

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

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський)

(рівень вищої освіти)

на тему Розробка лічильника імпульсів для реєстрації радіоактивного
випромінювання

Виконав: студент (ка) 4 курсу, групи 6.1539-с
спеціальності 153 Мікро- та наносистемна
техніка

(код і назва спеціальності)

освітньої програми 153 Мікро- та наносистемна
техніка

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації 153 Мікро- та наносистемна техніка

(код і назва спеціалізації)

Костик О.В.

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент кафедри МЕЕІС, доцент,
к.т.н., Никанова А.О.

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

Рецензент _____

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

Запоріжжя
2022

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

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем
Рівень вищої освіти перший
(бакалаврський)

(перший (бакалаврський) рівень)

Спеціальність Мікро- та
наносистемна техніка

(назва)

Освітня програма 153 Мікро- та наносистемна техніка
(шифр)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Т.В.Критська

16 травня 2022 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА ЗДОБУВУЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Костик Ольги Василівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Розробка лічильника імпульсів для реєстрації радіоактивного випромінювання

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “17” січня 2022 року №91-с

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи бакалавра 02 травня 2022 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра лічильник СБМ-21,
транзистор 2N2222, діод КД102А, мікросхема 4011, мікросхема 7490,
мікросхема 74145

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Дослідження існуючих методів реєстрації радіоактивного випромінювання

2. Розробка мікроелектронного пристрою для визначення рівня радіації

3. Охорона праці та техногенна безпека

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

Л1-Принцип реєстрації іонізуючого випромінювання

Л2- Структурна схема пристрою реєстрації іонізуючого випромінювання

Л3 -Схема формування одиничних імпульсів

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
I	<i>Ніконова А.О.</i>	<i>18.01.2022</i>
II	<i>Ніконова А.О.</i>	<i>20.02.2022</i>
III	<i>Ніконова А.О.</i>	<i>12.04.2022</i>

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Примітка
1	<i>Дослідження методів реєстрації іонізуючого випромінювання</i>	<i>18.01-30.01</i>	
2	<i>Класифікація приладів радіаційного контролю</i>	<i>30.01-10.02</i>	
3	<i>Аналіз роботи лічильника Гейгера</i>	<i>10.02-10.02</i>	
4	<i>Обґрунтування вибору датчика радіації</i>	<i>20.02-12.03</i>	
5	<i>Розробка схеми формування одиничних імпульсів</i>	<i>12.03-28.03</i>	
6	<i>Розробка чотирьохрозрядного двійково-десятькового лічильника</i>	<i>28.03-02.04</i>	
7	<i>Моделювання лічильника в електронному середовищі EWB</i>	<i>02.04-12.04</i>	
8	<i>Розділ охорони праці та техногенної безпеки</i>	<i>12.04-16.04</i>	
9	<i>Оформлення плакатів</i>	<i>16.04-25.04</i>	
10	<i>Доклад</i>	<i>25.04-01.05</i>	

Студент _____ *Костик Ольги Василівни*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ *Ніконова Аліна Олександрівна*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Верьовкін Леонід Леонідович*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 98 сторінок, 49 рисунка, 11 таблиці, 26 джерел літератури.

Об'єкт роботи – лічильники імпульсів для реєстрації радіоактивного випромінювання.

Ціль роботи – дослідження та розробка приладу для реєстрації радіоактивного 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 схеми блокінг-генератора; побудова схеми формування одиничних імпульсів в середовищі EWB; розробка чотирьох розрядного двійково-десятькового лічильника; побудова схеми перетворення двійкового коду в семи сегментний код.

Методика дослідження – моделювання пристрою з допомогою програмного забезпечення Electronics WorkBench.

Короткий виклад результатів досліджень: на підставі аналізу існуючих приладів реєстрації радіоактивного випромінювання проведено необхідні розрахунки і побудована структурна схема датчику, розроблена схеми блокінг-генератора, схема формування одиничних імпульсів та перетворення двійкового коду в семи сегментний код.

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

РАДІАЦІЯ, РАДІОАКТИВНІСТЬ, ВИПРОМІНЮВАННЯ, ДОЗИМЕТР, ЛІЧИЛЬНИК ГЕЙГЕРА, ОДНОВІБРАТОР, ДЕШИФРАТОР, БЛОКІНГ-ГЕНЕРАТОР.

Дипломну роботу виконано на кафедрі МЕІС з 17.01.22 по 02.05.22

Зміст

ВСТУП	7
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ РЕЄСТРАЦІЇ.....	
РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.....	8
1.1 Радіоактивне випромінювання.....	8
1.1.1 Типи променів, період напіврозпаду та детектування.....	
радіоактивного випромінювання.....	9
1.1.2 Взаємодія з матерією. Негативні наслідки. Біологічна дія.....	11
1.1.3 Застосування.....	13
1.2 Методи реєстрації іонізуючого випромінювання.....	14
1.2.1 Основні методи реєстрації іонізуючих випромінювань.....	14
1.2.2 Класифікація приладів радіаційного контролю.....	26
1.3 Лічильник Гейгера.....	30
1.3.1 Мертвий час.....	32
2 РОЗРОБКА МІКРОЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТОЮ ДЛЯ.....	
ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ РАДІАЦІЇ	35
2.1 Обґрунтування вибору датчика радіації.....	35
2.1.1 Характеристики лічильників Гейгера.....	40
2.1.2 Основні параметри лічильника СБМ-21.....	43
2.2 Розробка схеми формування високої напруги	45
2.2.1 Розрахунок блокінг-генератора.....	48
2.3 Схема формування одиничних імпульсів.....	54
2.4 Розробка чотирьох розрядного двійково-десятькового.....	
лічильника.....	57
2.5 Перетворення двійкового коду в семи сегментний код.....	64
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	71
3.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих.....	
виробничих факторів.....	71

3.2 Заходи з поліпшення умов праці. Виробнича санітарія.....	78
3.3 Електробезпека.....	82
3.3.1 Розрахунок захисного заземлення.....	84
3.4 Пожежна безпека. Техногенна безпека.....	86
3.5 Засоби захисту від впливу радіації.....	88
3.5.1 Засоби захисту працівників від радіації.....	88
3.5.2 Види засобів індивідуального захисту від радіації.....	89
3.6 Інструкція по техніці безпеки під час проведення..... радіографічного контролю.....	90
3.6.1 Загальні положення.....	90
3.6.2 Вимоги до лабораторій і сховищ, порядку зберігання,..... видачі і повернення ДІВ.....	92
3.6.3 Правила транспортування ДІВ.....	94
ВИСНОВКИ.....	95
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	96

ВСТУП

Радіацію не можна відчутти, побачити, скуштувати на смак або почути запах, але вона завжди була присутня на Землі і в космосі та може завдавати шкоди здоров'ю людини.

Радіоактивні випромінювання невидимі, не мають кольору або інших ознак, на підставі яких людина могла б запідозрити їх наявність, тому виявлення і вимірювання випромінювань виробляють непрямим шляхом на підставі будь-якої їх властивості.

Технічними засобами дозиметрії є прилади для визначення іонізуючого випромінювання.

Для того щоб проводити постійний контроль навколишнього середовища та робити актуальні прогнози радіаційного становища необхідно:

- постійна оптимізація дозиметричних систем;
- відкриття нових методів дозиметрії;
- рішення питань точності дозиметричних вимірювань.

Дозиметричний метод вимірювання дозволяє отримати данні з похибкою в декілька відсотків.

В деяких методах дозиметрії похибка в десятки відсотків є задовільною, це обумовлено обмеженою можливістю проведення досліджень.

Підвищення точності вимірювань – найважливіша мета удосконалення методів та засобів дозиметрії.

Тому дозиметрія - це область знань, що потребує постійних досліджень, пошуку нових підходів та методів вимірювань, наукових розробок для створення приладів, які дозволяють проводити вимірювання з максимальною точністю.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ РЕЄСТРАЦІЇ РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

1.1 Радіоактивне випромінювання

Радіація — виділення елементарних частинок чи електромагнітної енергії атомними ядрами під час їх поділу.

Радіоактивність — явище перетворення нестійкого ізотопу хімічного елементу в інший ізотоп (зазвичай іншого елемента) (радіоактивний розпад) шляхом випромінювання гамма-квантів, елементарних частинок або ядерних фрагментів (рис. 1.1). Ці сильно проникаючі потоки частинок іноді називають ядерним випромінюванням.

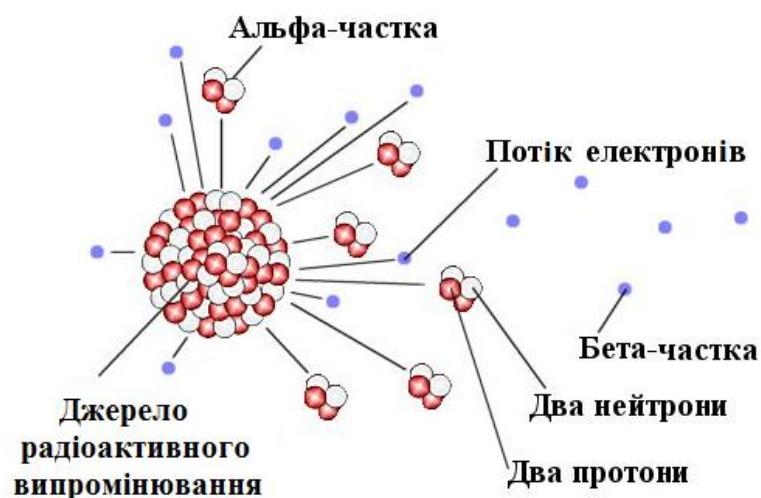


Рисунок 1.1 – Радіоактивні частки

Радіоактивність відкрив у 1896 році Антуан Анрі Беккерель. Сталося це випадково. Вчений працював із солями урану і загорнув свої зразки разом із фотопластинами в непрозорий матеріал. Фотопластини виявилися засвіченими, хоча доступу світла до них не було. Беккерель зробив висновок про невидиме око випромінювання солей урану. Він дослідив це

випромінювання і встановив, що інтенсивність випромінювання визначається тільки кількістю урану в препараті і абсолютно не залежить від того, в які сполуки він входить. Тобто, ця властивість характерна не сполукам, а хімічному елементу урану.

У 1898 році Гергард Шмідт та П'єр Кюрі і Марія Склодовська-Кюрі відкрили випромінювання торію. Пізніше Кюрі відкрили полоній та радій.

На сьогодні відомо близько 40 природних елементів, яким властива радіоактивність.

Джерела радіоактивного випромінювання поділяються на природні та штучні:

- природна радіоактивність — спонтанний розпад ядер елементів, що зустрічаються в природі;

- штучна радіоактивність — спонтанний розпад ядер елементів, отриманих штучним шляхом, через відповідні ядерні реакції.

Різні радіоактивні речовини дуже відрізняються між собою інтенсивністю радіоактивних випромінювань, яку називають активністю.

Активність речовини можна характеризувати кількістю розпадів, що відбуваються за одиницю часу[1].

1.1.1 Типи променів, період напіврозпаду та детектування радіоактивного випромінювання

Ернест Резерфорд експериментально встановив, що солі урану випромінюють 3 типи променів, які по-різному відхиляються в магнітному полі (рис. 1.2) [2]:

- промені першого типу відхиляються так само, як потік позитивно заряджених частинок. Їх назвали альфа-променями (α (альфа)-випромінювання);

– промені другого типу відхиляються в магнітному полі так само, як потік негативно заряджених частинок (в протилежну сторону), їх назвали бета-променями (β (бета)- випромінювання);

– і промені третього типу, які не відхиляються магнітним полем, назвали гамма-променями (γ (гамма)- випромінювання).

Альфа-частинки можна повністю зупинити за допомогою аркушу паперу, бета-частинки за допомогою алюмінієвого екрану. Гамма-промені можна зупинити лише з використанням значно істотнішої маси, такої як товстий шар свинцю.

При радіоактивному розпаді відбуваються перетворення ядер атомів. Енергії частинок, які при цьому утворюються, набагато більші від енергій, що виділяються в типових хімічних реакціях. Тому ці процеси практично не залежать від хімічного оточення атома й від сполук, в які цей атом входить.

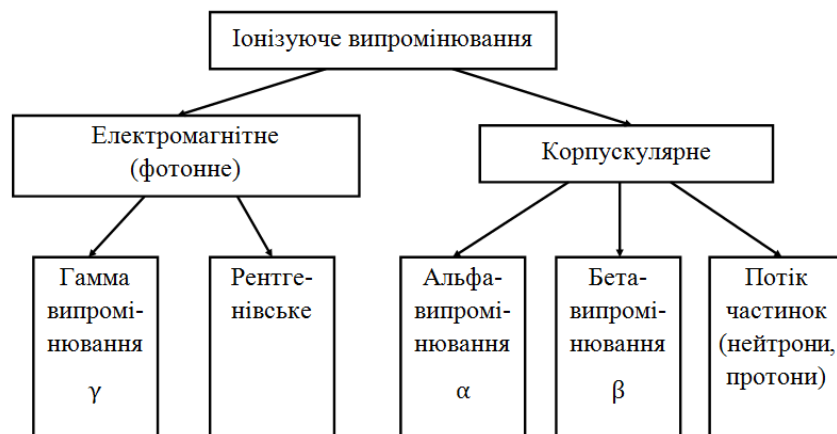


Рисунок 1.2 - Типи іонізуючого випромінювання

Радіоактивний розпад відбувається спонтанно. Це означає, що неможливо визначити момент, коли розпадеться те чи інше ядро. Однак для кожного типу розпаду є характерний час, за який розпадається половина всіх радіоактивних ядер. Цей час називається періодом напіврозпаду.

Для різних радіоактивних ізотопів період напіврозпаду може лежати в дуже широких межах — від наносекунд до мільйонів років. Ізотопи з малим періодом напіврозпаду дуже радіоактивні, але швидко зникають.

Ізотопи з великим періодом напіврозпаду слабо радіоактивні, але ця радіоактивність зберігається дуже довгий час.

Детектування радіоактивного випромінювання ґрунтоване на його дії на речовину, зокрема її іонізації. Історично вперше радіація була зареєстрована завдяки почорнінню опроміненої фотопластинки.

Фотоемульсії, в яких під дією радіації відбуваються хімічні реакції, і досі залишаються одним із методів детектування. Інший принцип детектування використовується в лічильниках Гейгера — виникнення несамостійного електричного розряду в опроміненому газі.

Дозиметри, які реєструють не окремі акти пролітання швидкої зарядженої частинки, часто використовують зміну властивостей, наприклад провідності, опроміненого матеріалу.

1.1.2 Взаємодія з матерією. Негативні наслідки. Біологічна дія

При взаємодії з матерією ядерне випромінювання здатне суттєво змінювати його фізичні властивості. У твердих тілах ядерне випромінювання викликає різні радіаційні пошкодження (дефекти) [1].

Важкі ядерні частинки, проходячи через матерію, вибивають атоми з вузлів кристалічної ґратки, переміщаючи їх у міжвузля. Так утворюються дефекти кристалів типу вакансія + атом у міжвузлі. При досить великій дозі опромінення кристалічне тіло може перейти в аморфний стан.

Основним процесом при поглинанні матерією гамма-випромінювання є фотоіонізація атомів і утворення швидких фотоелектронів. Останні втрачають свою енергію на іонізацію й збудження атомів мішені, як і при опроміненні швидкими електронами, з тією, однак, різницею, що гамма — кванти проникають на значно більшу глибину, ніж швидкі електрони з тією же енергією.

Альфа, бета та гама промені по-різному поводять себе у магнітному або електричному полях.

Взагалі всі електронні прилади зазнають погіршення (деградацію) параметрів у результаті довгого впливу відносно слабкого ядерного випромінювання, або короточасного впливу потужного ядерного випромінювання.

Ядерне випромінювання, пов'язане з природною радіоактивністю, може викликати неправильне спрацьовування в великих інтегральних схемах.

Радіоактивне опромінення призводить до значного пошкодження живої тканини. Іонізація хімічних речовин в біологічній тканині створює можливість хімічних реакцій, які невластиві для біологічних процесів, й до утворення шкідливих речовин (рис. 1.3).

