

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потєбні  
Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного  
забезпечення

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

рівень вищої освіти перший бакалаврський  
(другий магістерський рівень)

на тему Розробка приладу для вимірювання гамма-  
випромінювання

Виконав: студент (ка) IV курсу, групи 6.1539

Корнієнко М.Ю.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Напряму підготовки \_\_\_\_\_  
(шифр)

Спеціальності 153

Мікро- та наносистемна техніка

(назва)

Керівник доцент, доцент, к.т.н.

Ніконова А.О.

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

Рецензент інженер-конструктор Конструкторського  
бюро Колосова Григор'єва І.К.

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

м. Запоріжжя - 2023 рік

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потєбні**

Рівень вищої освіти перший бакалаврський  
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)  
Напрямок підготовки 153  
(шифр)  
Спеціальність Мікро- та наносистемна техніка  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри ЕІСПЗ  
Критська Т.В.

“ 15 ” червня 20 23 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Корнієнко Максим Юрійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка приладу для вимірювання гамма-випромінювання

керівник проекту (роботи) Ніконова Аліна Олександрівна  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “29” грудня 2023 року №1893-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15 червня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Лічильник Гейгера-Мюллера СБМ-20, Мікросхема NE555 Atstable AT 14kHz, 8-розрядний контролер ATmega 8 AVR, РК дисплей HGI W1602D-УУН-СТК.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1 Дозиметрія іонізуючого випромінювання. 2 Розробка пристрою для вимірювання гамма-випромінювання. 3 Охорона праці та техногенна безпека.

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

Л1-Методи та засоби іонізуючого контролю. Л2-Структурна схема приладу для вимірювання гамма-випромінювання. Л3-Моделювання вузлів схеми в електронному середовищі. Л4-Схема електрична принципова пристрою.

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>I</i>	<i>Ніконова А.О.</i>	
<i>II</i>	<i>Ніконова А.О.</i>	
<i>III</i>	<i>Ніконова А.О.</i>	

7. Дата видачі завдання 30.12.2022 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
<i>1</i>	<i>Аналіз властивостей радіаційного випромінювання</i>	<i>18.02.2023</i>	
<i>2</i>	<i>Дослідження впливу радіоактивного випромінювання на організм людини. Основні методи реєстрації іонізуючого випромінювання</i>	<i>10.03.2023</i>	
<i>3</i>	<i>Обґрунтування вибору радіаційного датчика. Базові характеристики лічильників</i>	<i>18.03.2023</i>	
<i>4</i>	<i>Розробка функціональної схеми приладу</i>	<i>14.04.2023</i>	
<i>5</i>	<i>Розробка силового блоку напруги</i>	<i>27.04.2023</i>	
<i>6</i>	<i>Розробка схеми формування одиничних імпульсів та моделювання в середовищі Electronic Workbench</i>	<i>03.05.2023</i>	
<i>7</i>	<i>Обґрунтування вибору мікроконтролера Atmega8</i>	<i>10.05.2023</i>	
<i>8</i>	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>18.05.2023</i>	
<i>9</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>02.06.2023</i>	
<i>10</i>	<i>Рецензування, нормоконтроль, підписання роботи</i>	<i>15.06.2023</i>	
<i>11</i>	<i>Оприлюднений захист магістерської роботи</i>	<i>21.06.2023</i>	

Студент

\_\_\_\_\_ ( підпис )

*Корнієнко М.Ю.*

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_ ( підпис )

*Ніконова А.О.*

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

\_\_\_\_\_ ( підпис )

*Верьовкін Л.Л.*

(прізвище та ініціали)

## Реферат

Дипломна робота містить 82 сторінки, 31 рисунок, 8 таблиць, 24 джерела літератури.

Об'єкт дослідження – іонізуюче випромінювання.

Мета роботи – розробка приладу для вимірювання гамма випромінювання.

Задачі роботи – дослідження методів виявлення та вимірювання іонізуючого випромінювання; аналіз роботи існуючих приладів дозиметрії, виявлення їх переваг та недоліків; дослідження лічильника Гейгера; розробка схеми формування високої напруги; розрахунок та побудова схеми формування одиничних імпульсів та моделювання її в середовищі EWB; дослідження роботи мікроконтролера ATmega 8 AVR.

Методика дослідження – моделювання пристрою з допомогою програмного забезпечення Electronics WorkBench, 5.12, SPlan 7.0, Proteus 8.

Короткий виклад результатів досліджень: на підставі аналізу існуючих приладів реєстрації радіоактивного випромінювання проведено необхідні розрахунки і побудована структурна схема датчику, розроблена схеми підвищувача напруги, схема формування одиничних імпульсів, обгрунтовано вибір мікроконтролера та забезпечено його функціонування.

Результати впроваджень – результати моделювання лічильника імпульсів для реєстрації радіоактивного випромінювання рекомендовано до впровадження в навчальний процес на кафедрі ЕІСПЗ.

**ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ, ДЕТЕКТОР, МІКРОСХЕМА, ЛІЧИЛЬНИК  
ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА, ЧУТЛИВІСТЬ, РОЗДІЛЬНА ЗДАТНІСТЬ**

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення, з 30.12.2022 р. по 15.06.2023 р

## Зміст

ВСТУП .....	7
1 ДОЗИМЕТРІЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.....	8
1.1 Аналіз властивостей радіаційного випромінювання.....	8
1.2 Вплив радіоактивного випромінювання на організм людини.....	11
1.3 Основні методи реєстрації іонізуючого випромінювання .....	13
1.4 Напівпровідникові та сцинтиляційні сенсори.....	19
1.4.1 Напівпровідникові детектори.....	19
1.4.2 Сцинтиляційні детектори .....	21
1.5 Основні параметри та принцип дії лічильника Гейгера .....	22
1.6 Обладнання для вимірювання рівня радіоактивного забруднення території .....	25
1.7 Огляд біологічних основ радіаційного захисту.....	26
2 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ .....	28
2.1 Обґрунтування вибору радіаційного датчика .....	28
2.1.1 Базові характеристики лічильників .....	32
2.1.2 Основні параметри лічильника СБМ-20.....	33
2.2 Опис функціональної схеми та принцип роботи силового блоку напруги .	35
2.3 Розробка схеми підвищувача напруги .....	44
2.4 Схема формування одиничних імпульсів .....	49
2.5 Властивості мікроконтролера АТmega8.....	51
2.6 Розробка схеми пристрою для вимірювання гамма-випромінювання .....	56
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА .....	59
3.1 Характеристики потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів .....	59

3.2 Заходи з поліпшення умов праці.....	63
3.3 Виробнича санітарія.....	64
3.4 Електробезпека .....	66
3.5 Пожежна безпека .....	67
3.6 Техногенна безпека.....	68
Висновки та рекомендації.....	71
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	73
ДОДАТОК А .....	76
ДОДАТОК Б.....	79
ДОДАТОК В.....	81

## ВСТУП

Важливим технічним завданням сучасності є розробка мікроелектронних приладів, які відрізняються високою чутливістю та точністю з енергозберігаючою системою живлення. Через небезпеку великих доз рентгенівського випромінювання потрібен суворий контроль дози опромінення і частоти операцій аби усунути небажану взаємодію іонізуючого випромінювання з організмом людини. Для біологічного організму найбільш небезпечним типом радіоактивного випромінювання вважаються гамма кванти, за рахунок високої проникаючої здатності, а потім у напрямку зменшення, бета-частинки і альфа-частинки. Визначити альфа-частинки досить важко, так як для них є перешкодою практично будь-який об'єкт, не кажучи вже про скляний або металевий контейнер. Визначити бета-частинки звичайним лічильником можливо, але лише в тому випадку, коли їх енергії досить для проходження через матеріал контейнера лічильника. Лічильник Гейгера-Мюллера можна використовувати для вимірювання гамма-випромінювання, але є ймовірність, що вони наскрізь пройдуть через контейнер, не запустивши реакцію іонізації.

Методи вимірювання в дозиметрії в деяких випадках дозволяють отримати похибку вимірювання в декілька відсотків. Разом з тим, в деяких дозиметричних методах похибка, що оцінюється в десятки відсотків є задовільною. Однак, слід зауважити, що достатність точності в даному випадку обумовлено обмеженістю можливості проведення досліджень.[1]

Підвищення точності вимірювань – найважливіша мета удосконалення методів та засобів дозиметрії. Все це робить дозиметрію областю знань, що потребує постійного вдосконалення та пошуку нових підходів і наукових розробок для створення технічних засобів, які дозволяють проводити вимірювання з високою точністю.

# 1 ДОЗИМЕТРІЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

## 1.1 Аналіз властивостей радіаційного випромінювання

Атомна енергія наразі безпечніша для екології та дешевша за теплову. У розвинених країнах вона забезпечує від 15 до 70 відсотків усієї електроенергії, яка виробляється (Франція - 70%, США - 17%, Швеція - 50%, Канада - 15%). Однак у разі аварії атомні електростанції становлять дуже серйозну небезпеку для людини та навколишнього середовища. За час експлуатації атомних електростанцій у світі відбулося три великі аварії: 1961 рік – Айдахо Фоллз (США); 1979 рік – на АЕС Три Майл Айленд у Гаррісбурзі (США); 1986 рік – на АЕС Черноб Бейлі. Аварія на АЕС суттєво відрізняється від ядерного вибуху. Вони відрізняються від ядерних вибухів тим, що розряд триває довше, що змінює напрям потоку повітряних мас. Тому передбачити розмір ураженої ділянки практично неможливо.

Техногенна аварія на ЧАЕС стала глобальною і заслуговує на більшу увагу. Як відомо вченим з численних фактів, катастрофи ХХ століття не мали таких серйозних екологічних наслідків, як аварія на Чорнобильській АЕС. Як сьогодні стало відомо з численних фактів вченим, ще жодна катастрофа ХХ століття не мала таких важких екологічних наслідків, як Чорнобильська. Ця трагедія не регіонального, не національного, а глобального масштабу. Випадання радіоактивних речовин простежувалося і в державах Західної Європи, підвищився радіаційний фон у Скандинавії, Японії та США. Навіть через 15 місяців після катастрофи в Чорнобилі у Великій Британії було виявлено надзвичайно велике забруднення рослинності радіоактивними опадами, а також великий вміст цезію в м'ясі овець. В результаті катастрофи вже загинуло багато тисяч чоловік (понад 50 тис з 100 тис тих, які брали участь в ліквідації аварії) через Чорнобильську катастрофу на території України забруднено 12 областей, 86 адміністративних



районів, 2311 населеного пункту, де в цілому живе близько 2 млн 600 тис жителів, в тому числі - 600 тис дітей [1].

Радіація - це випромінювання, яке змінює ядра або стан атомів, перетворюючи їх на заряджені іони та продукти ядерної реакції. різні види випромінювання

Вони різняться своєю проникаючою здатністю і тому по-різному впливають на наш організм [2].

Розвиток атомної енергетики та широке використання джерел іонізуючого випромінювання в різних галузях науки і техніки, а також можлива їхня поява в побуті вимагають ознайомлення з властивостями та методами реєстрації альфа-, бета- та гамма-випромінювань, т.к. а також набуття відповідних знань і практичних навичок, щоб захистити їх від їх впливу.

Для оцінки та дослідження характеристик радіоактивних джерел необхідно використовувати прилади, здатні кількісно вимірювати параметри альфа-, бета- та гамма-випромінювання.

Альфа-випромінювання ( $\alpha$ -випромінювання) – іонізуюче випромінювання, яке являє собою потік відносно важких частинок (ядер гелію, що складаються з двох протонів і двох нейтронів), що випускаються при ядерних перетвореннях. Енергія частинок складає декілька мегаелектрон-вольт і різна для різних радіонуклідів. При цьому деякі радіонукліди випускають  $\alpha$ -частинки кількох енергій. Цей вид випромінювання, маючи малу довжину пробігу частинок, характеризується слабкою проникаючою здатністю, затримуючись навіть листком паперу.

Бета-випромінювання – потік  $\beta$ -частинок (електронів і позитронів), які мають більшу проникаючу здатність в порівнянні з  $\alpha$ -випромінюванням. Частки, які випускаються, мають безперервний енергетичний спектр, розподіляючись за енергією від нуля до певного максимального значення, характерного для даного радіонукліда. Пробіг  $\beta$ -часток в повітрі може досягати декількох метрів, а в біологічній тканині декількох сантиметрів.

Гамма-промені проявляють високу проникаючу здатність, яка перевищує  $\alpha$ - і  $\beta$ -частинки. Затримати їх можна лише за допомогою товстої свинцевої або бетонної плити. Проникаюча здатність залежить від енергії  $\gamma$ -випромінювання та його довжини хвилі: чим вища енергія та коротша довжина хвилі, тим більша проникаюча здатність (Рис.1.1).

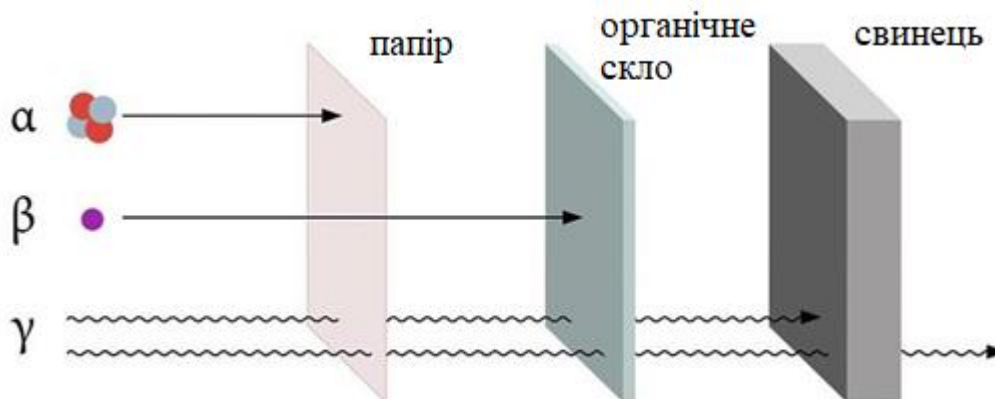


Рисунок 1.1 - Види радіоактивних хвиль та їх проникаюча здатність[3]

Дозиметрія є галуззю прикладної ядерної фізики, яка вивчає іонізуюче випромінювання, фізичні параметри, що описують поле випромінювання та його взаємодію з речовиною, а також принципи та методи вимірювання цих параметрів. Дозиметрія займається фізичними величинами, які характеризують хімічні, фізичні та біологічні ефекти іонізуючого випромінювання. Однією з найважливіших властивостей дозиметричних величин є встановлений зв'язок між фізичною величиною, що вимірюється, і очікуваним радіаційним ефектом.

Основною причиною радіаційних ефектів є поглинання енергії випромінювання опромінюваним об'єктом, а доза, яка вимірює поглинену енергію, є основною дозиметричною величиною. Таким чином, поглинена доза випромінювання є основною фізичною величиною, яка використовується для оцінки впливу випромінювання на оточуюче середовище.

Поглинена доза випромінювання ( $D$ ) визначається енергією випромінювання (в джоулях), поглинутою одиницею маси (в кілограмах) опромінюваної речовини. В міжнародній системі одиниць (СІ) для вимірювання дози використовується грей (Гр):

$$D = 1 \text{ Дж} / 1 \text{ кг} = 1 \text{ Гр.}$$

Поглинена доза характеризує не саме випромінювання, а міру його дії на середовище. В принципі один і той же потік випромінювання в різних середовищах і навіть в різних ділянках одного середовища може сформувати різну величину поглиненої дози. Тому, коли говорять про поглинену дозу, необхідно вказувати, в якому середовищі вона сформована: в повітрі, воді або м'якій біологічній тканині [4].

Зіверт - одиниця ефективних еквівалентних і еквівалентних доз іонізуючого випромінювання в системі СІ (використовується з 1979 р.). 1 Зіверт - це кількість енергії, поглиненої кілограмом біологічної тканини, тобто такої поглиненої дози, при якій 1 Дж енергії вивільняється до 1 кг речовини ( $1 \text{ Sv} = 1 \text{ Дж} / \text{кг}$ ). Міжнародне позначення – Зв [5].

Детектор (чутливий елемент дозиметра, який служить для перетворення явищ, викликаних іонізуючим випромінюванням, в електричний або інший сигнал, доступний для вимірювання) може бути іонізаційною камерою, сцинтилятором, лічильником Гейгера або спеціальним напівпровідниковим діодом.

Побутові дозиметри широко поширені після аварії на ЧАЕС 1986 року. До цього часу дозиметри використовувалися лише в наукових або військових цілях [6].

## 1.2 Вплив радіоактивного випромінювання на організм людини

Фактор радіації був присутній на планеті з самого початку її формування. Проте вивчення фізичної дії радіації розпочалося лише наприкінці ХІХ століття, а біологічні ефекти на живі організми стали об'єктом досліджень у середині ХХ століття. Випромінювання належить до тих фізичних явищ, які не сприймаються нашими органами чуття. Багато фахівців, працюючи з радіацією, постраждали від радіаційних опіків від великих доз випромінювання та померли через злоякісні пухлини, спричинені надмірним опроміненням. Однак, наукова спільнота сьогодні

має значно більше знань про біологічний вплив радіації, ніж про вплив будь-яких інших фізичних або біологічних факторів у навколишньому середовищі.

Під час дослідження впливу радіації на живий організм було встановлено наступні особливості:

1. Ефект іонізуючого випромінювання на організм не сприймається людиною, оскільки відсутні органи почуттів, які могли б сприймати цю форму радіації.

2. Дія випромінювання може додаватися або накопичуватися при впливі малих доз.

3. Радіація впливає не лише на самого живого організму, але й на його нащадків, що проявляється у генетичному ефекті (зміна генотипу).

4. Різні органи живого організму мають різну чутливість до опромінення. Навіть щоденний вплив дози 0,002-0,005 Гр вже призводить до змін у крові:

1. Кожен організм реагує на опромінення по-різному.

2. Вплив радіації залежить від його частоти.

3. Одноразове опромінення великою дозою має більш глибокі наслідки, ніж розподілене на декілька доз.

У кожній клітині організму знаходиться молекула ДНК, яка містить інформацію для правильного розмноження нових клітин. Радіація може призвести до загибелі клітини або спотворення інформації в молекулі ДНК, що з часом може призвести до появи пошкоджених клітин (Рис. 1.2). Мутації, як відомо, є стійкими генетичними змінами, які можуть передаватися наступним поколінням. Припустимі дози опромінення були встановлені задовго до розробки методів, які дозволяють виявити наслідки, до яких ці дози можуть призвести, у людей і їхніх нащадків, які не підозрюють про ці ризики.

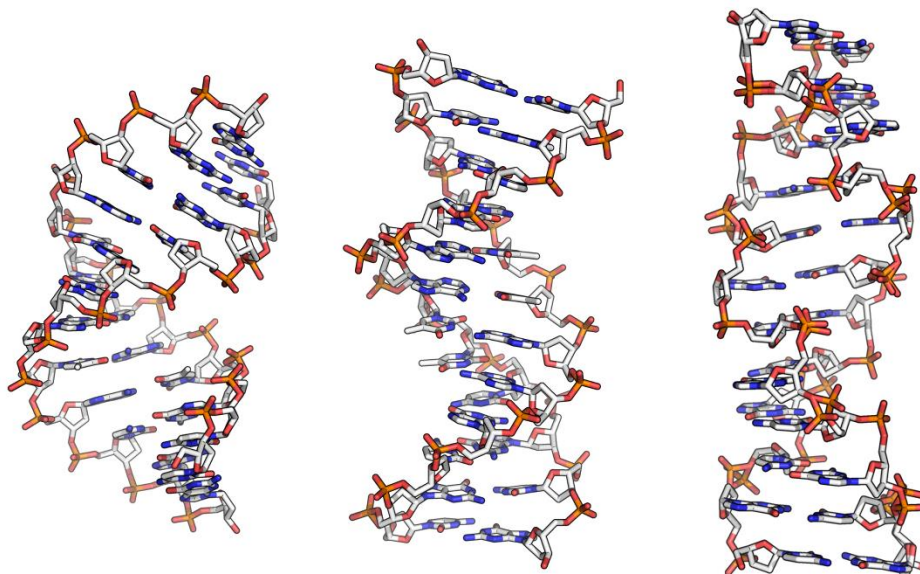


Рисунок 1.2 – Приклад руйнації структури ДНК [7]

Під дією радіоактивного випромінювання в організмі може відбуватися затримка функцій органів кровотворення, порушення нормального згортання крові і збільшення крихкості капілярів; порушення функціонування шлунково-кишкового тракту та виснаження організму; погіршення здатності організму протистояти інфекційним захворюванням і іншим.

