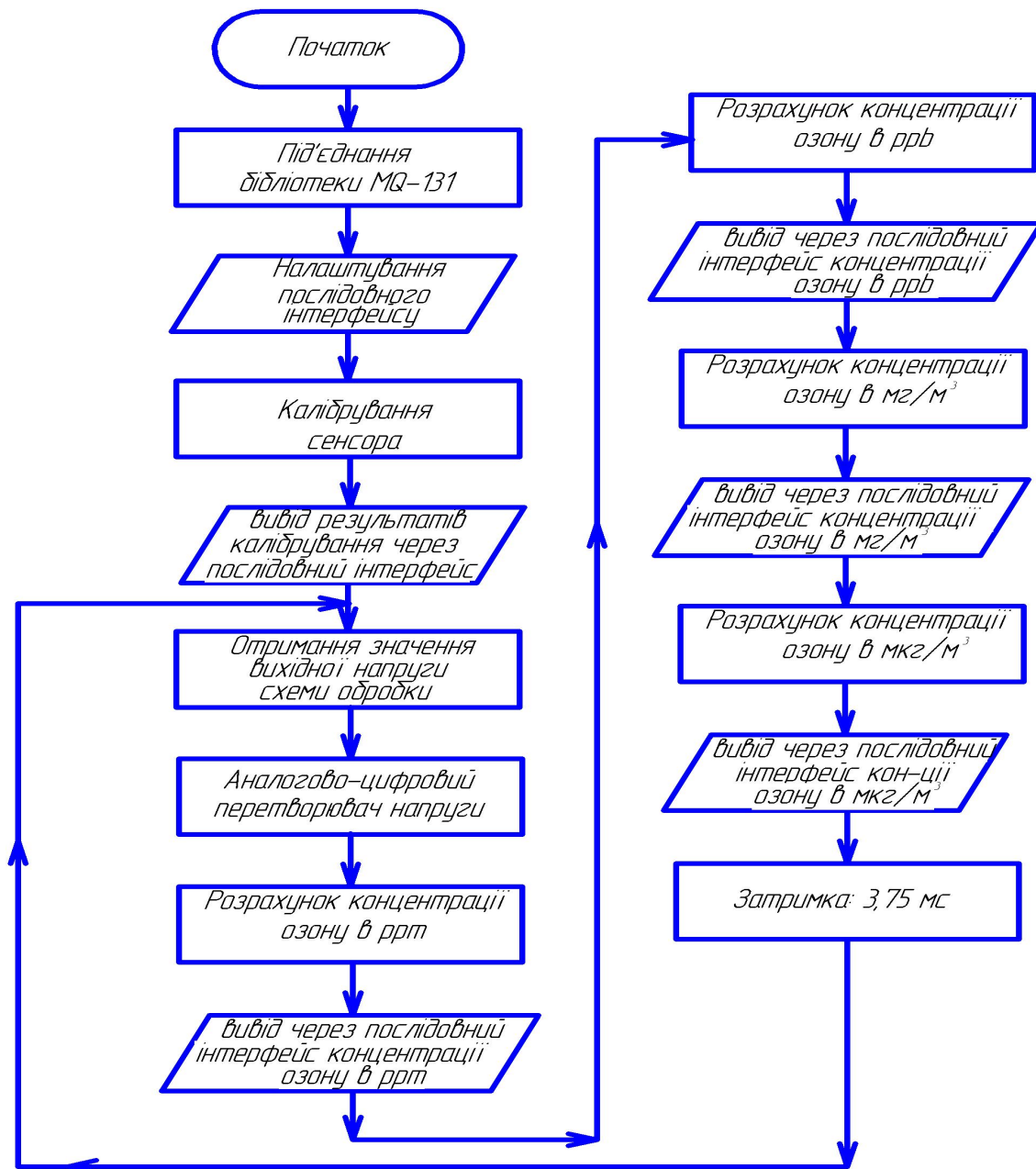


Рисунок 3.4 – Блок-схема алгоритму програмного коду вимірювача концентрації озону



На початку програми відбувається під'єднання бібліотеки для роботи з сенсором. Далі виконання налаштування послідовного інтерфейсу на швидкість передачі 115000,200 бод/с. Після цього можливе здійснення калібрування сенсору за допомогою бібліотечної функції “calibrate()”. Цей процес повинен відбуватись у чистому повітрі за температури 20 °C і відносної вологості 65%. При необхідності можливо отримати оперативні дані щодо калібрування за послідовним інтерфейсом, використовуючи бібліотечні функцію “begin()”. Під час калібрування відбувається вимірювання власного опору сенсору під час послідовного нагрівання чутливого елемента. Для отримання зазначених результатів використовуються бібліотечні функції “getR0()” та ”getTimeToRead()”. Також передбачено можливість мануального завдання цих величин за допомогою бібліотечних функцій “getR0(value)” та ”getTimeToRead(value)”.

Після калібрування сенсору здійснюється отримання значення вихідної напруги сенсора і виконання її перетворення у відповідний цифровий код за допомогою вбудованого десятирозрядного АЦП. Двійковий код потім перераховується у значення концентрації озону у величинах ppm, ppb, мг/м<sup>3</sup>, мкг/м<sup>3</sup>. Остаточні результати вимірювань виводяться до персонального комп'ютера через послідовний інтерфейс.

Через затримку у 3,75 мс цей процес циклічно повторюється.

Проведені дослідження програмного коду показали що він використовує 8004 байт пам'яті мікроконтролера (24%), а глобальні змінні займають 381 байт (18%) динамічної пам'яті.

### 3.5 Дослідження вимірювача концентрації озону

Для дослідження вимірювача було проведено його моделювання у програмному середовищі Proteus. Завдання для моделювання наведено на рис.3.5.