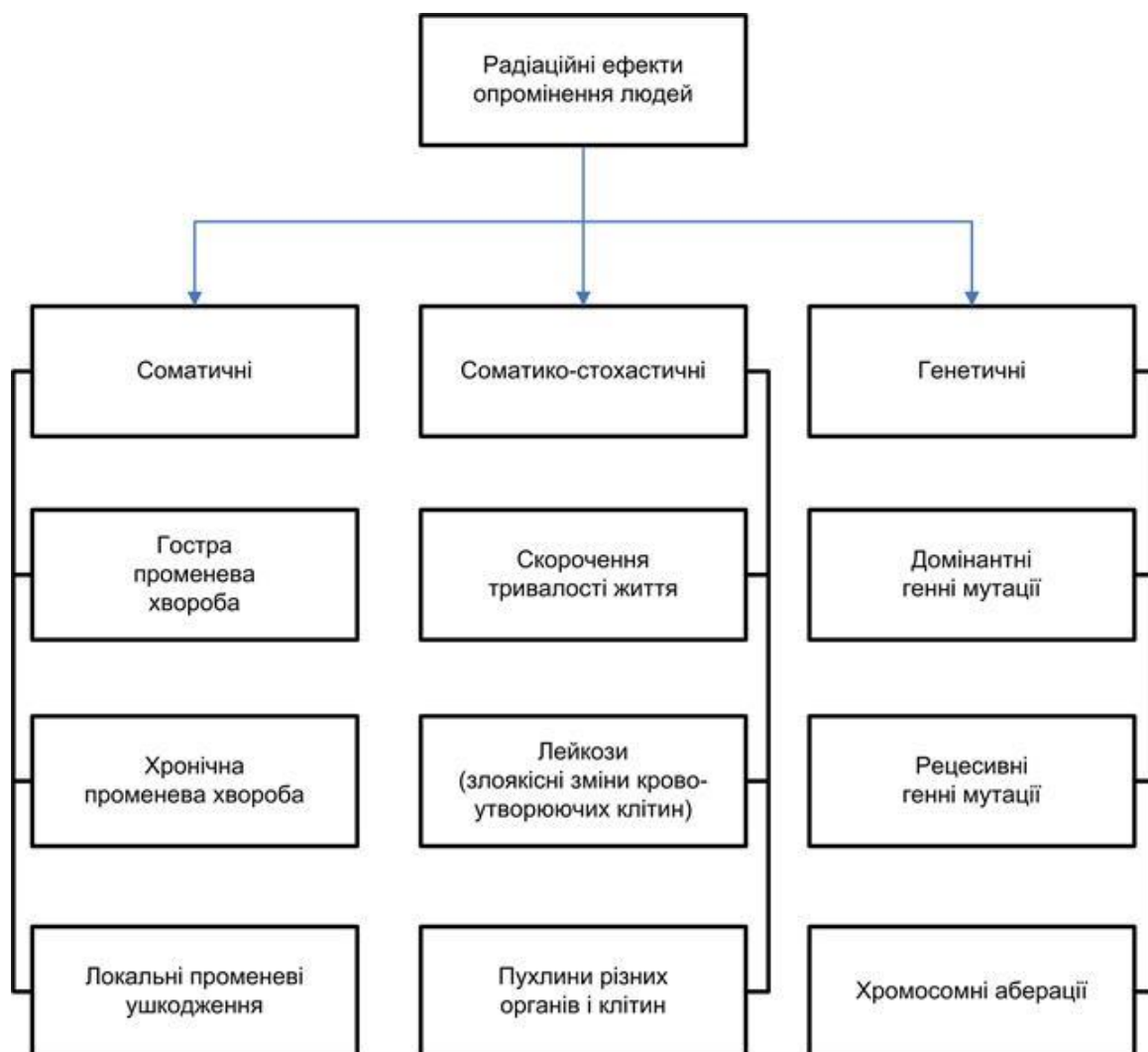


Рисунок 1.3 - Вплив опромінення на людину

Радіоактивні речовини зберігаються в спеціальних контейнерах, сконструйованих таким чином, щоб поглинати радіоактивне випромінювання. Великою проблемою є захоронення радіоактивних відходів атомної енергетики.

Пошкодження радіацією ДНК викликає мутації. Робота з радіоактивними речовинами вимагає ретельного дотримання правил техніки безпеки, радіоактивні речовини позначаються спеціальним символом (рис. 1.4) [1].



Рисунок 1.4 - Символи якими позначаються радіоактивні речовини

1.1.3 Застосування

Радіоактивні речовини можна використовувати для отримання енергії в умовах, коли інші джерела енергії не доступні, наприклад, на космічних апаратах, призначених для польотів до віддалених планет Сонячної системи.

Енергія, яка виділяється при радіоактивному розпаді в таких пристроях може бути перетворена в електричну за допомогою термоелементів.

В медицині радіоактивне опромінення використовується при лікуванні деяких форм раку, розраховуючи на те, що ракові клітини, які

швидко діляться, більш чутливі до опромінення, а тому вражатимуться швидше.

Метод мічених атомів дозволяє провести аналіз обміну речовин в організмі й допомагає при діагностиці захворювань.

Датування за радіоактивними ізотопами допомагає встановити вік предметів та порід й застосовується в геології, археології, палеонтології.

Радіоактивність і радіоактивні речовини також широко використовуються в різних сферах наукових досліджень.

У практиці фізичних досліджень джерелами потужного ядерного випромінювання є ядерні реактори, слабкого — препарати, що містять штучні радіоактивні елементи[1].

1.2 Методи реєстрації іонізуючого випромінювання

Хоча в найширшому сенсі радіацією називають будь-який вид електромагнітного випромінювання, наприклад, видиме світло, але зазвичай, цим терміном позначають так зване іонізуюче випромінювання.

Всі види радіоактивних випромінювань, що супроводжують радіоактивність, називають іонізуючими випромінюваннями.

Іонізуючі випромінювання — процес збудження та іонізації атомів речовини при проходженні крізь них гамма-квантів та частинок, що утворилися внаслідок α - та β -розпаду.

1.2.1 Основні методи реєстрації іонізуючих випромінювань

В результаті взаємодії радіоактивного випромінювання з зовнішнім середовищем відбувається іонізація і збудження її нейтральних атомів і молекул. Ці процеси змінюють фізико-хімічні властивості середовища, що опромінюється, в тому числі і біологічних об'єктів.

Взявши за основу ці явища, для реєстрації і вимірювання іонізуючих випромінювань використовують такі методи [6]:

а) фізичні:

1. Іонізаційний;
2. Люмінесцентний;
3. Калориметричний;

б) хімічні:

1. Колориметричний;
2. Фотографічний;

в) біологічні:

1. Клінічні;
2. Гематологічні;
3. Цитогенетичні;
4. Біофізичні;

г) розрахункові.

Іонізаційний - це метод реєстрації іонізуючих випромінювань, заснований на властивості, здатності цих випромінювань іонізувати будь-яке середовище, через яке вони проходять, у тому числі і детекторне пристрій приладу.

Під впливом іонізуючого випромінювання в середовищі (газовому обсязі) відбувається іонізація молекул, в результаті чого електропровідність цього середовища збільшується. Якщо в цю середу помістити два електроди, до яких докладена постійна напруга електричного струму, то між електродами створюється електричне поле, в якому виникає спрямований рух заряджених частинок: негативно заряджених - до анода, позитивно заряджених - до катода, тобто проходить так званий іонізаційний струм.

Вимірюючи його величину, отримують уявлення про інтенсивність радіоактивних випромінювань.

Як детектори, що працюють на іонізаційному методі реєстрації, найчастіше використовуються:

- газорозрядні лічильники Гейгера-Мюллера (рис. 1.5). Циліндричний катод, уздовж осі, якого натягнуто дріт - анод. Система заповнена газовою сумішшю. При проходженні через детектор заряджена частка іонізує газ. Утворені електрони, рухаючись до позитивного електрода - нитки, потрапляючи в область сильного електричного поля, прискорюються і в свою чергу іонізують молекули газу, що призводить до утворення коронного розряду. Амплітуда сигналу досягає декількох вольт і реєструється.

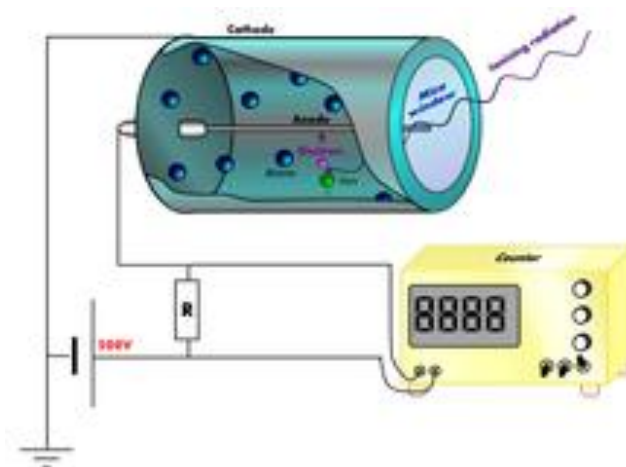


Рисунок 1.5 - Газорозрядний лічильник Гейгера-Мюллера

- іонізаційна камера — газонаповнений детектор для дослідження і реєстрації ядерних часток та іонізуючих випромінювань, принцип роботи якого ґрунтується на здатності швидких заряджених часток викликати іонізацію газу (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 - Іонізаційна камера

Іонізаційна камера по своїй суті є повітряним або газовим електричним конденсатором, до електродів якого прикладена різниця потенціалів. При попаданні іонізуючих часток в простір між електродами там утворюються електрони та іони газу, які, переміщаючись в електричному полі, створюють електричний струм, пропорційний до швидкості виникнення зарядів і, відповідно, й потужності дози опромінення, що фіксується апаратурою реєстрації (рис. 1.7) [7].

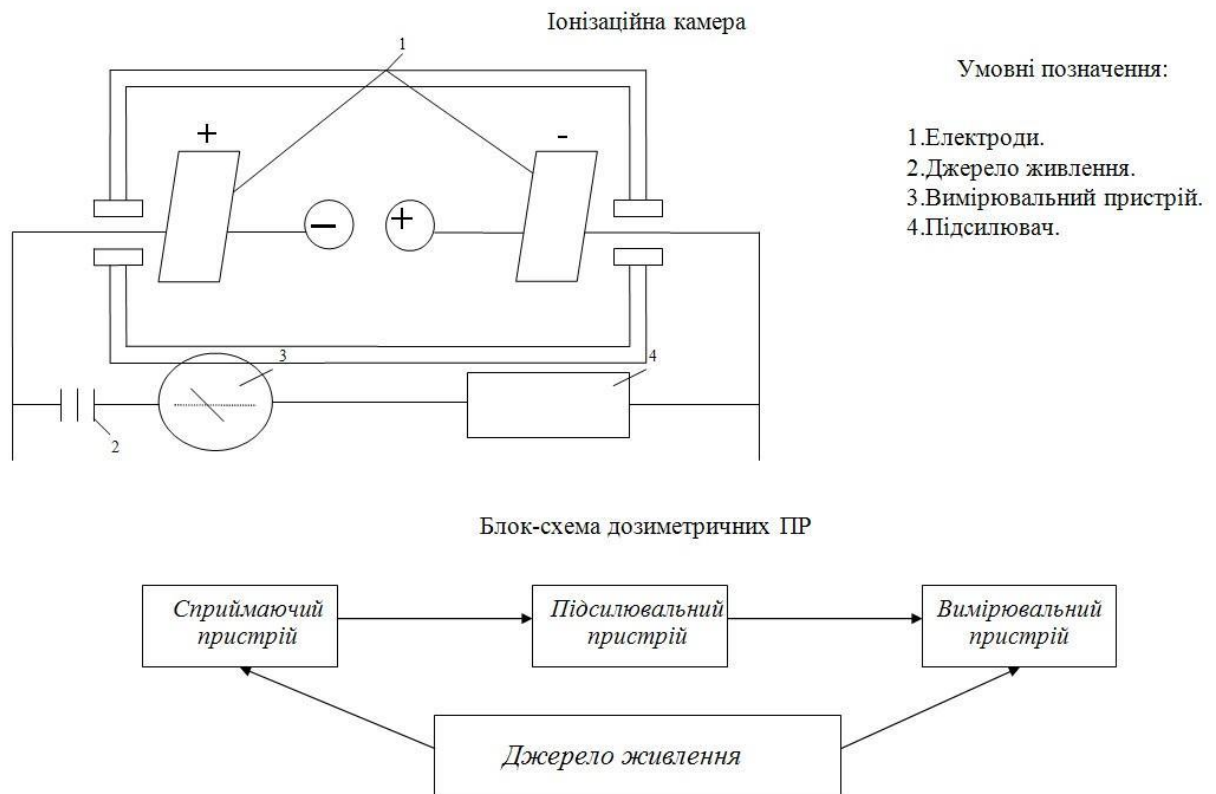


Рисунок 1.7 - Структурна та блок схема іонізаційної камери

Характерною особливістю іонізаційної камери, на відміну від інших газонаповнених давачів, є порівняно мала напруженість електричного поля в газовому проміжку, таким чином струм не залежить від напруги на електродах і дорівнює добутку заряду електрона на число пар іонів.

– пропорційні (газорозрядні) лічильники різних типів. Мають таку ж конструкцію, як і лічильник Гейгера, але за рахунок підбору напруги харчування і складу газової суміші при іонізації газу пролетіла зарядженою часткою не відбувається коронного розряду. Під дією електричного поля

створюваного поблизу позитивного електрода первинні частинки виробляють вторинну іонізацію і створюють електричні лавини, що призводить до посилення первинної іонізації створеної пролетіла через лічильник частки в тисячу-мільйон разів. Пропорційний лічильник дозволяє реєструвати енергію частинок.

– напівпровідниковий лічильник. У напівпровідникових лічильниках використовується властивість детекторів – одностороння провідність електричного струму. Для цього створюють р-n-перехід. Дві пластини напівпровідника, одна з електронною провідністю, а друга з дірковою, приводять у тісне доторкання. У місцях їх доторкання починається дифузія електронів, яка нейтралізує частину дірок у тонкому граничному шарі з дірковою провідністю, і даний шар заряджається негативно. Аналогічно тонкий граничний шар з електронною провідністю заряджається позитивно. У результаті утворюється перехід р-n, який перешкоджає подальшій дифузії носія заряду. Такий перехід р-n володіє властивостями детектора. Якщо пластину з електронною провідністю приєднати до катода, а пластину з дірковою провідністю – до аноду, то через перехід іде струм. При зворотній полярності товщина переходу р-n росте і система не проводить струм[8].

При проходженні іонізуючої частинки через чутливий шар у ньому відбувається іонізація та утворюються вільні носії заряду, які під дією електричного поля дрейфують до відповідних електродів, тобто утворюється імпульс електричного струму.

Для реєстрації гамма-квантів необхідні напівпровідникові лічильники з великою товщиною чутливого шару. Даний ефект досягається використанням літію, який володіє великим коефіцієнтом дифузії, в одному із торців напівпровідника із дірковою провідністю. У результаті чого отримуємо тришаровий детектор з р-і-n-переходом (рис. 1.8). У шарі I, куди не проникали атоми літію, зберігається діркова провідність. Тонкий шар III, у якому переважає “донор” (літій), набуває електронної провідності. У проміжному шарі II концентрації “донорів” і акцепторів рівні. Даний шар називається і-шаром. Товщину і-шару, в окремих випадках, вдається

довести до 8 мм, що достатньо для отримання доброї енергетичної здатності та непоганої ефективності напівпровідникового лічильника гамма-квантів[8].

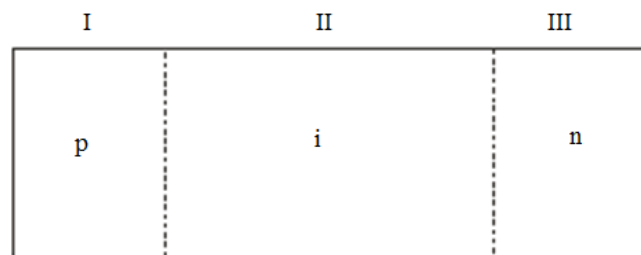


Рисунок 1.8 - Структура тришарового детектора з р–і–n-переходом

- інші лічильники: Камера Вільсона, бульбашкова камера, іскрова камера, стрімерна камера, пропорційна камера, дрейфова камера[5].

Люмінесцентний. Заснований на здатності речовин до відстроченого або негайного світіння під впливом випромінювання. Базується на ефектах радіофотолюмінесценції і радіотермолюмінесценції.

У першому випадку під дією іонізуючих випромінювань в люмінофорі створюються центри фотолюмінесценції, що містять атоми і іони срібла, які при освітленні ультрафіолетовим світлом викликають видиму люмінесценцію, пропорційну рівням радіації. Деякі сорти скла (фосфатні, активовані сріблом) після опромінення іонізуючими випромінюваннями стають люмінесцентними, хоча до впливу на них випромінювань такими властивостями не володіли. Світіння викликається додатковим впливом на опромінене скло ультрафіолетовим світлом[3].

Радіотермолюмінесцентні дозиметри (рис. 1.9) під тепловим впливом (нагріванням) перетворюють поглинену енергію іонізуючих випромінювань в люмінесцентну, інтенсивність якої пропорційна дозі іонізуючих випромінювань. Значний інтерес представляють термолюмінесцентні речовини - фтористий кальцій, борат літію, плавиковий шпат, у яких після впливу іонізуючих променів люмінесценція може бути викликана подальшим їх нагріванням[3].



Рисунок 1.9 - Дозиметр термолюмінесцентний універсальний ДТУ-01

Метод термолюмінесценції заснований на виділенні світла при нагріванні твердої речовини (люмінофора), попередньо збудженої іонізуючим випромінюванням (рис. 1.10).

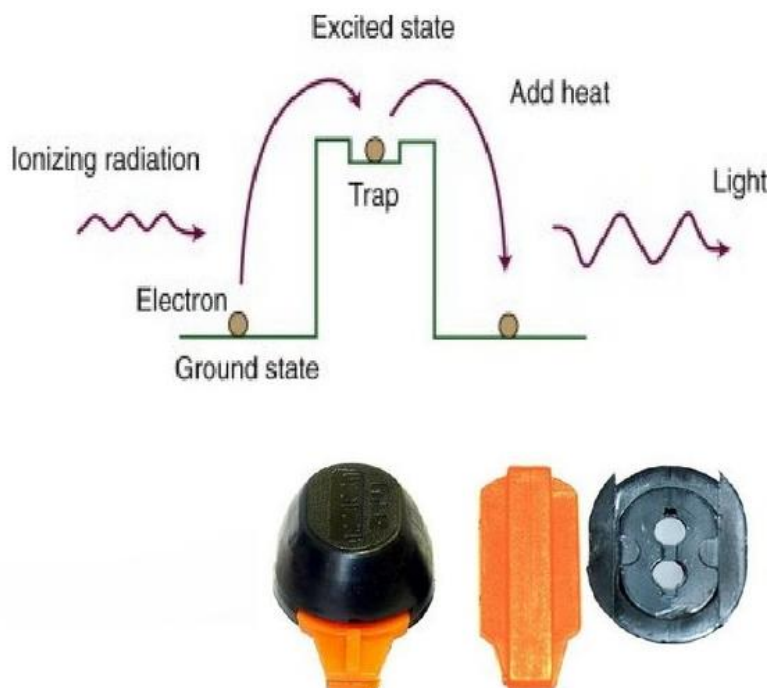


Рисунок 1.10 - Принцип роботи радіотермолюмінесцентного дозиметра

Люмінофори утримують частина поглиненої енергії в метастабільних станах (пастках).