При взаємодії з радіоактивними речовинами, шкіра рук може бути піддана інтенсивному опроміненню, що може призвести до хронічного або гострого ураження. Перші ознаки хронічного ураження, зазвичай, не проявляються одразу: вони проявляються сухістю шкіри, тріщинами, виразками, ламкістю нігтів і випаданням волосся.

### 1.3 Основні методи реєстрації іонізуючого випромінювання

В основі дозиметричних та радіометричних приладів лежать різні методи вимірювання, такі як фотографічний, сцинтиляційний, хімічний, іонізаційний, калориметричний та нейтронно-активізаційний.

Фотографічний метод вимірювання радіації ґрунтується на використанні спеціальних фотоемульсій для реєстрації швидких заряджених частинок. Фотоемульсії, які використовуються у цьому методі, називають ядерними.

Ядерні фотоемульсії мають товщину шару від 600 до 1200 мкм, у порівнянні з товщиною шару звичайних фотоемульсій, що становить лише від 10 до 20 мкм.

Чутливість ядерних фотоемульсій значно вища, ніж у звичайних, оскільки число зерен (монокристалів) бромистого срібла у ядерних фотоемульсіях значно більше, а розміри зерен набагато менші, ніж у звичайних фотоемульсіях.

Коли заряджені частинки потрапляють у шар фотоемульсії, нанесений на фотопластинку, вони спричиняють іонізацію молекул фотоемульсії, що призводить до почорніння її зерен. Після хімічної обробки фотопластинки (проявлення і фіксація) треки, залишені пролетілими частинками через фотоемульсію, стають видимими. Їх можна спостерігати за допомогою мікроскопа.

За формою треку, його довжиною, товщиною, щільністю почорнілих зерен емульсії та іншими ознаками

Однією з основних переваг методу товстошарових емульсій порівняно з іншими методами реєстрації частинок є те, що з його допомогою отримуються сліди частинок, які не зникають з часом і можуть бути детально досліджені.

Треки частинок, що формуються в фотоемульсії, є більш тонкими й виразними, ніж ті, які отримуються у камері Вільсона або бульбашковій камері, що сприяє підвищенню точності вимірювань.

Серед недоліків фотоемульсійного методу слід зазначити складність хімічної обробки фотопластинок і неможливість визначення моменту часу, коли заряджена частка потрапляє в фотоемульсію [8].

Сцинтиляційний метод використовується для реєстрації радіації шляхом спостереження світлових спалахів, що виникають під впливом радіоактивного випромінювання у деяких речовинах, таких як сірчистий цинк і йодистий натрій. Ці світлові спалахи фіксуються і перетворюються на електричний струм за допомогою фотоелектронного посилювача. Вимірюваний анодний струм і швидкість рахунку (рахунковий режим) пропорційні рівню радіації.

Сцинтиляційний лічильник об'єднує переваги лічильника Гейгера-Мюллера і пропорційного лічильника, перевершуючи їх за багатьма показниками [9].

Хімічний метод ґрунтується на здатності деяких хімічних речовин змінювати свою структуру або колір під впливом радіоактивного випромінювання через окислювальні або відновні реакції. Наприклад, під впливом радіації, хлороформ у воді розкладається з утворенням соляної кислоти, яка реагує з доданим до хлороформу барвником, що призводить до зміни кольору. Інтенсивність зміни кольору індикатора пропорційна дозі радіоактивного випромінювання. Хімічні дозиметри ДП-20 і ДП-70 М працюють за цим принципом [10].

Іонізаційний метод заснований на іонізації газу під дією радіоактивного випромінювання у закритому просторі. Внаслідок іонізації, газові атоми (молекули) розділяються на позитивні й негативні іони. При поєднанні двох електродів і створенні електричного поля, електрони з від'ємним зарядом будуть рухатися до анода, а позитивно заряджені іони - до катода. Це призводить до протікання іонізуючого струму між електродами, який є показником інтенсивності іонізаційних випромінювань. Зі збільшенням інтенсивності радіації збільшується сила іонізуючого струму [11].

Калориметричний метод ґрунтується на вимірюванні кількості теплоти, яка виділяється в детекторі при поглинанні іонізуючого випромінювання речовиною. Поглинена речовиною енергія перетворюється в теплоту, а кількість виділеної теплоти є пропорційною інтенсивності випромінювання. Для застосування цього методу необхідно, щоб поглинаюча речовина була хімічно інертною до випромінювання [12].

Нейтронно-активаційний метод використовується для вимірювання наведеної радіоактивності, зокрема бета-активності, що виникає під впливом повільних нейтронів. Цей метод застосовується для оцінки доз в аварійних ситуаціях, коли відбувається короткочасне опромінення великими потоками нейтронів [13].

Люмінесцентний метод, заснований на радіофотолюмінісценції і радіотермолюмінісценції. Конструкція дозиметра включає в себе анодовану

алюмінієву фольгу з чотирма термолюмінесцентними детекторами. Ці детектори зазвичай виготовляються з фториду літію, активованого магнієм або фторидом кальцію, активованого, в свою чергу, марганцем. Отримані в люмінофорі, під дією іонізуючого випромінювання, носії заряду локалізуються в центрах захоплення, в результаті чого відбувається накопичення поглиненої енергії, яка може бути потім звільнена при додатковому збудженні.

Додаткове збудження може бути викликано або освітленням люмінофора ультрафіолетовому випромінюванням певної довжини хвилі (радіофотолюмінісценція), або нагріванням до температури  $300^{\circ}\text{C}$  (радіотермолюмінісценція). Оптичні ефекти що спостерігаються можуть служити мірою поглинання енергії. Кількість світла, що випускається, пропорційна дозі випромінювання, одержуваної кожним детектором. Основними перевагами є його низька вартість, простота в використанні, чутливість. Крім того, його можна використовувати багаторазово: після того, як дозиметр отримує дозу опромінення протягом певного періоду часу, його можна знову використовувати. Однак його головний недолік пов'язаний з тим, що випромінювання не може спостерігатися в режимі реального часу, що негативно впливає на його придатність.

Фотографічний метод дозиметрії фотонів. Фотографічний метод вимірювання дози фотонів заснований на їх впливі на чутливий шар рентгенівської плівки. У цьому шарі желатину рівномірно розподілені дрібні ( $0,1 - 1$  мкм) кристали галоїдного срібла ( $\text{AgBr}$  або  $\text{AgCl}$ ). Під впливом електронів, вивільнених фотонами з навколишнього чутливого шару речовини, а також в кристалах утворюються центри прояви, що складаються з груп атомів металевих срібла. Сукупність цих центрів створює приховане зображення. У процесі проявлення плівки відбувається відновлення металевих срібла в тих кристалах, в яких утворилися центри прихованого зображення, що призводить до почорніння плівки. Недоліком є те, що не можливо заміряти дозу у реальному часі та використовувати рентгенівську плівку повторно.

При взаємодії іонізуючого випромінювання з різними речовинами відбуваються зміни у їх фізичних та хімічних властивостях. Ці зміни беруться за



основу при виділенні методів реєстрації іонізуючого випромінювання. Головна частина детектора – чутливий об'єм..

В залежності від характеру взаємодії іонізуючого випромінювання можна виділити такі методи (Рис.1.3):

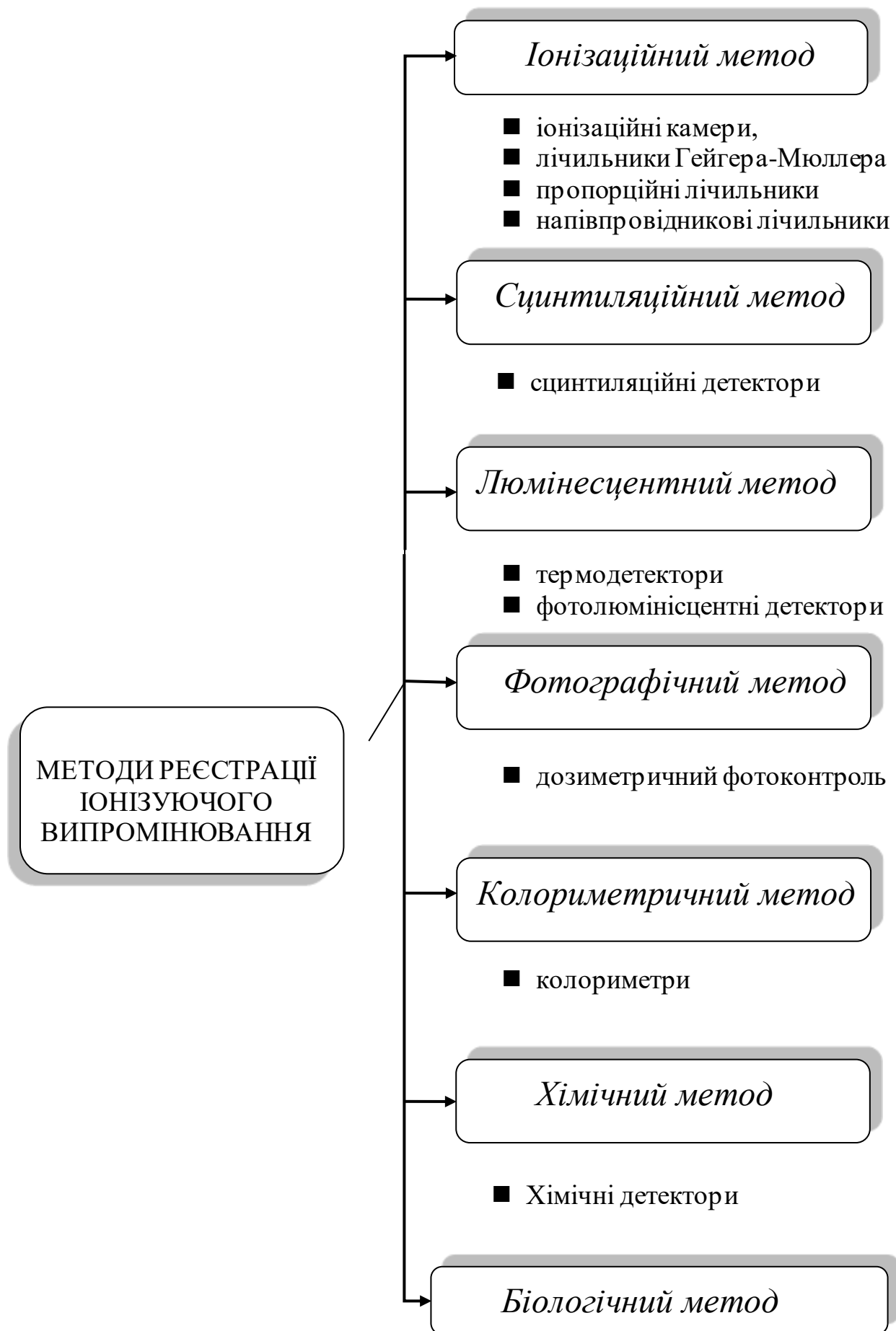


Рисунок 1.3 – Методи реєстрації іонізуючого випромінювання [13]

Лічильник працює на основі ударної іонізації. Гамма-кванти, що випромінюються радіоізотопом, падають на стінки лічильника, вибиваючи електрони. Електрони рухаються крізь газ і стикаються з атомами газу, вибиваючи електрони з атомів і створюючи позитивні іони та вільні електрони. Електричне поле між катодом і анодом прискорює електрони до енергії, при якій починається іонізація. Відбувається лавина іонів, і струм через лічильник різко зростає. У цьому випадку на резисторі формується імпульс напруги, який подається на записуючий пристрій. Щоб лічильник зареєстрував потрапляння в нього частинки, необхідно вимкнути лавинний розряд. Це відбувається автоматично. У момент імпульсу струму на резисторі відбувається велике падіння напруги, тому напруга між анодом і катодом різко падає - так що розряд припиняється і пристрій знову готовий до роботи. Важливою характеристикою лічильника є його ефективність [12].

## 1.4 Напівпровідникові та сцинтиляційні сенсори

### 1.4.1 Напівпровідникові детектори

Напівпровідникові детектори аналогічно газонаповненим іонізаційним камерам використовуються для вимірювання спектрального розподілу квантів випромінювання. Принцип дії таких детекторів полягає в тому, що в напівпровіднику під дією радіації виникають електрон-діркові пари. При прикладенні напруги виникає струм, що свідчить про певний рівень радіації. Перевагою напівпровідникових детекторів є те, що їх струм є на порядок вищим, аніж іонізаційний струм в газах. Це обумовлено більшою густиною напівпровідникового матеріалу, аніж газу.

Стосовно конструкції таких сенсорів є ряд вимог. По-перше, для того, щоб утворені пари носіїв заряду не прорекомбінували, вони мають бути поміщені в сильне електричне поле, яке їх розділятиме. Таке поле є в р-n переході, ввімкненому у зворотньому напрямку. Однак ширина збідненої області р-n-переходу є недовільно великою. Тому є потреба у збільшенні цієї області (так званого корисного об'єму сенсора). Для цього використовують область власної провідності, а структура називається р-і-n-діод. До того ж, для зменшення енерговитрат радіоактивних частинок при проходженні крізь напівпровідниковий матеріал, необхідно зменшити товщину легованих областей (так звані мертві зони). Тому використовують дві структури напівпровідникових детекторів: діод з поверхневим бар'єром та р-і-n-діод. Поверхневий бар'єр, тобто р-n-перехід, формується при окисненні кремнію n-типу, причому оксид має р-тип провідності. Далі наноситься тонкий шар золота для контактів. При цьому збіднена область може простягатись на всю глибину кремнію без будь-яких нечутливих зон. Однак такий діод використовується лише для детектування альфа- та бета-частинок, бо для поглинання гамма-випромінювання чутлива область є надто малою. р-і-n-діод отримують шляхом легування кремнію чи германію атомами літію, який забезпечує n-тип провідності напівпровідниковому матеріалу. При цьому одержують таку трьох шарову структуру: n-шар – кремній р-типу перекомпенсований домішками літію, і-шар – кремній р-типу, в якому вільні дірки скомпенсовані вільними електронами (літію), р-шар – кремній р-типу. Даний детектор на основі кремнію використовують для детектування альфа- та бета-частинок. Однак кремній через низький порядковий номер неефективно детектує гамма-випромінювання. Германій використовується для реєстрації гама- та рентгенівського випромінювання, однак його потрібно охолоджувати до криогенних температур (77К). Також використовують телурид кадмію (CdTe) та йодид ртуті (HgI<sub>2</sub>), які завдяки високому порядковому номеру та більшій ширині забороненої зони ефективно поглинають іонізуюче випромінювання за кімнатної температури. Однак існує проблема вирощування бездефектних кристалів цих матеріалів, а також значним недоліком є їх токсичність.

До переваг напівпровідникових детекторів відносять: малі габарити, лінійність (сигнал пропорційний отриманій енергії), більший вихідний сигнал, висока швидкодія. Обмеження таких детекторів – наявність зони нечутливості, необхідність низьких робочих температур та можливість радіаційного пошкодження напівпровідникового матеріалу [20].

### 1.4.2 Сцинтиляційні детектори

Принцип дії цієї групи детекторів базується на здатності деяких матеріалів перетворювати ядерне випромінювання у видиме світло, а точніше в світлові спалахи (сцинтиляції).

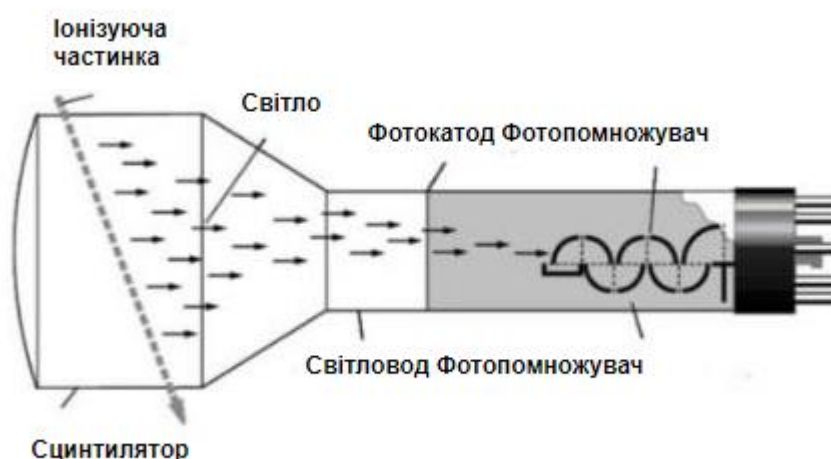


Рисунок 1.4 - Конструкція сцинтиляційних детекторів випромінювання

Сцинтиляційний детектор складається з сцинтилятора та фото помножувача (Рис.1.4). Під дією радіоактивних променів на сцинтиляторі виникають короткі світлові спалахи. Світло сцинтиляцій потрапляє на світлочутливий фотокаатод, вибиваючи з нього фотоелектрони, що утворюють фотострум. За значенням фотоструму, підсиленому у фотопомножувачі, визначають інтенсивність радіоактивного випромінювання. Фізична суть появи сцинтиляцій полягає в тому,

що радіоактивна частинка, зіштовхуючись з матеріалом сцинтилятора, переводить його атоми чи молекули у збуджений стан. Коли останні повертаються в основний стан, випромінюються фотони. Це явище ще називають флуоресценцією, яка є різновидом люмінесценції. Далі кванти далі реєструються фотопомножувачем. В трубці фотопомножувача розташовані діоди – це електроди з позитивною напругою, яка поступово збільшується в напрямку до аноду, на який подається максимальна напруга і з якого знімається сигнал. В якості матеріалів для сцинтиляційних детекторів використовують неорганічні кристали (йодид натрію) та органічні кристали або розчини (антрацен). Неорганічні матеріали характеризуються вищою чутливістю, однак і вищим часом післясвітіння, що не дає можливості реалізувати на їх основі приладів з високою швидкістю. Органічні матеріали не мають такого недоліку, однак вони менш чутливі. Тому для реєстрації гама-променів використовують йодид натрію, в той час як для альфа-випромінювання – сульфід цинку, активований сріблом чи міддю, бета-випромінювання – сульфід кадмію, активований сріблом, нейтронів – суміш бору та сульфід цинку. Сцинтиляційні детектори є ефективнішими при реєстрації фонового гамма-випромінювання, аніж широко розповсюджені лічильники Гейгера-Мюллера [20].

### 1.5 Основні параметри та принцип дії лічильника Гейгера

Лічильник Гейгера, розрядний пристрій, автоматично визначає кількість іонізуючих частинок, що проникли в нього. Це газонаповнений конденсатор, який зазнає пробою при проходженні іонізуючої частинки через газовий об'єм. Інвентаризація цього лічильника була здійснена Гансом Гейгером у 1908 році та покращена Мюллером. Цей пристрій є найпоширенішим датчиком іонізуючого випромінювання.

Додаткова електронна схема забезпечує вимірювання потужності (зазвичай

не менше 300 В), при необхідності, приглушення розряду і облік кількості розрядів через лічильник[15].

Лічильник працює на основі ударної іонізації. Гамма-кванти, які виділяються радіоактивним ізотопом, зіткнувшись зі стінками лічильника і вибивають електрони. Електрони, рухаючись у газі і зіткнувшись з атомами газу, вибивають електрони з атомів, утворюючи позитивні іони та вільні електрони. Електричне поле між катодом і анодом прискорює електрони до енергій, при яких починається іонізація. Відбувається лавина іонів, і струм через лічильник різко зростає. В такому випадку імпульс напруги формується на резисторі, який надходить до записуючого пристрою. Щоб лічильник зареєстрував наступну частинку, яка потрапила в нього, лавинний розряд має бути припинений. Це відбувається автоматично. У момент появи імпульсу струму на резисторі відбувається значне падіння напруги, що різко знижує напругу між анодом і катодом - настільки, що розряд припиняється, і пристрій знову готовий до роботи [16].