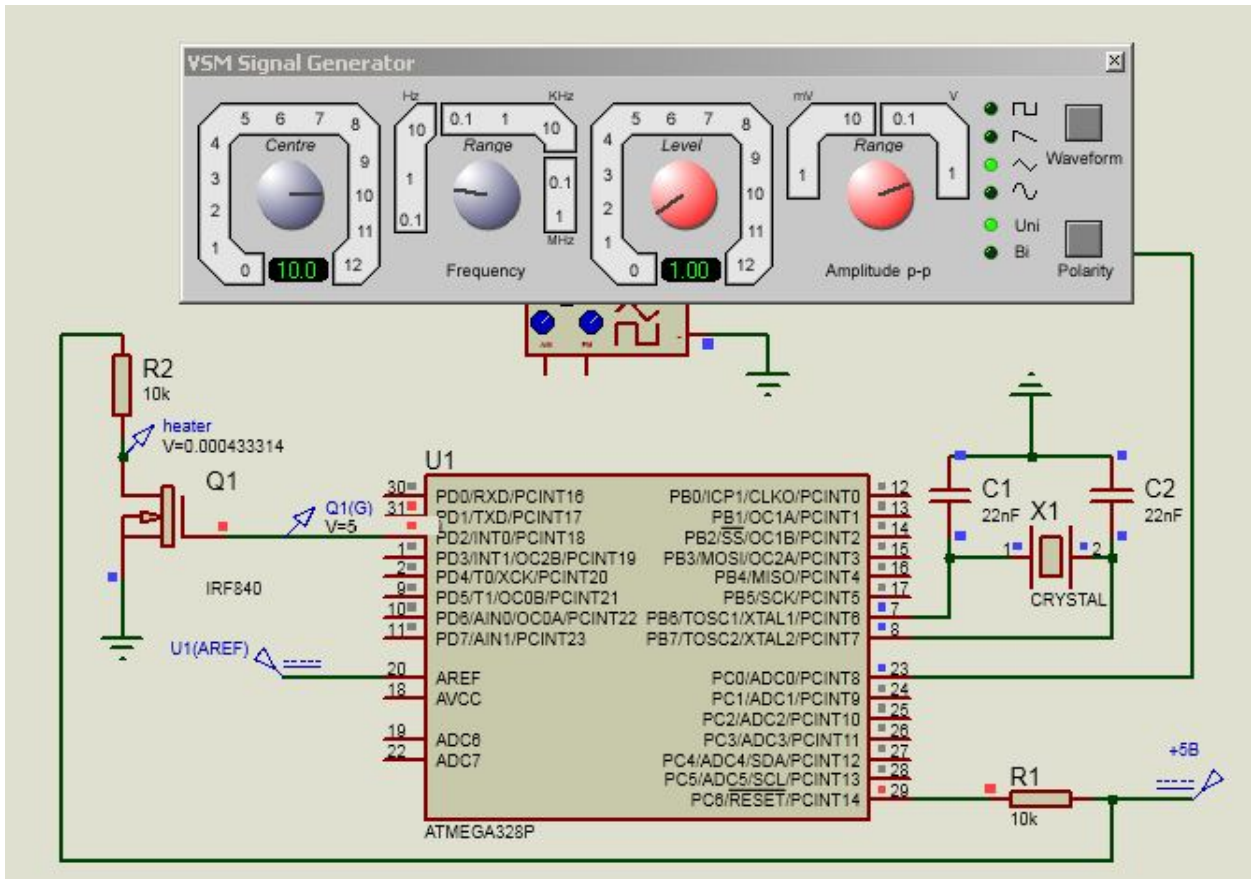


Рисунок 3.5 – Завдання для моделювання вимірювача концентрації озону

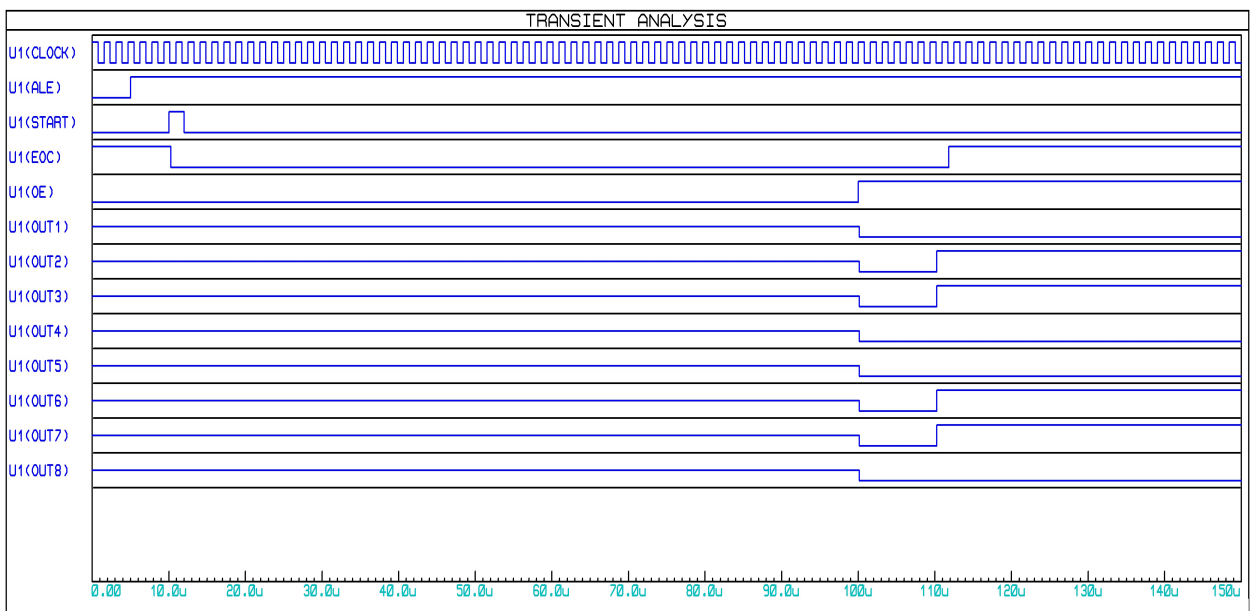


Рисунок 3.6 – Епюри напруги на цифрових виходах мікроконтролера

У наведеному завданні у якості джерела аналогового сигналу з виходу схеми обробки вимірювальної інформації використовувався візуальний генератор пилкоподібної напруги з частотою 1 Гц. Результати моделювання наведені на рис. 3.6.

Аналіз рис. 3.6 показує що при тактовій частоті 16 МГц калібрування сенсору займає 100мкс.

Проведене моделювання підтвердило працездатність розробленого програмно-апаратного комплексу вимірювача концентрації озону.

## 4 РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ВИМІРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ

### 4.1 Обґрунтування обрання інструментарію розробки

Будь яка система проектування друкованих плат являє собою складний комплекс програм, що забезпечує наскрізний цикл, починаючи з прорисовки принципіальної схеми та закінчуючи генерацією керуючих файлів для обладнання виготовлення фотошаблонів, свердлення отворів та зборки. З метою обрання інструментарію розробки було проведено порівняння таких САПР, як KiCad, Eagle, Sprint-Layout та DipTrace.

KiCad – система автоматизованого наскрізного проектування, що дозволяє створювати професійні електричні схеми, розробляти для них друковані плати та готувати вихідні дані для виробництва.

Програма KiCad написана мовою C++. До її складу входять такі основні додатки:

- менеджер проектів KiCad, що дозволяє створювати та налаштовувати параметри нових робіт;
- редактор електричних схем eeschema для малювання та компонування схем, що включає редактор символів;
- редактор друкованих плат pcbnew, що формує схему електричних ланцюгів і включає редактор посадочних місць.

Серед додаткових утиліт можна виділити переглядач файлів формату Gerber – gerbview, програму для визначення посадочних місць відповідно до компонентів на схемі – svrpcb, редактор перегляду звітів wyoeditor.

Крім того KiCad включає безліч бібліотек електронних компонентів для яких є виконані в програмі Wings3D тривимірні моделі.

Редактор eeschema дозволяє створювати багатолістові ієрархічні схеми та проводити їх перевірку на відповідність електричним правилам. У

ньому створюються переліки елементів як таблиці і netlist-список для моделювання схеми у редакторі друкованих плат. Додаткова опція дозволяє зберегти netlist у популярному форматі Spice та провести симуляцію схеми у сторонньому додатку.

Autodesk EAGLE - це програма САПР, яка використовується для проектування макета друкованої плати (PCB).

Програмний пакет Eagle складається з трьох основних компонентів: “Schematic Module” призначений для малювання електронних схем за допомогою стандартних елементів, “Layout Editor”, що дозволяє розробити креслення друкованої плати самотужки, “Autorouter” призначений для трасування друкованої плати без участі користувача.

Існує можливість скористатися стороннім трасувальником, експортуючи плату у будь-який формат. Усі переходи між модулями відбуваються усередині самої програми. Eagle має велику бібліотеку стандартних електронних компонентів з їх коротким описом, зручний редактор елементної бази та логічні модулі, що перевіряють підключення та розташування компонентів на платі. З переваг Eagle над аналогічними програмами фахівці відзначають можливість відкату подій на будь-яку кількість кроків, відсутність проблем при роботі на старих комп'ютерах, потужна скриптова мова, наявність драйверів для виведення результату на плоттер або принтер. Можливість експорту результату роботи до POV-Ray дозволяє формувати тривимірні моделі плат.

Існують платні (professional, standard) та безкоштовна (light) версії програми. У light-версії зменшено розмір корисної площі плати (10 на 8 см), доступні всього два провідні шари і один аркуш у редакторі схем на проект. Для більшості радіоаматорських робіт цього більш ніж достатньо. Безкоштовна версія дозволяє завантажувати, відкривати та роздруковувати креслення, що виходять за рамки трьох обмежень. EAGLE дозволяє створювати макет електричних проводів, центральних процесорів та інших електронних компонентів на вашій платі.

Додаток пропонує “Редактор схем”, “Редактор макета”, “Редактор бібліотек” та “Модулі Autorouter”, які допоможуть вам спроектувати вашу друковану плату. Ви можете використовувати ці модулі для зміни різних елементів друкованої плати, таких як шари, контрольні точки та властивості об'єкта. Програма включає інші функції, такі як самостійні команди, моделювання та імпорт і експорт даних.

EAGLE також надає функціональність мовної програми (ULP). ULP - це програми, які EAGLE може виконувати зміни внутрішніх даних, послідовностей команд і створення даних. Вони схожі на плагіни, оскільки вони додають функції до EAGLE. ULP використовують розширення .ULP і доступні для завантаження на веб-сайті Autodesk EAGLE.

Sprint-Layout - проста програма для створення двосторонніх та багатошарових друкованих плат. Програмне забезпечення включає багато елементів, необхідні в процесі розробки повного проекту. Sprint-Layout дозволяє наносити на плату Контакти, SMD-контакти, провідники, полігони, текст тощо. Контактні майданчики можна вибрати з широкого набору.

Серед переваг даного САПР можна віднести: інтегрований автотрасувальник котрий може швидко прокласти провідники, фотовид дозволяє побачити плату майже реальному вигляді. Це допомагає знайти помилки у створенні плати, бібліотека має можливість додавання компонентів, програма надає можливість вибору опцій зміни друку, підтримка форматів Gerber- та Excellon дозволяє передачу файлів розроблених плат на професійне виробництво.

HPGL-формат також підтримується. Програма дозволяє створити експортний файл HPGL для обробки плати на фрезерному верстаті із програмним керуванням.

Основною перевагою Sprint-Layout є інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що включає лише необхідні інструменти для підготовки друкованих плат розміром 300 на 300 мм. Програма дозволяє працювати з двома шарами (провідників та маркування) для кожної сторони плати. Додаткові можливості

– шар паяльної маски, металізація, SMD-маска. Вбудований трасувальник тільки допомагає розводити провідники і не є автоматичним. У бібліотеці, що поповнюється, містяться найбільш поширені електронні компоненти. У Sprint-Layout реалізована можливість експортувати результати роботи до популярних форматів Excellon та Gerber, а також створити файл HPGL для обробки друкованої плати на програмно-керованому фрезерному верстаті. Пакет широко застосовується для виготовлення плат ЛУТ способом.

Програма навряд чи підійде професіоналам, оскільки його можливості обмежені невеликими платами з невисокою щільністю елементів. Але, завдяки логічній і зрозумілій структурі, Sprint-Layout дуже проста в освоєнні і рекомендується проектувальникам-початківцям, які не бажають витратити свій час на вивчення складніших програм.

DipTrace – це багатофункціональна САПР з розробки електронних друкованих плат та схемотехнічної документації для проектів будь-якої складності, від ідеї до готового пристрою.

DipTrace - інтуїтивна САПР-система, яка включає:

- Простий інтерфейс користувача;
- Багатолистову та багаторівневу ієрархію;
- Швидкісний shape-based трасувальник;
- Ручне трасування з диференціальними парами;
- Широкі можливості експорту/імпорту;
- Верифікація з Real-Time DRC;
- 3D перегляд плати та STEP експорт;
- Експорт Gerber, DXF, N/C Drill, Pick & Place;
- Стандартні бібліотеки на 130 тис. компонентів;
- Безкоштовна підтримка користувачів.

DipTrace Schematic - це сучасний програмний інструмент розробки складних багаторівневих ієрархічних принципівих схем з безліччю функцій зі створення візуальних і логічних зв'язків між висновками компонентів. Схемотехніка дозволяє провести зворотну інструкцію з друкованої плати

проекту, також експортувати, або імпортувати проекти з/в інших САПР-систем, у тому числі у вигляді списків з'єднань. Система верифікації та Spice експорт для повноцінного аналізу проекту.