Захоплені електрони залишаються в метастабільних станах до тих пір, поки вони не перейдуть в збуджений стан з виділенням енергії у вигляді світла.

Кількість світловипромінюючої енергії пропорційна поглиненої дозі іонізуючого випромінювання.

Прилади засновані на використанні цього метода:

- флуоресцентний лічильник. Детектування засноване на здатності деяких речовин (викликане срібло та ін.) Накопичувати енергію від ядерних випромінювань. Згодом при нагріванні або освітленні ультрафіолетом енергія віддається і вимірюється за допомогою термолюмінесцентних і скляних дозиметрів.

- сцинтиляційний лічильник - детектор радіоактивного випромінювання, принцип дії якого базується на люмінесценції (рис. 1.11). Детектування засноване на здатності атомів спеціальних речовин-сцинтиляторів порушуватися під впливом випромінювань і при поверненні в основний стан випускати фотони видимого світла (сцинтиляції), які уловлюються спеціальним приладом - фотоелектронним помножувачем. На виході фотоелектронного помножувача, з'являється струм, за величиною якого судять про випромінювання.

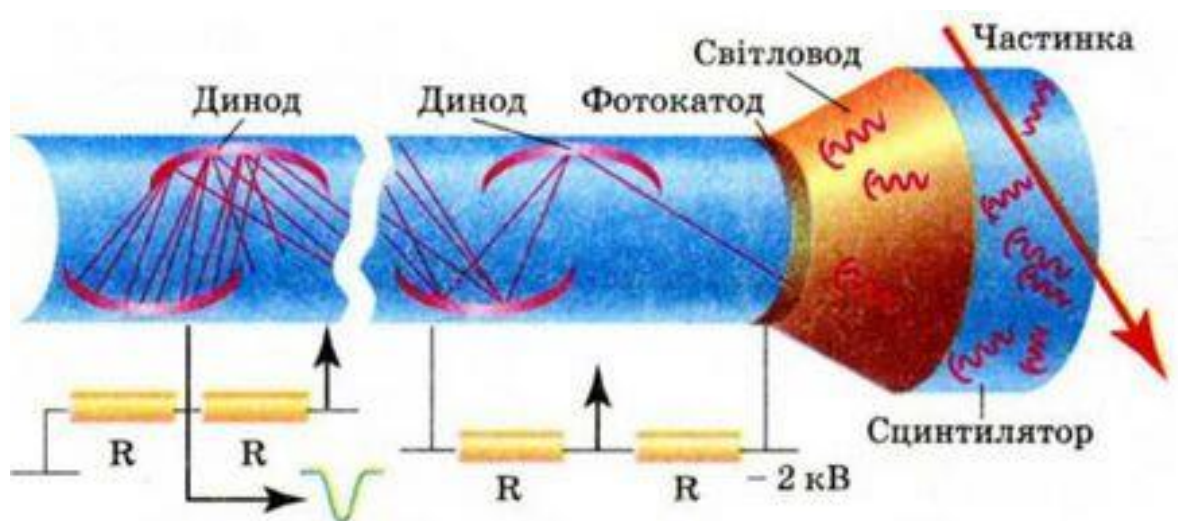


Рисунок 1.11 - Схема сцинтиляційного лічильника

Калориметричний - метод, що базується на вимірюванні кількості теплоти, виділеної в детекторі при поглинанні енергії іонізуючих випромінювань, яка, зрештою перетвориться в теплоту за умови, що поглинаюча речовина є хімічно інертною до випромінювання, і ця кількість пропорційна інтенсивності випромінювань.

У медичній практиці не застосовується через незначну рівня тепловиділення і складності його реєстрації при дозах опромінення, мають практичне клінічне значення.

Хімічні методи - в їх основі лежить кількісне визначення змін в хімічних розчинах (кольору, прозорості, випадання опадів, виділення газу), які виникають в результаті поглинання енергії випромінювання.

Колориметричний - фіксування за допомогою кольорових реакцій зміни речовини під впливом іонізуючого випромінювання. Наприклад, хлороформ у воді при опроміненні розкладається з утворенням соляної кислоти, яка дає кольорову реакцію з барвником; двовалентне залізо в кислому середовищі окислюється в тривалентне під впливом вільних радикалів води, що утворюються при її опроміненні, а тривалентне залізо дає з барвником кольорову реакцію. Зміна забарвлення розчинів вимірюється за допомогою колориметра, по щільності забарвлення судять про дозу опромінення.

Фотографічний - заснований на вимірюванні ступеня почорніння фотоемульсії, тобто на реєстрації відновлення галогенідів срібла в фотоплівці з подальшим якісним або кількісним аналізом. Один з перших методів реєстрації іонізуючих випромінювань, що дозволив французькому вченому Е. Беккерелю відкрити в 1896 р явище радіоактивності. Проходження іонізуючого випромінювання через фотоемульсію робить порушені ним кристали галогенідів срібла здатними до прояву, при цьому щільність почорніння пропорційна дозі опромінення. Порівнюючи щільність почорніння з еталоном, визначають дозу опромінення, отриману плівкою. На цьому принципі заснована робота індивідуальних фотодозиметрів.

Біологічні методи - засновані на здатності випромінювань змінювати біологічні об'єкти. Величину дози оцінюють за рівнем летальності тварин, ступеня лейкопенії, кількістю хромосомних аберацій, зміни забарвлення і гіперемії шкіри, випаданню волосся, появі в сечі дезоксіцитідина і ін. Біологічні методи не завжди точні і менш чутливі в порівнянні з фізичними. Однак вони незамінні в разі визначення відносної біологічної ефективності важких частинок з великою енергією, обліку індивідуальних відмінностей радіочутливості, а також при неможливості визначити дозу іншими методами.

Клінічні - використовується лише для грубої оцінки поглиненої дози. Неточності в оцінках дози виникають через високу варіабельності симптоматики у різних пацієнтів і впливу безлічі інших чинників. Клінічна дозиметрія рекомендується у випадках, коли не потрібно великої точності дозиметричних досліджень. Частота, терміни розвитку та ступінь тяжкості симптомів мають пряму залежність від потужності. Наприклад, початок блювоти через 2 години і пізніше характерно для дози опромінення 1-2 Гр, через 1-2 години - для дози 2-4 Гр, через 30 хв-1 годину - для дози 4-6 Гр, менш, ніж через 30 хв - для дози 6-10 Гр.

Гематологічні - засновані на реєстрації змін у стані гемопоетичних системи, яка високочутлива до випромінювання.

Метод підрахунку лімфоцитів - лімфоцити надзвичайно радіочутливі і реагують протягом декількох годин від початку опромінення (навіть в малих дозах в порівнянні з іншими клітинами крові).

Метод підрахунку гранулоцитів - доза опромінення до 2 Гр викликає поступову депресію числа гранулоцитів до 50% через 30 днів після опромінення. Дози 2-5 Гр викликають початкове підвищення числа гранулоцитів (зрушення вліво), яке зазвичай триває тільки години і супроводжується потім різким зниженням (через зниження освіти і надходження в кров зрілих гранулоцитів). Через 2 тижні після опромінення виникає ще один підйом гранулоцитів (абортивний) з подальшим різким зниженням їх числа за кілька днів (через вихід в кров клітин, які перебували

на заключних стадіях диференціювання, а тому менш чутливих до опромінення). Дози більше 5 Гр зазвичай викликають різке зниження з подальшим поступовим зниженням змісту аж до агранулоцитозу протягом 3 тижнів.

Цитогенетичні:

- підрахунок хромосомних аберацій. Заснований на аналізі дицентриків і інших аберацій хромосом. У разі високих доз (> 1 Гр гострого опромінення) необхідний для планування терапії, при підгострому опроміненні використовується для визначення ризику розвитку стохастичних ефектів. За допомогою даного методу можна виявляти «помилкові тривоги», коли доза, зареєстрована на індивідуальному дозиметрі справді не виходила власником; підтверджувати справжнє наднормативне опромінення і забезпечувати альтернативну оцінку дози незалежно від фізичних методів; підтвердити або спростувати підозрювану опромінення осіб, що не носять індивідуальні дозиметри.

Можливі радіаційно індуковані пошкодження ДНК: подвійні розриви, поодинокі розриви, пошкодження підстав, сахаридів, зшивання ДНК-ДНК, ДНК-білок та ін.

Найчастіше на практиці використовують підрахунок кількості дицентриків в лімфоцитах і FISH-метод (Fluorescent In Situ Hybridization) - попереднє фарбування певних ділянок ДНК різними флуоресцентними барвниками (прямий метод) або нефлуоресцентними мітками з подальшою обробкою флуоресцентними антитілами (непрямий метод).

- аналіз упаковки хроматину. В оптичному мікроскопі при фарбуванні сріблом на різних стадіях мітозу видно основні структури упаковки ДНК; за ступенем їх пошкодження судять про дозу опромінення.

Біофізичні - представлені методом електронного парамагнітного резонансу - основний прямий метод виявлення вільних радикалів.

Розрахункові - дозу випромінювання визначають шляхом математичних обчислень; єдино можливий метод визначення дози від інкорпорованих радіонуклідів.

Радіометрія - процес вимірювання кількості радіоактивних ізотопів і їх концентрації в різних об'єктах. Методи радіометрії використовуються в дозиметрії для визначення доз випромінювання.

В основу роботи вимірювальних приладів покладена кількісна оцінка фізичних явищ, що супроводжують взаємодію випромінювань з речовиною.

Реєструючий випромінювання прилад зазвичай складається з трьох основних частин (рис. 1.12):

1. Детектора, датчика - чутливого елемента, що сприймає випромінювання, в який надходять частки або кванти і за допомогою перетворювача ефекту взаємодії перетворюються в електричні імпульси;
2. Радіотехнічної схеми, що посилює іонізаційний струм;
3. Реєструючого (вимірювального) пристрою.



Рисунок 1.12 - Портативний спектрометр гамма нейтронного випромінювання

1.2.2 Класифікація приладів радіаційного контролю

Класифікація приладів радіаційного контролю залежить від багатьох ознак, основні з яких наступні[3]:

- вид радіаційного контролю;
- функціональне призначення приладу;
- тип вимірюваної фізичної величини;
- вид іонізуючого випромінювання;
- тип конструктивного виконання.

По виду радіаційного контролю прилади поділяються на два основні класи - прилади дозиметричного і прилади радіаційного технологічного контролю.

Прилади дозиметричного контролю забезпечують отримання необхідної інформації про стан радіаційної обстановки на АЕС, у навколишньому середовищі, а також про дозу опромінення персоналу та населення.

Прилади радіаційного технологічного контролю забезпечують вимірювання радіаційних параметрів технологічних середовищ і стану захисних бар'єрів на шляху розповсюдження радіоактивних забруднень.

Класифікацію приладів радіаційного контролю в залежності від функціонального призначення, типу вимірюваної фізичної величини і виду іонізуючого випромінювання визначає ГОСТ 29074-91 "Апаратура контролю радіаційної обстановки. Загальні вимоги", який унормовує загальні технічні вимоги та порядок присвоєння позначень засобам радіаційного контролю.

У відповідності зі стандартом буквене позначення засобів вимірювань повинно включати три елементи.

Перший елемент позначає функціональне призначення приладу[3]:

- Д - дозиметри (дозиметричні установки);
- Р - радіометри (радіометричні установки);

- С - спектрометри (спектрометричні установки);
- БД - блок детектування;
- УД - пристрій детектування.

Другий елемент літерного коду приладу означає вимірювану фізичну величину:

- Д - поглинена доза опромінення;
- М - потужність поглиненої дози;
- Е - експозиційна доза фотонного випромінювання;
- Р - потужність експозиційної дози фотонного випромінювання;
- В - еквівалентна доза випромінювання;
- Б - потужність еквівалентної дози випромінювання;
- Ф - потік енергії іонізуючого випромінювання;
- Н - щільність потоку енергії іонізуючого випромінювання;
- Т - перенесення енергії іонізуючого випромінювання;
- І - активність радіонукліда в джерелі;
- У - питома активність радіонукліда;
- Г - об'ємна активність радіонукліда в газі;
- Ж - об'ємна активність радіонукліда в рідині;
- А - об'ємна активність радіоактивного аерозолю;
- З - поверхнева активність радіонукліда;
- Л - потік іонізуючих частинок;
- П - щільність потоку іонізуючих частинок;
- Е - енергетичний розподіл іонізуючого випромінювання;
- С - перенос іонізуючих частинок;
- Ч - часовий розподіл іонізуючого випромінювання;
- К - дві і більше фізичні величини.

Третій елемент літерного коду приладу позначає вид іонізуючого випромінювання:

- А - альфа-випромінювання;
- Б - бета-випромінювання;

- Г - гамма-випромінювання;
- Н - нейтронне випромінювання;
- П - протонне випромінювання;
- Т - важкі заряджені частинки;
- С - змішане випромінювання;
- Х - інші випромінювання.

Приклади літерних позначень засобів вимірювань:

- ДДБ - дозиметр (дозиметрична установка) поглиненої дози β -випромінювань;
- РЗА - радіометр (радіометрична установка) поверхневої активності α -активного радіонукліда (радіометр забруднення поверхонь);
- ПЄГ - спектрометр (спектрометрична установка) енергетичного розподілу γ -випромінювання;
- УДДГ - пристрій детектування поглиненої дози γ -випромінювання;
- БДТГ - блок детектування перенесення енергії γ -випромінювання.

Дозиметри (Д) призначені для вимірювання та реєстрації дози іонізуючого випромінювання (експозиційної, поглинутої, еквівалентної) і потужності дози.

Радіометри (Р) призначені для вимірювання та реєстрації щільності потоку іонізуючого випромінювання та активності радіонуклідів.

Спектрометри (С) призначені для вимірювання розподілу іонізуючих випромінювань по енергії частинок або фотонів або з яких-небудь іншим параметрам. Залежно від виду іонізуючого випромінювання бувають α -, β -, γ -спектрометри.

Блок детектування і пристрій детектування (БД і УД) призначені для перетворення вимірюваної величини в іншу величину або сигнал вимірювальної інформації зручний для подальшої обробки. Як правило, БД і УД входять до складу інших вимірювальних засобів.

Необхідно відзначити, що промисловістю випускаються також універсальні (багатофункціональні) прилади, що поєднують функції різних типів приладів.

Прилади радіаційного контролю в залежності від типу конструктивного виконання поділяються на такі групи:

- стаціонарні системи (комплекси) радіаційного контролю;
- стаціонарні прилади (установки) радіаційного контролю;
- переносні прилади радіаційного контролю;
- прилади індивідуального дозиметричного контролю.

З усієї сукупності приладів радіаційного контролю необхідно також виділити групу приладів лабораторного радіаційного контролю, якими оснащені радіометричні й спектрометричні лабораторії АЕС.

Прилад для виявлення і вимірювання параметрів іонізуючого випромінювання складається з детектора та вимірювальної апаратури. Речовиною детектора може бути газ, рідина або тверде тіло, що й дає відповідну назву детекторам: газові, рідинні, твердотільні.

Всі дозиметричні прилади підрозділяються на чотири групи:

- ідентифікатори-сигналізатори;
- вимірювачі потужності дози;
- вимірювачі дози;
- радіометричні перерахункові установки, лічильники.

Ідентифікатор-сигналізатор призначений для подачі звукового та світлового сигналів про наявність випромінювання.

Вимірювач потужності дози призначений для вимірювання потужності експозиційної дози випромінювання, а також виявлення випромінювання.

Сцинтиляційний розвідувальний прилад можуть бути використані для пошуку джерел іонізуючого випромінювання при радіаційних аваріях.

Вимірювач дози призначений для вимірювання поглинених доз випромінювання з метою первинної діагностики ступеня радіаційних уражень[3].

1.3 Лічильник Гейгера

Лічильник Гейгера або лічильник Гейгера-Мюллера — детектор радіоактивного випромінювання на основі іонізаційної камери (рис. 1.13).

Лічильник Гейгера призначений для реєстрації окремої швидкої зарядженої частинки. Факт реєстрації може відобразитися відхиленням стрілки, спалахом лампочки або акустичним сигналом.

Лічильник призначений для реєстрації бета- та гамма-променів, може бути прилаштований для реєстрації альфа-частинок і нейтронів.



Рисунок 1.13 - Зовнішній вигляд лічильника Гейгера- Мюллера

Лічильник розробили спочатку для реєстрації тільки альфа-частинок у 1908 році Ганс Гейгер, працюючи разом із Ернестом Резерфордом. До

1928 року Гейгер зі своїм аспірантом Вальтером Мюллером вдосконалили його таким чином, що стала можливою реєстрація різних частинок.

Сучасний лічильник з використанням галогенів винайшов у 1947 році Сідні Г. Лібсон. Запропонована ним модифікація дозволити знизити напругу з 1000—1500 В до 400 — 600 В, підвищивши при цьому довговічність приладу[5].

Існують модифікації лічильника Гейгера, призначені для реєстрації нейтронів.

Основний елемент лічильника Гейгера — іонізаційна камера. Вона має вигляд трубки, металеві або покриті вуглецем стінки якої служать катодом, а дротина посередині — анодом. Камера заповнена інертними газами із домішками галогенів. Один із торців трубки роблять скляним. Через цей кінець проникають високоенергетичні частинки. Інший призначений для контакту зі джерелом живлення та електронною схемою реєстрації.

При ввімкненому лічильнику між катодом і анодом подається напруга, при якій струм у лічильнику відсутній, тобто самостійний розряд неможливий, однак достатня для несамостійного розряду.

Коли в іонізаційну камеру влітає високоенергетична заряджена частинка, наприклад, електрон, вона іонізує атоми інертного газу, утворюючи вільні електрони та іони, що починають рухатися до аноду й катоду, відповідно. Розганяючись в електричному полі, вони в свою чергу іонізують нейтральні атоми завдяки ударній іонізації. Утворюється лавина, що призводить до короткого імпульсу струму через камеру.