Важливою характеристикою лічильника є його продуктивність. Не всі гамма-фотони, що потрапляють на лічильник, спричиняють виникнення вторинних електронів і їх реєстрацію, оскільки взаємодія гамма-випромінювання з речовиною відбувається досить рідко, а деякі вторинні електрони поглинаються стінками пристрою, не досягаючи об'єму газу[17].

Мінімальну кількість частинок, яку лічильник може зареєструвати за одиницю часу, називають роздільною здатністю. Ця характеристика визначається тривалістю фізичних процесів, що відбуваються у лічильнику під час взаємодії зарядженої частинки з ним. Для різних лічильників роздільна здатність може мати значення від  $10^3$  до  $10^{10}$  частинок на секунду.

Лічильники Гейгера поділяються на самозатухаючі та несамозатухаючі (не вимагають зовнішньої схеми для припинення розряду).

Таблиця 1.1 містить дані про самозатухаючі галогенові лічильники Гейгера-Мюллера, які є найбільш підходящими для використання в побутових пристроях для радіаційного контролю.

Таблиця 1.1 – Різновиди лічильників Гейгера-Мюллера

	1	2	3	4	5	6
СБМ-19	400	100	2	310*	50	19×195
СБМ-20	400	100	1	78*	50	11×108
СБТ-9	380	80	0,17	40*	40	12×74
СБТ-10А	390	80	2,2	333*	5	(83×67×37)
СБТ-11	390	80	0,7	50*	10	(55×29×23,5)
СІ-8Б	390	80	2	350-500	20	82×31
СІ-22Г	400	200	2	300	30	(19×19×215)

У наведеній таблиці 1.1 зазначені основні параметри лічильників, в тому числі:

- 1 – Робоча напруга, В.
- 2 – Плато-область малої залежності швидкості рахунку від напруги живлення, В.
- 3 – Власний фон лічильника, імп / с, не більше.
- 4 – Радіаційна чутливість лічильника, імп / мкР (\* по кобальту 60).
- 5 – Амплітуда вихідного імпульсу, В.
- 6 – Габарити, мм – діаметр × довжина (довжина × ширина × висота).

Чутливість лічильника визначається складом газу, його обсягом, а також матеріалом і товщиною його стінок

Розглянемо будову лічильника Гейгера на прикладі типового скляного лічильника (Рис.1.5).

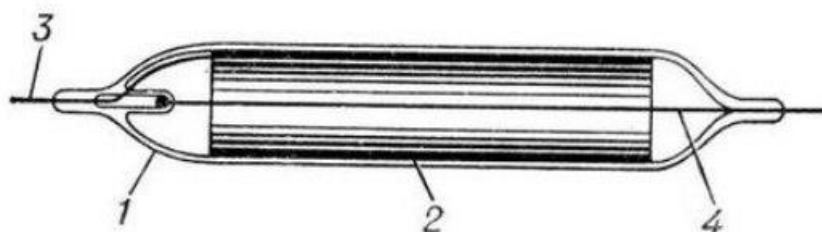


Рисунок 1.5 – Скляний лічильник Гейгера-Мюллера: 1- геометрично запаяна скляна трубка; 2 – катод (тонкий шар міді на трубці з нержавіючої сталі); 3 – вивід катоду; 4 – анод (тонка натягнута нитка) [18].



## 1.6 Обладнання для вимірювання рівня радіоактивного забруднення території

За призначенням усі дозиметричні прилади, які використовують формування ЦЗ в польових умовах, можна поділити на три групи:

- прилади радіаційної та хімічної розвідки;
- прилади контролю ступеня радіоактивного забруднення;
- прилади контролю доз радіоактивного опромінювання.

Прилади радіаційної та хімічної розвідки (ПРХР) служать для неперервного моніторингу гамма-випромінювань, що виникають при ядерних вибухах. Вони встановлюються на броньованих транспортних засобах. Прилади ПРХР дозволяють виявити зовнішні токсичні речовини, такі як зарин, що знаходяться поза броньованими засобами. Прилади надають світлові і звукові сигнали, а також виконують команди для активації механізмів системи захисту екіпажу у разі перевищення порогових значень гамма-випромінювання або виявлення проникаючої радіації ядерного вибуху, з метою захисту екіпажу від ударної хвилі та небезпечних отруйних речовин, таких як зарин. (Рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Прилад радіаційної та хімічної розвідки

Прилад також забезпечує вимірювання дози гамма-випромінювання на забрудненій території всередині броньованого транспортного засобу, що служить

для контролю опромінення екіпажу. Звукові сигнали передаються через головні навушники переговорного пристрою у вигляді переривистих сигналів тривалістю 0,2-0,3 секунди з інтервалом від 4 до 20 секунд. [19].

Дозиметричні пристрої, залежно від свого призначення, поділяються на чотири основних типи.

Індикатори використовуються для виявлення радіоактивного забруднення навколишнього середовища та різних об'єктів. Деякі з них також здатні вимірювати рівні бета- та альфа-випромінювань.

У якості датчиків використовуються газові лічильники. До цієї групи приладів належать індикатори ДП-63, ДП-63А, ДП-64.

Рентгенметри призначені для вимірювання рівнів радіації на забруднених радіоактивними речовинами територіях. У таких приладах використовуються іонізаційні камери або газові лічильники. Серед них є загальновійськовий рентгенметр ДП-2, рентгенметр "Кактус", ДП-3, ДП-3Б, ДП-5А, Б і В, та інші.

Радіометри використовуються для вимірювання рівня забруднення поверхні різних об'єктів радіоактивними речовинами, особливо альфа- та бета-частинками. Датчиками радіометрів можуть бути газові лічильники або скінціляційні лічильники.

## 1.7 Огляд біологічних основ радіаційного захисту

Після впливу радіації можуть виникати такі біологічні наслідки: детерміновані ефекти (тканинні реакції) та стохастичні ефекти (онкологія).

Детермінований ефект проявляється у втраті багатьох клітин в органі або тканині при дозі випромінювання, що перевищує певний пороговий рівень. Цей рівень залежить від потужності дози, передачі енергії випромінювання, розміру та типу опромінюваного органу або тканини, а також від спостережуваного клінічного ефекту. Детермінований ефект спостерігається у пацієнтів, що

отримують променеву терапію або довготривалі інтервенційні процедури з використанням іонізуючого випромінювання.

Ушкодження ДНК в одній клітині від радіації може призвести до змін у цій клітині, яка все ще здатна до розмноження. Існує невелика ймовірність, що таке ушкодження, під дією інших факторів, навіть не пов'язаних з випромінюванням, може призвести до розвитку злоякісних новоутворень (соматичний ефект). Ймовірність стохастичного ефекту, спричиненого радіацією, зростає з дозою і пропорційна дозі при низьких рівнях експозиції.

Аналізуючи глобальну статистику смертності від онкологічних захворювань, видно, що вплив радіаційного випромінювання призводить до смертності на рівні від одного до декількох відсотків. [19]

Метою дипломної роботи є розробка приладу для вимірювання гамма випромінювання. Для досягнення поставленої мети треба вирішити наступні задачі:

- Провести аналіз процесу розвитку радіаційних досліджень та вплив радіоактивного випромінювання на організм людини;
- Дослідити методи вимірювання випромінювання та обладнання для визначення радіоактивного забруднення на території;
- Розробити структурну схему приладу;
- Розробити схему формування високої напруги для забезпечення роботи лічильника СБМ-20;
- Розрахувати та побудувати схему формування одиничних імпульсів та провести моделювання в середовищі EWB;
- Обґрунтувати вибір мікроконтролеру для виконання функції управління схемою.

## 2 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ

### 2.1 Обґрунтування вибору радіаційного датчика

Лічильник Гейгера-Мюллера є простим, надійним і практичним датчиком радіації. Хоча це не найточніший інструмент для вивчення окремих типів частинок або випромінювання, він рідко підходить як загальна міра інтенсивності іонізуючого випромінювання. У поєднанні з іншими детекторами він використовується фізиками для проведення найточніших вимірювань під час експериментів.

За визначенням, до іонізуючого випромінювання належать ті випромінювання, які за звичайних умов викликають іонізацію речовини. Це потребує певної кількості енергії. Наприклад, радіохвилі чи навіть ультрафіолет не є іонізуючим випромінюванням. Кордон починається з «жорсткого ультрафіолетового випромінювання», він же «м'який рентген». Це випромінювання фотонного типу. Фотони високої енергії називаються гамма-квантами.

Вперше розділив іонізуючі випромінювання на три види Ернст Резерфорд. Це було зроблено на експериментальній установці за допомогою магнітного поля в вакуумі. Згодом з'ясувалося, що це:

$\alpha$  - ядра атомів гелію

$\beta$  - електрони з високою енергією

$\gamma$  - гамма-кванти (фотони)

Пізніше було відкрито існування нейтронів. Альфа-частинки легко зупиняються навіть звичайним папером, бета-частинки мають трохи більшу

проникливість, а гамма-промені - найвищу. Нейтрони є найбільш небезпечними (на відстані до багатьох десятків метрів у повітрі). Хоча вони є електрично нейтральними і не взаємодіють з електронними оболонками молекул речовини, але якщо вони потрапляють в атомне ядро (що має високу ймовірність), вони спричиняють його нестабільність і розпад, який зазвичай призводить до утворення радіоактивних ізотопів. Ці радіоактивні ізотопи, в свою чергу, розпадаються і випромінюють цілий "букет" іонізуючого випромінювання. Найгірше те, що опромінені предмети або живі організми самі стають джерелами радіації протягом тривалого часу, включаючи кілька годин і навіть днів..

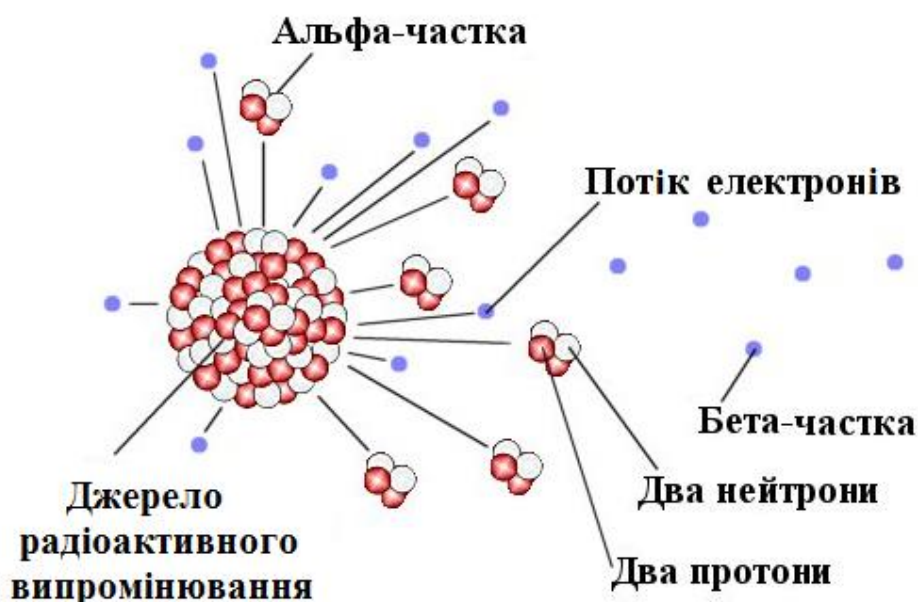


Рисунок 2.1 – Радіоактивні частки

Кількість енергії, що володіють ці три типи випромінювання, також різна, і найбільшу енергію мають альфа-частинки. Наприклад, енергія альфа-частинок перевищує енергію бета-частинок в сім тисяч разів, тому проникаюча здатність різних типів радіації знаходиться в зворотно пропорційній залежності від їх проникаючої здатності.

Гамма-кванти вважаються найнебезпечнішим типом радіоактивного випромінювання для організму людини через їх високу проникаючу здатність, за ними йдуть бета-частинки та альфа-частинки. Виміряти альфа-частинки звичайним

лічильником Гейгера-Мюллера важко або навіть неможливо, оскільки практично будь-який предмет, включаючи скляну чи металеву ємність, є для них перешкодою. Бета-частинки можна визначити за допомогою цього лічильника, але лише якщо вони мають достатню енергію, щоб пройти через матеріал контейнера лічильника.

У випадку гамма-випромінювання виникає зворотна ситуація, оскільки воно може проникати через контейнер без виклику іонізаційної реакції. Для цього в лічильник Гейгера-Мюллера встановлюється спеціальний екран з високощільної сталі або свинцю, який знижує енергію гамма-кванту, тим самим унеможливаючи розрядку відсіку лічильника.

Газорозрядний лічильник Гейгера-Мюллера зазвичай має форму герметичної трубки з скла або металу, з якої відкачується повітря, а на його місце заповнюється інертний газ (наприклад, неон або аргон або їх суміш) під невеликим тиском, додавши до нього галогени або спирт. У середині трубки проходить тонкий дріт, а посередині розташований металевий циліндр. Як катод виступає трубка, а як анод - дріт. Мінус від джерела постійної напруги підключається до катода, а плюс через великий постійний опір - до анода. Таким чином утворюється електричний подільник напруги, а в середині, де з'єднуються опір і анод, напруга майже дорівнює напрузі на джерелі, зазвичай це декілька сотень вольт.

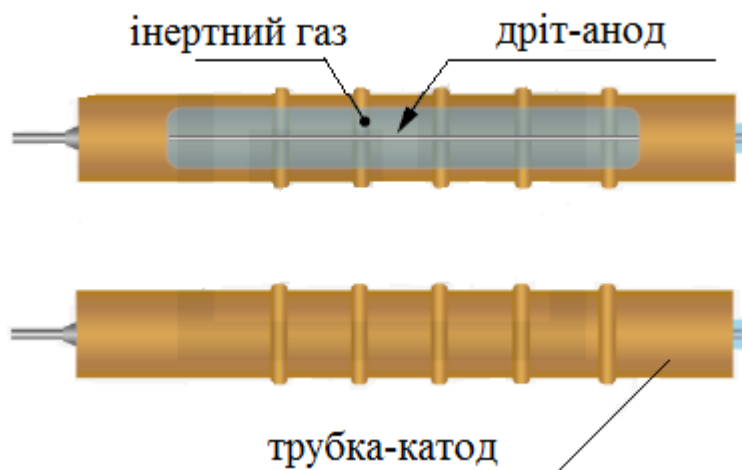


Рисунок 2.2 – Газорозрядний лічильник Гейгера-Мюллера

Коли іонізуюча частка пролітає крізь трубку, атоми інертного газу, що перебувають в сильному електричному полі, зіткнуваються з цією часткою. Енергія,

передана при зіткненні, досить для відділення електронів від атомів газу. Створені вторинні електрони самі можуть викликати нові зіткнення, спричиняючи масову лавину електронів і іонів. Під дією електричного поля електрони прискорюються до анода, а позитивно заряджені іони газу - до катода трубки. В результаті виникає електричний струм. Проте, оскільки енергія частинки вже витрачена на зіткнення, повністю або частково (якщо частка пролетіла крізь трубку), запас іонізованих атомів газу закінчується. Для цього застосовуються додаткові заходи.

Коли заряджена частинка потрапляє до лічильника Гейгера-Мюллера, опір трубки знижується через генерацію струму, і напруга в середній точці подільника напруги відповідно падає. Потім опір трубки відновлюється через зростання його опору, і напруга знову стає на початковому рівні. Таким чином, отримуємо негативний імпульс напруги. З рахунку цих імпульсів можна оцінити кількість частинок, що пролетіли. Електричне поле особливо високе біля анода через його малі розміри, що робить лічильник більш чутливим.

Реєструючий пристрій представляє собою герметичний балон або ємність, що заповнена інертним газом, таким як неон, аргон і інші. Цей балон, зроблений з металу або скла, містить газ під низьким тиском, спеціально для спрощення процесу реєстрації заряджених частинок. У середині балону розташовані два електрода - катод і анод, до яких через спеціальний навантажувальний резистор подається струм постійної високої напруги..

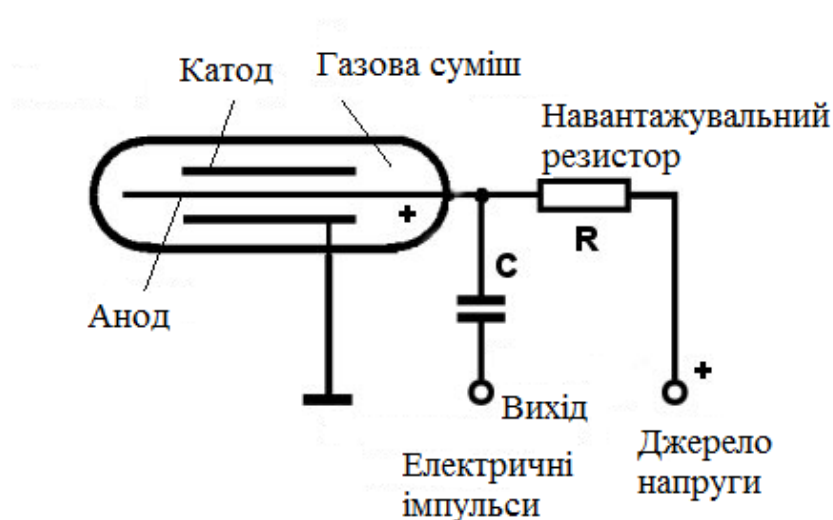


Рисунок 2.3 – Схема включення лічильника

### 2.1.1 Базові характеристики лічильників

Порівняємо деякі основні характеристики різних дозиметрів, що мають газорозрядні лічильники Гейгера-Мюллера.

- Площа вхідного чутливого елемента і робочої зони.

Іншими словами, це область, через яку проникають і реєструються радіоактивні частинки, які нас цікавлять. Чим більша ця площа, тим більше частинок зможе сприймати лічильник і тим вища його чутливість до радіації. У паспортних даних професійних дозиметрів зазвичай вказується площа робочої поверхні, виміряна у квадратних сантиметрах.

- Величина шуму є важливим показником, який зазначається у характеристиках дозиметра і вимірюється у кількості імпульсів на секунду.

Цей показник також можна назвати рівнем власного фону. Його можна визначити в лабораторних умовах, коли пристрій розміщують у добре захищеному приміщенні або камері з товстими свинцевими стінами, і реєструють рівень радіації, що випромінює сам пристрій. Зрозуміло, що якщо такий рівень буде достатньо значним, то ці шуми безпосередньо впливатимуть на похибки вимірювань.

- Ефективність реєстрації іонного випромінювання або радіоактивних частинок.

Цей критерій виникає з того факту, що не всі радіоактивні частинки, які проникають через чутливий елемент дозиметра, будуть зареєстровані. Це може статися, коли квант гамма-випромінювання не викликає іонізацію в лічильній камері, або коли кількість пройдених частинок, що викликають іонізацію і розряд, настільки велика, що пристрій неадекватно їх рахує, а також з інших причин. Для точного визначення цієї характеристики конкретного дозиметра його тестують за допомогою радіоактивних джерел, таких як плутоній-239 (для альфа-частинок), талій-204, стронцій-90, ітрій-90 (бета-випромінювачі) та інших радіоактивних матеріалів.

- Діапазон енергій.



Будь-яка радіоактивна частинка або квант випромінювання мають різну енергетичну характеристику. Тому дозиметри призначені для виміру не лише певного типу випромінювання, але й відповідної енергетичної характеристики. Цей показник вимірюється в мегаелектронвольтах або кілоелектронвольтах (MeV, keV). Наприклад, якщо бета-частинки не мають достатньої енергії, вони не зможуть вибити електрон в лічильній камері і, отже, не будуть зареєстровані. Альфа-частинки, з іншого боку, зможуть пробити матеріал корпусу лічильника Гейгера-Мюллера та вибити електрон лише у випадку високої енергії.

- Мертвий час лічильника

Це період відновлення, протягом якого лічильник не може реєструвати імпульси після спрацьовування від пролітання частки. Наявність цього періоду обмежує частоту імпульсів і впливає на діапазон вимірювань. Звичайне значення мертвого часу становить приблизно десять мікросекунд.