Стандартний пакет бібліотек DipTrace поставляється разом із програмою і на сьогоднішній день включає понад 160 тис. компонентів, близько 28 тис. корпусів, розроблених за стандартом IPC-7351. Редактори Корпусів та Компонентів дозволяють створювати відсутні компоненти за лічені хвилини.

САПР DipTrace має безліч стандартних і настроюваних шаблонів, функції масового перейменування висновків, нумерації контактних майданчиків та інструменти роботи з шинами, які мінімізують загальні витрати часу на створення бібліотек. Крім того, вбудований у редактор Генератор Корпусів, дозволяє автоматично створювати корпуси та 3D-моделі відповідно до останнього стандарту IPC-7351. Імпорт бібліотек з інших форматів, використання 3D моделей та автоматична верифікація бібліотек заощаджують час та відкривають нові можливості. Завдяки інтеграції зі SnapEDA можна отримати безкоштовний доступ до більш ніж 10 мільйонів деталей, не виходячи з програми, зберегти необхідні компоненти у своїй бібліотеці або відразу розмістити їх у проекті.

DipTrace PCB Layout дозволяє переглядати та експортувати тривимірну модель плати з усіма встановленими на ній компонентами на будь-якому етапі проектування. Модель можна обертати у всіх площинах та змінювати масштаб у реальному часі, а також змінювати колір текстоліту, доріжок/залівок, масок, шовкографії та фону. Можливий експорт моделі плати у формати STEP та VRML 2.0 для механічних САПР. Більш ніж 7,5 тис. моделей компонентів доступні для скачування, модель, яку бракує, можна завантажити в \*.step, \*.iges, \*.wrl або \*.3ds форматі і підключити до корпусу в Редакторі Корпусів або PCB Layout.

Підводячи підсумки для розробки міжелементних з'єднань вимірювача концентрації озону обрано САПР DipTrace.



## 4.2 Розробка міжелементних з'єднань

Розробка міжелементних з'єднань друкованої плати вимірювача концентрації озону виконувалась на основі схеми електричної принципової, що наведено на рис. 3.3.

Під час розробки було спроектовано двосторонню друковану плату на рис. 4.1 та рис. 4.2. Для більшої надійності та зменшення складності розробки вимірювача концентрації озону були обрані корпуси на базі SMD компонентів. Габарити друкованої плати становлять: 49х66х20 мм.

Також на рис. 4.3 було створено тривимірну модель друкованої плати вимірювача концентрації озону.

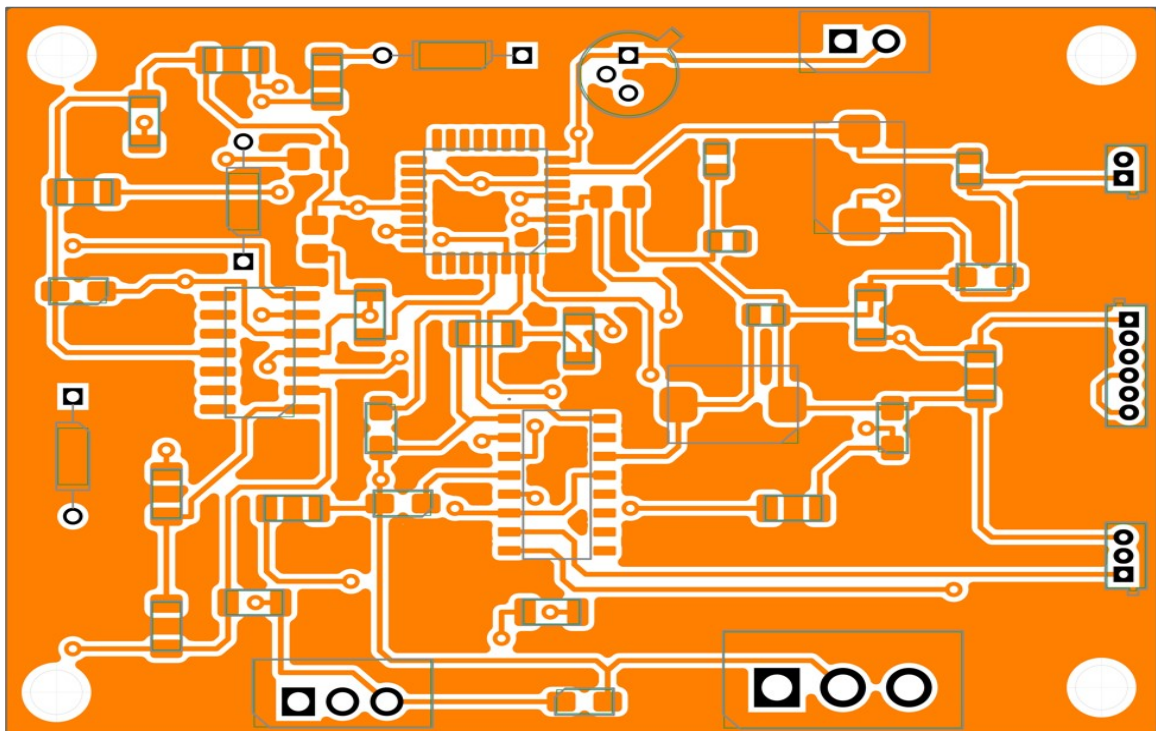


Рисунок 4.1 – Трасування друкованої плати з переднього боку

Для мікроконтролеру DD1 було обрано корпус SOIC127. Для МК ATmega328 (DD2) – QFP32P80. Польовий транзистор VT2 та

мікросхема DA2 розташовані до краю плати для можливості підключення охолодження.

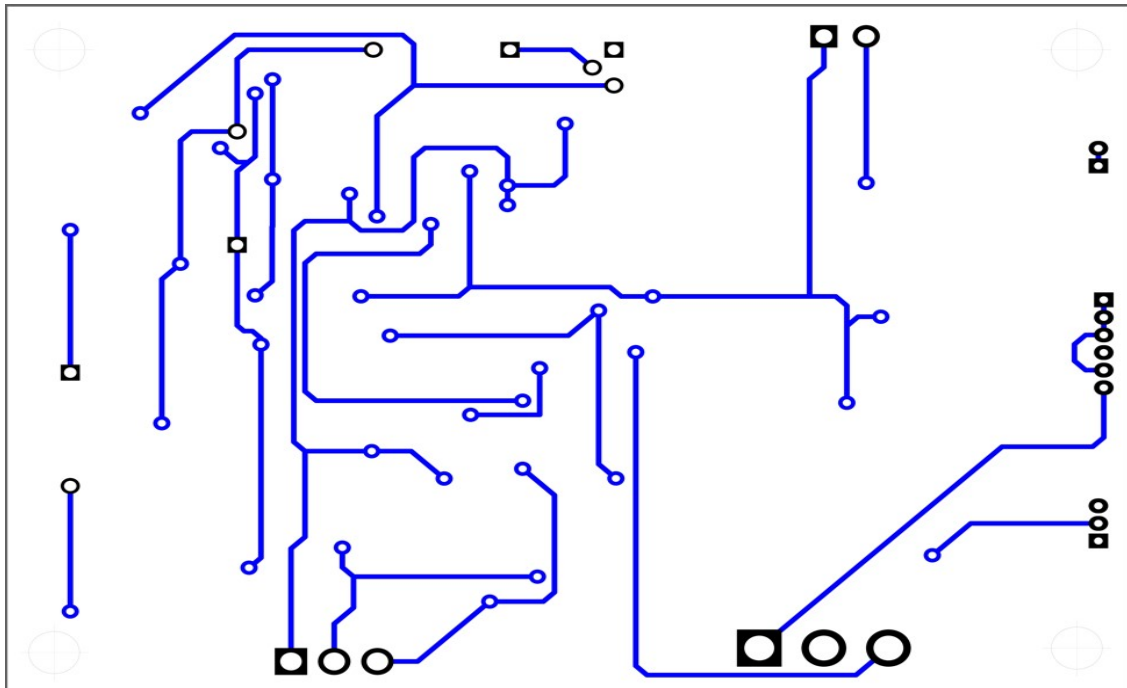


Рисунок 4.2 – Трасування друкованої плати з нижнього боку

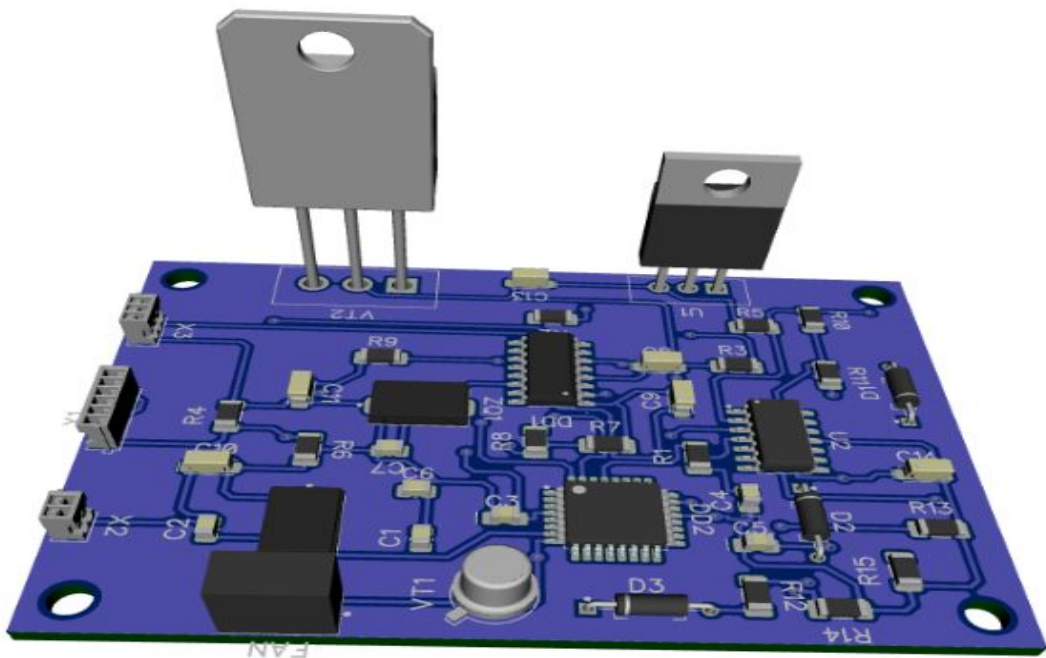


Рисунок 4.3 – Тривимірна модель друкованої плати

Таким чином, розроблена друкована плата дозволяє розробити вимірювач концентрації озону у конструктивно – технологічному вигляді, що відрізняється зменшеними габаритами, ремонтоздатністю та підвищеною надійністю.