Скляне віконце трубки дозволяє реєструвати бета- та гамма-частинки. Для реєстрації альфа-частинок вікно роблять із слюди[4, 5].

Лічильник Гейгера реєструє факт проходження частинки через лічильник, але не дозволяє виміряти енергію частинки.

Схематичне зображення будови та принципу дії лічильника Гейгера показано на рисунку 1.14.

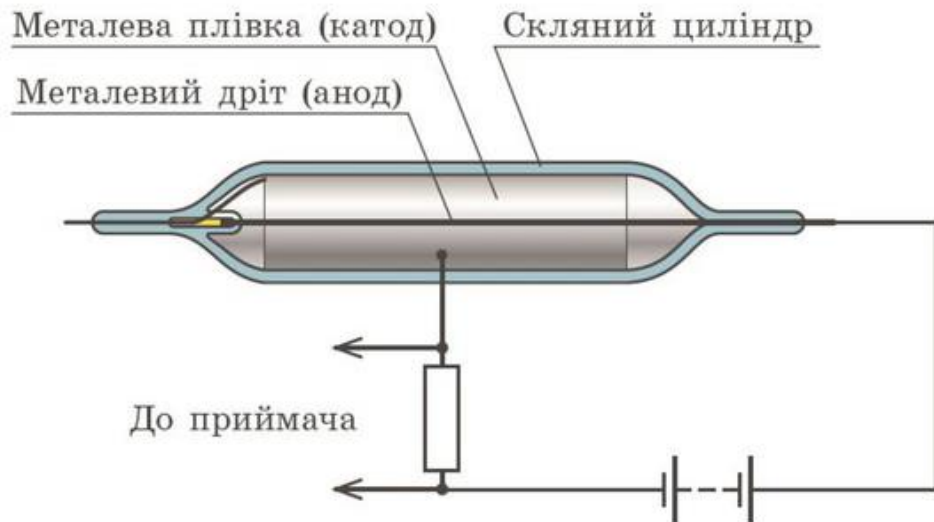


Рисунок 1.14 - Лічильник Гейгера-Мюллера для реєстрації електронів і γ - квантів

Лічильники Гейгера - Мюллера застосовуються для виявлення і дослідження різного роду радіоактивних та інших іонізуючих випромінювань: альфа - і бета-частинок, гамма-квантів, світлових і рентгенівських квантів, часток космічного випромінювання.

Завдяки хорошій чутливості до різних видів радіоактивного випромінювання, високої надійності і простоті виготовлення вони широко використовуються в радіометричній техніці.

1.3.1 Мертвий час

Мертвий час лічильника Гейгера пояснюється тим, що при реєстрації частинки навколо усього аноду утворюється хмара катіонів, які екранують й зменшують градієнт поля біля нитки (рис. 1.15).

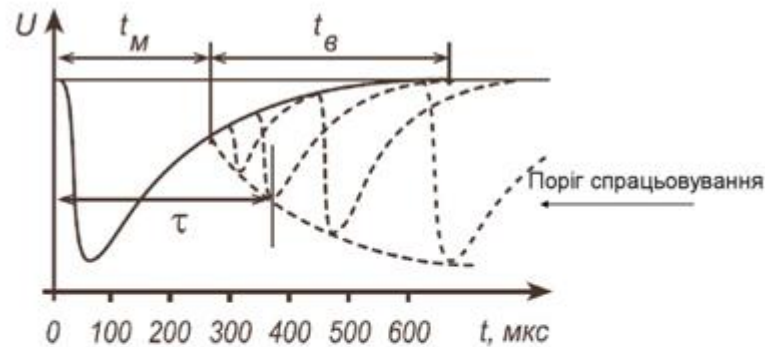
Час відновлення й пов'язаний з ним мертвий час лічильника Гейгера залежить від радіусу електродів r , тиску p , рухомості йонів наповнюючого газу q й напруги на лічильнику V .

$$t_{\text{відн.}} = (r_k^2 - r_a^2) \cdot \frac{p}{p_0} \ln \frac{r_k}{r_a} \cdot \frac{1}{2qV},$$

де r_k - радіус катоду;

r_a - радіус аноду;

p_0 - атмосферний тиск.



t_M - мертвий час

$t_в$ - час відновлення

τ - роздільний час

Рисунок 1.15 - Мертвий час газорозрядного лічильника Гейгера-Мюллера

Значне збільшення радіусу аноду з метою зменшення часу відновлення неприпустиме через пов'язане із ним збільшення анодної напруги. Зменшення тиску й застосування легких газів-наповнювачів з великою рухомістю йонів пов'язане із зменшенням ефективності лічильника.

Зазвичай при наповненні Ar під тиском близько 500 мм.рт.ст. мертвий час лічильників Гейгера складає 150-250 мксек, напруга не перевищує 1500 В[4].

Метою дипломної роботи є розробка лічильника імпульсів для реєстрації радіоактивного випромінювання.

Завданням дипломної роботи є:

– дослідження методів виявлення та вимірювання іонізуючого випромінювання;

– аналіз роботи існуючих приладів дозиметрії, виявлення їх переваг та недоліків;

– дослідження лічильника Гейгера, його характеристик і принципу роботи;

– дослідження основних параметрів лічильника СБМ-21;

– розробка схеми формування високої напруги;

– розрахунок схеми блокінг-генератора;

– побудова схеми формування одиничних імпульсів в середовищі EWB;

– розробка чотирьох розрядного двійково-десятькового лічильника;

– побудова схеми перетворення двійкового коду в семи сегментний код.

2 РОЗРОБКА МІКРОЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТОЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ РАДІАЦІЇ

2.1 Обґрунтування вибору датчика радіації

Дозиметри поділяються на кілька основних категорій:

1. Індикатори. Прості прилади з невисокою чутливістю та малою точністю. Здатні визначати виражені радіоактивні аномалії. Вартість їх не висока. Для перевірки деяких предметів на наявність підвищеного фону радіоактивності добре підійде звичайний індикатор. Це найпоширеніша та широковживана група приладів на випадок, якщо вам треба «знайти щось радіоактивне».

2. Сигналізатори. Можна сказати, що це різновиди індикаторів, що здатні розрізняти різкі коливання радіаційного фону. Сигналізатори відрізняються трьома характерними рисами: вони мають чіткий поріг сигналізації, великий ресурс батареї живлення і невеликі розміри. Коли, радіаційний фон поруч із сигналізатором різко змінюється, вище встановленого порогу, прилад включає звукову або світлову сигналізацію та повідомляє про можливу небезпеку. Часто сигналізатори поєднують у собі так само якості примітивних вимірювачів та індикаторів.

3. Вимірювачі. Ці прилади призначені для вимірювання радіаційного фону довкілля та конкретних об'єктів. Вони забезпечені досить чутливими і досконалими датчиками, вимагають значного часу на замір, мають високу чутливість і точність вимірювань. Вимірювачі використовуються і як індикатори.

4. Пошуковики. Зазвичай це типові радіометри. Вони мають низьку точність виміру, власне кажучи, вимірники з них взагалі ніякі. Натомість у них дуже висока чутливість та швидкість реакції на зміну навколишнього фону. Вони призначені для пошуку радіоактивних аномалій, предметів,

рудних мінералів тощо. Пошуковик потрібен для пошуку радіоактивних джерел, наприклад у металобрухті, для виявлення радіоактивних руд [12].

Основа будь-якого дозиметра з наведених вище категорій – це його датчик, який безпосередньо чутливий до іонізуючого випромінювання.

Найчутливіші датчики - сцинтиляційні кристали, вони зазвичай застосовуються у пошукових системах, а іноді у вимірниках та сигналізаторах.

Потім йдуть торцеві слюдяні лічильники Гейгер-Мюллера - вони дуже чутливі до бета-випромінювання і, іноді, до альфа. Застосовуються в першу чергу, у вимірювачах, іноді в сигналізаторах та пошукових системах.

Лічильник Гейгера є газорозрядним приладом, а сучасна тенденція мікроелектроніки - повсюдне від них порятунок. Були розроблені десятки варіантів напівпровідникових сенсорів радіації. Реєстрований ними рівень радіаційного фону значно вище, ніж для лічильників Гейгера. Чутливість напівпровідникового сенсора гірше, але у нього інша перевага - економічність. Напівпровідники не потребують високовольтного живлення. Для портативних дозиметрів на батарейках вони добре підходять. Ще одне їх перевага - реєстрація альфа-частинок. Газовий обсяг лічильника суттєво більше напівпровідникового сенсора, але все одно його габарити прийнятні навіть для портативної техніки.

Однак лічильник Гейгера-Мюллера - це простий електровакуумний прилад, надійний та практичний, з гранично простим принципом роботи. Він не дуже точний для дослідження окремих видів частинок або випромінювань, однак добре підходить в якості приладу для загального вимірювання інтенсивності іонізуючих випромінювань. Він реєструє гамма-, альфа-, бета-випромінювання і рентгенівські промені.

Лічильник Гейгера часто використовується фізиками в поєднанні з іншими детекторами, для підвищення точності вимірювань при експериментах.

До іонізуючих випромінювань відносяться ті, що можуть викликати іонізацію речовини, що знаходиться в нормальному стані. Для цього

необхідна певна енергія. Наприклад, радіохвилі та ультрафіолетове світло не належать до іонізуючих випромінювань.

Вперше класифікував іонізуючі випромінювання Ернст Резерфорд.

Це було зроблено на експериментальній установці за допомогою магнітного поля в вакуумі.

Він поділив їх на три види:

- α - ядра атомів гелію;
- β - електрони з високою енергією;
- γ - гамма-кванти (фотони).

Пізніше було відкрито нейтрони та проведено дослідження властивостей частинок (рис.2.1). Так було виявлено, що:

- альфа-частинки легко затримуються навіть звичайним папером;
- бета-частинки мають трохи більшу проникаючу здатність, для захисту від опромінення досить тонкого оргскла;
- гамма-промені - мають найвищу проникаючу здатність, щоб послабити потік гамма-випромінювання, треба використовувати речовини з високим масовим числом атома і щільні склади;
- нейтрони виявились найнебезпечнішими, через їх електричну нейтральність вони не взаємодіють з електронними оболонками молекул речовини. Але при потраплянні в атомне ядро, призводять до його нестабільності та розпаду, з виникненням, як правило, радіоактивних ізотопів. А вже ті, в свою чергу, розпадаючись, самі утворюють іонізуючі випромінювання.

Якщо іонізуюче випромінювання α (альфа-випромінювання) виходить від зовнішніх об'єктів, то воно майже безпечно і являє собою потік ядер атомів Гелія. Пробіг і проникність цих частинок невелика - декількох мікрометрів (максимум міліметрів) - в залежності від проникності середовища. З огляду на цю особливість воно майже не реєструється лічильником Гейгера. У той же час реєстрація альфа-випромінювання важлива, так як ці частинки надзвичайно небезпечні при проникненні

всередину організму з повітрям, їжею, водою. Для їх декретування лічильники Гейгера використовуються обмежено. Більше поширені спеціальні напівпровідникові сенсори.

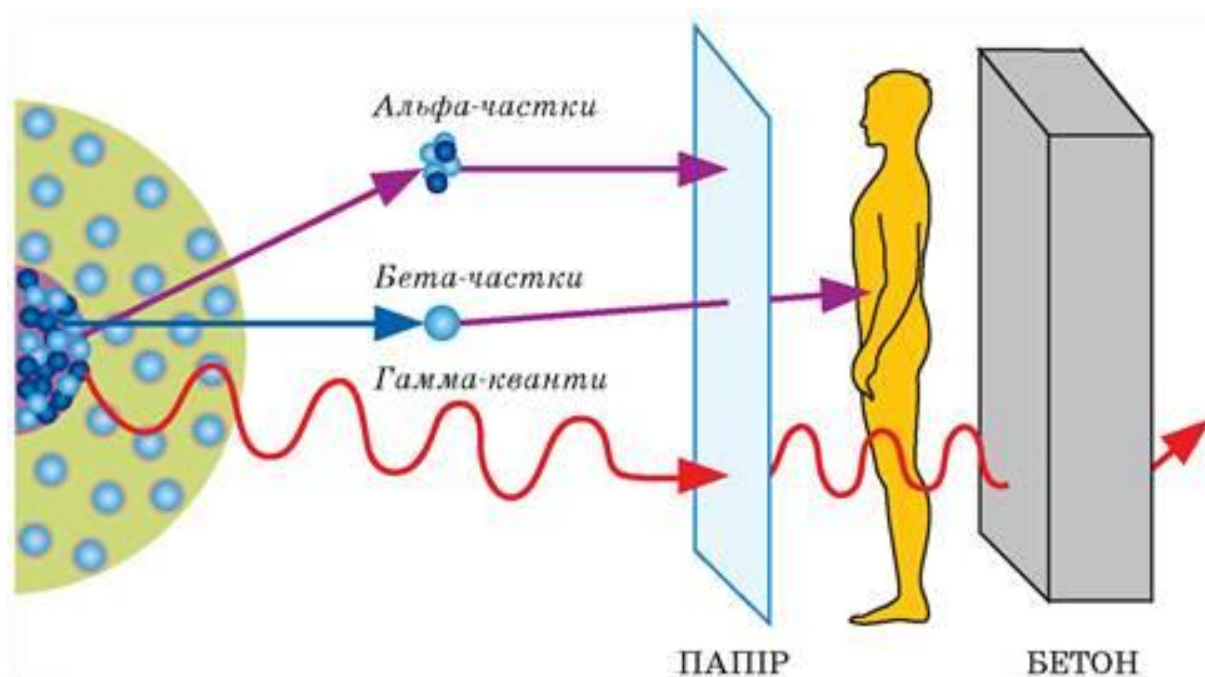


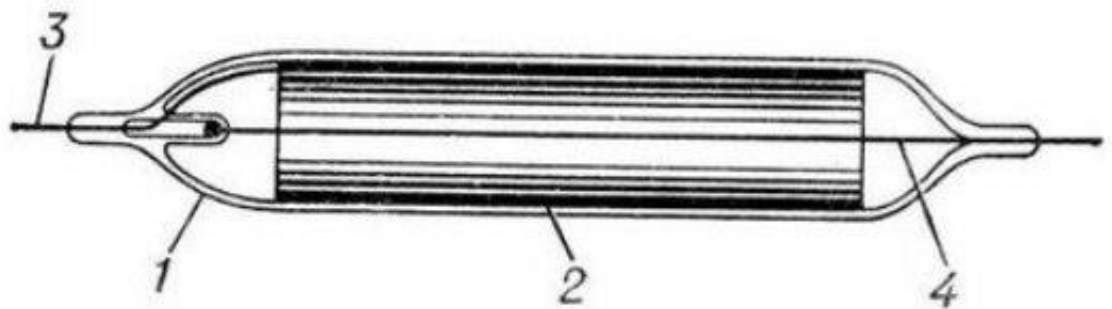
Рисунок 2.1 – Проникна властивість часток різного типу

Бета-випромінювання відмінно реєструється лічильником Гейгера, тому що бета-частинки являє собою електрон. Вона може пролетіти сотні метрів в атмосфері, але добре поглинається металевими поверхнями. У зв'язку з цим лічильник Гейгера повинен мати віконце з слюди. Металева камера виготовляється з невеликою товщиною стінки. Склад внутрішнього газу підбирається таким чином, щоб забезпечити невеликий перепад тиску. Детектор бета-випромінювання ставиться на виносному зонді.

Гамма-випромінювання вимірювати найбільш просто. Це електромагнітне випромінювання, що представляє собою потік фотонів (світло - теж потік фотонів). На відміну від світла у нього набагато вища частота і дуже мала довжина хвилі. Це дозволяє йому проникати крізь атоми. В цивільної оборони гамма-випромінювання - це проникаюча радіація. Вона проникає крізь стіни будинків, автомобілі, різні споруди і затримується лише шаром землі або бетону в кілька метрів [11].

Зворотна ситуація з гамма-випромінюванням, є ймовірність, що воно наскрізь пройде через контейнер, не запустивши реакцію іонізації. Для цього в лічильниках встановлюють спеціальний екран (з щільної сталі або свинцю), який дозволяє знизити енергію гамма-квантів і активувати, таким чином, розряд в камері лічильника.

Лічильник Гейгера– газорозрядний пристрій для автоматичного розрахунку кількості іонізуючих частинок, що потрапили в нього. Це газонаповнений конденсатор, який пробивається, коли іонізуюча частка проходить через об'єм газу. Це найбільш поширений детектор іонізуючого випромінювання (датчик).



1- геометрично запаєна скляна трубка; 2 – катод (тонкий шар міді на трубі з нержавіючої сталі); 3 – вивід катоду; 4 – анод (тонка натягнута нитка)

Рисунок 2.2 – Скляний лічильник Гейгера-Мюллера:

Додаткова електронна схема забезпечує вимірювач потужністю (як правило, не менше 300 В), забезпечує, при необхідності, придушення розряду і підраховує кількість розрядів через лічильник.

Лічильник працює на основі ударної іонізації. Гамма-кванти, що випускаються радіоактивним ізотопом, падають на стінки лічильника, вибивають з нього електрони. Електрони, що рухаються в газі і стикаються з атомами газу, вибивають електрони з атомів і створюють позитивні іони і вільні електрони. Електричне поле між катодом і анодом прискорює електрони до енергій, при яких починається іонізація. Виникає лавина іонів і струм через лічильник різко зростає. У цьому випадку імпульс напруги

формується на опорі, який подається на записуючий пристрій. Для того, щоб лічильник реєстрував наступну частку, що потрапила в неї, лавинний розряд повинен бути вимкнений. Це відбувається автоматично. У момент появи імпульсу струму на опорі відбувається велике падіння напруги, тому напруга між анодом і катодом різко зменшується – так, що розряд припиняється і прилад знову готовий до роботи.