Варто зазначити, що через мертвий час детектор може бути недоступним і не реагувати у найнебезпечніші моменти, наприклад, під час аварійної ланцюгової реакції на виробництві. В таких випадках застосовуються свинцеві екрани, які захищають датчики аварійних систем сигналізації. [14]

### 2.1.2 Основні параметри лічильника СБМ-20

Варіантом дозиметрів, які призначені для реєстрації і виявлення гамма-фотонів та високочастотного (жорсткого) бета-випромінювання, є практично всі сучасні дозиметри, включаючи як побутові (наприклад, МКС-05 Терра-П), так і професійні дозиметри радіації, наприклад, дозиметр РКС-01 СТОРА. Це тип випромінювання має достатню енергію і велику проникаючу здатність, що дозволяє камері лічильника Гейгера зареєструвати його. Частинки і фотони цього випромінювання легко проникають через стінки лічильника і викликають процес іонізації, який легко реєструється відповідною електронною системою дозиметра.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики лічильника СБМ-20

Робоча напруга	400 В
Діапазон робочих напруг	350-475 В
Діапазон потужностей експозиційних доз гамма-випромінювання	0,004-40 мкр/с, 0,014-144 мр/ч
Чутливість до гамма випромінювання Ra226	29 имп.с/мр/ч
Чутливість до гамма випромінювання Co60	22 имп.с/мр/ч
Максимальний допустимий струм	20 мкА
Ресурс роботи	2x10 <sup>10</sup> имп.
Рекомендований резистор анода	5,1 МОм
Діапазон робочих температур	-50...70°C
Мертвий час при U = 400В:	90р/мкс

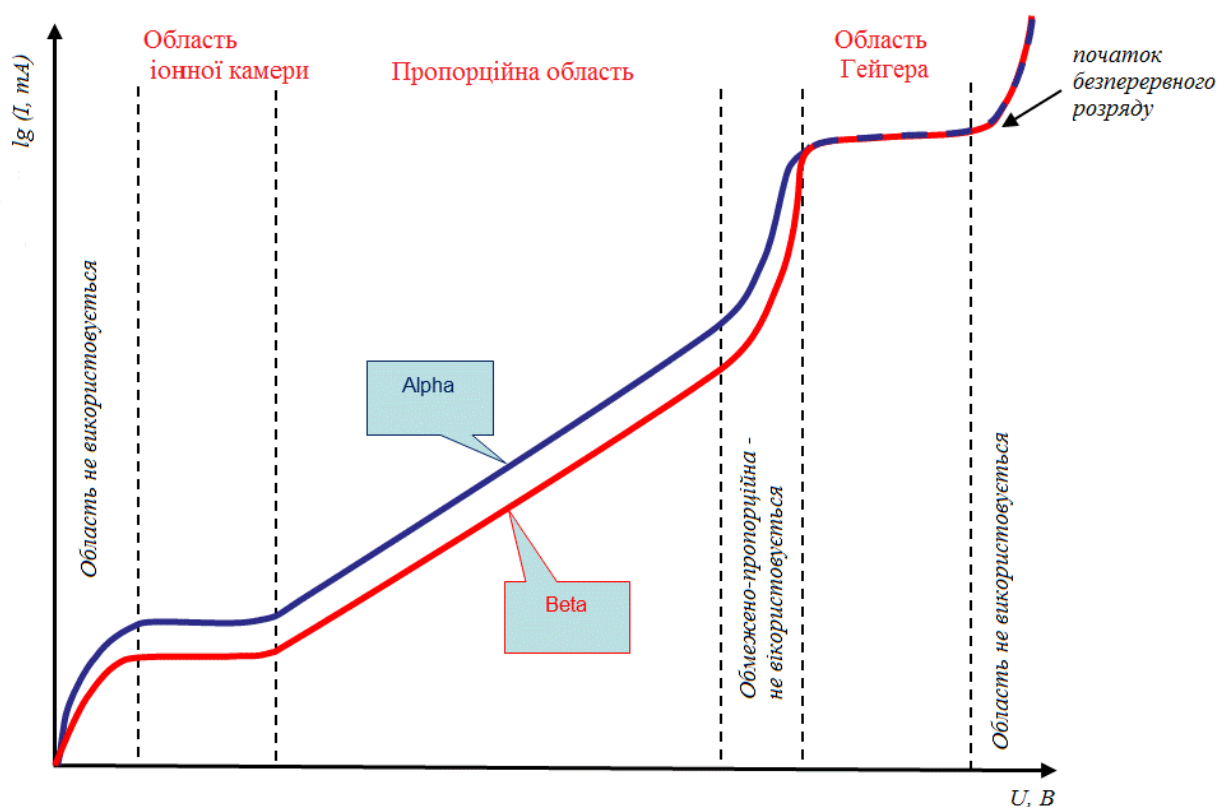


Рисунок 2.4 – Робочі області лічильника

У так званій "області іонної камери" відсутнє посилення, що призводить до дуже малого вихідного струму, тобто слабкого сигналу. При збільшенні напруги

трубка переходить у "пропорційну область", де вихідний струм залежить від вхідної енергії. Наприклад, гамма-випромінювання з енергією 100 кеВ викликає менший струм, ніж гамма-промені з енергією 1 МеВ.

При подальшому збільшенні напруги посилення насичується і утворюється "область Гейгера". Лічильники Гейгера працюють в цій області, оскільки вони генерують потужні, однорідні сигнали, які мало залежать від напруги. Усі частинки тепер генерують однакові імпульси, незалежно від їх енергії.

## 2.2 Опис функціональної схеми та принцип роботи силового блоку напруги

На рисунку 2.5 представлена структурна схема приладу для вимірювання гамма-випромінювання.

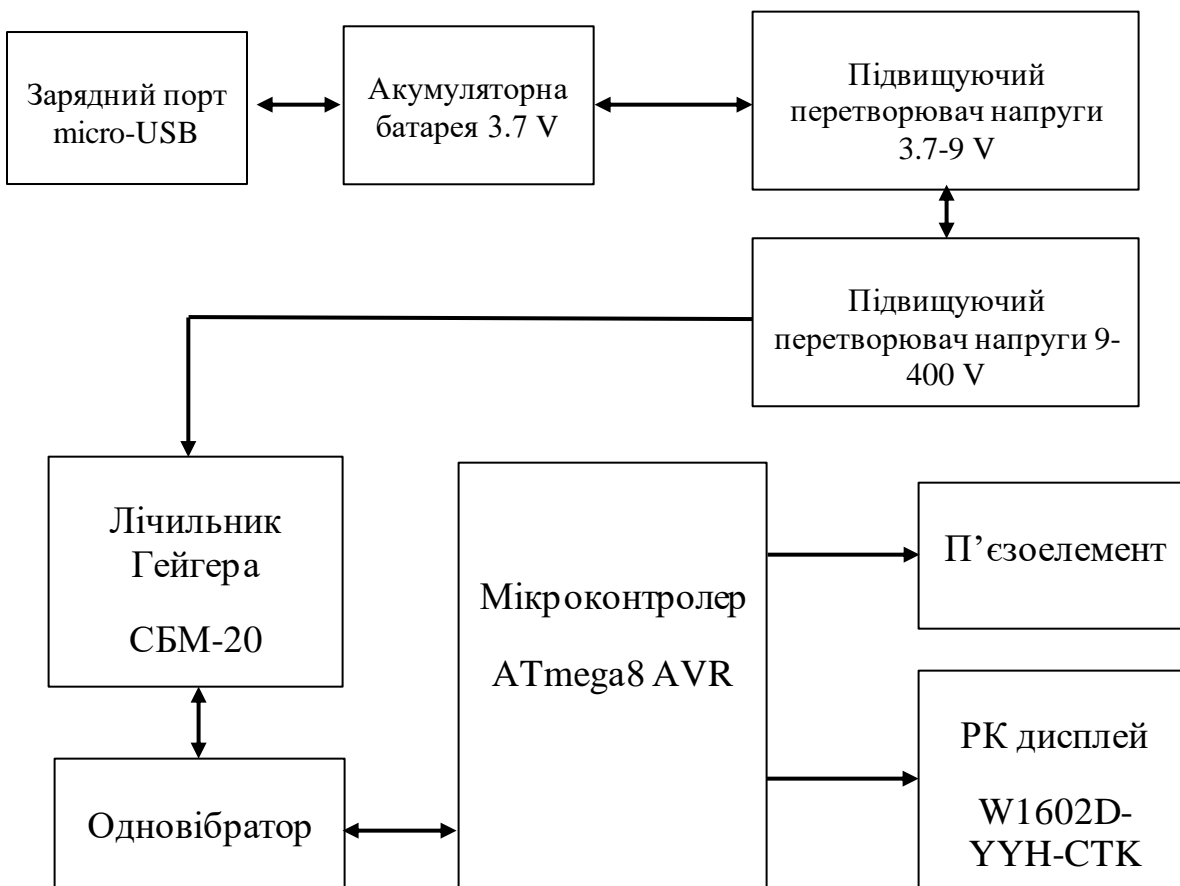


Рисунок 2.5 – Структурна схема приладу для вимірювання гамма-випромінювання

Прилад для вимірювання гамма-випромінювання складається з наступних частин:

1. Порт micro-USB дозволяє багаторазово заряджати акумуляторну батарею в пристрої. Більшість сучасних мобільних пристроїв використовують цей тип роз'єму для зарядки та передачі даних. Завдяки тому, що порт micro-USB є стандартним роз'ємом, можна використовувати різні пристрої для зарядки пристроїв з таким роз'ємом, включаючи портативні зарядні пристрої PowerBank.

Також варто зазначити, що пристрій з виведеними всіма контактами роз'єму micro-USB з кроком 2.54 мм може бути корисним для розробки власних пристроїв, які використовують цей тип роз'єму. Кількість контактів у порту micro-USB зазвичай становить 5, однак в деяких випадках може бути використано тільки 4 контакти, наприклад, якщо зарядка здійснюється тільки через два контакти USB порту. (Рис. 2.6).

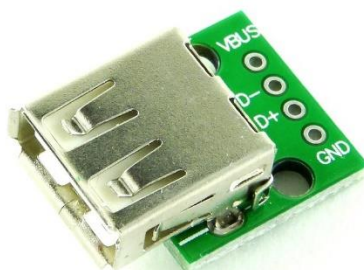


Рисунок 2.6 – Порт micro-USB

2. Для живлення пристрою буде використовуватися багатозарядна циліндрична літій-іонна акумуляторна батарея з напругою 3,7 В та ємністю 2000 мА·год. Ця батарея має високу ємність, що дозволяє пристрою працювати довгий час без підзарядки.

Також важливо зазначити, що ця батарея здатна заряджатися багатократно, що робить її економічним та екологічним варіантом живлення електронних пристроїв. (Рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Літій-іонна акумуляторна батарея

3. Підвищуючий перетворювач напруги 3,7-9 В - це електронний пристрій, який забезпечує збільшення напруги від джерела живлення до необхідного рівня. У даному випадку, він дозволяє підвищити напругу від батареї ємністю 3,7 В до рівня 9 В, який може бути необхідним для живлення електронного пристрою.

Підвищуючі перетворювачі напруги є досить поширеними в електронних пристроях, де необхідно забезпечити стабільне живлення з різних джерел, таких як батареї чи акумулятори (Рис. 2.8).



Рисунок 2.8 – Підвищуючий перетворювач напруги 3.7 – 9V

Технічні характеристики підвищуючого перетворювача напруги 3.7 – 9V:

- Вхідну напругу: 3,7 В;
- Вихідну напругу: 9 В;
- Максимальний струм, який може бути витягнутий з вихідного джерела: зазвичай він обмежений інтегральними елементами, які використовуються в пристрої, і може бути від 1 до 2 А;
- Коефіцієнт підвищення напруги (тобто співвідношення вхідної та вихідної напруги);
- Коефіцієнт корисної дії (тобто співвідношення потужності на виході до потужності на вході);
- Захист від короткого замикання і перевантаження;
- Режим роботи: зазвичай, він може бути вибраний на платі пристрою шляхом зміни конфігурації джамперів або програмно на мікроконтролері, який використовується в пристрої.

4. Перетворювач напруги з діапазоном вхідної напруги від 9 до 400 вольт використовується в схемі з детектором гамма-випромінювання для кількох цілей:

- Підсилення сигналу: Гамма-випромінювання зазвичай має дуже слабкий сигнал. Перетворювач напруги дозволяє підсилити цей слабкий сигнал до рівня, придатного для подальшого аналізу та обробки.

- Регулювання напруги: Деякі детектори гамма-випромінювання потребують певного рівня напруги для своєї роботи. Перетворювач напруги дозволяє регулювати напругу залежно від потреби детектора.

- Забезпечення стабільної напруги: Для точного вимірювання гамма-випромінювання необхідно мати стабільну та контрольовану напругу. Перетворювач напруги може забезпечити стабільний джерело напруги, яке дозволить отримати надійні результати вимірювань.

- Захист детектора: Перетворювач напруги може включати функції захисту, такі як обмеження струму або захист від короткого замикання. Це допомагає запобігти пошкодженню детектора гамма-випромінювання в разі непередбачених ситуацій.

В цілому, перетворювач напруги в схемі з детектором гамма-випромінювання використовується для підсилення сигналу, регулювання та стабілізації напруги, а також для захисту детектора. Це допомагає досягти кращої якості та надійності вимірювань гамма-випромінювання

5. Лічильник Гейгера СБМ-20 - це пристрій для вимірювання радіаційного випромінювання, який використовує газорозрядну трубку типу Гейгера-Мюллера. Принцип роботи полягає в тому, що коли радіоактивне випромінювання взаємодіє з газовими молекулами у трубці, вона генерує електричний імпульс, який детектується та реєструється лічильником. (Рис. 2.10).



Рисунок 2.10 – Лічильник Гейгера СБМ-20

Основні технічні характеристики лічильника Гейгера СБМ-20:

- Енергетичний діапазон вимірювання: 0,06-1,5 МеВ
- Чутливість: 80 см<sup>2</sup>\*мкР/год
- Діапазон вимірювання інтенсивності випромінювання: 0,1-10 мЗв/год
- Похибка вимірювання: не більше 20%
- Частота лічильника: близько 5-6 Гц
- Витрата струму: не більше 0,5 мА
- Розміри трубки: діаметр 9 мм, довжина 40 мм
- Живлення: 350-450 В від джерела високої напруги.

Лічильник СБМ-20 може використовуватися в різних областях, де вимагається вимірювання рівня радіаційного випромінювання, наприклад, в ядерній промисловості, медицині, науці, пожежній та аварійній службі тощо.

6. Одновібратор – це електронна схема, що генерує один збуджений вихідний імпульс при кожному вхідному змінному сигналі. У стані спокою одновібратор має стабільний вихідний стан, але він може перейти до збудженого стану за умови надходження короткого вхідного імпульсу.

Технічні характеристики одновібратора можуть включати такі параметри:

1. Час затримки - час, протягом якого одновібратор перебуває в збудженому стані після надходження вхідного імпульсу.
2. Частота збудження - частота, з якою одновібратор може генерувати вихідні імпульси.
3. Амплітуда вхідного сигналу - максимальна амплітуда вхідного сигналу, при якій одновібратор може працювати стабільно.
4. Максимальна вихідна потужність - максимальна потужність, яку може віддавати одновібратор на вихідному етапі.

Одновібратори можуть бути використані в різних застосуваннях, таких як генерація різних сигналів, таймери, та в схемах запобіжних пристроїв.

7. Мікроконтролер ATmega8 AVR - це 8-бітний мікроконтролер з розширеним набором команд AVR. Він розроблений компанією Microchip Technology і має високу продуктивність і використовується для різних застосувань, включаючи автоматизацію, системи керування, робототехніку, IoT та інші (Рис. 2.11).



Рисунок 2.11 - Мікроконтролер ATmega8 AVR



Технічні характеристики мікроконтролера ATmega8 AVR:

- Архітектура: AVR RISC.
- Розмір пам'яті програм: 8 кілобайт (KB).
- Розмір оперативної пам'яті (RAM): 1 кілобайт (KB).
- Розмір EEPROM пам'яті: 512 байт.
- Розмір пам'яті флеш: 8 кілобайт.
- Частота роботи: 0-16 МГц.
- Кількість вбудованих таймерів: 3 (8-bit таймер / лічильник з роздільною здатністю до 16 біт).
- Кількість вбудованих АЦП: 1 (10-бітний АЦП з 8 вхідними каналами).
- Кількість вбудованих портів введення / виведення (GPIO): 23 порти введення / виведення, з яких 17 можуть бути настроєні як входи або виходи.
- Інтерфейси: SPI, USART, I2C.
- Живлення: 2.7-5.5 В.

8. У якості п'єзоелемента в схемі виступає п'єзопищалка або Електромагнітний випромінювач НСМ1201х – це пристрій, призначений для формування та видачі певних звукових сигналів. Електромагнітні випромінювачі звуку застосовуються у засобах зв'язку, комп'ютерній, автомобільній та побутовій електроніці, а також касових апаратах. Вони мають герметичний корпус, штирьові виводи або роз'єм для поверхневого та вивідного монтажу. Електромагнітні вироби дуже надійні, завдяки чому видають чисті ясні звукові сигнали. (Рис. 2.12).



Рисунок 2.12 – НСМ1201х

Технічні характеристики п'єзоелемента НСМ1201х:

- Тип – електромагнітний.
- Вбудований генератор – є
- Частота – 2300 Гц.
- Номінальна робоча напруга – 1.5 В.
- Максимальний струм – 20 ма.
- Інтенсивність звуку – 75 дБ.
- Товщина корпусу h – 9.5 мм.
- Діаметр(ширина) корпусу – 12 d, мм.
- Робоча температура – -40 ... 85 °С.
- Серія – НСМ12-Х.
- Вага – 2 г.

9. РК дисплей W1602D-УУН-СТК є рядковим дисплеєм з вбудованим контролером із 16 символами на 2 рядки. Дисплей має живлення 5 вольт через шину даних, а також може бути змонтований безпосередньо на друкованій платі за допомогою 16-контактного роз'єму. Інтерфейс дисплея може бути керований за допомогою різних протоколів, включаючи 4-бітний та 8-бітний режими, що дозволяє забезпечити більш гнучкий контроль дисплея.

Також, W1602D-УУН-СТК має підсвічування LED з можливістю керування яскравістю, що дозволяє забезпечувати кращу видимість символів при поганому освітленні. Дисплей також підтримує відображення символів в різних мовах, включаючи кирилицю (Рис. 2.13).



Рисунок 2.13 - РК дисплей W1602D-YUH-CTK

Технічні характеристики РК дисплея W1602D-YUH-CTK:

- Розмір екрану: 16 символів на 2 рядки.
- Розмір символу: 5x8 точок матриці.
- Живлення: 5 вольт через шину даних.
- Інтерфейс: може бути керований за допомогою 4-бітного або 8-бітного режимів.
- Підсвічування: LED з можливістю керування яскравістю.
- Підтримка мов: різні мови, включаючи кирилицю.

### 2.3 Розробка схеми підвищувача напруги

Робоча напруга дуже важлива, і вона завжди вказується в паспорті лампи. Якщо напруга занадто висока, після іонізації трубка залишиться іонізованою та ніколи не буде деіонізуватися, щоб виявити подальше випромінювання. Якщо вона занадто низька, трубка втрачає чутливість і вимірює менше, ніж мала б, якщо взагалі щось вимірює. Робочий діапазон досить широкий і не надто критичний, оскільки межі не перевищуються. Наприклад, СБМ-20 працює від 350 до 475 В, рекомендована робоча напруга 400 В (Рис. 2.14).