#### 4.3 Технологія створення друкованої плати вимірювача концентрації озону

Існують різноманітні методи виготовлення друкованих плат, що відрізняються один від одного способом створення провідного покриття. Методи виготовлення друкованих плат, що отримали найбільше застосування в промисловості, можуть бути об'єднані за технологічними ознаками в три основні групи.

Перша група – отримання друкованих провідників осадженням електролітичної міді на ізоляційну основу. Для цього використовують такі методи: фотоелектрохімічний, офсетноелектрохімічний, сітковоелектохімічний, пресоелектрохімічний.

Друга група – отримання друкованих провідників травленням фольгованого ізоляційного матеріалу. Для цього використовують такі методи: фотохімічний, офсетно-хімічний, сітково-хімічний.

Третя група – комбіновані методи виготовлення друкованих плат.

Для виготовлення двосторонніх друкованих плат застосовують комбіновані методи, у яких друкарські провідники одержують шляхом хімічного травлення фольги, а міжшарові електричні з'єднуються шляхом металізації монтажних отворів.

Існують два різновиди комбінованого методу - негативний і позитивний.

У негативному варіанті друковані провідники одержують із негативу їх зображення. При позитивному варіанті комбінованого методу на відміну

від негативного основні операції проводять до хімічного травлення фольги, що забезпечує наступні переваги цього методу: запобігає зриву друкованих провідників і контактних майданчиків при свердлінні монтажних отворів, так як свердління проводиться до формування провідників у фользі заготівлі; для гальванічної металізації отворів не потрібно контактної пристрою; під час металізації отвору значно скорочується шкідливий вплив сильних хімічних реагентів на діелектрик друкованих плат.

В основі технології виготовлення двосторонніх друкованих плат з перехідними з'єднаннями методом травлення фольги лежать ті ж процеси, що і при створенні односторонніх друкованих плат, доповнених створення перехідних з'єднань. Їхня реалізація, тобто електричне з'єднання двох сторін друкованої плати, є найкритичнішою технологічною операцією. Є численні спроби задовільно вирішити цю проблему. Методи, що ґрунтуються на впаюванні дроту або штифтів або на застосуванні порожніх заклепок, малопридатні для масового виробництва та характеризуються відносно низькою надійністю.

За стандартною технологією друковані плати виготовляють на фольгованому діелектрику комбінованим позитивним або комбінованим негативним методом. Їх називають комбінованими тому, що в обох випадках витравлення малюнка друкованих провідників проводиться хімічним способом, а нарощування міді на провідники та контакти – електрохімічним.

Заготівка із фольгованого склотекстоліту покривається шаром фоторезиста (високомолекулярна сполука, яка змінює свої властивості під дією ультрафіолетового випромінювання).

З одного боку, зміщення спектральної чутливості в короткохвильову область спектру – це добре, тому що дозволяє обходитися без темного приміщення та працювати при світлі звичайних ламп розжарювання. З іншого боку, чутливість до ультрафіолетових променів викликає необхідність використання ртутних ламп у кварцовому балоні, які менш зручні в експлуатації, ніж звичайні.

Під дією випромінювання відбувається фотополімеризація шару, в результаті якої зникає розчинність у звичайних розчинниках, тому після прояву на освітлених ділянках поверхні утворюється захисний рельєф, а на затемнених – шар фоторезиста залишається без зміни та надалі вимивається.

Експонування фоторезистів, нанесених на поверхню фольгованого діелектрика, проводиться через фотошаблон, в якому система прозорих та непрозорих ділянок утворює необхідний малюнок провідників та контактних майданчиків. При подальшому прояві видаляється частина фоторезисту і утворюється захисний рельєф з малюнком і розмірами, що визначаються фотошаблоном. При цьому методі захисний шар фоторезисту зберігається на пробільних ділянках, а провідники та контактні майданчики залишаються відкритими. Оскільки фотошаблон при подібному процесі відповідає позитивному зображенню друкованої плати (темні провідники на світлому фоні), то й сам метод називають позитивним. Після прояву малюнка схеми плату покривають шаром лаку для захисту від механічних пошкоджень і спрямовують на свердління отворів. Ця операція порушує безперервність процесу, оскільки сушіння та задублювання лаку займають кілька годин, потім свердлять перехідні та монтажні отвори. Далі – видалення захисного шару і гальванічне осадження міді на провідники, контактні майданчики та отвори.

При електролітичному нарощуванні з'єднання з катодом здійснюється суцільним шаром мідної фольги, що покриває діелектрик. Цей шар захищає також поверхню діелектрика від електроліту.

На наступному етапі поверх мідного шару гальванічним способом наносять захисне покриття зі сплаву олово-свинець, після чого з пробільних місць видаляють захисний шар фоторезисту і стравлюють фольгу.

Виготовлення друкованої плати завершується хімічною обробкою захисного покриття (освітленням) для поліпшення його здатності до паяння (остаточне відмивання та консервація). , з хорошими електричними параметрами та високою міцністю зчеплення провідників з основою.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

## 5.1 Характеристика потенційно небезпечних виробничих факторів

Під час розробки та дослідження вимірювача концентрації озону основна частина робіт проводилася на персональному комп'ютері (ПК) у лабораторії «Комп'ютерних систем моніторингу» кафедри електронно-інформаційних систем ІННІ ім. Ю. М. Потебні ЗНУ. Схема приміщення лабораторії наведена на рис. 5.1.

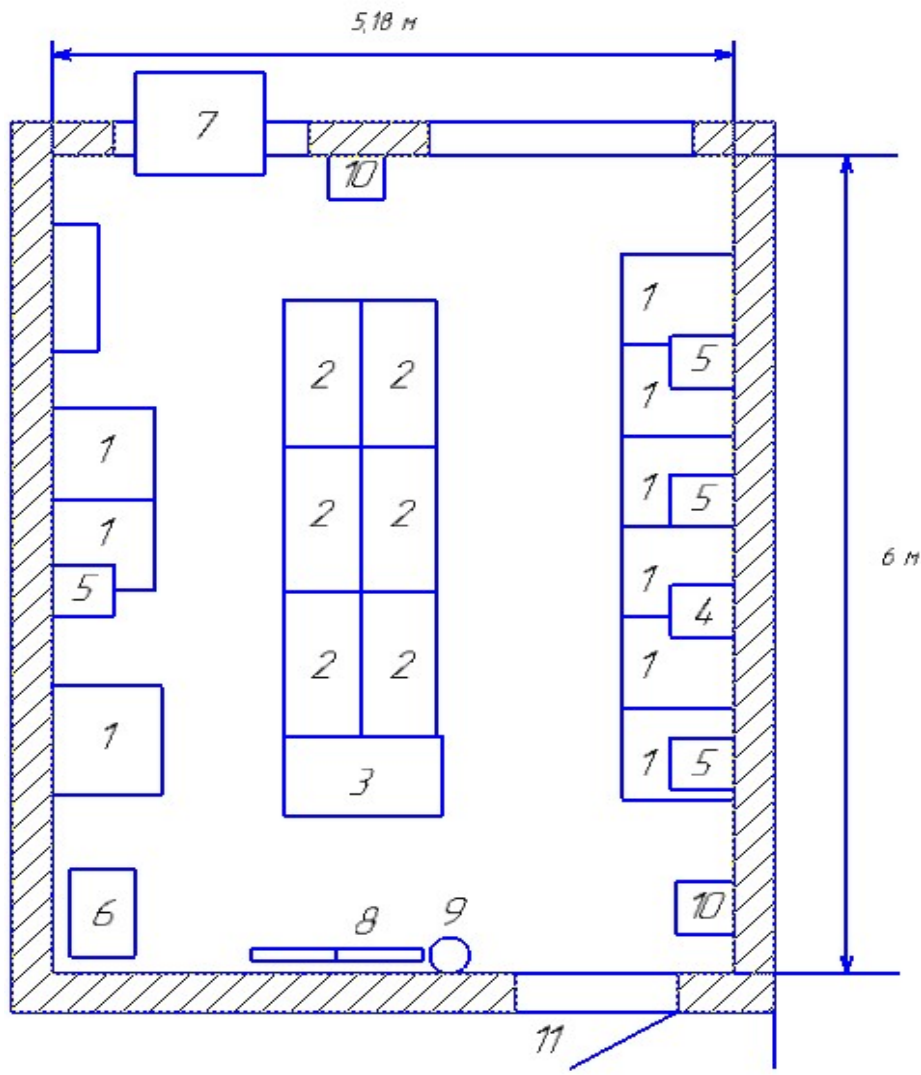


Рисунок 5.1 – Схема приміщення лабораторії: 1 – комп'ютерний стіл;

2 – аудиторний стіл; 3 – тумбовий стіл; 4 – рубильник; 5 – автомат автоматичного вимкнення; 6 – шафа; 7 – кондиціонер; 8 – аудиторна дошка; 9 – вогнегасник; 10 – автоматичний вимикач ІЕК; 11 – двері.