Схема включення лічильника зображена на рисунку 2.3 [13].

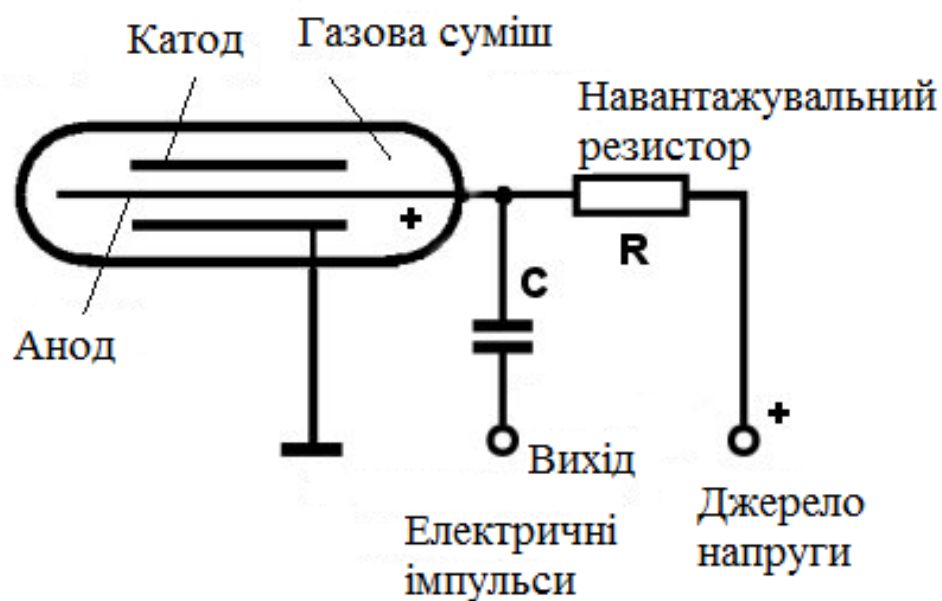


Рисунок 2.3 - Схематичне зображення включення лічильника

2.1.1 Характеристики лічильників Гейгера

Найважливішими характеристиками газорозрядних лічильників Гейгера, якими можна порівнювати і виявляти кращі зразки є:

1. Конструкція та призначення. Основні види лічильників – циліндричні та торцеві. Перші схожі на довгасту трубку-балон у вигляді циліндра. Іонізаційна камера других утворена круглою або прямокутною формою тіла невеликої висоти та значною робочою торцевою поверхнею. Рідше зустрічаються торцеві лічильники у вигляді подовженого циліндра та малого вхідного вікна з боку торця. Пристрої можуть реєструвати як

окремий вид радіоактивного випромінювання (альфа, бета, гама), так і їхню комбінацію (наприклад, гама+бета або альфа+бета+гама). Це досягається особливостями конструкції корпусу, електродів, а також вибором матеріалу для виготовлення.

2. Площа вікна або робочої зони - це площа простору, через яке пролітають частинки, що детектуються, або кванти. Вона безпосередньо пов'язана з розмірами лічильника. Чим більше ця площа, тим більше часток зможе вловити лічильник Гейгера в одиницю часу і тим більшою буде його чутливість до радіації. Вказується у квадратних сантиметрах.

3. Роздільна здатність лічильника - це мінімальна кількість частинок, що здатний зареєструвати лічильник за одиницю часу. Вона визначається тривалістю фізичних процесів, що виникають у лічильнику, коли в нього потрапляє заряджена частинка. Для різних лічильників роздільна здатність має значення від 10^3 до 10^{10} частинок за секунду.

4. Власний фон - це випромінювання деталей самого лічильника або інші причини мимовільного спрацьовування при максимальному ізолюванні виробу від радіаційного впливу зовнішнього середовища (наприклад, в камері свинцю). Мінімальний фон дозволяє збільшити чутливість лічильника при малих значеннях радіоактивного випромінювання. Якщо власний фон детектора буде значним, то частина корисної інформації закритється шумом. Вимірюється в імпульсах за секунду (імп/с).

5. Температура є дуже важливим параметром, оскільки лічильник часто доводиться застосовувати в складних умовах. Наприклад, в реакторах. Лічильники загального використання: від -50 до $+70$ С за Цельсієм.

6. Радіаційна чутливість показує швидкість рахунку при певному рівні опромінення, вимірюється в імпульсах на секунду (імп/с) або імпульсах на мікрорентген (імп/мкР). Цей параметр залежить від типу стандартного джерела іонізуючого випромінювання, яким виробляють вимір. Як правило, з цією метою використовують джерела, що включають радіонукліди кобальт-60, цезій-137, радій-226, вуглець-14 та інші. Якщо

лічильники Гейгера, які необхідно порівняти, тестувалися від різних джерел, зробити це буде важко.

7. Мертвий час лічильника - це час (час відновлення), протягом якого лічильник проводить струм після спрацьовування від частки яка пролетіла. Існування такого часу означає, що для частоти імпульсів є верхня межа, і це обмежує діапазон вимірювань.

8. Ефективність реєстрації – величина, що вказує відсоток фактично зареєстрованих радіоактивних частинок від їх кількості, пролітаючих через площу робочої зони. З різних причин лічильники Гейгера не можуть зафіксувати всі без винятку частки, що пролітають, або гамма-кванти. Ця величина вказує відсоток фактично зареєстрованих радіоактивних частинок від їх кількості, пролітаючого через площу робочої зони. Цей параметр перевіряють стандартними джерелами на основі плутонію-239 (альфа-випромінювач), талію-204 (бета-випромінювач) та інших радіоактивних матеріалів. Як бета-випромінювачів також використовується система радіонуклідів: стронцію-90 та продукту його розпаду ітрію-90.

9. Діапазон реєстрованих енергій - це енергетичний спектр уловлюваних лічильником Гейгера фотонів, альфа або бета-часток. Може вказуватися як загалом, і окремо кожному за виду випромінювання. Одиниці виміру – мегаелектронвольти (MeV) чи кілоелектронвольти (keV). Радіоактивні частинки, що вириваються у навколишній простір, мають широкий діапазон енергій. Але тільки бета-випромінювання достатньої енергії зможе вибити первинні електрони для початку іонізаційного процесу. Тільки сильні альфа-частинки зможуть подолати повітряний прошарок та стінку вхідного вікна між джерелом та камерою лічильника Гейгера.

10. Робочий ресурс характеризується загальним числом всіх імпульсів, зафіксованих до моменту, коли показання приладу стають некоректними. Якщо у пристрої є органіка для самогашення, кількість імпульсів складе один мільярд. Ресурс доречно підраховувати тільки в стані робочої напруги. При зберіганні приладу витрата зупиняється [13].

2.1.2 Основні параметри лічильника СБМ-21

Існує багато варіантів дозиметрів, що розраховані на реєстрацію і виявлення гамма-фотонів та високочастотного бета-випромінювання – це практично всі сучасні дозиметри як для побутового використання так і професійні дозиметри радіації [15].

Лічильник СБМ-21 призначений для вимірювання жорсткого бета- та гамма-випромінювання при дозиметричному контролі (рис 2.4).



Рисунок 2.4 - Зовнішній вигляд лічильника СБМ-21

Особливості лічильника Гейгера-Мюллера СБМ-21 полягають у його фізичних розмірах. Лічильник мініатюрний. Діаметр складає всього 6мм, довжина корпусу 16мм плюс довжина виведення 5мм (рис. 2.5) [14].

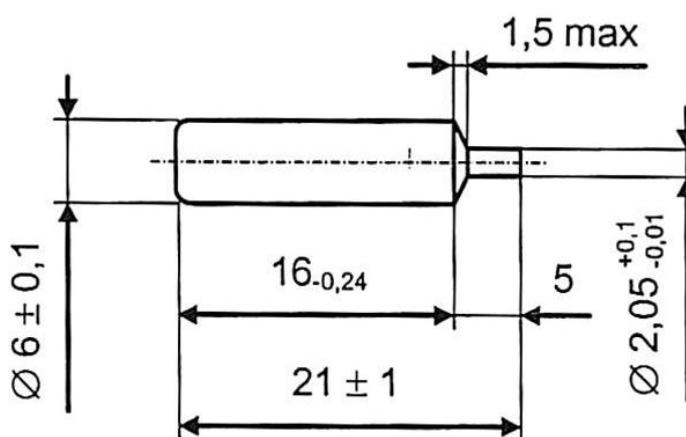


Рисунок 2.5 - Креслення лічильника СБМ - 21

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики лічильника СБМ-21

Назва характеристики	Величина
Робоча напруга	400 В
Діапазон робочих напруг	350-475 В
Діапазон потужностей експозиційних доз гамма-випромінювання	0,1-1000 мкР/с
Імпульсна чутливість до гамма випромінювання нормована по джерелу Cs-137	6,5-9,5 имп/мкР
Максимально допустима потужність експоненціальної дози гамма-випромінювання	0,25 Р/с
Рівень натурального фону СБМ-21	12 имп/мин
Наповнення	Ne-Br ₂ -Ar
Максимальний допустимий струм	20 мкА
Максимальний робочий струм	12 мкА
Ресурс роботи	$2 \cdot 10^{10}$ имп
Рекомендований резистор анода	5,1 МОм
Індуктивність трубки	2,2 пФ
Діапазон робочих температур	-60...+70°C
Максимально допустима температура при експлуатації на протязі 125 г.	+85°C
Мертвий час при U = 400В:	64 Р/мкс
Габаритні розміри, висота × ширина × товщина	не більше ніж 20×6×6 мм

Узагальнена структурна схема системи визначення іонізуючого випромінювання приведена на рис. 2.6.

Пристрій вимірювання радіаційного фону 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, які згодом підраховуються за певний період часу.

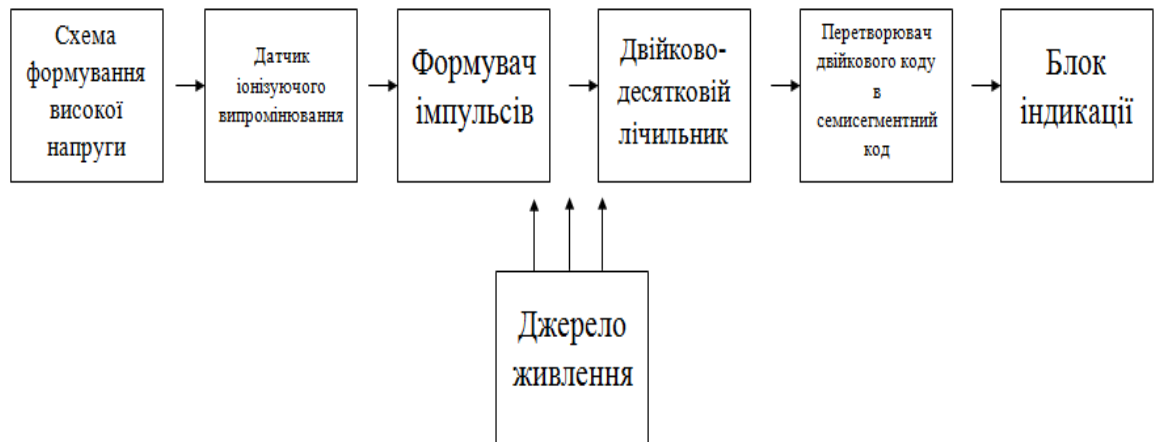


Рисунок 2.6 – Структурна схема приладу вимірювання рівня радіації

Для подачі високої напруги на електроди датчика необхідна схема формування високої напруги, яка являє собою автогенератор з підвищуючим трансформатором.

2.2 Розробка схеми формування високої напруги

Основою схеми формування високої напруги є блокінг-генератор (рис. 2.7).

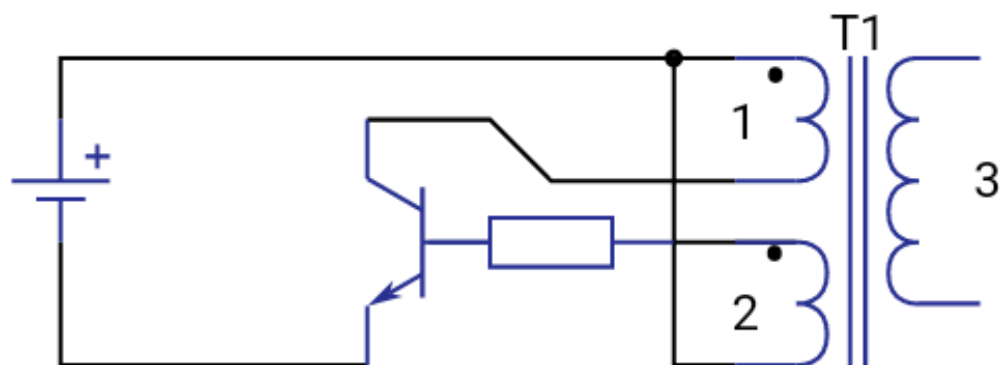


Рисунок 2.7 - Схематичне зображення блокінг-генератора

Основні етапи роботи генератора:

Після подачі напруги через резистор R1 відбувається зарядка конденсатора C. Час завершення процесу визначається параметрами даних елементів.

Величину струму обмежує опір ланцюга, а напруга на конденсаторних клеммах не встигає стати максимальною.

Як тільки воно досягло певної величини, транзистор почне відкриватися. Струм починає проходити по ланцюгу: обмотка трансформатора – колектор – емітер. На цьому етапі напруга майже миттєво стає максимальною, а струм збільшується відносно повільно.

Він індукує ЕРС в обмотці трансформатора, що з'єднана з базою, що ще більше збільшує напругу і відкриває транзистор. Цей процес завершується при насиченні осердя трансформатора (матеріал не здатний проводити магнітне поле певної інтенсивності). Також він припиниться зі збільшенням струму бази, до порога насичення напівпровідникового приладу.

Транзистор закривається. Починається зарядка конденсатора C. Індуктивність обмотки трансформатора утворює ЕРС з напрямком, протилежним до початкового. Це прискорює закриття транзистора.

Найпростіший блокінг-генератор складається з:

- транзистора VT1 по схемі із загальним емітером;
- трансформатора зворотного зв'язку T1;
- діода VD1;
- ланцюжка R2C1;
- базового резистора R1;
- опору навантаження Rн.

Трансформатор обмотка 1 зазвичай вдвічі більше обмотки 2, а число витків і діаметр дроту підбираються в залежності від напруги на обмотці 3 і струму через неї.

Електрична схема блокінг-генератора зображена на рис.2.8

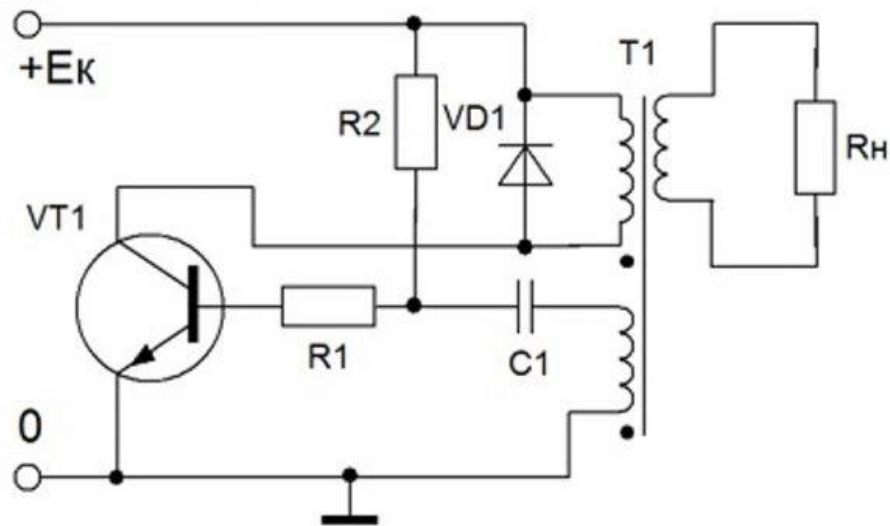


Рисунок 2.8 – Схема блокінг-генератора

На малюнку вище не наведено певне навантаження (позначення R_n). Діод виконує демпфуючі функції. Він запобігає кидкам напруги, здатним пошкодити транзистор.

Принцип роботи блокінг-генератора простіше зрозуміти за допомогою часових діаграм, які ілюструють зміну електричних параметрів в окремих частинах схеми (рис.2.9).

Нижче наведено особливості, які характерні для даної схеми:

1. Комбінацією t_0 відзначено момент, коли напруга на базі транзистора недостатня для її відкриття.

2. Тимчасовий відрізок $t_0 - t_1$ означає період поступового відкриття транзистора. У кінцевій точці насичення відбулося, тому зміна струму в основі не впливає на форму імпульсу. Однак, розряд конденсатора відбувається. Тому відбувається поступове зменшення струму основи.

3. Оскільки навантаження на колекторі має індуктивні характеристики, струм I_c не зменшується. Тривалість цього періоду визначається параметрами осердя трансформатора.

4. З точки t_2 починається зріз імпульсу. Струм, створений індукцією, зменшується, що проковує поступове закриття транзисторного ключа. На малюнках видно, коли з'являється струм у зворотному напрямку. Цей

процес інтенсифікує розряд конденсатора. Швидкість закриття транзистора збільшується, і зріз виходить крутим (утворюється за короткий час).

5. Точкою t_3 позначено момент повного закриття транзистора. Після нього припустима поява коливальних процесів. Для їхнього блокування в даній схемі встановлено діод [16].