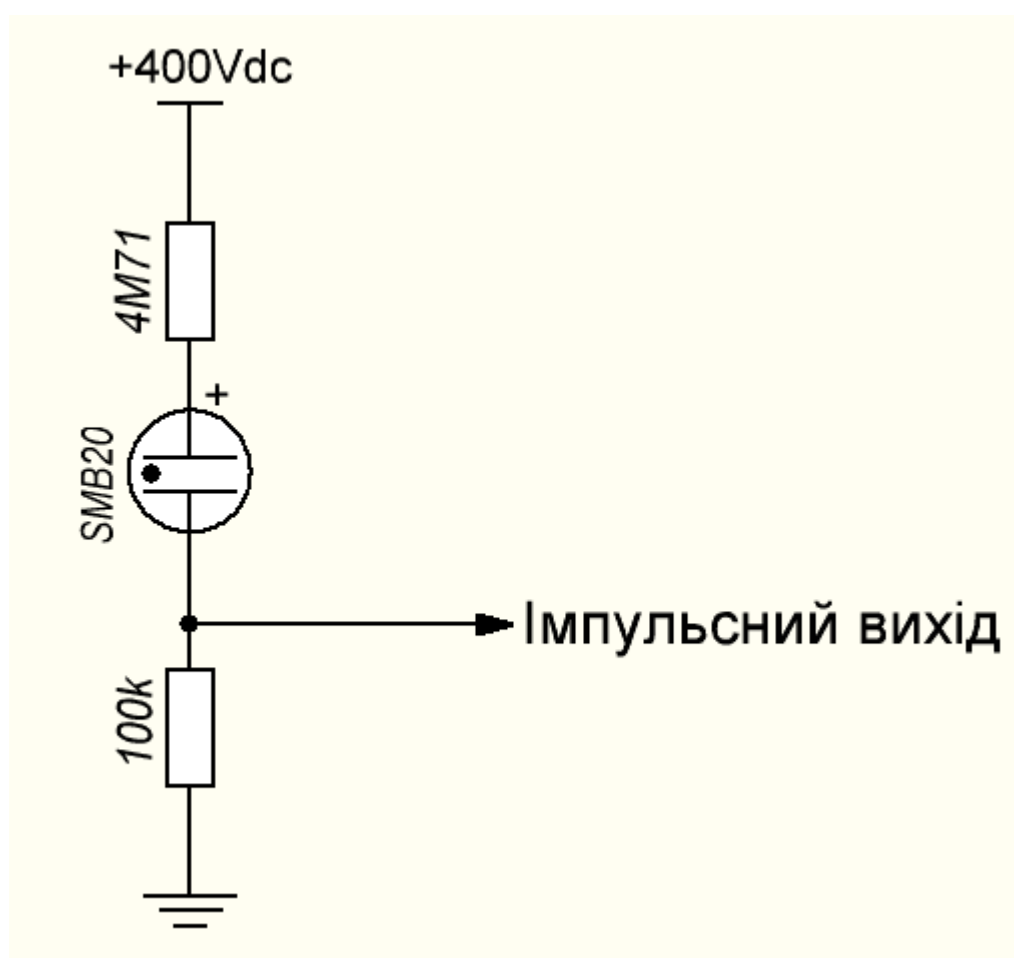


Рисунок 2.14 – Основне з'єднання лічильника Гейгера-Мюллера

Послідовний резистор для обмеження струму є обов'язковим. Низьке значення резистора скорочує мертвий час, але якщо воно занадто низьке, струм у трубці буде занадто високим, що вплине на термін служби трубки. Якщо він надто високий, трубці знадобиться більше часу, щоб відреагувати, і вона трохи втратить

чутливість під час роботи з високими рівнями радіоактивності. Для підрахунку або інтегрування імпульсу струму, який видає трубка, найпростішим способом є підключити послідовний резистор до заземлення трубки, щоб на ньому з'явився імпульс низької напруги. Потім його можна легко обробити звичайними логічними мікросхемами.

Підвищення вхідної напруги відбувається завдяки використаному дроселю. Накопичувальний дросель має індуктивність 1000 мкГн, саме від добротності дроселя залежить ККД перетворювача в цілому.

Генератор імпульсів налаштований на частоту 14 кГц, але можна збільшити робочу частоту, скорочуючи цим витки дроселя. Сам дросель може бути намотаний на Ш-подібному сердечнику або в крайньому випадку на стрижні розміри не критичні.

Провід, використаний для намотування дроселя, може мати діаметр від 0,2 мм, оскільки вихідний струм перетворювача не перевищує 7-8 мА.

Обрано польовий транзистор IRF7101, так як він може працювати при напрузі понад 400 Вт. Потужність перетворювача можна збільшити декількома способами, які взаємопов'язані між собою.

- 1) Збільшення напруги живлення.
- 2) Використання потужніших транзисторів.
- 3) Використання додаткового драйвера на виході мікросхеми.
- 4) Використання товстішого дроту для намотування дроселя.

Замість мікросхеми NE555 можна використовувати мультівібратор, який буде налаштований на ту саму частоту (14 кГц).

Польовий транзистор не потребує тепловідведення, оскільки потужність, що розсіюється, занадто мізерна.

Для повної зарядки високовольтної ємності в 1000 мкФ пристрою знадобиться близько 5 хвилин (Рис. 2.15).

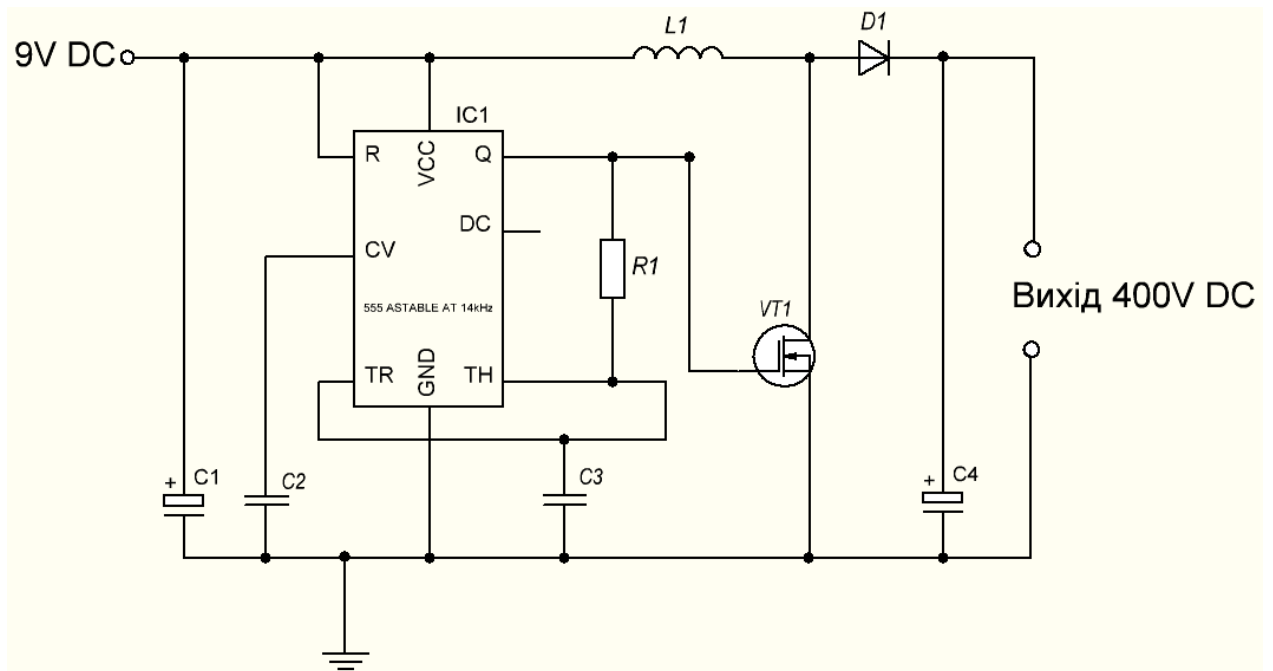


Рисунок 2.15 – Схема підвищувача напруги 9-400 В

Для реалізації підвищувача напруги використаємо мікросхему NE555 та проведемо аналіз вихідної напруги й сигналів на вольтметрі та осцилографі (Рис. 2.16).

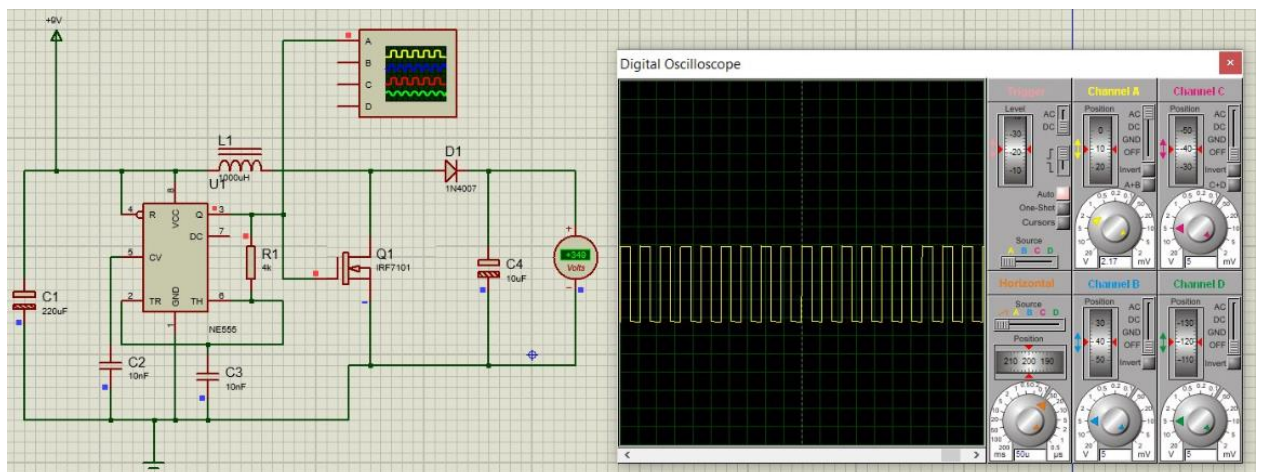


Рисунок 2.16 – Модуляція схеми підвищувача напруги 9-400 В

Вихідна напруга коливається в межах від 350 до 400 В, що дозволяє безперешкодно функціонувати лічильнику Гейгера-Мюллера.

Мікросхема NE555 та її аналоги випускаються у восьмививідному корпусі типу DIP-8, TSSOP або SOIC. Розташування виводів незалежно від корпусу стандартне (Рис. 2.17)

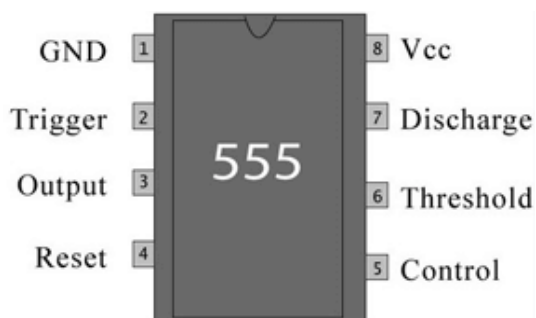


Рисунок 2.17 – Маркування виводів мікросхеми 555 Astable AT.

Опис виводів мікросхеми 555 Astable AT:

1. GND (Загальна земля). Вивід, що підключається до загального проводу схеми або мінуса джерела живлення.

2. TRIG (Запуск). Вхід компаратора "В". При надходженні сигналу будь-якої форми на вхід "TRIG" з напругою менше  $\frac{1}{3}$  від "VCC", таймер запускається, і на виході "OUT" з'являється логічна одиниця.

3. OUT (Вихід). Вихідний сигнал таймера. На виводі "OUT" формується одна з двох напруг, яка приблизно відповідає рівням GND або VCC, залежно від стану таймера.

4. RESET (Скидання). При надходженні напруги живлення менше 0,7 В на вивід "RESET" відбувається скидання таймера, і на виході "OUT" з'являється логічний нуль. Якщо режим скидання не потрібен, вивід "RESET" рекомендується з'єднати з плюсом джерела живлення.

5. CTRL (Керування). Додаткове керування таймером. Подача сигналу від 45 до 90% від VCC на вхід CTRL дозволяє контролювати тривалість імпульсів на виході. Це дозволяє уникнути використання зовнішнього RC-ланцюжка. Якщо ви

використовує RC-ланцюжок для регулювання часових параметрів, вивід "CTRL" повинен бути підключений до мінуса схеми через конденсатор 10 нФ.

6. THR (Стоп). Вхід компаратора "A". При надходженні сигналу будь-якої форми на вхід "THR" з напругою більше  $\frac{2}{3}$  від "VCC", таймер зупиняється, і на виході "OUT" з'являється логічний нуль.

7. DIS (Розряд). Вихід "DIS" до колектора вихід транзистора. Цей вихід використовується для розрядування зарядженого конденсатора, що визначає тривалість інтервалів. Стани цього виводу повторюють стани основного виводу OUT і використовуються для збільшення потужності навантаження таймера.

8. VCC (Живлення мікросхеми). Вивід, що з'єднується з проводом живлення схеми з напругою від 4,5 до 16 В.

У польових транзисторах застосовують передові методи обробки для досягнення найменшого опору увімкнення в кремнієвій зоні. Ця перевага, разом з високою швидкістю перемикавання та надійним дизайном, що є характерним для силових МОП-транзисторів IRF7101, надає дуже ефективний пристрій для широкого спектра застосувань. В типових умовах монтажу на друкованій платі можлива розсіювана потужність понад 0,8 Вт. Технічні характеристики транзистора IRF7101 приведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики транзистора IRF7101.

	Параметр	Max.	Одиниці
$T_A = 25^\circ\text{C}$	Постійний струм витoku, $V_{GS} 10\text{V}$	3,5	А
$T_A = 100^\circ\text{C}$	Постійний струм витoku, $V_{GS} 10\text{V}$	2,3	
IDM	Імпульсний струм стоку G	14	
$P_D T_C = 25^\circ\text{C}$	Розсіювальна потужність	2.0	Вт
	Лінійний коефіцієнт зниження	0.016	Вт/ $^\circ\text{C}$
VGS	Напруга від затвора до джерела	$\pm 12$	В
dv/dt	Пікове відновлення діода dv/dt	3.0	В/nS
$T_J, T_{STG}$	Температурний діапазон з'єднання та зберігання	від -55 до + 150	$^\circ\text{C}$
	Температура паяння, протягом 10 секунд	300(1.6мм від корпусу)	



## 2.4 Схема формування одиничних імпульсів

Сигнали, що надходять на формувач, складений на логічних елементах DD1.1 і DD1.2, проходять через резистор-навантаження детектора. Ця схема є одновібратором, що належить до регенеративних схем. Вона здатна формувати інтервали заданої тривалості з вхідного імпульсу, який має невизначену, але коротку тривалість. Для досягнення коефіцієнта передачі більше одиниці потрібно використовувати позитивний зворотний зв'язок [13].

Схема одновібратора, представлена на рис. 2.18, складається з двох елементів логіки типу 2 І-НЕ. Позитивний зворотний зв'язок введений шляхом з'єднання виходу другого елемента з входом першого. У початковому стані вихід DD2 має рівень 1, а вихід DD1 - логічний 0, оскільки обидва входи мають значення 1 (імпульси запуску представляють негативний перепад напруги). При надходженні запускаючого негативного перепаду напруги на вхід, вихід першого елемента стає рівним 1. Позитивний перепад через ємність  $C$  надходить на вхід другого елемента. Внаслідок цього ємність  $C$  починає заряджатися через резистор  $R$ . Елемент DD2 інвертує цей сигнал, і рівень 0 подається на другий вхід елемента DD1 через ланцюг зворотного зв'язку.

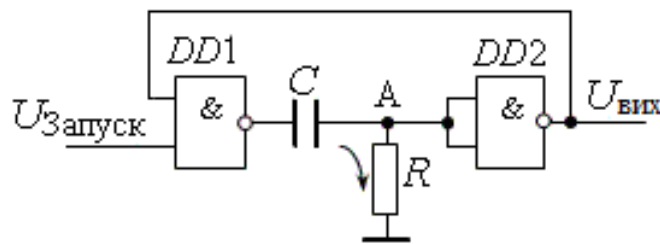


Рисунок 2.18 – Схема одновібратора

На виході елемента DD2 підтримується логічний рівень 0 до того моменту, поки падіння напруги на резисторі  $R$  не зменшиться до значення  $U_{пор}$  під час заряджання конденсатора  $C$  (див. Рис. 2.17). Тривалість вихідного імпульсу одновібратора можна визначити за допомогою формули, представленої на Рис. 2.19.

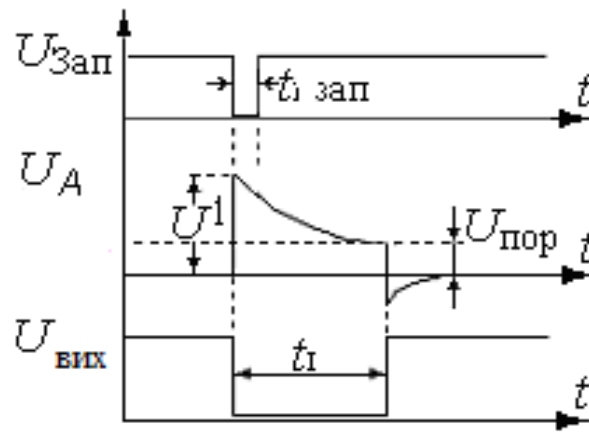


Рисунок 2.19 – Часові діаграми одно вібратора

В даній схемі одновібратора опір  $R_1$  і ємність  $C_1$  є часовизначним RC КОЛОМ.

$$t_i = C (R + R_{\text{вих}}) \ln(U^1/U_{\text{пор}})$$

де  $R_{\text{вих}}$  - вихідний опір першого елемента;

$U_{\text{пор}}$  – порогова напруга логічного елемента.

$$t_i \approx 0,7 \cdot R \cdot C \approx 0,7 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 1000 \cdot 10^{-12} \approx 0,14 \text{ мс}$$

Моделювання одновібратора в EWB на логічних елементах І-НІ представлено на рисунку 2.20.

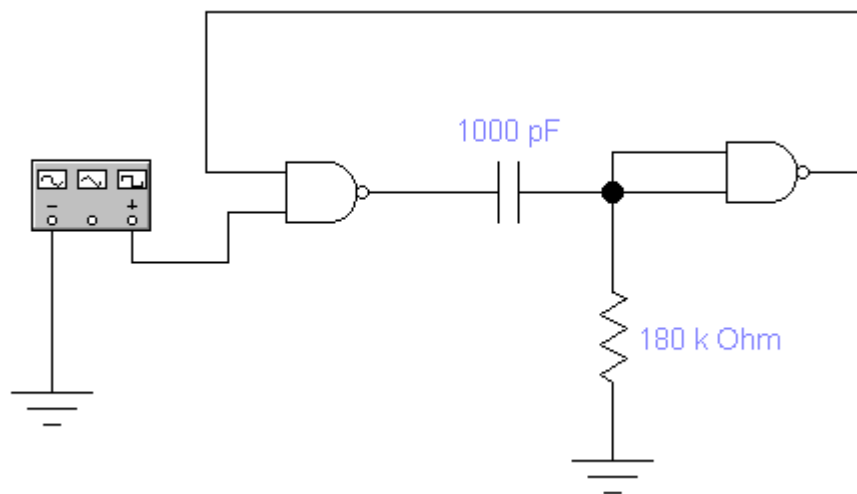


Рисунок 2.20 – Моделювання одновібратора в EWB на логічних елементах І-НІ.

Для реалізації одновібратора використаємо мікросхему КА155ЛА3, яка складається з логічних елементів І-НІ та проведемо аналіз вихідного сигналу (Рис. 2.21).