Потенційно небезпечні виробничі фактори поділяються на фактори виробничого середовища (хімічні, фізичні, біологічні) та психофізіологічні фактори.

При експлуатації персонального комп'ютера на працівника можуть діяти такі небезпечні виробничі чинники: електромагнітне випромінювання; підвищена яскравість світлового зображення; напруга в електричному ланцюзі, замикання якого може статися через тіло людини; напруга зору, уваги, тривалі статичні навантаження.

Під час експлуатації електрообладнання небезпечним виробничим фактором є електричний струм. Гранично допустима величина змінного струму 0,3 мА. У разі збільшення струму до 0,6-1,6 мА людина починає відчувати його вплив. Найбільш небезпечними видами ураження електрострумом є: електричний удар, термічний опік, технічні ушкодження. Засобами захисту працівника є захисна ізоляція проводів та кабелів, струмопровідних частин обладнання та частин обладнання, які можуть опинитися під напругою.

При проведенні робіт з розробки вимірювача датчика концентрації озону серед негативних факторів можна виділити:

- безпеку ураження електричним струмом;
- вплив електромагнітних випромінювань та підвищений рівень статичної електрики
- недостатню освітленість робочого місця;
- підвищену або знижену температуру повітря;
- ризик виникнення пожежі.

## 5.2 Електробезпека

Для того щоб уникнути ураження електричним струмом усі приміщення лабораторії повинні відповідати вимогам електробезпеки під час роботи з електроустановками.

Електрообладнання з напругою понад 36 В, а також обладнання та механізми, які можуть опинитися під напругою, мають бути надійно заземлені.

Для відключення електромереж на вводах повинні бути рубильники або інші пристрої. Відключення всієї мережі, крім чергового освітлення, проводиться загальним рубильником.

З метою запобігання електричних травм забороняється:

- працювати на несправних електричних приладах та установках;
- перевантажувати електромережу;
- переносити та залишати без нагляду включені електроприлади;
- працювати поблизу відкритих частин електроустановок, торкатися них.

Про всі виявлені дефекти в ізоляції проводів, несправності рубильників, штепсельних вилок, розеток, а також заземлення та огорож слід негайно повідомити електрику.

У разі перерви у подачі електроенергії електроприлади мають бути негайно вимкнені.

Забороняється використання в межах одного робочого місця електроприладів класу "0" та заземленого електрообладнання.

Категорично забороняється торкатися корпусу пошкодженого приладу або струмоведучих частин з порушеною ізоляцією і одночасно до заземленого обладнання (інший прилад зі справним заземленням, водопровідні труби, опалювальні батареї), або торкатися пошкодженого приладу, стоячи на вологій підлозі.



При ураженні електричним струмом необхідно якнайшвидше звільнити потерпілого від дії електричного струму, відключивши електроприлад, якого стосується постраждалий. Вимкнення здійснюється за допомогою вимикача або рубильника.

При неможливості швидкого відключення електроприладу необхідно звільнити потерпілого від струмопровідних частин дерев'яним або іншим струмом, що не проводить струм, предметом ураження.

У всіх випадках ураження електричним струмом необхідно викликати лікаря.

### 5.3 Виробнича санітарія

Щоб робочі умови були комфортними, потрібно забезпечити правильне поєднання температури, вологості повітря та швидкості повітряних потоків на робочому місці.

Оптимальними метеоумовами вважаються: температура +20 °С, вологість повітря 40-60%, швидкість повітря 0,1-0,5 м/с, тиск повітря - 760 мм ртутного стовпа.

Значення оптимальних параметрів залежать і від пори року та від тяжкості робіт. Оптимальні параметри мікроклімату на робочому місці вказані у табл. 5.2.

Категорії робіт розмежовуються з урахуванням інтенсивності енерговитрат організму ккал/г (Вт). До категорії Іа відносяться роботи з інтенсивністю енерговитрат до 120 ккал/год (до 139 Вт), що виробляються сидячи і супроводжуються незначною фізичною активністю. До категорії Іб відносяться роботи з інтенсивністю енерговитрат 121-150 ккал/год (140-174 Вт), що виробляються сидячи, стоячи або пов'язані з ходьбою і супроводжуються деякою фізичною активністю.

Таблиця 5.2 - Оптимальні норми мікроклімату для робочих приміщень

Період року	Категорія робіт за рівнем енерговитрат (Вт)	Температура повітря, °С	Відносна вологість повітря %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Легка – 1а (до 139)	22-24	60-40	0.1
Холодний	Легка – 1б (140-174)	21-23	60-40	0.1
Теплий	Легка – 1а (до 139)	23-25	60-40	0.1
Теплий	Легка – 1б (140-174)	22-24	60-40	0.1

Освітленням називають використання світлової енергії сонця і штучних джерел світла для забезпечення зорового сприйняття довкілля. Освітлення дає сприятливий психофізіологічний ефект, впливає на працездатність людини і на безпеку праці. Раціональне освітлення в цехах промислових підприємств є показником естетики виробництва й високого рівня культури праці. Освітлення є важливим стимулятором організму людини, і тому недостатній рівень його підвищує втому зорового аналізатора у процесі виконання роботи, чим сприяє травматизму.

В умовах виробництва застосовують природне, штучне і комбіноване. Природне освітлення зумовлюють прямі сонячні промені й дифузне світло небосхилу. Природне освітлення поділяється на: бокове (одно – або двостороннє), що здійснюється через світлові отвори (вікна) в зовнішніх стінах; верхнє – через ліхтарі та отвори в дахах і перекриттях; комбіноване – поєднання верхнього та бокового освітлення.

Штучне освітлення може бути загальним та комбінованим. Загальним називають освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення (не нижче 2,5 м над підлогою) рівномірно (загальне рівномірне освітлення) або з урахуванням розташування робочих місць (загальне локалізоване освітлення).

Комбіноване освітлення складається із загального та місцевого. Його доцільно застосовувати при роботах з високої точності, а також, якщо необхідно створити певний або змінний в процесі роботи напрямок світла. Для місцевого освітлення робочих місць слід використовувати світильники з непросвічуючими відбивачами. Світильники повинні розташовуватися так, щоб їх елементи, які світяться, не влучали в поле зору працюючих на освітленому робочому місці і на інших робочих місцях. Застосування лише місцевого освітлення не допускається з огляду на небезпеку виробничого травматизму та професійних захворювань.

Роботи, що проводяться в лабораторній, відносяться до розряду робіт дуже високої точності, 1 розряду, з найменшими розмірами об'єкту розрізнення 0.15 - 0,3 мм. Підрозряд зорових робіт при середньому контрасті об'єкту розрізнення з фоном і при середньому фоні - «В».

Освітленість від світильників загального штучного освітлення в системі комбінованого при газорозрядних лампах 400лк. В таблиці 5.3 показано розподіл природного та штучного освітлення.

В лабораторіях із зоровими роботами I-III розрядів слід застосовувати поєднане освітлення. При цьому нормовані значення КПО застосовуються 10, 7,5%.

Освітленість робочої поверхні, створена світильниками загального освітлення в системі комбінованого, повинна складати не менше 10% нормованої для комбінованого освітлення при таких джерелах світла, які застосовуються для місцевого освітлення .

Таблиця 5.3 - Розподіл природного та штучного освітлення

Характеристика зорової роботи		Дуже високою точності
Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм		Менш 0,15
Підрозряд зорової роботи		в
Характеристика фону		Середній
Контраст об'єкта розрізнення з фоном		Середній
Штучне освітлення, лк	При комбінованому освітленні	2500
	При загальному освітленні	750
Природне освітлення, лк	При верхньому або верхньому і боковому освітленні	10
	При бічному освітленні, у зоні з стійким сніговим покривом	2,8
Суміщене освітлення, лк	При верхньому або верхньому і боковому освітленні	6
	При бічному освітленні, у зоні з стійким сніговим покривом	1,7

Норми освітлення залежать від параметрів, які передбачено роботою. Відстань від очей до предмета праці повинна бути визначена в кожному окремому випадку. Що менше відношення діаметра деталі до відстані від очей, то інтенсивнішим повинно бути освітлення. При цьому необхідно враховувати й здатність поверхні відбивати світло. Спектр джерел світла повинен максимально наближатися до спектра сонячного випромінювання. Важливо також захистити очі робітники від сліпучого світла. Усі системи освітлення повинні забезпечувати правильне сприйняття відтінків світла, аби в робочих приміщеннях було рівномірне освітлення. Тому слід подбати про загальне та місцеве. Освітлювальні пристрої мають забезпечувати гігієнічні вимоги: освітлення, якого було б достатньо для виконання певної роботи без напруження зору; рівномірність освітлення, без тіней, у межах робочої поверхні, рівень освітлення проходів; захист очей від блиску; виконання вимог безпеки (шляхом обладнання в окремих випадках аварійного освітлення).

## 5.4 Пожежна безпека

У кожному робочому приміщенні повинні бути в наявності вогнегасники та пісок, а в приміщеннях з вогненебезпечними та легкозаймистими речовинами – додаткові засоби пожежогасіння.

План евакуації працівників має бути вивішений на видному місці у разі виникнення пожежі.

Перед початком роботи потрібно знати правила поводження з електричними приладами, а також повинні вміти поводитися з протигазом, вогнегасником та іншими засобами пожежогасіння, що є в робочому приміщенні.

Куріння у приміщеннях суворо забороняється.

Без дозволу куратора та особи, відповідальної за протипожежні заходи, забороняється встановлення лабораторних та нагрівальних приладів, запуск їх в експлуатацію, переробка електропроводки.

Усі нагрівальні прилади повинні бути встановлені на термоізолюючих підставках.

Забороняється експлуатація несправних лабораторних та нагрівальних приладів.