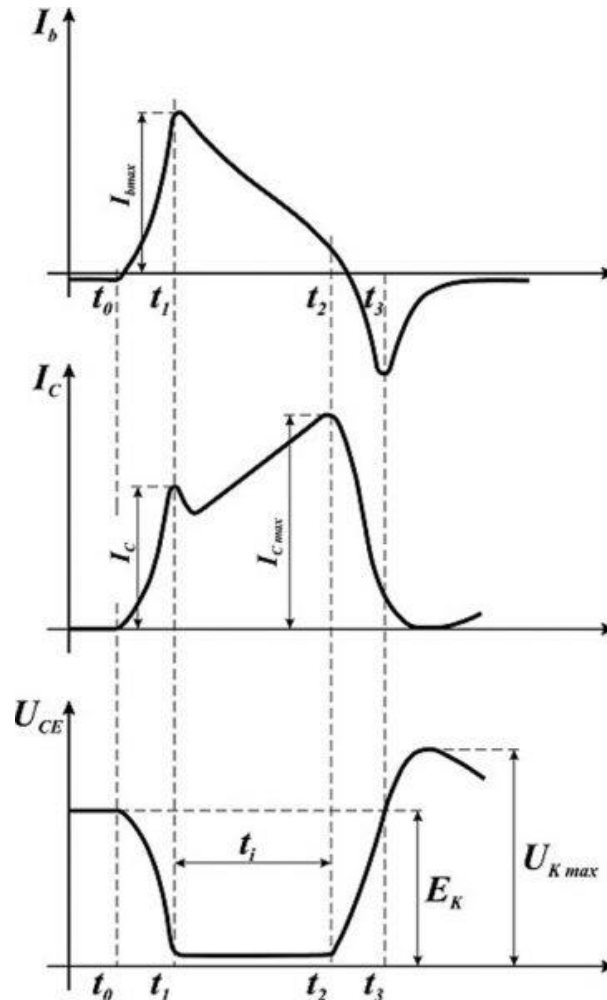


Рисунок 2.9 – Часові діаграми блокінг-генератора

2.2.1 Розрахунок блокінг-генератора

Параметри роботи блокінг-генератора повністю залежать від величин складових елементів схем, тому для розрахунку блокінг-генератора необхідно задатися наступними вихідними характеристиками схеми:

- амплітуда імпульсів U_m ;

- період проходження імпульсів T ;
- тривалість імпульсу τ_i ;
- опір навантаження R_H .

Таблиця 2.2 - Вхідні дані для розрахунку

Назва	Значення
Частота проходження імпульсів (F), кГц	50
Прогальність імпульсів (Q)	0,2
Амплітуда вихідних імпульсів (U_m), В	400
Опір навантаження (R_H), МОм	4
Напруга живлення схеми (E_K), В	9

1. Першим етапом розрахунку є визначення типу транзистора, як основного елемента схеми. Транзистор обирається за такими параметрами: максимально допустима напруга U_{CBmax} , максимально допустимий струм колектора I_{Cmax} і гранична частота f_{h21e} .

$$U_{CBmax} = 1,9 \cdot U_{жив} \quad (2.1)$$

$$U_{CBmax} = 1,9 \cdot 9 = 17,1 \approx 17В$$

$$I_{Cmax} = \frac{6 \cdot U_{вих}^2}{R_H \cdot U_{жив}} \quad (2.2)$$

$$I_{Cmax} = \frac{6 \cdot 400^2}{4 \cdot 10^6 \cdot 9} = 0,026 = 26 \text{ мА}$$

$$f_{h21e} = 8 \cdot F_{роб} \quad (2.3)$$

$$f_{h21e} = 8 \cdot 50 \cdot 10^3 = 400 \text{ кГц}$$

Оберемо транзистор 2N2222.

Транзистор 2N2222 – це кремнієвий біполярний транзистор малої потужності з n-p-n структурою. Застосовується у схемах посилення постійного струму. Випускається у металевому (ТО-18) або пластмасовому (ТО-92) корпусі з гнучкими виводами (рис.2.10).

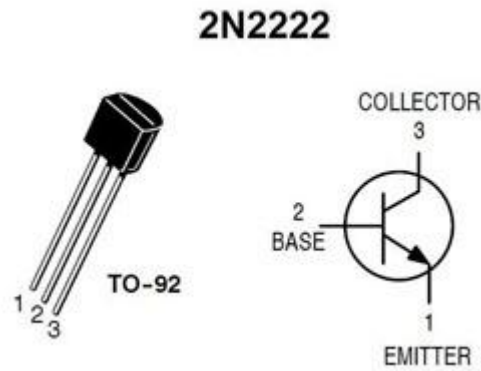


Рисунок 2.10 – Транзистор 2N2222

Характеристики транзистора:

1. Структура n-p-n
2. Напруга колектор-база - не більше 60 В;
3. Напруга колектор-емітер - не більше 30 В;
4. Напруга емітер-база - не більше 5 В;
5. Струм колектора - не більше 0,8 А
6. Максимально допустима постійна потужність колектора без тепловідводу - 0.5 Вт
7. Коефіцієнт посилення транзистора по струму 100-300
8. Гранична частота коефіцієнта передачі струму - 250 МГц [17, 18].

2. Розрахуємо значення опору R_1

$$2R_6 < R_1 < 3R_6$$

$$R_1 = 180\text{кОм}$$

3. Розрахуємо коефіцієнт трансформації

$$K_{\text{вих}} = \frac{1,2U_{\text{вих}}}{U_{\text{жив}}} \quad (2.4)$$

$$K_{\text{вих}} = \frac{1,2 \cdot 400}{9} = 54$$

$$K_6 = \frac{0,85U_{\text{ЕВmax}}}{U_{\text{жив}}} \quad (2.5)$$

$$K_6 = 0,38$$

4. Розрахуємо параметри необхідні для визначення індуктивності первинної обмотки

$$T_{\text{імп}} = \frac{Q}{F_{\text{роб}}} \quad (2.6)$$

$$T_{\text{імп}} = 0,14 \text{ мс}$$

$$R'_H = \frac{R_H}{K_{\text{вих}}^2}, \quad (2.7)$$

де R'_H – приведений опір навантаження.

$$R'_H = 1800 \text{ Ом}$$

$$R'_G = \frac{(R_G + R_1)}{K_G^2}, \quad (2.8)$$

де R'_G - приведений опір бази

$$R'_G = 520 \text{ кОм}$$

$$R'_H \parallel R'_G = \frac{(R'_H \cdot R'_G)}{(R'_H + R'_G)} \quad (2.9)$$

$$R'_H \parallel R'_G = 1,8 \text{ кОм}$$

5. Індуктивність розраховується за формулою:

$$L_1 \geq \frac{T_{\text{імп}}}{\left(\frac{I_{\text{Cmax}}}{U_{\text{жив}}} - \frac{1}{R'_H \parallel R'_G} \right)} \quad (2.10)$$

$$L_1 \geq 50 \text{ мГн}$$

6. Визначимо C_1 та R_2

$$C_1 = \frac{T_{\text{імп}}}{(R_G + R_1)} \quad (2.11)$$

$$C_1 = 2,2 \text{ мкФ}$$

$$R_2 = \frac{\frac{1}{F_{\text{роб}}} T_{\text{імп}}}{C_1 \cdot \ln(1 + K_G)} \quad (2.12)$$

$$R_2 = 360 \text{ Ом}$$

7. До колекторного кола транзистора, паралельно первинній обмотці необхідно додати демпфіруюче коло. Цю функцію виконує діод. Розрахуємо параметри, яким він повинен задовольняти.

$$I_{\text{діод}} > \frac{U_{\text{жив}} \cdot T_{\text{імп}}}{L_1} \quad (2.13)$$

$$I_{\text{діод}} \geq 25 \text{ мА}$$

$$U_{\text{звор}} \geq U_{\text{жив}}$$

Обираємо діод КД102А (рис.2.11).

Діоди КД102А кремнієві, дифузійні, випрямляючі.



Рисунок 2.11 - Діод КД102А

Призначені для перетворення змінної напруги у вторинних джерелах живлення.

Використовуються для роботи у радіоелектронній апаратурі загального призначення.

Випускаються у пластмасовому корпусі з гнучкими різноспрямованими виводами.

Маркуються кольоровими точками у позитивного (анодного) виводу:

- КД102А - зелений;
- КД102Б – синій [20].

Тип корпусу: КД-30, маса не більше 0,1 г (рис.2.12).

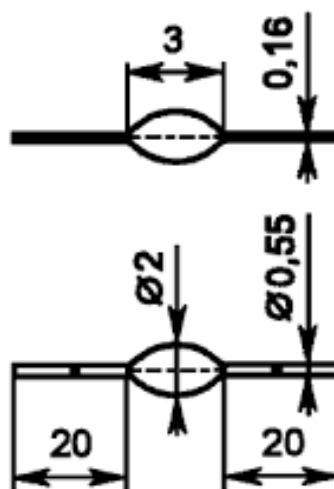


Рисунок 2.12 - Габарити діоду КД102А

Таблиця 2.3 - Основні технічні характеристики діода КД102А [20]

Назва	Значення
Максимальна постійна зворотна напруга ($U_{звор\max}$)	250 В
Максимальний прямий струм ($I_{пр\max}$)	100 мА
Робоча частота діода (f_d)	1 кГц
Постійне пряме напруга ($U_{пр}$)	не більше 1 В при $I_{пр}$ 100 мА
Постійний зворотний струм ($I_{звор}$)	не більше 0,1 мкА при $U_{звор}$ 250 В
Робоча температура р-п-переходу	-60...+100 °С

8. Розрахуємо необхідний діаметр дротів. Кількість витків вторинної обмотки визначаємо з урахуванням коефіцієнта трансформації.

Трансформатор Т1 намотують на кільцевому сердечнику М3000НМ (нікель-марганцевий ферит) типорозміру К16х10х4,5 мм (зовнішній діаметр х внутрішній діаметр х висота).

Гострі ребра сердечника загладжують шкіркою, покривають електрично і механічно міцною ізоляцією, наприклад, обмотують тонкою лавсанової або фторопластовою стрічкою.

Першою намотують обмотку I, вона містить 420 витків дроту ПЕВ-2-0,07. Намотування ведуть майже виток до витка, в одну сторону, залишаючи між її початком і кінцем проміжок в 1-2 мм.

Обмотку I покривають шаром ізоляції і поверх намотують обмотку II - 8 витків дроту діаметром 0,15-0,2 мм в будь-який ізоляції - і обмотку III - 3 витка тим же проводом.

Обмотки II і III повинні бути розподілені по сердечнику рівномірно. Виготовлений трансформатор покривають шаром гідроізоляції.

На плату трансформатор кріплять гвинтом М3 з використанням двох еластичних шайб, що не продавлюють обмотки.

2.3 Схема формування одиничних імпульсів

З навантаження детектора – резистора, імпульси надходять на формувач, зібраний на логічних елементах D1 і D2 за схемою одновібратора.

Так називають генератор одиничних імпульсів. При короткочасному сигналі на вході він формує електричний імпульс прямокутної форми цілком певної тривалості (вона не залежить від тривалості вхідного, тобто запускаючого імпульсу), після чого переходить в режим очікування і залишається в такому стані до приходу наступного сигналу, що запускає.

У розширюючих одновібраторах тривалість вхідного (запускаючого) імпульсу повинна бути коротшою за тривалість формованого імпульсу.

Схема розширюючого одновібратора наведена на рисунку 2.13. Він виконаний двох логічних елементах. Схема охоплена позитивним зворотним зв'язком, так як вихід другого елемента з'єднаний з входом першого.

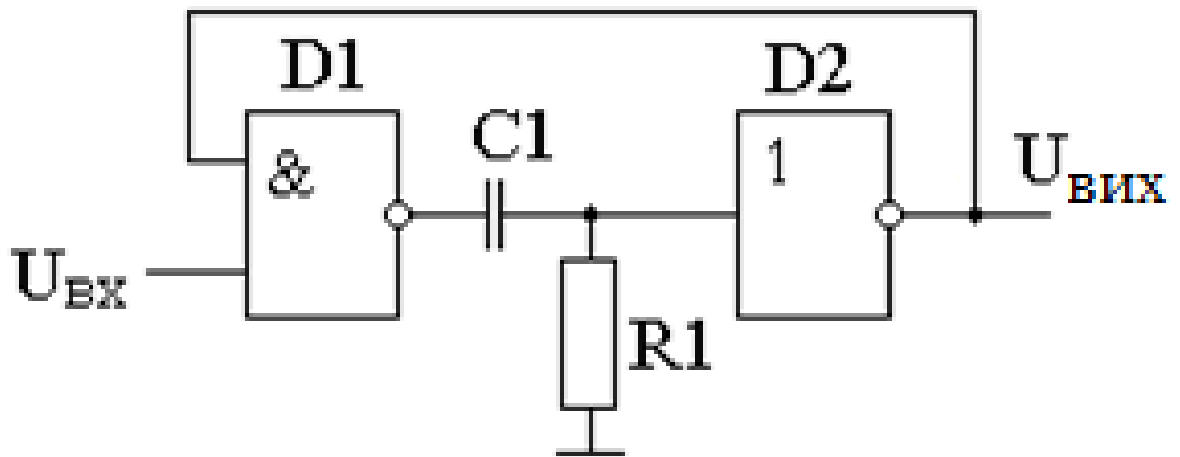


Рисунок 2.13 - Схема розширюючого одновібратора

У вихідному стані на виході елемента D2 є рівень логічної одиниці, а на виході елемента D1 — рівень логічного нуля, оскільки на обох його входах присутні логічні одиниці.

При надходженні на вхід запускаючого імпульсу з нульовим потенціалом, на виході першого логічного елемента з'явиться рівень логічної одиниці, який через конденсатор C надійде на вхід другого логічного елемента.

Логічний елемент D2 інвертує цей сигнал і рівень "0" ланцюга зворотного зв'язку подається на другий вхід логічного елемента D1. Тепер, навіть якщо на вході знову з'явиться рівень логічної одиниці, на виході логічного елемента D1 зберігатиметься висока напруга.

На виході елемента D2 рівень логічного нуля буде присутній до того часу, поки конденсатор C не зарядиться до рівня $U_c = U_1 - U_{пор}$, а напруга на резисторі R не досягне порогового рівня $U_{пор}$ (рисунок 2.14).

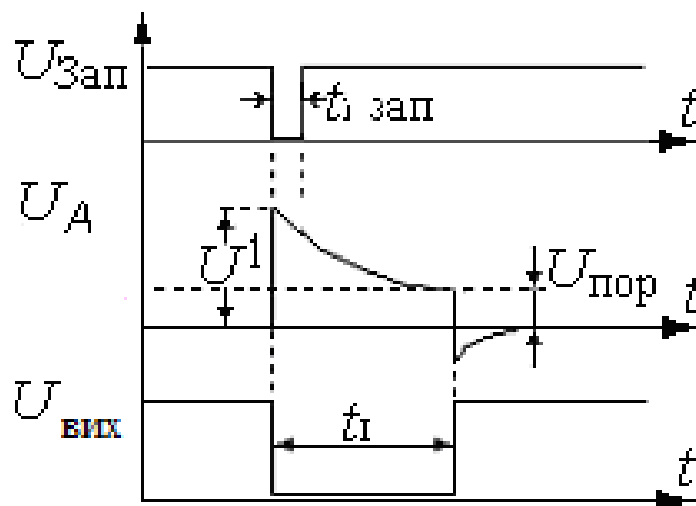


Рисунок 2.14 – Часові діаграми одновібратора

Тривалість вихідного імпульсу одновібратора може бути визначена за допомогою виразу:

$$t_u = C \cdot (R + R_{вих}) \cdot \ln \frac{U_1}{U_{пор}}$$

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

$U_{пор}$ - гранична напруга логічного елемента [21].

Моделювання одновібратора в EWB на логічних елементах I-НІ представлено на рисунку 2.15

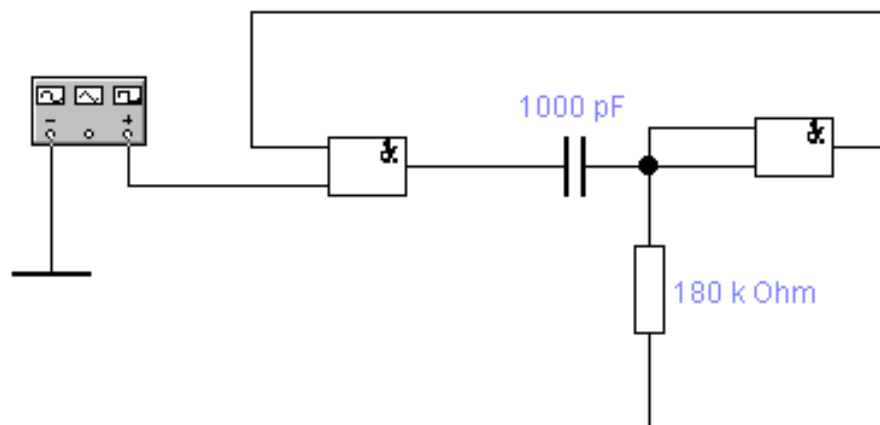


Рисунок 2.15 - Моделювання одновібратора в EWB на логічних елементах І-НІ

Одновібратор реалізуємо з використанням мікросхеми 4011, яка складається з логічних елементів І-НІ (рис.2.16).

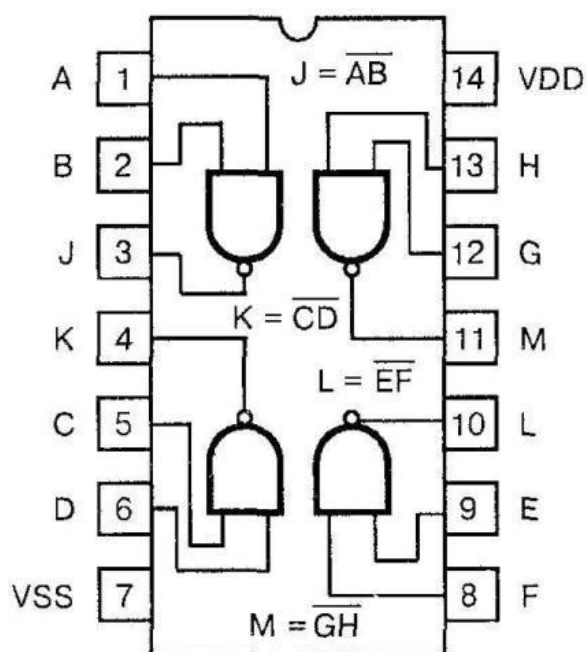


Рисунок 2.16 - Структурна схема мікросхеми 4011

Побудуємо електричну принципову схему за допомогою середовища EWB та проведемо аналіз вихідного сигналу (рис.2.17).