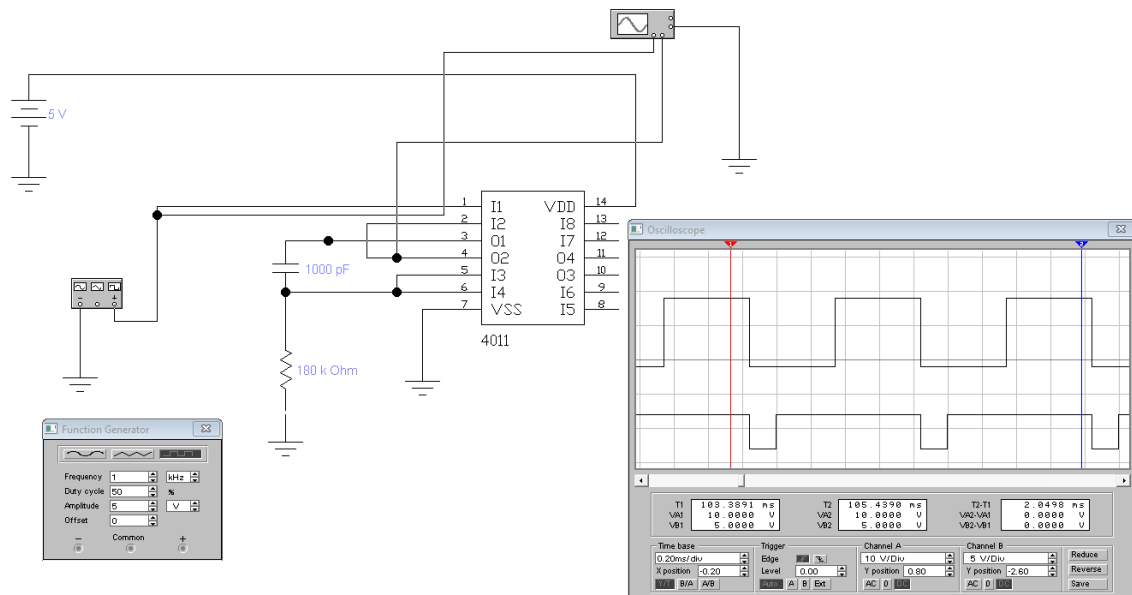


Рисунок 2.21 - Реалізація одновібратора на мікросхемі КА155ЛА3

Тривалість вихідного імпульсу одновібратора складає приблизно 0,14 мкс, що за розрахунками близько до «мертвого» часу лічильника.

З одновібратора сигнал передається на основний блок дозиметра – чотирьох розрядний десятковий лічильник.

## 2.5 Властивості мікроконтролера ATmega8

ATmega8 належить до 8-розрядний AVR контролер сімейства Mega і може працювати із тактовою частотою до 16 МГц. Напруга живлення контролера в залежності від модифікації варіюється від 2.7 до 5.5 В.

AVR архітектура характеризується поєднанням класичного підходу до побудови обчислювального ядра типу CISC з деякими особливостями RISC процесорів (велика кількість регістрів загального призначення, виконання більшості команд за 1 машинний цикл тощо), та використанням гарвардської

моделі пам'яті (роздільний доступ до області даних та програмної області), що забезпечує високу продуктивності при порівняно низькому ступені інтеграції елементів мікросхеми.

Контролер, що розглядається, споряджено 8 КБ вбудованої Flash-ROM пам'яті для зберігання програмного коду (10000 циклів перезапису), та 1 КБ SRAM – оперативної пам'яті.

Периферія мікроконтролера містить наступні пристрої (розпіновка ATmega8 зображена на рисунку 2.22).

- 23 лінії GPIO (загального призначення), організовані як три паралельні порти (виводи: 8 ліній PBx, 7 ліній PCx та 8 ліній PDx).

- 8-бітний таймер/лічильник TC0 з функцією Overflow (імпульсів на рахунковому вході T0).

- 8-бітний таймер/лічильник TC2 з функціями Overflow і Output Compare (вивід OC2) та підтримкою PWM (1 канал).

- 16-бітний таймер/лічильник TC1 з функціями Overflow (імпульсів на T1), Output Compare (виводи OC1A та OC1B), Input Capture (за сигналом на виводі ICPI) та підтримкою PWM (2 канали).

- Вартовий таймер (Watchdog).

- 8-канальний АЦП (із роздільною здатністю 10 бітів, виводи ADCx).

- Компаратор аналогових сигналів (виводи AIN0 та AIN1).

- Послідовний інтерфейс SPI (виводи MISO, MOSI, SCK та SS).

- Послідовний інтерфейс USART (виводи XCK, TXD та RXD).

- Послідовний інтерфейс TWI (виводи SCL та SDA).

- Додатковий енергонезалежний запам'ятовуючий пристрій типу EEPROM обсягом 512 Б (100000 циклів перезапису).

Вказані периферійні пристрої є джерелами внутрішніх переривань (до 16). Крім того контролер підтримує три зовнішні переривання (Reset, INT0 та INT1).

Службові регістри периферійних пристроїв а також регістри спеціальних функцій SFR (Special Function Registers) зосереджені у ізольованій області так званих портів введення / виведення (P) обсягом 64 Б , хоча лише деякі з цих

регістрів є справжніми портами. В AVR контролерах до службових регістрів також можна звернутися як до звичайних комірок, що розташовані у загальному просторі пам'яті даних контролера.

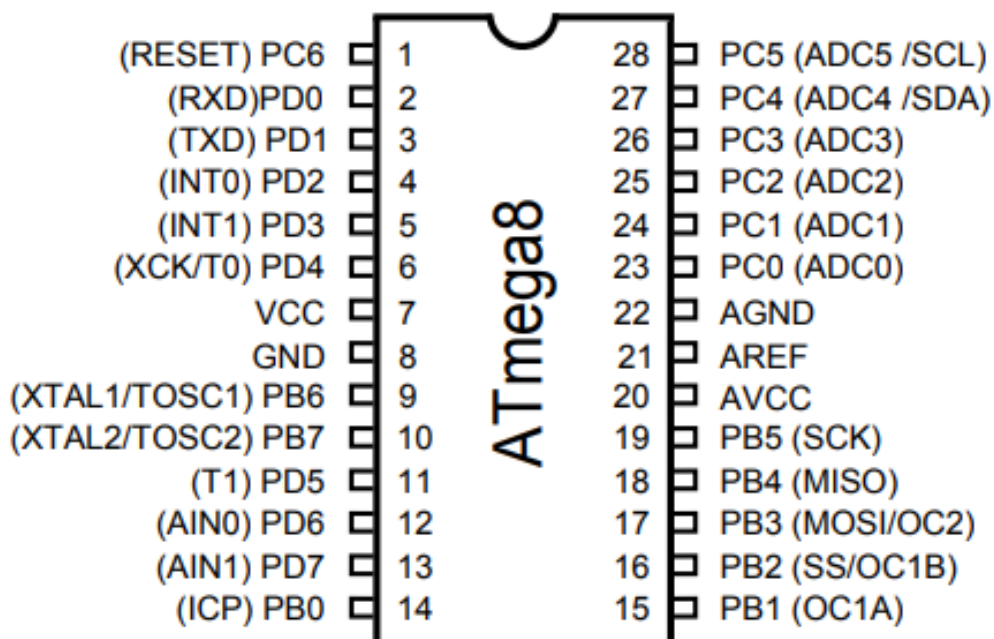


Рисунок 2.22 – Схема розташування виводів АТмега8 у PDIP виконанні

Будь-який процесор потребує джерела тактових імпульсів (Clock Pulses).

Контролер, що розглядається, може працювати з наступними джерелами:

- Тактовий генератор на базі вбудованого RC-ланцюга 8 МГц (з переддільником на 1, 2, 4 та 8). Має невисоку точність та стабільність ( $\pm 5\%$ ). За замовченням контролер налаштований на роботу з частотою 1 МГц від внутрішнього RC-генератора.

- Тактовий генератор на базі зовнішнього RC-ланцюга (виводи XTAL1 та GND), використовується для роботи на нестандартних частотах (до 12 МГц) без вимог до високої точності.

- Тактовий генератор на базі зовнішнього резонатора (виводи XTAL1 та XTAL2) – кварцевого (максимальна похибка  $\pm 0.01\%$ ) або керамічного ( $\pm 0.5\%$ ). Наприклад, для організації годинника реального часу, як правило, використовують низькочастотний кварцевий резонатор 32.768 кГц (або  $2^{15}$  Гц).

- Зовнішній тактовий генератор (вивід XTAL1), зазвичай для

синхронної роботи декількох окремих цифрових пристроїв.

Визначення джерела та частоти тактових імпульсів входить до процедур початкового низькорівневого програмування контролера, і це здійснюється за допомогою fuse-регістрів, які знаходяться у Flash-ROM пам'яті. У ATmega8 доступні два 8-розрядних fuse-регістри. Доступ до цих регістрів відбувається через команди LPM та SPM, аналогічно до доступу до комірок програмної пам'яті за адресами 0x0000 та 0x0003 з використанням відповідних алгоритмів захисту. Призначення бітів fuse-регістрів наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Призначення бітів fuse-регістрів

Біт	Призначення	Початкове значення	
STDISBL	Reset на виводі PC6	1	Reset присутній
WDTON	вимкнення Watchdog	1	можна вмикати і вимикати
SPIEN	програмування через SPI	0	дозволено
CKOPT	при наявності зовнішнього резонатора	1	максимально 16 МГц (при 0 максимально 8 МГц)
EESAVE	стирання EEPROM при програмуванні	1	дозволено
BOOTSZ1	розмір (та адреса) сектора завантажувача	0	00 – 1024 слова (01 – 512, 10 – 256, 11 – 128 слів)
BOOTSZ0		0	
BOOTRST	після Reset перейти на адресу завантажувача	1	ні, перейти на нульову адресу
BODLEVEL	рівень спрацьовування детектора 2.7 / 4 В	1	2.7 В (0 – 4 В)
BODEN	детектор неприпустимого рівня напруги живлення	1	вимкнений
SUT1	вибір затримки запуску після появи живлення	1	0, 4, 65 мс (в залежності від комбінації CKSELx)
SUT0		0	
CKSEL3	режим роботи тактового генератора	0	Внутрішній RC (1, 2, 4, 8 МГц), зовнішній RC (до 12 МГц), зовнішній резонатор, зовнішня синхронізація.
CKSEL2		0	
CKSEL1		0	
CKSEL0		1	

Налаштування джерела тактових імпульсів, зокрема встановлення бітів SUTx та CKSELx, може бути здійснене відповідно до документації контролера ATmega8 [21] або за допомогою fuse-калькулятора.

У таблиці 2.4 наведено деякі режими тактування, що використовуються в контролері ATmega8.

Слід зауважити, що в AVR контролерах значення 0 вважається встановленим (запрограмованим) станом для fuse-біта, тоді як рівень 1 відповідає скинутому (незапрограмованому) стану. Це особливість, яка може спричинити помилки під час програмування за допомогою різних популярних програм для прошивки, і може призвести до пошкодження контролера.

Таблиця 2.4 – Режими тактування контролера ATmega8.

SUT1	SUT0	CKSEL3	CKSEL2	CKSEL1	CKSEL0	Режим тактування контролера
0	0	0	0	0	0	Зовн. синхронізація, затримка 6 т + 0 мс
0	1	0	0	0	0	Зовн. синхронізація, затримка 6 т + 4 мс
1	0	0	0	0	0	Зовн. синхронізація, затримка 6 т + 65 мс
0	0	0	0	0	1	Внутр. РС, 1 МГц, затримка 6 т + 0 мс
0	1	0	0	0	1	Внутр. РС, 1 МГц, затримка 6 т + 4 мс
1	0	0	0	0	1	Внутр. РС, 1 МГц, затримка 6 т + 65 мс
0	0	0	0	1	0	Внутр. РС, 2 МГц, затримка 6 т + 0 мс
0	1	0	0	1	0	Внутр. РС, 2 МГц, затримка 6 т + 4 мс
1	0	0	0	1	0	Внутр. РС, 2 МГц, затримка 6 т + 65 мс
0	0	0	0	1	1	Внутр. РС, 4 МГц, затримка 6 т + 0 мс
0	1	0	0	1	1	Внутр. РС, 4 МГц, затримка 6 т + 4 мс
1	0	0	0	1	1	Внутр. РС, 4 МГц, затримка 6 т + 65 мс
0	0	0	1	0	0	Внутр. РС, 8 МГц, затримка 6 т + 0 мс
0	1	0	1	0	0	Внутр. РС, 8 МГц, затримка 6 т + 4 мс
1	0	0	1	0	0	Внутр. РС, 8 МГц, затримка 6 т + 65 мс

Суть полягає в тому, що деякі програми (утиліти), використовувані для прошивки мікроконтролерів, працюють з інверсною логікою при зверненні до fuse-регістрів. Часом такі програми надають можливість зміни типу логіки, що

ускладнює ситуацію.

При під'єднанні до мікроконтролера за допомогою послідовного програматора важливо завжди звертати увагу на біт SPIEN, який повинен мати дозвільне значення, оскільки ви вже успішно прочитали вміст fuse-регістрів, і належить відповідно налаштувати інші біти відповідно до цієї логіки [21].

## 2.6 Розробка схеми пристрою для вимірювання гамма-випромінювання

Зі схеми підвищувача напруги 9-400 В (Рис. 2.15) імпульси струму, що видаються на лічильнику, перетворюються на схему основного блоку дозиметра (Рис. 2.23) в імпульси напруги резисторами R3 і R3. Їх значення підбрано таким чином, щоб максимальна напруга (при короткому замиканні трубки) трохи перевищувала напругу живлення 5 В. З джерелом живлення від лічильника +400 В, використання 100 кОм й 10кОм для R2 і R3 дає напругу максимум 8,3 В на мікросхему одновібратора IC1.

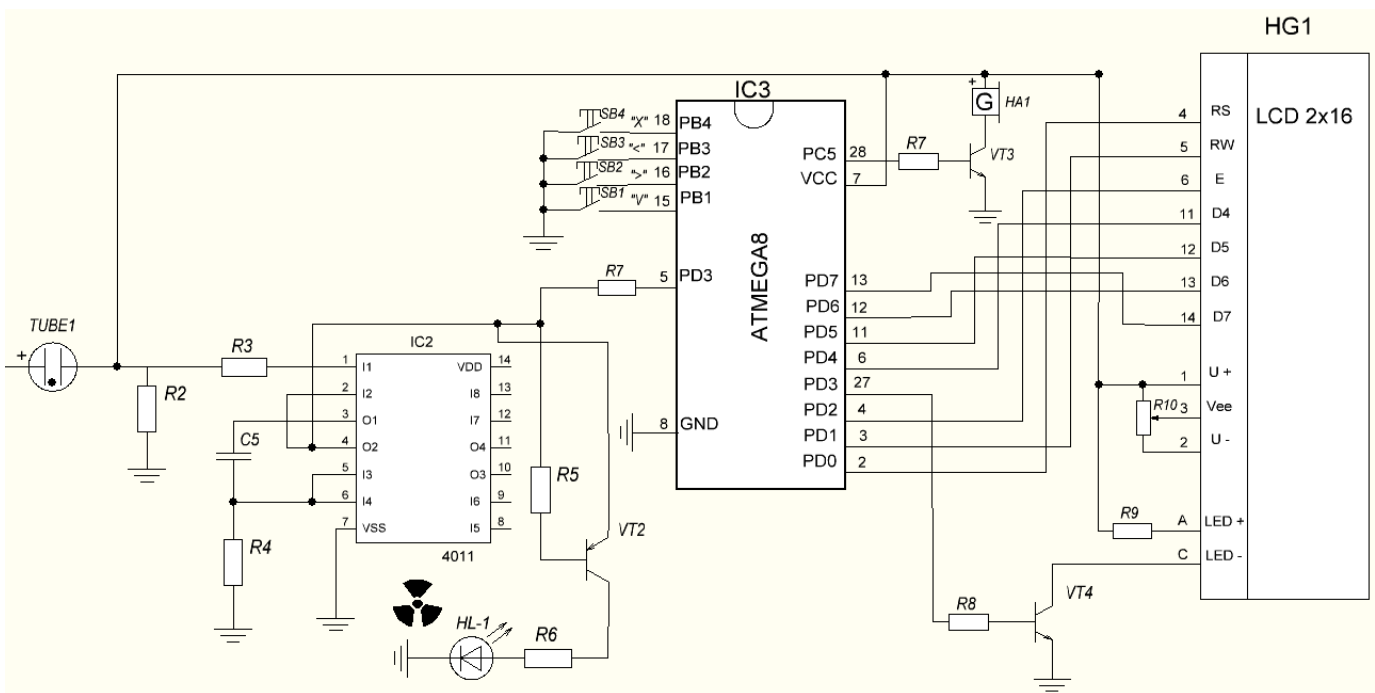


Рисунок 2.23 – Схема основного блоку дозиметра

Одновібратор IC1 та світлодіод HL1 підключається до виводу PD3



мікросхеми IC3 Atmega8, перемикачі SB1, SB2, SB3, SB4 під'єднано до виводів PB1, PB2, PB3, PB4, п'єзоелемент HA1 під'єднано до виводу PC5. Роз'єми PD0, PD1, PD2, PD3, PD4, PD5, PD6, PD7 з'єднано з виводами РК дисплею HG1 W1602D-YYH-CTK.

Перемикання режимів здійснюється кнопками «<» «>» (SB2/SB3) Увімкнення/вимкнення режимів «V» «X» (SB1/SB4). Спочатку вибрано режим одиночного вимірювання, натискаємо SB1 проводиться вимірювання за 1хв, після результат заноситься в буфер для подальшого запису значення та перегляду попереднього вимірювання. Для включення режиму безперервного виміру необхідно натиснути "X"- режим 2, "V"- режим 1. Для збереження результату натискаємо "V" Запис з буфера, натискаємо "X" зчитуємо з комірки.

Для увімкнення підсвічування вибираємо меню «Підсвічування вкл/викл» - «X»-викл, «V»-вкл. Регулювання рівня тривожної сигналізації виконується в меню «Тривога/Рівень», кнопками «X»--1, «V»--+1 змінюємо рівень та записуємо в пам'ять.

Рівень радіації вимірюється в одиницях Зіверт (Зв): Це одиниці виміру дози поглиненої радіації, що враховують біологічний ефект різних типів випромінювання на організм людини. Рівень радіації, при якому дозиметр починає видавати звук, може бути близько декількох мікрорентгенів на годину (мкР/год) або мікрозіверт на годину (мкЗв/год). При збігу обраного рівня з вимірюваним рівнем включається тривожний звуковий сигнал і на екрані висвічується «увага високий рівень радіації!».

У сплячому режимі проводиться з пониженим енергоспоживанням, блокінг генератор працює в імпульсному режимі, відключається підсвічування на екрані через кожні 10сек виводиться «сканування», в цьому режимі не записуються жодні значення, тільки реагує на перевищення рівня радіації, звуковим сигналом. Світлодіод HL1 та генератор звуку HA1 сигналізує про попадання радіоактивної частки на датчик. За допомогою одновібратора IC2 перетворимо імпульси з датчика в імпульс потрібний за часом та амплітудою для контролера.

Повністю зібрана схема пристрою для вимірювання гамма-випромінювання зображена на рисунку 2.24.

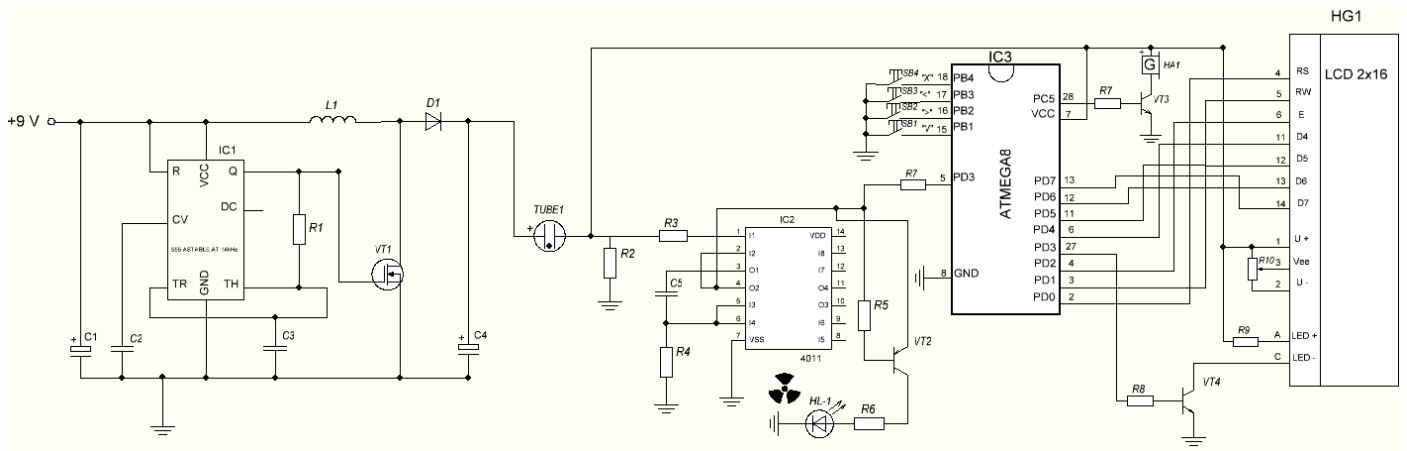


Рис. 2.24 – Схема електрична принципова пристрою

## 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 3.1 Характеристики потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

При вивченні впливу іонізуючого випромінювання на організм людини були виявлені наступні особливості:

1. Висока ефективність поглинутої енергії. Навіть невелика кількість поглинутої енергії іонізуючого випромінювання може викликати суттєві біологічні зміни в організмі людини.