Після закінчення роботи необхідно відключити електроенергію, газ та воду у всіх приміщеннях.

Кожен співробітник лабораторії, який помітив пожежу, задимлення або інші ознаки пожежі, зобов'язаний:

- негайно викликати пожежну частину телефоном;
- вжити заходів щодо обмеження поширення вогню та ліквідації пожежі;
- повідомити куратора, який у свою чергу повинен повідомити співробітників, вжити заходів до їх евакуації та ліквідації пожежі.

## 5 ЕКОНОМІКА ТА ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

### 5.1 Формуляр проекту

Таблиця 5.1 – Формуляр проекту

Завдання	№ проекту	1
	Дата замовлення	01.09.2021
	Назва проекту	Дослідження та розробка вимірювача концентрації озону в повітрі
	Замовник ПІБ	
	Адреса	
	Контактна особа, ПІБ	
	Телефон і факс	
Договірна ціна	Усього	1
	План оплати	попередня оплата – 50%
	Додаткові умови	-
Строки	Початок	01.09.2021
	Проміжні строки	-
	Кінець	15.12.2021
Партнери	Кооперація	-
	Субпідрядники	-
	Завдання	-
Персонал	Керівник	
	Заступник	
	Співробітники	
Проект	Скорочена назва	-

	Цілі	Аналіз перетворення сигналів у вимірювачі концентрації озону
	Критичні строки	1. 29.09.21 (дослідження та створення схеми вимірювача Концентрації озону)
		2. 15.11.21 (розробка друкованої плати вимірювача)
	Особливості та проблеми	Моделювання сенсору озону, синтез Схеми вимірювача

## 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	Методи вимірювання концентрації озону	-	3
1.1.2	Підготовка технічного звіту	1.1.1	4
1.2.1	Обґрунтування обрання газового датчика	1.1.1	3
1.2.2	Обґрунтування обрання інструментарію дослідження	-	2
1.2.3	Дослідження схеми обробки	1.2.1	5

Характеристика робіт за проектом			
Код роботи	Назва (зміст) роботи	Безпосередньо попередня робота	Тривалість, діб
	сигналів		
1.2.4	Підготовка технічного звіту	1.2.2, 1.2.3	4
1.3.1	Опис розробки структурної схеми вимірювача	1.2.3	5
1.3.2	Розробка схеми електричної принципової	1.2.3, 1.3.1	5
1.3.3	Дослідження вимірювача концентрації озону	1.2.1	4
1.4.1	Моделювання друкованої плати	1.3.1, 1.3.2, 1.3.3	15
1.4.2	Розробка міжелементних з'єднань	1.4.1	15
1.4.3	Усунення недоліків роботи системи	1.4.2	7
1.4.4	Аналіз результатів	1.4.1, 1.4.2, 1.4.3	7
1.4.5	Підготовка технічного звіту	1.4.4	8

### 5.3 Робоча структура проекту - WBS

WBS (WorkBreakdownStructure) будується в результаті декомпозиції робіт. Вона визначає об'єм робіт, виконання яких призводить до досягнення мети проекту. Структура наведена на рис.5.



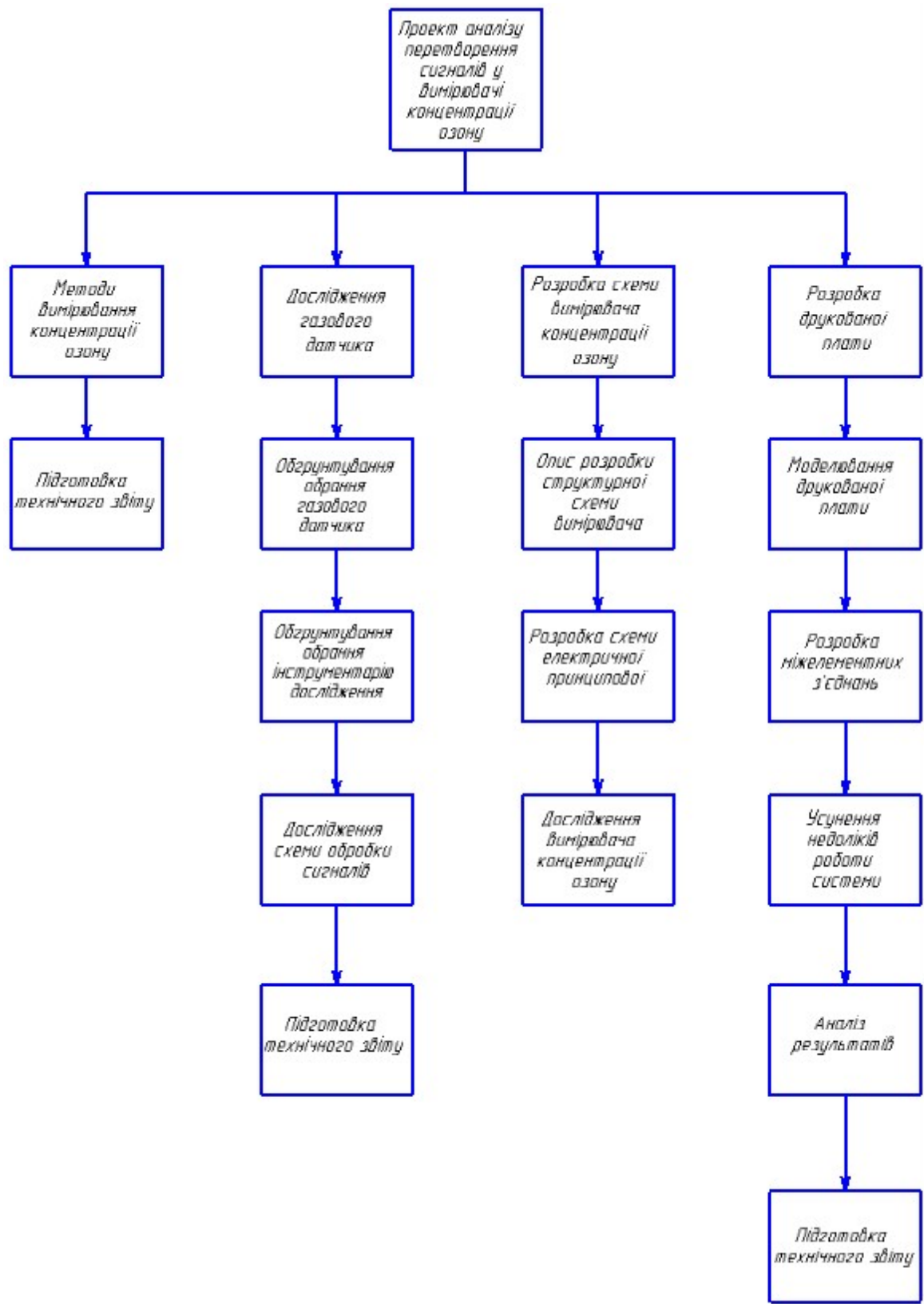


Рисунок 5.1 – Робоча структура проекту – WBS

#### 5.4 Організаційна структура проекту – OBS

OBS (OrganizationBreakdownStructure) визначає виконавців проекту та встановлює систему підпорядкованості. OBS має вигляд ієрархічної системи. Структура OBS визначається структурою проектної організації. Структура наведена на рис.5.2.

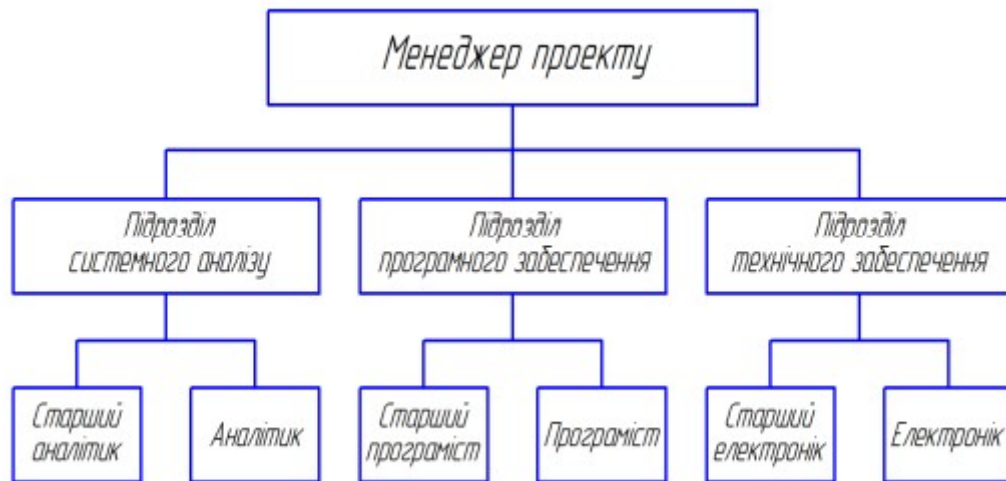


Рисунок 5.2 – Організаційна структура проекту - OBS

#### 5.5 Структура затрат проекту - CBS

CBS (CostBreakdownStructure) 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.