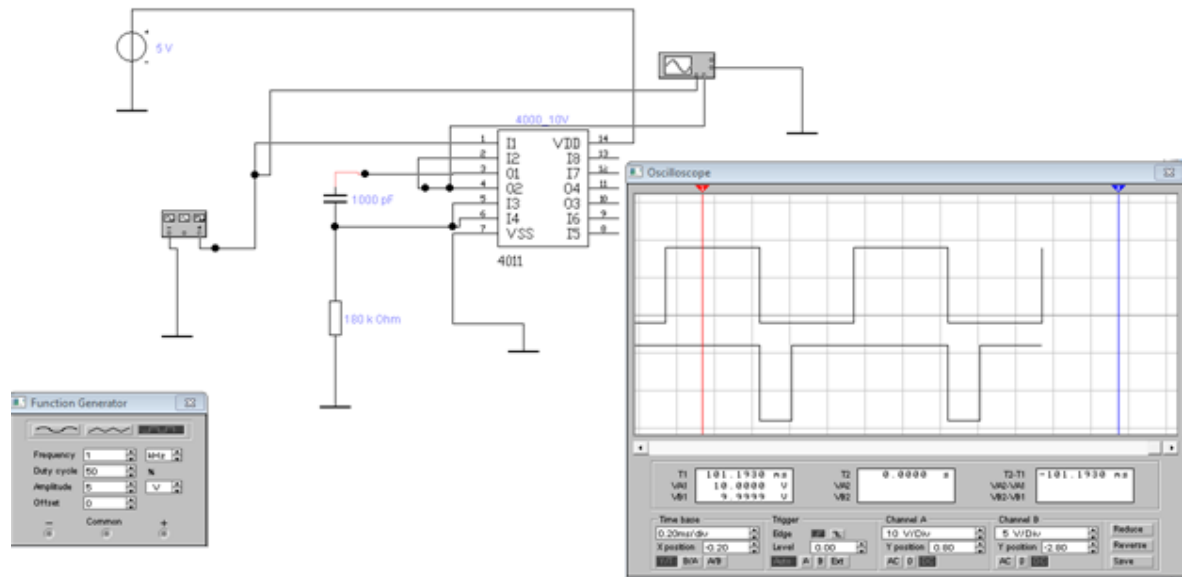


Рисунок 2.17 - Реалізація одновібратора на мікросхемі 4011

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

2.4 Розробка чотирьох розрядного двійково-десятькового лічильника

Лічильники реалізують рахунок імпульсів у десятковій системі числення, при цьому кожна десяткова цифра від нуля до дев'яти кодується віднімальним двійковим кодом (тетрадою). Ці лічильники часто називають десятковими або декадними, оскільки вони працюють з модулем рахування, кратним десяти [22].

Двійково-десятькові лічильники мають $K_{\text{рах}}=10$. Їх синтезують на основі чотирьох розрядного лічильника, виключаючи надлишкові стани:

$$N=2^m - K_{\text{рах}} = 16-10=6$$

Різні варіанти лічильників працюють на різних двійково-десятькових кодах, тому синтез двійково-десятькового лічильника можливо здійснити відповідно таблиці станів (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Таблиця станів двійково-десятькового лічильника

n	$Q4^n$	$Q3^n$	$Q2^n$	$Q1^n$	$Q4^{n+1}$	$Q3^{n+1}$	$Q2^{n+1}$	$Q1^{n+1}$
0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0	0	1	1
3	0	0	1	1	0	1	0	0
4	0	1	0	0	0	1	0	1
5	0	1	0	1	0	1	1	0
6	0	1	1	0	0	1	1	1
7	0	1	1	1	1	0	0	0
8	1	0	0	0	1	0	0	1
9	1	0	0	1	0	0	0	0

Складаємо карти Карно для функцій переходів тригерів кожного розряду (рис.2.18).

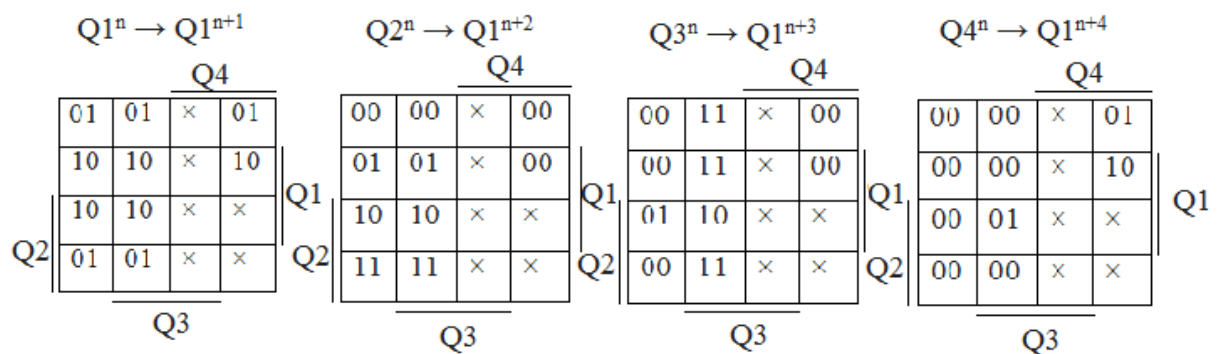


Рисунок 2.18 – Карти Карно для функцій переходів тригерів двійково-десятькового лічильника

Для побудови лічильника обираємо JK – тригер (рис. 2.19).

JK - це тригер, який у разі отримання на свої обидва входи логічної одиниці змінює стан свого виходу на протилежне значення. Одна з

відмінностей від інших подібних приладів – відсутність заборонених станів, які можуть бути на основних входах.

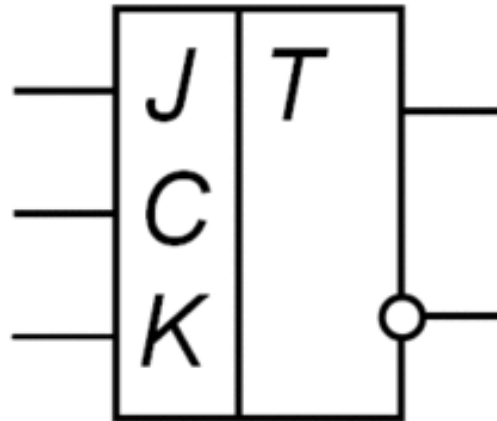


Рисунок 2. 19 - Умовне позначення JK – тригера

Використовуючи словник переходів JK – тригеру складаємо карти Карно (рис.2.20).

Функції входів лічильника мають вигляд:

$$\begin{aligned}
 J1 &= 1; & K1 &= 1; \\
 J2 &= \bar{Q}4Q1; & K2 &= \bar{Q}4Q1; \\
 J3 &= Q2Q1; & K3 &= Q2Q1; \\
 J4 &= Q3Q2Q1 & K4 &= Q1
 \end{aligned}$$

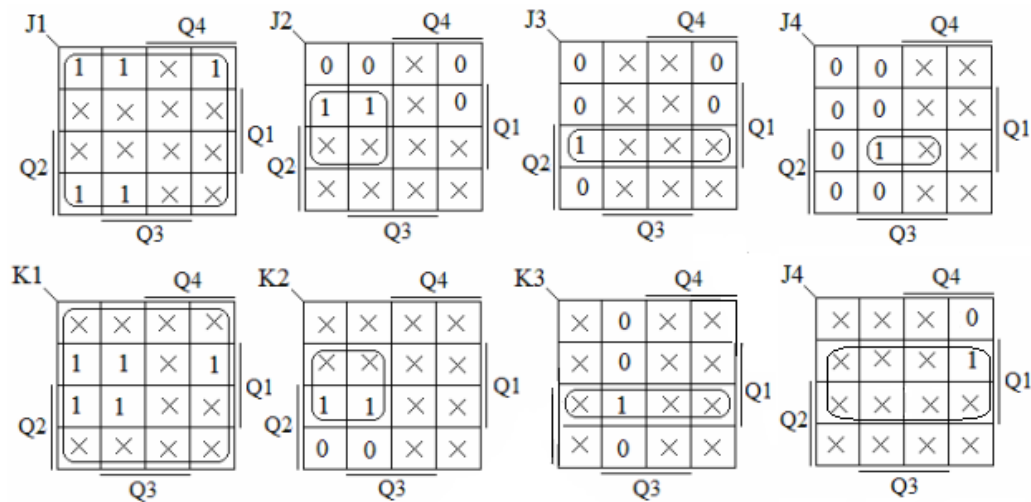


Рисунок 2.20- Карти Карно функцій входів тригерів лічильника

Схема двійково-десятькового лічильника представлена на рисунку

2.21.

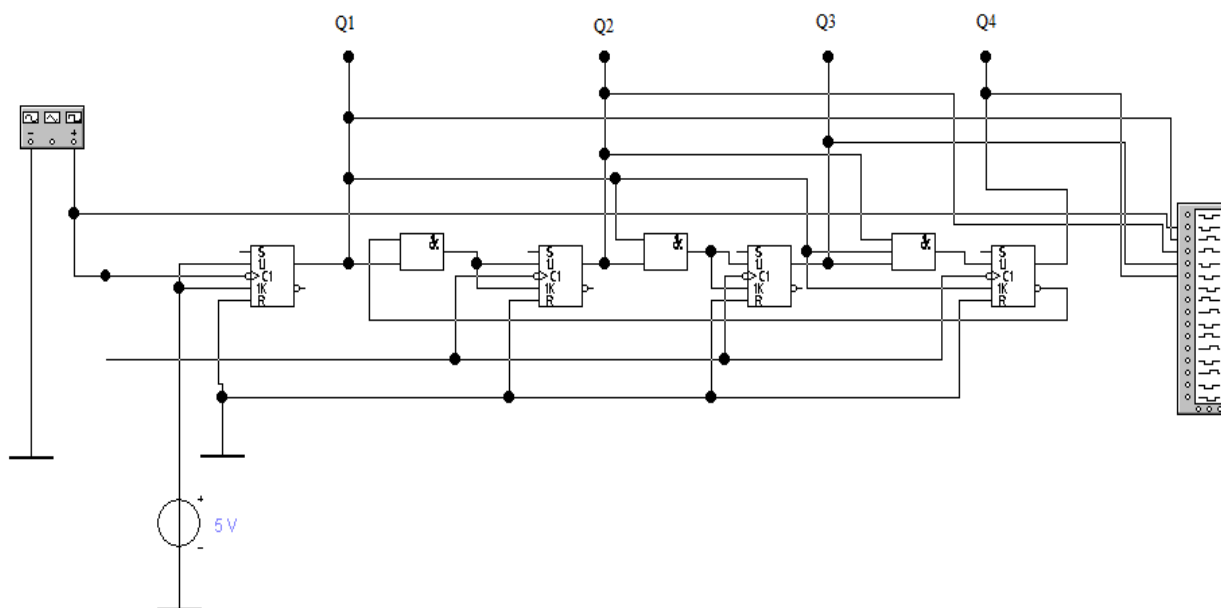


Рисунок 2.21 – Моделювання двійково-десятькового лічильника на логічних елементах в середовищі EWB

На рисунку 2.22 представленні діаграми функціонування лічильника.

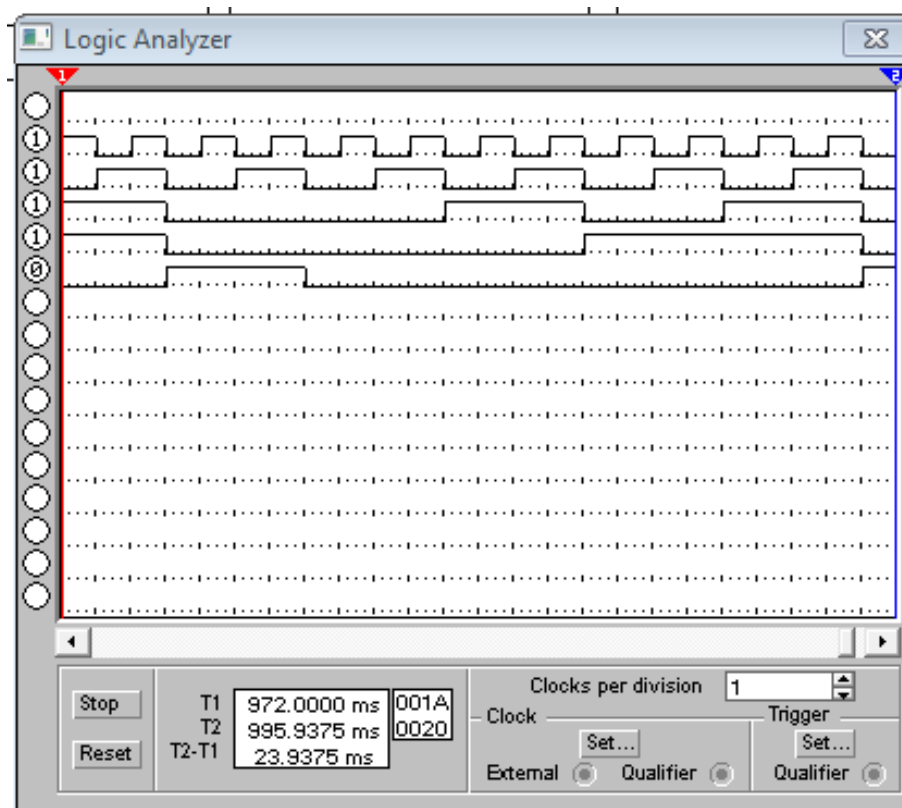


Рисунок 2.22 – Діаграма функціонування лічильника

Для реалізації лічильника оберемо мікросхему 7490 (рис. 2.23).



Рисунок 2.23 – Зовнішній вигляд мікросхеми 7490

Мікросхема 7490 складається з чотирьох тригерів, внутрішньо пов'язаних між собою таким чином, що утворюються два лічильники-дільники: один на 2 та інший на 5 (рис. 2.24).

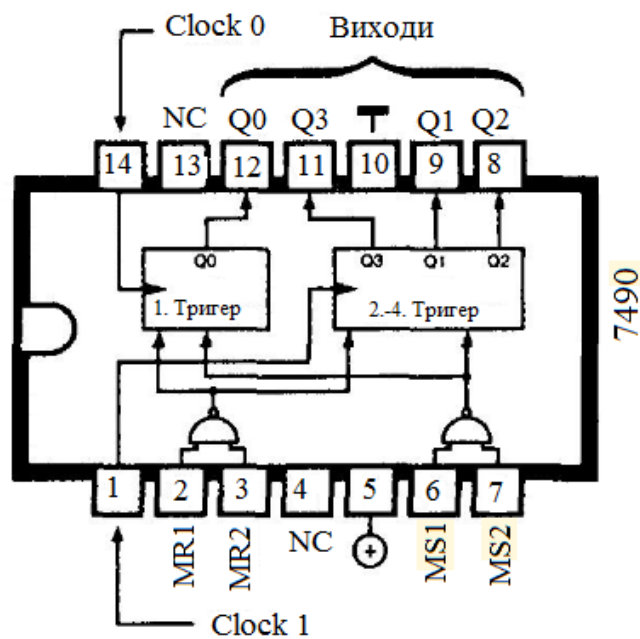


Рисунок 2.24 – Мікросхема 7490

Перелік входних та вихідних електродів мікросхеми 7490:

- 1 - вхід лічильний C2;
- 2 - вхід установки 0 R0 (1);
- 3 - вхід установки 0 R0 (2);

- 4,13 - вільні;
- 5 - напруга живлення + $U_{п}$;
- 6 - вхід установки 9 R9 (1);
- 7 - вхід установки 9 R9 (2);
- 8 - вихід Q3;
- 9 - вихід Q2;
- 10 - загальний;
- 11 - вихід Q4;
- 12 - вихід Q1;
- 14 - вхід лічильний C1.

Всі тригери мікросхеми 7490 мають спільний вхід скидання Reset, за допомогою якого показання лічильників можуть встановлюватися на 0 в будь-який час.

Перший тригер мікросхеми 7490 внутрішньо не пов'язаний з іншими ступенями, завдяки чому можливі такі варіанти використання:

1. Рахунок до 10. Вихід Q0 з'єднується з входом тактових імпульсів Clock1. Вхідний сигнал подається на вхід Clock0, а вихідний знімається з виходу Q3. Ця схема рахує в двійковому коді до 9 і на десятому імпульсі повертається в стан 0. Виводи 2, 3 і 6, 7 повинні бути при цьому з'єднані із загальним проводом;

2. Рахунок до 2 і до 5. У цьому випадку перший тригер використовується в якості подільника на 2 (2: 1), а другий, третій і четвертий тригери - як подільники на 5 (5: 1);

3. Симетричний двійково-п'ятирічний дільник 10: 1. Вихід Q3 з'єднаний з входом Clock0. В якості входу тактових імпульсів використовується Clock1. У цьому випадку на виході Q0 отримують імпульсний сигнал прямокутної форми з частотою в 10 разів меншою, ніж на вході.

Перемикання мікросхеми 7490 завжди відбувається по негативному фронту тактового імпульсу. Через входи MS1 і MS2 здійснюється початкова установка [23].