2. Наявність прихованого (інкубаційного) періоду проявлення впливу іонізуючого випромінювання. Цей період, який ще часто називають періодом уявного благополуччя, тим менший, чим вища доза опромінення.

3. Вплив малих доз іонізуючого випромінювання може накопичуватись (кумулятивний ефект).

4. Іонізуюче випромінювання впливає не лише безпосередньо на саму людину, а й на його майбутнє потомство (генетичний ефект).

5. Різні органи організму людини мають різну чутливість до іонізуючого випромінювання (табл. 3.1).

6. Ступінь впливу іонізуючого випромінювання залежить від індивідуальних особливостей організму людини.

7. Наслідки опромінення істотно залежать від його дози та частоти. Одноразова дія іонізуючого випромінювання великої дози викликає більші зміни в організмі людини, ніж його фракціонована дія.

8. Залежно від еквівалентної дози опромінення та індивідуальних особливостей людини зміни в його організмі можуть бути незворотного та невиліковного характеру.

Таблиця 3.1 – Коефіцієнти радіаційного ризику  $Kp$  різних органів (тканин) при рівномірному опроміненні всього організму людини

№ зп.	Орган, тканина	$Kp$
1	Яєчники або сім'яники	0,24
2	Молочні залози	0,15
3	Легені	0,12
4	Червоний кістковий мозок	0,12
5	Щитовидна залоза	0,03
6	Інші органи та тканини	0,34
7	Організм у цілому	1,0

Вплив іонізуючого випромінювання на організм людини може бути зовнішнім, внутрішнім (коли радіоактивна речовина потрапила в організм людини при вдиханні чи з їжею) та комбінованим. Ступінь радіаційного ураження залежить від виду випромінювання, тривалості та дози опромінення, фізико-хімічних властивостей радіоактивної речовини та індивідуальних особливостей організму людини.

В табл. 3.2 наведені характерні біологічні та функціональні порушення в організмі людини залежно від сумарної поглинутої дози при одноразовому загальному опроміненні.

Таблиця 3.2 – Характерні порушення в організмі людини залежно від сумарної поглинутої дози при одноразовому загальному опроміненні

Сумарна поглинута доза, Гр	Порушення в організмі людини
До 0,25	Видимих порушень немає
0,25—0,50	Можливі зміни в крові.
0,5—1,0	Зміни в крові, нормальний стан працездатності порушується. Погіршується самопочуття, можлива
1,0—2,0	втрата працездатності. Втрата працездатності, можливий
2,0—4,0	смертельний наслідок.
4,0—5,0	Смертельні випадки складають 50% загальної кількості уражених.
6,0 і більше	Смертельні випадки складають 100% від загальної кількості уражених.

Тривалий вплив іонізуючого випромінювання в дозах, що перевищують гранично допустимі, може викликати променевою хворобу, яка характеризується, зазвичай, такими ознаками: порушення сну, погіршення апетиту, сухість шкіри (перша стадія); розлади органів травлення, порушення обміну речовин, зміни в серцево-судинній системі, руйнування кровоносних судин (друга стадія); крововиливи в судинах мозку та серцевому м'язі, випадання волосся, катаракта, порушення діяльності статевих органів, генетичні порушення (третьа стадія).

Допустимі дози іонізуючого випромінювання регламентуються Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Згідно з цим нормативним документом визначені наступні категорії опромінюваних осіб:

- категорія А — особи, що постійно чи тимчасово працюють з джерелами іонізуючого випромінювання;

- категорія Б — обмежена частина населення (особи, що не працюють безпосередньо з джерелами випромінювання, але за умовами проживання або розташування робочих місць можуть підлягати опроміненню);
- категорія В — населення області, країни.

За ступенем чутливості до іонізуючого випромінювання встановлено 3 групи критичних органів (тканин) організму, опромінення яких спричинює найбільшу шкоду здоров'ю людини:

I — все тіло, статеві органи, червоний кістковий мозок;

II — щитовидна залоза, м'язи, жирова тканина, печінка, нирки, селезінка, шлунково-кишковий тракт, легені, кришталик ока;

III — кісткова тканина, шкіра, кисті, передпліччя, лідки, стопи. Залежно від групи критичних органів для осіб категорії А встановлено гранично допустиму дозу (ГДД) за рік, а для осіб категорії Б — границю дози (ГД) за рік (табл. 3.3)

Таблиця 3.3 – Дози опромінення для різних груп критичних органів осіб категорії А та Б, мЗв/рік

Група критичних органів	Гранично допустима доза для осіб категорії А	Границя дози для осіб категорії Б
I	50	5
II	150	15
III	300	30

Еквівалентна доза  $H$  (бер), накопичення в критичному органі за час  $T$  (років) від початку професійної роботи, не повинна перевищувати значень,

Для населення (категорії В) доза опромінення не регламентується, оскільки передбачається, що їх опромінення відбувається в основному за рахунок природного фону та рентгенодіагностики, дози яких незначні і не можуть викликати в організмі відчутних несприятливих змін.

### 3.2 Заходи з поліпшення умов праці

Умови безпеки при використанні радіоактивних ізотопів у промисловості передбачають розробку комплексу захисних заходів та засобів не лише стосовно осіб, які безпосередньо працюють з радіоактивними речовинами, але й тих, хто знаходиться у суміжних приміщеннях, а також населення, що проживає поруч з небезпечним підприємством (об'єктом). Засоби та заходи захисту від іонізуючого випромінювання поділяються на: організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні та лікувально-профілактичні.

Організаційні заходи від іонізуючого випромінювання передбачають забезпечення виконання вимог норм радіаційної безпеки. Приміщення, які призначені для роботи з радіоактивними ізотопами повинні бути ізольовані від інших і мати спеціально оброблені стіни, стелі, підлоги. Відкриті джерела випромінювання і всі предмети, які опромінюються повинні знаходитись в обмеженій зоні, перебування в якій дозволяється персоналу у виняткових випадках, та й то короткочасно. На контейнери, устаткування, двері приміщень та інші об'єкти наноситься попереджувальний знак радіаційної небезпеки (на жовтому фоні - чорний схематичний трилисник). На підприємствах складаються та затверджуються інструкції з охорони праці, у яких зазначено порядок та правила безпечного виконання робіт.

До технічних заходів та засобів захисту від іонізуючого випромінювання належать: застосування автоматизованого устаткування з дистанційним керуванням; використання витяжних шаф, камер, боксів, що оснащені

спеціальними маніпуляторами, які копіюють рухи рук людини; встановлення захисних екранів.

### 3.3 Виробнича санітарія

Санітарно-гігієнічні заходи передбачають: забезпечення чистоти приміщень, включаючи щоденне вологе прибирання; улаштування припливно-витяжної вентиляції з щонайменше п'ятиразовим повітрообміном; дотримання норм особистої гігієни, застосування засобів індивідуального захисту.

До лікувально-профілактичних заходів належать: попередній та періодичні медогляди осіб, які працюють з радіоактивними речовинами; встановлення раціональних режимів праці та відпочинку; використання радіопротекторів - хімічних речовин, що підвищують стійкість організму до іонізуючого опромінення.

Захист працівника від негативного впливу джерела зовнішнього іонізуючого випромінювання досягається шляхом:

- зниження потужності джерела випромінювання до мінімально необхідної величини ("захист кількістю");
- збільшення відстані між джерелом випромінювання та працівником ("захист відстанню");
- зменшення тривалості роботи в зоні випромінювання ("захист часом");
- встановлення між джерелом випромінювання та працівником захисного екрана ("захист екраном").

Захисні екрани мають різну конструкцію і можуть бути стаціонарними, пересувними, розбірними та настільними. Вибір матеріалу для екрана та його



товщина залежать від виду іонізуючого випромінювання, його рівня та тривалості роботи.

Для захисту від альфа-випромінювання немає необхідності розраховувати товщину екрана, оскільки завдяки малій проникній здатності цього випромінювання шар повітря в кілька сантиметрів, гумові рукавички вже забезпечують достатній захист.

Екран для захисту від бета-випромінювання виготовляють із матеріалів з невеликою атомною масою (плексиглас, алюміній, скло) для запобігання утворенню гальмівного випромінювання. Досить ефективними є двошарові екрани: з боку джерела випромінювання розташовують матеріал з малою атомною масою товщиною, що дорівнює довжині пробігу бета-частинок, а за ним - з більшою атомною масою (для поглинання гальмівного випромінювання).

Для захисту від гамма-випромінювання, яке характеризується значною проникною здатністю, застосовуються екрани із матеріалів, що мають велику атомну масу (свинець, чавун, бетон, баритобетон). Товщину захисного екрана від гамма-випромінювання  $d\gamma$  (см) наближено можна визначити за формулою:

$$d\gamma = \ln k / I\gamma$$

де  $I\gamma$  - коефіцієнт лінійного послаблення;  $I$  - кратність послаблення (відношення дози випромінювання без захисту до гранично допустимої дози).

На практиці для визначення товщини захисного екрана часто використовують спеціальні таблиці, чи монограми (рис. 3.1).

Захист від внутрішнього опромінення досягається шляхом виключення безпосереднього контакту з радіоактивними речовинами у відкритому вигляді та запобігання потраплянню їх у повітря робочої зони.

При роботі з радіоактивними речовинами важливе значення має застосування засобів індивідуального захисту, які запобігають потраплянню радіоактивних забруднень на шкіру та всередину організму, а також захищають від альфа- та, по можливості, від бета-випромінювання.

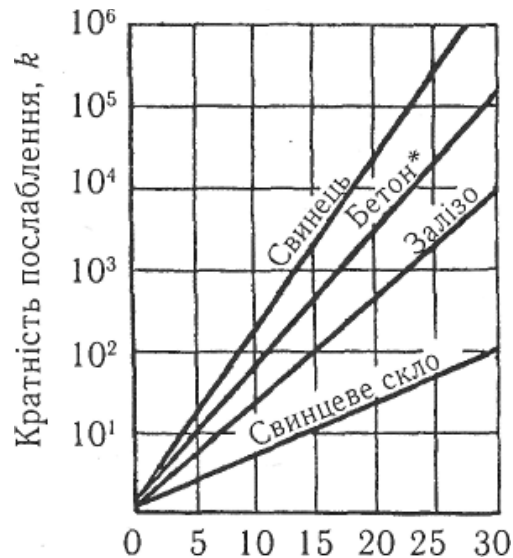


Рисунок 3.1 – Монограма для визначення товщини захисного екрана від гамма-випромінювання радія (\*— для бетону  $d$  множиться на 4)

До засобів індивідуального захисту від іонізуючого випромінювання належать: халати, костюми, пневмокостюми, шапочки, гумові рукавички, тапочки, бахіли, засоби захисту органів дихання та ін. Застосування тих чи інших засобів індивідуального захисту залежить від виду і класу робіт. Так, у разі виконання ремонтних і аварійних робіт застосовуються засоби індивідуального захисту короточасного використання - ізолювальні костюми (пневмокостюми) шлангові чи з автономним джерелом подавання повітря до органів дихання, захисні скафандри тощо. Як правило, такі костюми та скафандри мають просвинцьований захисний шар, що надійно захищає тіло людини від іонізуючого випромінювання, навіть при незначній товщині цього шару.

### 3.4 Електробезпека

Згідно «Правил охорони праці при експлуатації ЕОМ і персональних комп'ютерів» кабінет відноситься до сухих приміщень [24].

ЕОМ з ВДТ і ПП, інше устаткування (апарати управління,

контрольно-вимірвальні прилади, датчики), електропроводи та кабелі за виконанням і ступенем захисту мають відповідати класу зони за НПАОП 40.1-1.01-97, мати апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів. Під час монтажу та експлуатації ліній електромережі необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, застосовувати негорючу ізоляцію. Під час ремонту ліній електромережі шляхом зварювання, паяння та з використанням відкритого вогню необхідно дотримуватися НАПБ А.01.001-2004. Лінія електромережі для живлення ЕОМ з ВДТ і ПП виконується як окрема групова трипровідна мережа шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників.

Індивідуальні та групові штепсельні з'єднання та електророзетки необхідно монтувати на негорючих або важкогорючих пластинах з урахуванням вимог НПАОП 40.1-1.01-97 та НАПБ А.01.001-2004. Електромережу штепсельних розеток для живлення ЕОМ з ВДТ і ПП при розташуванні їх уздовж стін приміщення прокладають по підлозі поруч зі стінами приміщення, як правило, в металевих трубах і гнучких металевих рукавах, а також у пластикових коробах і пластмасових рукавах з відводами відповідно до затвердженого плану розміщення обладнання та технічних характеристик обладнання.

### 3.5 Пожежна безпека

Дане приміщення за ступенем пожежної небезпеки можна віднести до класу «Е», тому що в роботі використовується пластикова меблі й меблі з ДВП. За ступенем вогнестійкості приміщення відноситься до II категорії. Це відповідає

нормам пожежної безпеки, зазначеним у СНіП 2.01.02-85.

Приміщення, в яких розташовані комп'ютери, повинні бути не нижче II ступеня вогнестійкості. Поруч з приміщенням не повинен бути приміщень пожежо-та вибухонебезпечних. У приміщеннях повинні зберігатися ті носії інформації, які необхідні для роботи, решта – в окремих приміщеннях на негорючих стелажах у залізних коробках. Підлоги повинні бути знімні і повинні бути виготовленні з негорючих або важко горючих матеріалів. Підпільний простір має бути оснащений системою автоматичної пожежної сигналізацією, автоматичною установкою пожежогасіння. Приміщення повинно бути оснащене сигналізацією з димооповіщувачі і пожежогасіння. У приміщенні повинні знаходитися переносні вуглекислотні вогнегасники 2 шт. на 20 м<sup>2</sup> [22].

В аналізованому приміщенні встановлені димооповіщувачі та пожежною сигналізацією. Приміщення має II ступеня вогнестійкості, так само в приміщенні площею 10 м<sup>2</sup> є один переносний вуглекислотний вогнегасник, що відповідає нормам охорони праці.

### 3.6 Техногенна безпека

Показником ефективності евакуації є час, протягом якого люди можуть при необхідності залишити окремі приміщення і будівлю чи споруду загалом. Безпека евакуації досягається тоді, коли час евакуації не перевищує часу настання критичної фази розвитку пожежі, тобто часу від початку пожежі до досягнення граничних для людини значень чинників пожежі (критичних температур, концентрацій кисню тощо) [24].

Виходи вважаються евакуаційними, якщо вони ведуть:

- з приміщень першого поверху назовні безпосередньо або через коридор,

вестибюль, сходову клітку;

- з приміщень будь-якого поверху, крім першого, в коридори, що ведуть на сходову клітку (в тому числі через хол); при цьому сходові клітки повинні мати вихід назовні безпосередньо або через вестибюль, відокремлений від прилеглих коридорів перегородками з дверима;
- з приміщень у сусіднє приміщення на цьому ж поверсі, що забезпечене

виходами, зазначеними вище.

Евакуаційні виходи повинні розташовуватися розосереджено. Евакуаційних виходів повинно бути не менше двох. Двері на шляхах евакуації повинні відчинятися в напрямку виходу з будівель (приміщень). Допускається влаштування дверей з відкриванням усередину приміщення в разі одночасного перебування в ньому не більше 15 осіб. При наявності людей у приміщенні двері евакуаційних виходів можуть зачинятись лише на внутрішні засуви, які легко відмикаються. Мінімальна ширина шляхів евакуації - не менше 1 м, дверей - не менше 0,8 м. Відстань від найвіддаленішої точки цеху або приміщення до евакуаційного виходу визначається згідно зі СНіП 2.09.02-85 залежно від ступеня вогнестійкості будівлі та кількості людей, що евакуюються.

З метою організації евакуації людей у випадку виникнення пожежі розроблений спеціальний план евакуації працівників будинку, який показаний на рисунку 3.2. Всі двері на шляху евакуації відкриваються тільки у бік виходу. Сумарна ширина сходів, дверей і проходів на шляху евакуації не менша 1 м, що задовольняє вимогам СНіП 2.01.02-85.

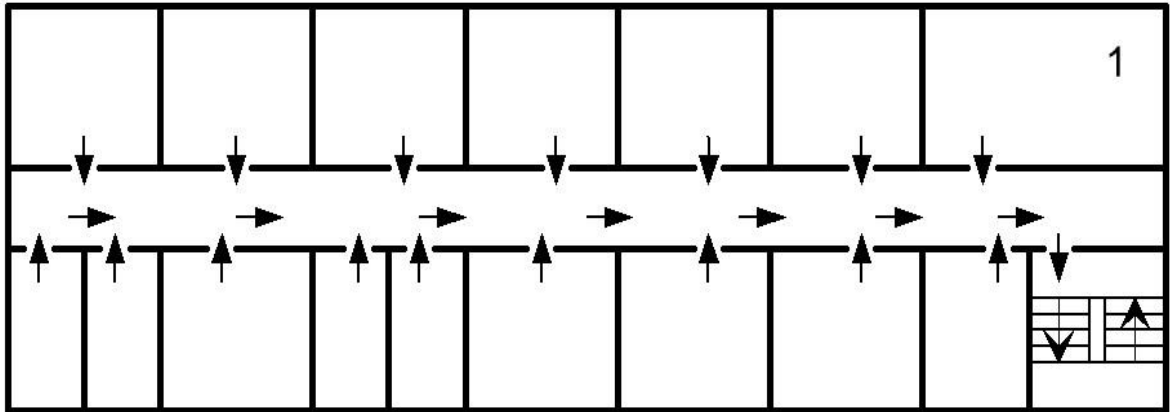


Рисунок 3.2 – План евакуації у випадку виникнення пожежі; 1 – приміщення в якому проводиться аналіз

## Висновки та рекомендації

Іонізаційний метод вимірювання радіації і використання лічильників Гейгера-Мюллера є найбільш поширеним через широкий діапазон вимірювання, високу чутливість, здатність до виявлення різних типів радіації та їх простоту використання.

Основними блоками структурної схеми приладу є підвищуючий перетворювач напруги 9 - 400 V, лічильник Гейгера-Мюллера, одновібратор, мікроконтролер, РК дисплей.

Збільшення робочої напруги може призвести до того, що після іонізації трубка залишиться іонізованою та не буде деіонізуватися, щоб виявити подальше випромінювання. При занадто низькій напрузі, трубка втрачає чутливість. Робочий діапазон досить широкий і не надто критичний. СБМ-20 працює від 350 до 475 В. Схема підвищувача напруги на мікросхемі 555 АТstable АТ забезпечує значення 366 В, що підтверджується моделюванням схеми в електронному середовищі Proteus.

Низьке значення послідовного резистора для обмеження струму скорочує мертвий час, але занадто низьке призведе до високого струму, що вплине на термін служби трубки. При надто високому значенні опору трубці знадобиться більше часу, щоб відреагувати, і вона втратить чутливість під час роботи з високими рівнями радіоактивності. Обране значення резистора 4 кОм задовольняє умові робочого діапазону.

Підвищення вхідної напруги відбувається завдяки використаному дроселю. Накопичувальний дросель має індуктивність 1000 мкГн, саме від добротності дроселя залежить ККД перетворювача в цілому.

Генератор імпульсів налаштований на частоту 14 кГц. Збільшити робочу частоту можливо за рахунок скорочення витків дроселя.

Провід, використаний для намотування дроселя, може мати діаметр від 0,2 мм, оскільки вихідний струм перетворювача не перевищує 7-8 мА.

Замість мікросхеми NE555 можна використовувати мультивібратор, який буде налаштований на ту саму частоту (14 кГц).

Польовий транзистор (марка IRF7101) не потребує тепловідведення, оскільки потужність, що розсіюється, занадто мізерна.