Таблиця 5.3 - Матриця відповідальності

Виконавці	Роботи													
	Методи вимірювання концентрації озону	Підготовка технічного звіту	Обґрунтування обрання газового датчика	Обґрунтування обрання інструментарію дослідження	Дослідження схеми обробки сигналів	Підготовка технічного звіту	Опис розробки структурної схеми вимірювача	Розробка схеми електричної принципової	Дослідження вимірювача концентрації озону	Моделювання друкованої плати	Розробка міжелементних з'єднань	Усунення недоліків роботи системи	Аналіз результатів	Підготовка технічного звіту
Менеджер проекту		p		p	p				p					p
Старший аналітик	p	s	p	s	s	p	p	p	s		s	p	p	s
Аналітик	s		+		+	s	s		+	p		s	s	
Старший програміст				+			s	s			p	+	+	+
Програміст				+			+	+		+	+	+		
Інженер електронік	+	+	s			+			+	s				

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

### 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:

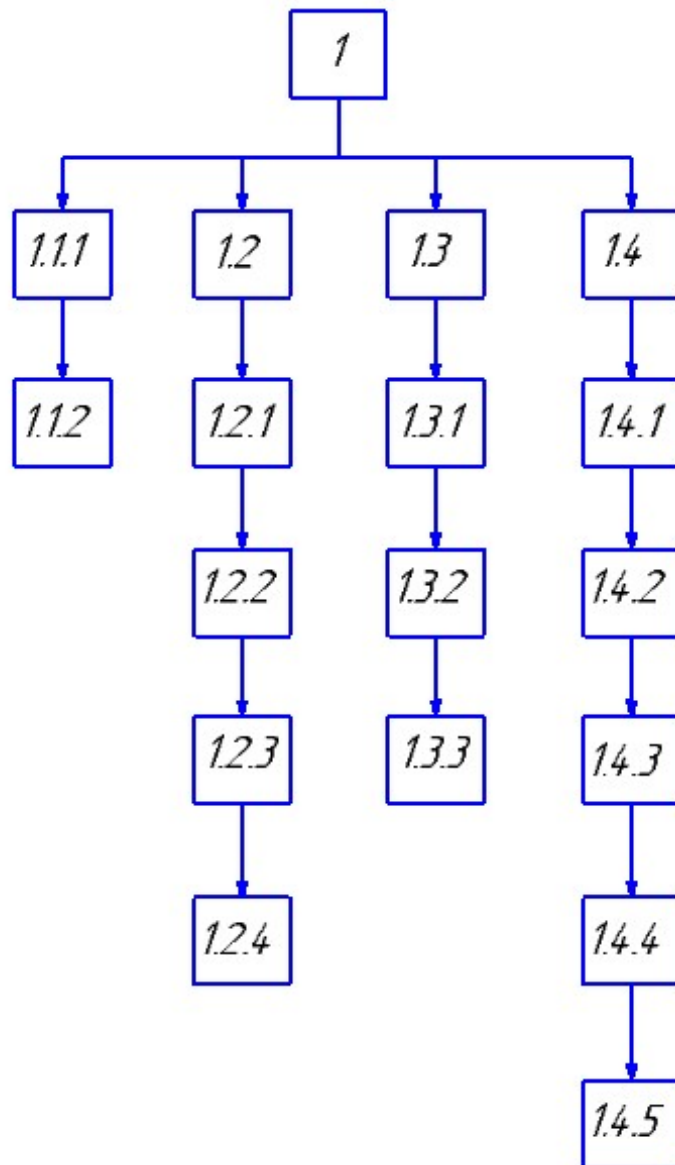


Рисунок 5.4 - Система кодування WBS

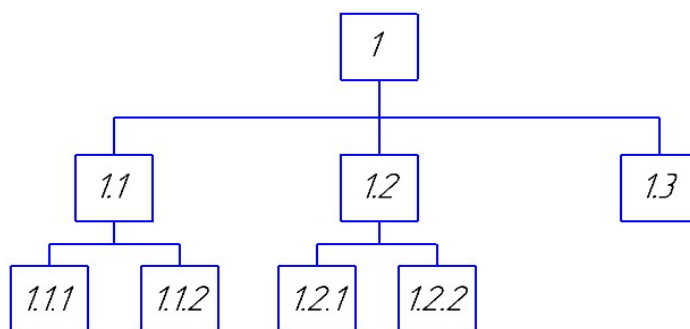


Рисунок 5.5 - Система кодування OBS

### 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.

Таблиця 5.4 - CTR - каталог

№	Код роботи	Назва чи зміст роботи	Затрати, грн	Тривалість, дні	Необхідні ресурси
1	2	3	4	5	6
1	1.1.1-1.1	Методи вимірювання концентрації озону	3500	5	Аналітик 2 особи Електронік 1 особа
2	1.1.2-1.1	Підготовка технічного звіту	1400	4	Аналітик 2 особи Електронік 1 особа
3	1.2.1-1.1	Обґрунтування обрання газового датчика	5600	6	Аналітик 2 особи Програміст 1 особа Електронік 1 особа
4	1.2.2-1.2.1	Обґрунтування обрання інструментарію дослідження	2600	4	Аналітик 2 особи Електронік 1 особа
5	1.2.3-1.2.1	Дослідження схеми обробки сигналів	1400	2	Аналітик 2 особи Електронік 1 особа

## Продовження таблиці 5.4

1	2	3	4	5	6
6	1.2.4- 1.2.1	Підготовка технічного звіту	2300	4	Електронік 1 особа Програміст 1 особа Аналітик 1 особа
7	1.3.1- 1.2.1	Опис розробки структурної схеми вимірювача	6300	3	Аналітик 1 особа Програміст 2 особи
8	1.3.2.- 1.2.2	Розробка схеми електричної принципової	4200	2	Аналітик 1 особа Програміст 2 особи
9	1.3.3- 1.2.2	Дослідження вимірювача концентрації озону	3500	5	Електронік 1 особа Аналітик 2 особи
10	1.4.1- 1.3	Моделювання друкованої плати	3500	5	Електронік 1 особа Програміст 1 особа Аналітик 1 особа
11	1.4.2- 1.3	Розробка міжелементних з'єднань	6100	15	Програміст 2 особи Аналітик 1 особа
12	1.4.3- 1.3	Усунення недоліків роботи системи	3000	10	Програміст 1 особа Аналітик 2 особи
13	1.4.4- 1.3	Аналіз результатів	1400	7	Програміст 1 особа Аналітик 2 особи
14	1.4.5- 1.3	Підготовка технічного звіту	2500	7	Електронік 1 особа Програміст 1 особа Аналітик 1 особа

## 5.9 Стрілчастий графік

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

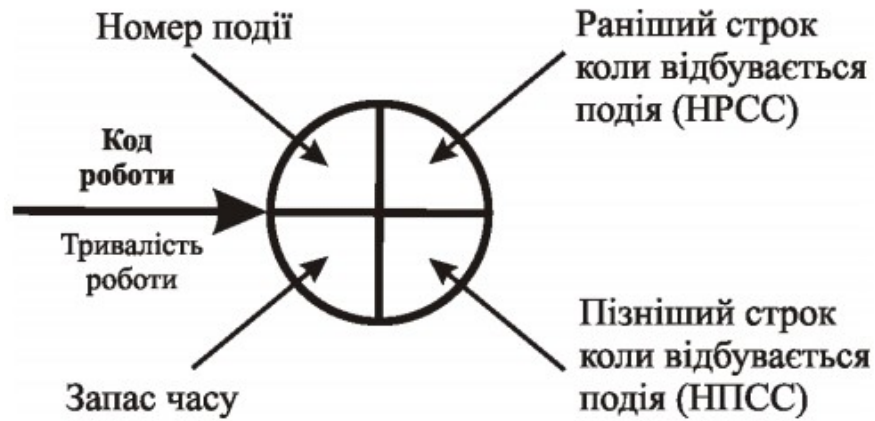


Рисунок 5.6 - Позначення для стрілкового графіку

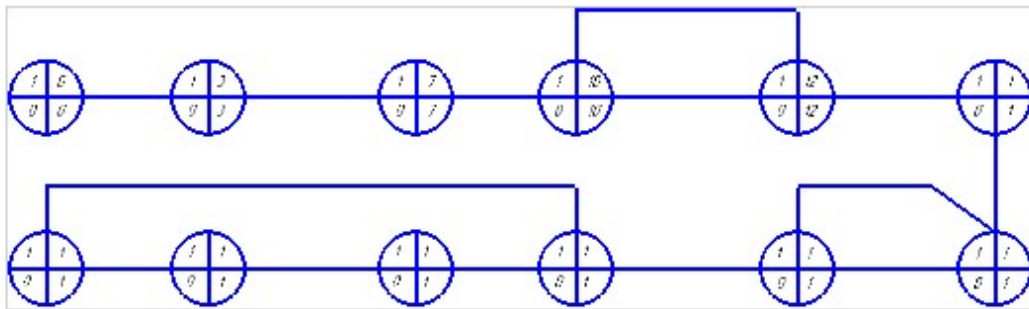


Рисунок 5.7 - Стрілчастий графік

### 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 і-ї роботи, що входять до критичного шляху, за допомогою експертної оцінки:

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

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

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

Після цього було розраховано математичне очікування тривалості і-ї роботи за допомогою формули [32]:

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

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:

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

Результати занесено в табл.5.5



Таблиця 5.5 - Тривалість проекту з урахуванням запасів часу

Код роботи	$a_i$	$m_i$	$b_i$	$\sigma_i^2$	$t_i$
1.1.1	2	3	5	1	3,17
1.1.2	3	4	7	1	4,33
1.2.1	2	3	7	2,77	3,5
1.2.2	1	2	5	4	2,33
1.2.4	4	5	8	0,64	5,33
1.3.1	3	5	7	0,64	5
1.3.3	3	4	8	1,56	4,5
1.4.1	4	15	15	0,37	13,16
1.4.2	10	15	15	0,11	14,16
1.4.3	6	7	12	0,74	7,66
1.4.4	5	7	9	0,32	7
1.4.5	5	8	10	0,39	7,83
				$\sigma$	$t$
				<b>13,54</b>	<b>77,97</b>

Ймовірність виконання проекту було прийнято в 0,9. Тоді величина  $\varphi$  визначається як:

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

По таблиці нормального розподілу  $\varphi(z)$  [32] 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%:

$$Q = z \cdot \sigma + t = 1,29 \cdot 13,54 + 77,97 = 95 \quad (5.6)$$

Отже, термін виконання проекту, який необхідно прийняти для того, щоб не зірвати строки виконання з ймовірністю 90%, становить 95 робочих днів.

## ВИСНОВОК

- 1) Аналіз конструктивних особливостей датчиків озону показав раціональність дослідження електро – фізичних процесів перетворення сигналів вимірювача концентрації озону.
- 2) Методом розрахунку глобальних пріоритетів показано на раціональність побудови вимірювача концентрації озону на основі сенсору MQ-131.
- 3) Встановлено аналітичну залежність опору сенсору від концентрації озону та зміни температури та вологості повітря.
- 4) Розроблено схему – формування вихідного сигналу з сенсора озону і виконано дії параметричної оптимізації
- 5) Розроблено схему вимірювача концентрації озону на основі мікроконтролера ATmega328.
- 6) Синтезовано програмний код керування мікроконтролером.
- 7) Показано, що програмний код використовує 8004 байт пам'яті мікроконтролера (24%), а глобальні змінні займають 381 байт (18%) динамічної пам'яті.
- 8) Встановлено, що час калібрування сенсору займає 100 мкс при тактовій частоті мікроконтролера 16МГц.
- 9) Розроблено друковану плату з габаритними розмірами 49x66x20мм.
- 10) Показано, що термін виконання проекту становить ... днів.
- 11) Проведено аналіз шкідливих чинників у лабораторії з дослідження та розробки вимірювача концентрації озону.
- 12) Результати роботи пройшли апробацію на трьох науково-технічних конференціях.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. UA-Energy.org Моніторинг якості повітря в Україні ( Електронний ресурс) Режим доступу до ресурсу: <https://ua-energy.org/uk/posts/yak-ukraina-vumiriuiie-zabrudnennia-povitria> (Дата звернення 03.08.2021).
2. Радионов Ю. А. Микроэлектронные датчики и сенсорные устройства. Минск : БГУИР, 2019. — 306 с.
3. Аналитический обзор летучих веществ. URL : <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20164/1-12.pdf> (Дата звернення 10.09.2021).
4. Разумовский С. Д., Заиков Г. Е. Озон и его реакции с органическими соединениями (кинетика и механизм) / Разумовский С. Д., Заиков Г. Е.: Москва : Наука, 1974. — 322 с.
5. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник / Дж. Фрайден. – Минск : Техносфера, 2005. — 462 с.
6. Готра, З. Ю. Датчики. Справочник / З. Ю. Готра, Л. Я. Ильницкий, Е. С. Полищук. – Львов : Каменяр, 1995.
7. Котюк, А.Ф. Датчики в современных измерениях [Текст] / А.Ф. Котюк. – Москва : Радио и связь, 2006, - 96с.
8. o3.winsen-mq131.pdf URL : <https://aqicn.org/air/view/sensor/spec/o3.winsen-mq131.pdf>
9. Амелина М. А., Амелин С. А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8. Москва : Горячая линия – Телеком, 2007. 464 с
10. САД-программы для электроники URL : [https://cxem.net/software/soft\\_CAD.php](https://cxem.net/software/soft_CAD.php) (Дата звернення 17.10.2021).
11. Описание САПР. URL : <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20164/1-12.pdf> (Дата звернення 17.10.2021).
12. Белов, А. В. Микроконтроллеры AVR: от азов программирования до

создания практических устройств – Санкт-Петербург.: Наука и техника, 2016. 544 с.

13. AVR ATmega 328. URL : <https://robolive.ru/mikrokontroller-atmega328-opisanie->

[xarakteristiki/#:~:text=%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80%20ATMega328%20%D1%8F%D0%B2%D0%BB%D1%8F%D0%B5%D1%82%D1%81%D1%8F%208-](https://robolive.ru/mikrokontroller-atmega328-opisanie-karakteristiki/#:~:text=%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80%20ATMega328%20%D1%8F%D0%B2%D0%BB%D1%8F%D0%B5%D1%82%D1%81%D1%8F%208-)

[%D0%BC%D0%B8,%D0%B1%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%B8%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%20%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B4%20%D0%B7%D0%B0%20%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%20%D1%82%D0%B0%D0%BA%D1%82.](https://robolive.ru/mikrokontroller-atmega328-opisanie-karakteristiki/#:~:text=%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80%20ATMega328%20%D1%8F%D0%B2%D0%BB%D1%8F%D0%B5%D1%82%D1%81%D1%8F%208-%D0%BC%D0%B8,%D0%B1%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%B8%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%20%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B4%20%D0%B7%D0%B0%20%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%20%D1%82%D0%B0%D0%BA%D1%82.) (Дата звернення 24.10.2021).

14. DipTrace. URL : <http://www.sut.ru /doci/nauka/review/20164/1-12.pdf> (Дата звернення 08.11.2021).

15. DipTrace. Руководство пользователя. Novarm Ltd, 2016. 25 с.

16. Техніко-економічне обґрунтування проектно-конструкторських робіт [Текст] : методичні вказівки до самостійної роботи та виконання дипломних і контрольних робіт для студентів спеціальності 7.0908.04 «Фізична і біомедична електроніка» / укл.: Є.Я. Швець, О.П. Головка -Запоріжжя: ЗДІА, 2010. – 17 с.

17. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення. — Введ. 2006- 01-10. - У.: Міністерство будівництва, архітектури та житлового комунального господарства України, 2006. 96 с.

18. ДСТУ 2272:2006 Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. Введ. 2006-09-06. - Україна : Держспоживстандарт України, 2006. 32 с.

19. Техника безопасности при работе с электричеством. URL : <https://diy.obj.ru/articles/tehnika-bezopasnosti-pri-rabote-s-elektrichestvom-20875/> (Дата звернення 18.11.2021).

ДОДАТОК А

		Позначення	Найменування	кільк.	Примітка				
Лист записки			Вентилятор						
		M1	D40SM-12A	1					
			Діоди						
		VT1-VT3	IN4148	3					
Лист №			Кварцеві резонатори						
		ZQ1	TQB-2-12MЦ	1					
		ZQ2	TQB-2-16MЦ	1					
			Конденсатори						
		C1	CR-0805-220 мкФ - 16В	1					
		C2	CR-0805-4,7 мкФ - 10В	1					
		C3	CR-0805-100 нФ	1					
		C4	CR-0805-0,1 мкФ	1					
		C5	CR-0805-10 мкФ - 10В	1					
		C6-C8	CR-0805-22 нФ	3					
Лист і дата		C9-C11	CR-0805-100 нФ	3					
		C12-C13	CR-0805-22 нФ	2					
			Мікросхеми						
		DA1	LM7806	1					
		DA2	LM324	1					
Всього № №		DD1	CH340G	1					
		DD2	ATmega328	1					
Лист і дата									
№ № підл.		ЕС M.019152.00.00.00.00.ПЕ							
		Знак	Адж	№ докум.	Підп.	Дата	Лист	Адж	Архив
		Розроб	Левітський		<i>[Підпис]</i>			1	2
		Перевір	Кисельов		<i>[Підпис]</i>				
		Г.контр.	Туршєв	<i>[Підпис]</i>		ІН ЗНУ			
		Затверд.	Ковальська	<i>[Підпис]</i>		В.ТЮ			
						ВИМІРОВАЧ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ			
						перелік елементів			

Позначення	Найменування	к/л	Примітка
R1	CR-1206-10kΩ ± 5%	1	
R2,R9	CR-1206-100kΩ ± 5%	2	
R3,R10,R12	CR-1206-15kΩ ± 5%	3	
R4-R6	CR-1206-2kΩ ± 5%	3	
R7	CR-1206-240Ω ± 5%	1	
R8	CR-1206-6.8kΩ ± 5%	1	
R11	CR-1206-4.7MΩ ± 5%	1	
R13	CR-1206-18kΩ ± 5%	1	
R14	CR-1206-300 Ω ± 5%	1	
R15	CR-1206-10kΩ ± 5%	1	
<i>Транзистори</i>			
VT1	9013	1	
VT2	IRFB40	1	
<i>Підп. і дата</i>			
<i>№№ докум.</i>			
<i>Важк. №№</i>			
<i>Підп. і дата</i>			
<i>№№ підп.</i>			
Зм.	Арх.	№ докум.	Підп.
Розроб	Левченко	59	
Перевір	Кисельов		
Т.контр.	Туршнев		
Затверд.	Колотська		
<p><b>ЕС M.019152.00.00.00.00.ПЕ</b></p> <p><b>ВИМІРОВАЧ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЗОНУ</b></p> <p><b>перелік елементів</b></p>			
		Лист	Арх.
			2
		Архив	2
<p><b>ІН ЗНУ</b></p> <p><b>В.1710</b></p>			

## ДОДАТОК Б

```
#include "MQ131.h"

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  MQ131.begin(2,A0, HIGH_CONCENTRATION, 1000000);

  Serial.println("Calibration in progress...");

  MQ131.calibrate();

  Serial.println("Calibration done!");
  Serial.print("R0 = ");
  Serial.print(MQ131.getR0());
  Serial.println(" Ohms");
  Serial.print("Time to heat = ");
  Serial.print(MQ131.getTimeToRead());
  Serial.println(" s");
}

void loop() {
  Serial.println("Sampling...");
  MQ131.sample();
  Serial.print("Concentration O3 : ");
  Serial.print(MQ131.getO3(PPM));
  Serial.println(" ppm");
  Serial.print("Concentration O3 : ");
  Serial.print(MQ131.getO3(PPB));
```



```
Serial.println(" ppb");  
Serial.print("Concentration O3 : ");  
Serial.print(MQ131.getO3(MG_M3));  
Serial.println(" mg/m3");  
Serial.print("Concentration O3 : ");  
Serial.print(MQ131.getO3(UG_M3));  
Serial.println(" ug/m3");  
  
delay(60000);  
}
```