Для забезпечення правильного функціонування мікроконтролера ATmega 8 потрібен формувач одиничних імпульсів. Він генерує стабільний і регульований тактовий сигнал, який необхідний для синхронізації внутрішніх операцій мікроконтролера. Одновібратор розроблено на операційних підсилювачах з використанням мікросхеми 4011. Моделювання проведено в середовищі EWB і показує коректну роботу розрахованого елемента схеми.

Управління схемою здійснюється за допомогою 8-розрядного мікроконтролера ATmega 8 AVR і може працювати із тактовою частотою до 16 МГц.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Атомна енергетика та її вплив на довкілля. URL: <https://works.doklad.ru/view/If9RIUK1fHE.html> (Дата звернення 13.02.2023)
2. Що таке радіація? URL: <http://ecotest.ua/press/blog/what-is-radiation/>. (дата звернення 15.02.2023).
3. Види іонізуючого випромінювання та основні поняття дозиметрії. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/99-entsiklopediya> (дата звернення 15.02.2023).
4. Основи дозиметрії. URL: [http://doza.net.ua/pages/ua\\_ref\\_dozim.htm](http://doza.net.ua/pages/ua_ref_dozim.htm). (дата звернення 15.02.2023).
5. Одиниці радіоактивності й дозівипромінювання. URL: <https://studfiles.net/preview/5424112/page:2/>. (дата звернення 16.02.2023).
6. Вплив радіації на генотип людини. URL: <https://sites.google.com>. (дата звернення 16.02.2023).
7. Реєстрація іонізуючих випромінювань. URL: <http://um.co.ua/11/11-7/11-74123.html>. (Дата звернення 16.02.2023).
8. Методи виявлення і вимірювання радіаційних випромінювань. URL: [https://studopedia.com.ua/1\\_372718\\_metodi-viyavlennya-i-vimiryuvannya-radiatsiynih-viprominyuvan.html](https://studopedia.com.ua/1_372718_metodi-viyavlennya-i-vimiryuvannya-radiatsiynih-viprominyuvan.html). (дата звернення 16.02.2023).
9. Цивільна оборона та цивільний захист. URL: <https://westudents.com.ua/glavy/4926-32-metodi-viznachennya-onzuyuchih-vipromnyuvan.html>. (дата звернення 16.02.2023).
10. Методи визначення іонізуючих випромінювань. URL: [https://pidruchniki.com/12090613/bzhd/metodi\\_viznachennya\\_ionizuyuchih\\_vipromnyuvan](https://pidruchniki.com/12090613/bzhd/metodi_viznachennya_ionizuyuchih_vipromnyuvan). (дата звернення 16.02.2023).
11. Методи для реєстрації іонізуючих випромінювань. Класифікація приладів радіаційного контролю. URL:

[https://stud.com.ua/28701/bzhd/metodi\\_reyestratsiyi\\_ionizuyuchih\\_viprominyuvan\\_k\\_lasifikatsiya\\_priladiv\\_radiatsiyynogo\\_kontrolyu](https://stud.com.ua/28701/bzhd/metodi_reyestratsiyi_ionizuyuchih_viprominyuvan_k_lasifikatsiya_priladiv_radiatsiyynogo_kontrolyu). (дата звернення 16.02.2023).

11. ГАЗОВІ ІОНІЗАЦІЙНІ ДЕТЕКТОРИ. URL: [http://lib.sinp.msu.ru/static/tutorials/42\\_Lab3.pdf](http://lib.sinp.msu.ru/static/tutorials/42_Lab3.pdf) (дата звернення 19.02.2023).

12. Корнієнко М. Ю., Ніконова А. О. Методи реєстрації іонізуючого випромінювання. Modern research in world science. Proceedings of the 11th International scientific and practical conference Львів: SPC “Sci-conf.com.ua”, 2023. № 11 С. 421-425. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2023/02/MODERN-RESEARCH-IN-WORLD-SCIENCE-29-31.01.23.pdf>

13. Корнієнко М.Ю., Ніконова А.О. Прилади дозиметричного контролю іонізуючих випромінювань. Збірник наукових праць XVI університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих учених Запоріжжя: Запорізький національний університет, 7-22 квітня 2023.

14. Лічильник Гейгера-Мюллера. URL: [http://profbeckman.narod.ru/radiometr.files/L1\\_1\\_4.pdf](http://profbeckman.narod.ru/radiometr.files/L1_1_4.pdf). (дата звернення 16.02.2023).

15. Що таке дозиметр, радіометр? URL: [http://doza.net.ua/pages/ua\\_ref\\_dozim\\_descr.htm](http://doza.net.ua/pages/ua_ref_dozim_descr.htm). (дата звернення 16.02.2023).

16. Лічильник Гейгера . URL: <https://ua.wikipedia.org> (дата звернення 16.02.2023).

17. Історія розвитку дозиметрії. URL: <http://dppc.ru/data/attachments/library/4974-19-laboratorna-robota-7494.pdf>. (дата звернення 16.02.2023).

18. Прилади радіаційної розвідки. URL: <https://readbookz.net/book/198/7502.html>. (дата звернення 16.02.2023).

19. Прилади радіаційної розвідки, контролю радіоактивного забруднення і опромінення. URL: <https://studfiles.net/preview/3540088/page:3/>. (дата звернення 16.02.2023).

20. Фізичні основи сенсорики. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42035/1/Koval-V\\_Osnovy\\_sensoryky\\_posibnyk\\_konspect.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42035/1/Koval-V_Osnovy_sensoryky_posibnyk_konspect.pdf). (дата звернення 22.02.2023).
21. Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Кісельов Є.М., Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка : підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с. ISBN 978-617-685-023-6
22. Євстіфєєв А.В. Мікроконтролери AVR сімейства Tiny та Mega фірми Atmel. - М.: Додека-XXI, 2008. - 560 с.
23. 8-bit ATmega8 / Dataheet Rev. 2486AA–AVR–02/2013. – San Jose, CA : Atmel Corporation, 2013. – 331 с.
24. Ніконова А.О.Проектування біомедичної апаратури: методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів ЗДІА напряму 6.050801 «Мікро-та наноелектроніка» денної та заочної форм навчання./ А.О. Ніконова та ін.; Запорізька державна інженерна академія. –Запоріжжя:ЗДІА,2012. – 58с.

**SCI-CONF.COM.UA**

**MODERN RESEARCH  
IN WORLD SCIENCE**



**PROCEEDINGS OF XI INTERNATIONAL  
SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE  
JANUARY 29-31, 2023**

**LVIV  
2023**

# **MODERN RESEARCH IN WORLD SCIENCE**

Proceedings of XI International Scientific and Practical Conference  
Lviv, Ukraine  
29-31 January 2023

Lviv, Ukraine  
2023

2

## МЕТОДИ РЕЄСТРАЦІ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

**Ніконова Аліна Олександрівна,**

к.т.н., доцент,

**Корнієнко Максим Юрійович,**

студент

Інженерний навчально-науковий інститут

ім. Ю. М. Потебні

м. Запоріжжя, Україна

**Вступ.** Важливим технічним завданням сучасності є розробка мікроелектронних приладів, які відрізняються високою чутливістю та точністю з енергозберігаючою системою живлення. Через безпеку великих доз рентгенівського випромінювання потрібен суворий контроль дози опромінення і частоти операцій або усунути небажану взаємодію іонізуючого випромінювання з організмом людини.

Для біологічного організму найбільш небезпечним типом радіоактивного випромінювання вважаються гамма кванти, за рахунок високої проникаючої здатності, а потім у напрямку зменшення, бета частинки і альфа-частинки. Визначити альфа-частинки досить важко, так як для них є перешкодою практично будь-який об'єкт, не кажучи вже про скляний або металевий контейнер.

Визначити бета-частинки звичайним лічильником можливо, але лише в тому випадку, коли їх енергії досить для проходження через матеріал контейнера лічильника. Лічильник Гейгера-Мюллера можна використовувати для вимірювання гамма-випромінювання, але є ймовірність, що вони наскрізь пройдуть через контейнер, не запустивши реакцію іонізації.

Для цього в лічильниках встановлюють спеціальний екран (з щільної стали або свинцю), який дозволяє знизити енергію гамма-квантів і активувати, таким чином, розряд в камері лічильника.

**Мета роботи.** Обрати спосіб реєстрації іонізуючого випромінювання та розробити мікроелектронний прилад, який відрізняється високою чутливістю та точністю з енергозберігаючою системою живлення для вимірювання рівня гамма-випромінювання.

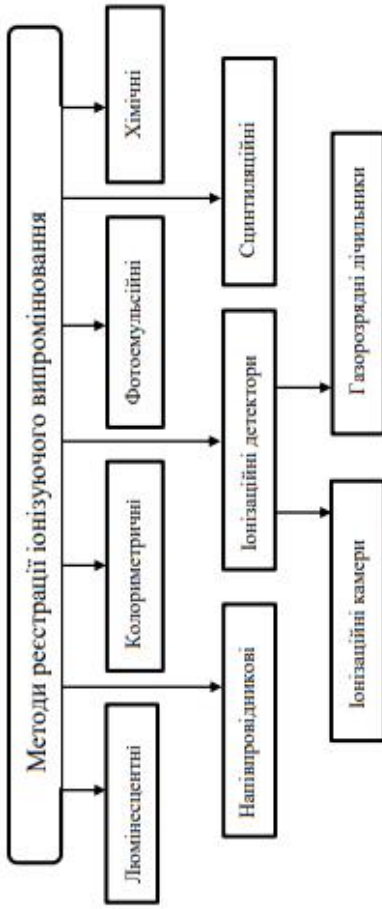
**Матеріали та методи.** Режим роботи лічильника визначається поданою на нього напругою. Тому існують пропорційні газові лічильники і лічильники Гейгера-Мюллера. При малих значеннях прикладеної напруги лічильник працює в режимі іонної камери. При цьому амплітуда імпульсу не залежить від прикладеної напруги, утвореної зарядженою часткою.

Подальше підвищення напруги активує механізм посилення газу. В результаті амплітуди імпульсів обох частинок збільшуються. Співвідношення між кількістю імпульсів і початковою іонізацією залишається постійним. Ця область називається пропорційною областю, а лічильники, які працюють в режимі пропорційності лічильниками пропорційності. Пропорційний лічильник часто використовується для характеристики зареєстрованих частинок (їхнього типу або енергії), на основі аналізу амплітуди та форми пульсу. Подальше збільшення напруги призводить до того, що коефіцієнт поділення газу стає залежним від кількості іонів у лавині, і він буде різним для частинок з різною щільністю іонізації.

За межами цієї області лічильник потрапляє в область саморозряду (область Гейгера), де генерує імпульси, не залежні від початкової іонізації. При взаємодії іонізуючого випромінювання з різними речовинами змінюються їх фізичні та хімічні властивості. Ці зміни були покладені в основу вибору методу реєстрації іонізуючого випромінювання.

Основною частиною детектора є чутливий об'єм. У цьому обсязі випромінювання взаємодіє з речовиною, перетворюючи її на сигнал певного типу. Речовина в чутливому об'ємі може бути газоподібною, рідкою або твердою. [1]

В залежності від характеру взаємодії можна виділити наступні методи реєстрації іонізуючого випромінювання (рис. 1).



**Рис. 1. Методи реєстрації іонізуючого випромінювання**

Лічильник працює на основі ударної іонізації. Гамма-кванти, що випромінюються радіоізотопом, падають на стінки лічильника, вибиваючи електрони. Електрони рухаються крізь газ і стикаються з атомами газу, вибиваючи електрони з атомів і створюючи позитивні іони та вільні електрони. Електричне поле між катодом і анодом прискорює електрони до енергії, при якій починається іонізація. Відбувається лавина іонів, і струм через лічильник різко зростає. У цьому випадку на резисторі формується імпульс напруги, який подається на запируючий пристрій. Щоб лічильник зареєстрував потрапляння в нього частинки, необхідно вимкнути лавинний розряд. Це відбувається автоматично. У момент імпульсу струму на резисторі відбувається велике падіння напруги, тому напруга між анодом і катодом різко падає - так що розряд припиняється і пристрій знову готовий до роботи. Важливою характеристикою лічильника є його ефективність.

**Результати та обговорення.** В результаті проведеного аналізу конструкції обладнання виявлено основні небезпеки, які можуть виникнути при нехтуванні інструкціями з експлуатації та технікою безпеки. Узагальнена структурна схема системи визначення іонізуючого випромінювання включає датчик іонізуючого випромінювання, який вимірює радіаційний фон і передає його значення на блок індикації. Пристрій для формування імпульсів

призначений для формування імпульсів відповідної форми і тривалості.

Для подачі високої напруги на електроди датчика необхідна схема формування високої напруги, яка являє собою автогенератор з підвищувочим трансформатором. [2]

**Висновки.** Існує багато способів реєстрації іонізуючого випромінювання, але кожен метод має свої особливості за структурою та принципом дії. Після аналізу кожного методу та виділення основних недоліків кожного методу було обрано метод з використанням газорозрядного лічильника Гейгера-Мюллера, що, як правило, виконується у вигляді герметичної трубки, скляної або металеві, з якої відкачано повітря, а замість нього додано інертний газ (неон або аргон або їх суміш) під невеликим тиском, з домішкою галогенів або спирту.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Радіаційна безпека в медицині: права та обов'язки [Електронний ресурс] // Сайт з питань ядерної безпеки, радіаційного захисту та нерозповсюдження ядерної зброї. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.uatom.org/2019/03/18/radiatsijna-bezpeka-v-meditsini-prava-ta-obov-yazki.html>.
2. Детектор іонізуючого випромінювання на основі фотодиода сцинтиляційного матеріалу: дис. канд. фіз.-мат. наук / . – Київ, 2019. – 72 с.

**«ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**



Науково-дослідна частина  
Наукове товариство студентів, аспірантів і докторантів  
Рада молодих вчених



**ЗБІРНИК**  
наукових праць студентів,  
аспірантів, докторантів і молодих вчених

**«МОЛОДА НАУКА-2023»**

**Том V**

*«Секції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потєбні  
Запорізького національного університету»*

Запоріжжя  
2023

## ПРИЛАДИ ДОЗИМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ

Радіація є однією з найбільш загрозливих небезпек нашого часу. Вона може мати шкідливі наслідки для здоров'я людини та навколишнього середовища. Радіація - це процес випромінювання енергії від хімічних елементів у вигляді частинок або електромагнітних хвиль.

Існує кілька видів випромінювання радіації, а саме:

1. Альфа-випромінювання складається з ядер гелію та є досить слабким, може бути зупинено листом паперу або шаром одягу.
2. Бета-випромінювання складається з електронів та є трохи сильнішим за альфа-випромінювання, може бути зупинено шаром одягу або листом металу.
3. Гамма-випромінювання є найбільш потужним видом радіації. Гамма-промені утворюються при розпаді радіоактивних атомних ядер та деяких субатомних частинок. Загальноприйняті визначення гамма-випромінювання та рентгенівських областей електромагнітного спектру включають деяке перекривання довжин хвиль, причому гамма-випромінювання має довжину хвилі, яка зазвичай коротша за кілька десятків ангстрем (10-10 метрів) [1].

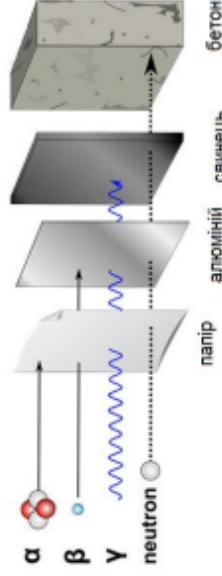


Рисунок 1 - Види випромінювання та їх проникність

Для вимірювання рівня радіації використовуються різноманітні прилади, серед яких можна виділити:

1. Дозиметри: прилади, які вимірюють дозу радіації, яка впливає на людину або середовище. Дозиметри можуть бути персональними або стаціонарними.
2. Радіометри: прилади, які вимірюють рівень радіоактивності, тобто кількість випромінювання, що виходить з речовини або об'єкта.
3. Сцинтиляційні лічильники: прилади, які вимірюють рівень радіації шляхом детектування світла, що виникає при взаємодії радіації з матеріалом.
4. Нейтронні детектори: прилади, які вимірюють рівень нейтронного випромінювання. Ці прилади зазвичай використовуються в промислових умовах, де необхідно контролювати рівень нейтронного випромінювання [2].

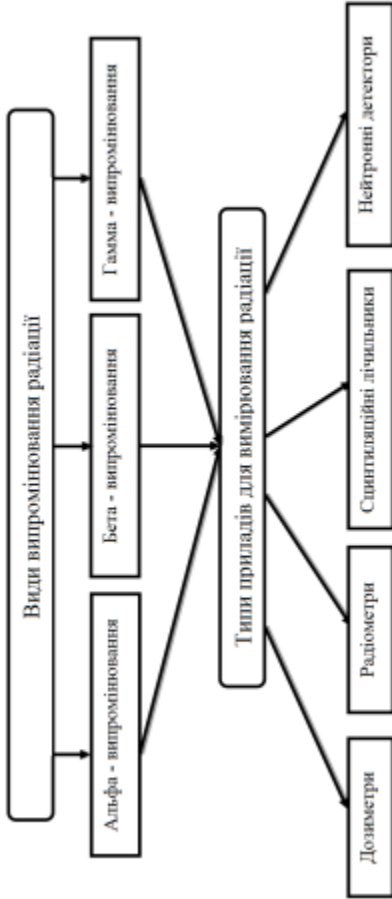


Рисунок 2- Види випромінювання та типи приладів для вимірювання радіації

Прилади для вимірювання радіації допомагають контролювати рівень радіації в навколишньому середовищі, в промисловості, наукових дослідженнях та медицині. Дослідження в галузі радіаційного випромінювання, розробки нових технологій і методів вимірювання забезпечують безпеку та здоров'я всього людства та майбутніх поколінь.

### Література

1. Види іонізуючого випромінювання та основні поняття дозиметрії [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://energetika.in.ua/ru/books/99-entsiklopediya> (дата звернення: 13.02.2023).
2. Прилади радіаційної розвідки, контролю радіоактивного забруднення і опромінення [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://studfiles.net/preview/3540088/page:3/> (дата звернення: 10.03.2023).



## ДОДАТОК В

Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка	
	<u>Резистори</u>			
R1	ОМЛТ-0,125-4 кОм ±5%	1		
R2...R5	ОМЛТ-0,125-100 кОм ±5%	2		
R3	ОМЛТ-0,125-10 кОм ±5%	1		
R4	ОМЛТ-0,125-180 кОм ±5%	1		
R6	ОМЛТ-0,125-560 Ом ±5%	1		
	<u>Конденсатори</u>			
C1	220μF 16V	1		
C4	10μF 450 V	1		
C2,C3,C5	КМ-5 50В 10nF	3		
	<u>Діоди</u>			
D1	1N4007	1		
HL1	АЛ307БМ	1	Світлодіод	
	<u>Транзистори</u>			
VT1	IRF7101	1		
VT2	КТ361А	1		
VT3	КТ315А	1		
VT4	КТ315А	1		
	<u>Катушка індуктивності</u>	1		
L1	1000μH	1		
			Лист	
			1	
Ізм.	Лист	№докум.	Підпис	Дата

Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
	<u>Лічильник</u>		
TUBE1	SBM-20	1	
	<u>Мікросхеми</u>		
IC1	555 ATSTABLE AT 14 kHz	1	
IC2	4011	1	
IC3	ATMEGA8	1	
	<u>Перемикачі</u>		
SB1	"V"	1	
SB2	">"	1	
SB3	"<"	1	
SB4	"X"	1	
	<u>П'єзоелемент</u>		
HA1	HCM1201x	1	
	<u>Дисплей</u>		
HG1	W1602D-YUH-CTK1 LCD 2x16	1	

					ІННІ 6.1539 ДП				
						Літ		Маса	Масштаб
Зм.	Лист	№докум.	Підпис	Дата	Перелік елементів схеми		У		
Розроб.		Корнієнко М.Ю.							
Керівник		Ніконова А.О.							
Консульт.		Ніконова А.О.					Лист 2	Листів 2	
Н.контрол.		Верьовкін Л.Л.					ІННІ ЗНУ 6.1539		
Затвердив		Критська Т.В.							