Таблиця 2.5 – Параметри мікросхеми 7490

Максимальна робоча частота першого тригера, МГц	32
Максимальна робоча частота тригерів 2-4, МГц	16
Струм споживання, мА	32
Напруга споживання, В	не більше 6
Мінімальна напруга на вході, В	-0,4
Максимальна напруга на вході, В	5,5
Мінімальна напруга на виході, В	-0,3
Максимальна напруга на виході закритої МК, В	5,25

Підключення мікросхеми і діаграми функціонування лічильника показано на рисунку 2.25.

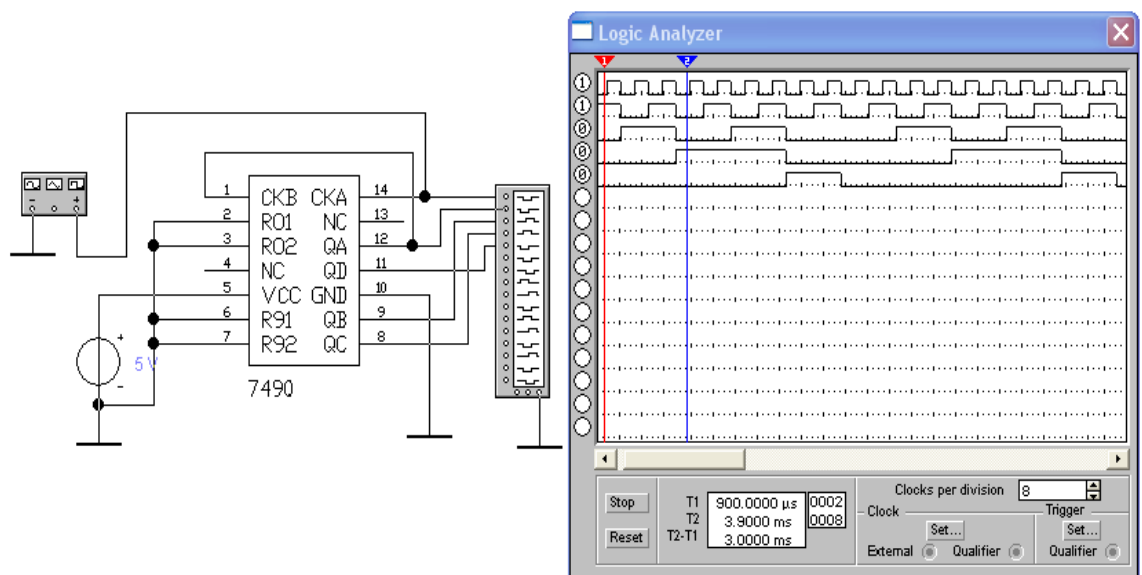


Рисунок 2.25 – Підключення мікросхеми в середовищі EWB

За допомогою електронного середовища Electronics Workbench моделюємо схему лічильника (рис 2.26).

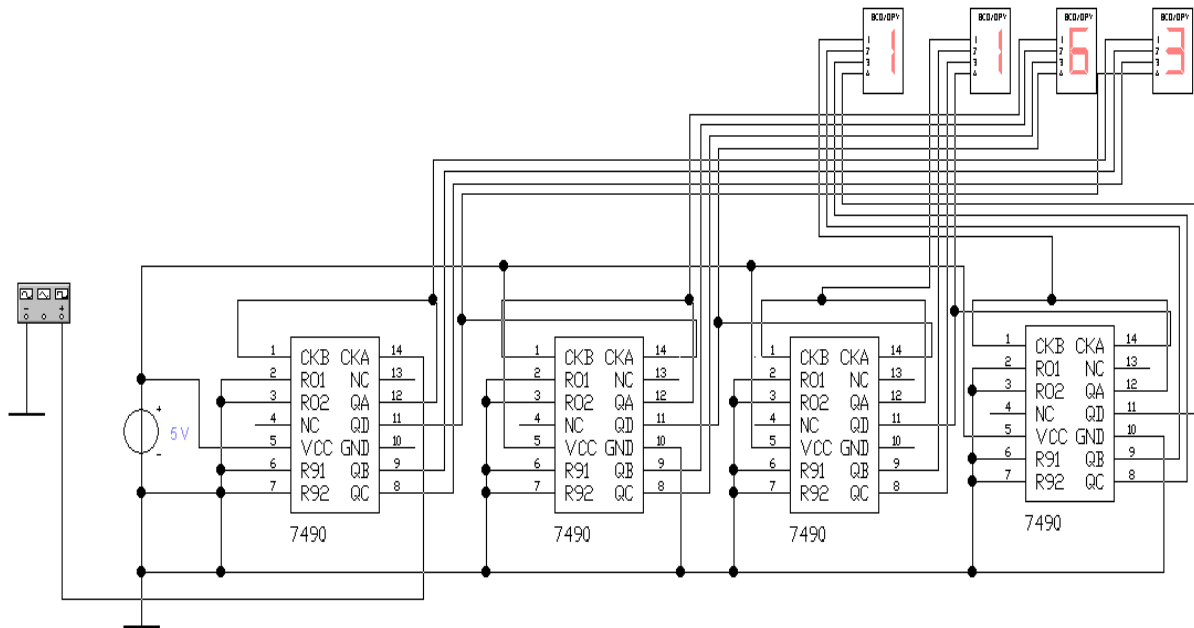


Рисунок 2.26 – Моделювання лічильника в електронному середовищі EWB

2.5 Перетворення двійкового коду в семи сегментний код

Дешифратор або декодер — логічний пристрій, який перетворює код числа, що надійшов на вхід, у сигнал на одному з його виходів.

Дешифратори дозволяють перетворювати одні види бінарних кодів в інші. Наприклад, перетворювати позиційний двійковий код в лінійний восьмиричний.

Для відображення десяткових і шістнадцятиричних цифр часто використовується семисегментний індикатор.

Семисегментний індикатор — пристрій відображення цифрової інформації. Це найпростіша реалізація індикатора, який може відображати арабські цифри.

Семисегментний індикатор, як каже його назва, складається з семи елементів індикації (сегментів), що включаються та вимикаються окремо. Включаючи їх у різних комбінаціях, їх можна скласти спрощені зображення арабських цифр.

Зображення семисегментного індикатора і назва його сегментів приведено на рисунку 2.27.

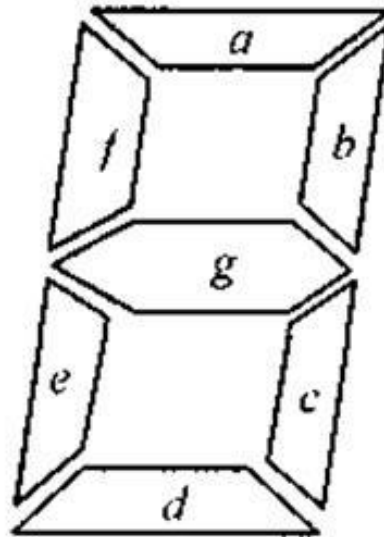


Рисунок 2.27 – Зображення семи сегментного індикатора та назви його сегментів

Для зображення на такому індикаторі цифри 0 досить запалити сегменти a, b, c, d, e, f. Для зображення цифри "1" запалюють сегменти b і c. Точно таким же чином можна отримати зображення всіх інших десяткових або шістнадцятирічних цифр. Всі комбінації таких зображень отримали назву семисегментного коду.

Складемо таблицю істинності дешифратора, який дозволить перетворювати двійковий код в семисегментний. Нехай сегменти запалюються нульовим потенціалом. Тоді таблиця істинності семисегментного дешифратора прийме вигляд, наведений в таблиці 2.6. Конкретне значення сигналів на виході дешифратора залежить від схеми підключення сегментів індикатора до виходу мікросхеми.

Таблиця 2.6 – Таблиця істинності семисегментного дешифратора

Вхід				Вихід						
8	4	2	1	a	b	c	d	e	f	g
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1
0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0
0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0
0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0

Відповідно до принципів побудови довільної таблиці істинності по довільній таблиці істинності отримаємо принципову схему семисегментного дешифратора (декодера), що реалізує таблицю істинності, наведену в таблиці 2.4.

Отримана принципова схема семисегментного дешифратора приведена на малюнку 2.28.

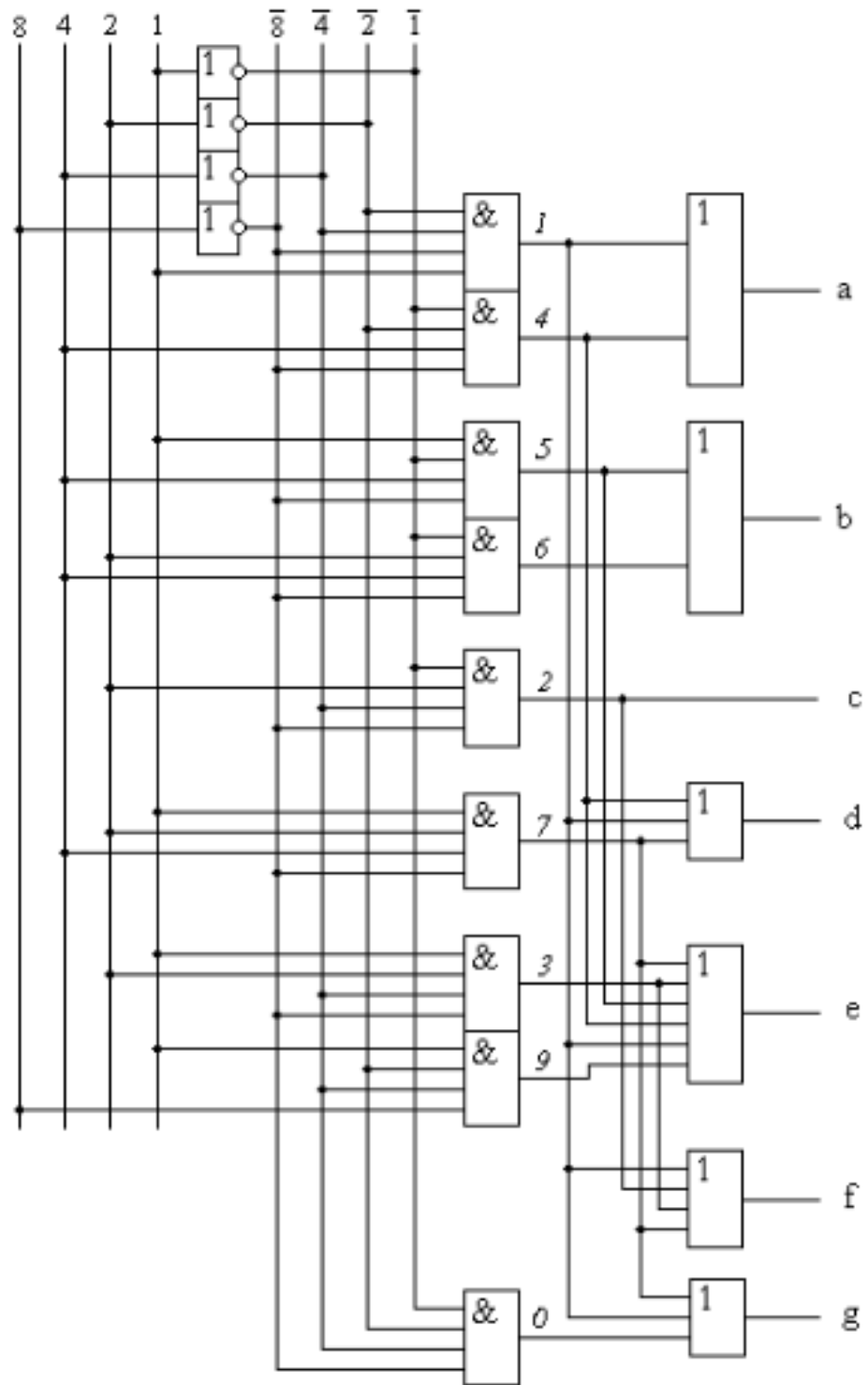


Рисунок 2.28 – Принципова схема семисегментного дешифратора

Для полегшення розуміння принципів роботи схеми на виході логічних елементів "1" показані номери рядків таблиці істинності, що реалізуються ними.

Наприклад, на виході сегмента 'a' логічна одиниця з'явиться тільки при подачі на вхід комбінації двійкових сигналів 0001 (1) та 0100 (4). Це здійснюється об'єднанням відповідних ланцюгів елементом "2АБО".

На виході сегмента 'b' логічна одиниця з'явиться тільки при подачі на вхід комбінації двійкових сигналів 0101 (5) і 0110 (6), і так далі.

В даний час семисегментні дешифратори випускаються у вигляді окремих мікросхем або використовуються у вигляді готових блоків у складі інших мікросхем. Умовно-графічне позначення мікросхеми семисегментного дешифратора наведено на рисунку 2.29 [24].

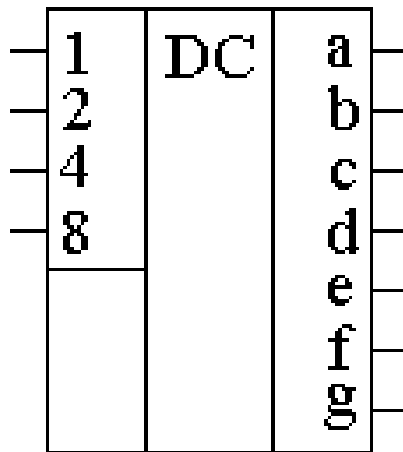


Рисунок 2.29 – Умовно-графічне зображення семисегментного дешифратора

У якості семисегментного дешифратора було обрано мікросхему 74145 (рисунок 2.30)

Мікросхема 74145 декодує стандартний 4-розрядний двійковий код у десяткові числа від 0 до 9. Вона також дозволяє перетворити 3-розрядний код в сигнал низького рівня на одному з восьми виходів.

Дані, зашифровані в двійково-десятковому коді, надходять на виходи 12 - 15:

- наймолодший розряд $2^0 = 1$ - на вхід A0;
- розряд $2^1 = 2$ - на вхід B;
- розряд $2^2 = 4$ - на вхід C ;

– розряд $2^3 = 8$ - на вхід D.

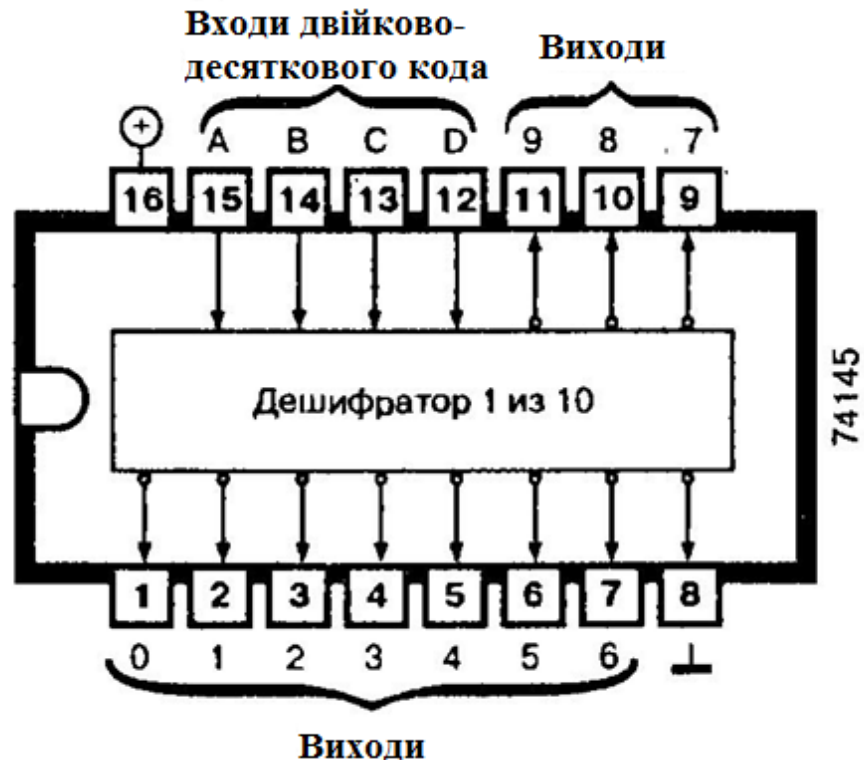


Рисунок 2.30 – Умовне зображення мікросхеми 74145

При надходженні сигналу на зазначені входи відповідному виході встановлюється напруга низького рівня, а на інших виходах — високого.

Максимальний струм на виході мікросхеми 74145, що має напругу низького рівня, становить 80 мА.

Для роботи мікросхеми 74145 необхідно підключити зовнішній опір між виходом, що використовується, і ланцюгом живлення з напругою до +15 В. Напруга живлення мікросхеми при цьому повинна становити +5 В.

Якщо, наприклад, входи $A = 1$, $B = 1$, $C = 1$ і $D = 0$ (логічна 1 є напругою високого рівня, логічний 0 - низького), то на виході 7 (вивід 9) формується напруга низького рівня, а на інших виходах – високого. Якщо на вхід мікросхеми 74145 надходить помилковий двійково-десятьковий код (більше 1001), то всіх виходах встановлюється напруга високого рівня.

При використанні мікросхеми 74145 як дешифратор 1 з 8 вхід D (вивід 12) з'єднують із загальним дротом [25].

Таблиця 2.7– Технічні характеристики мікросхеми 74145

Назва	Величина
Максимальна вихідна напруга, В	30
Час затримки проходження сигналу, нс	50
Струм споживання, мА	43

При розробці мікроелектронного приладу для визначення рівня радіації враховувались всі вимоги до приладів вимірювання неелектричних речовин. В тому числі і те, що для людського організму найнебезпечнішим являється випромінювання гамма квантів, через велику проникаючу здатність.

Даний лічильник Гейгера-Мюллера розроблено саме для виявлення гамма квантів та бета-частинок.

Важливим нюансом використання є те, що енергія частинок повинна бути достатньо великою, щоб пройти через матеріал контейнера лічильника.

Для подачі високої напруги на електроди датчика розроблено автогенератор з підвищуючим трансформатором (схема формування високої напруги).

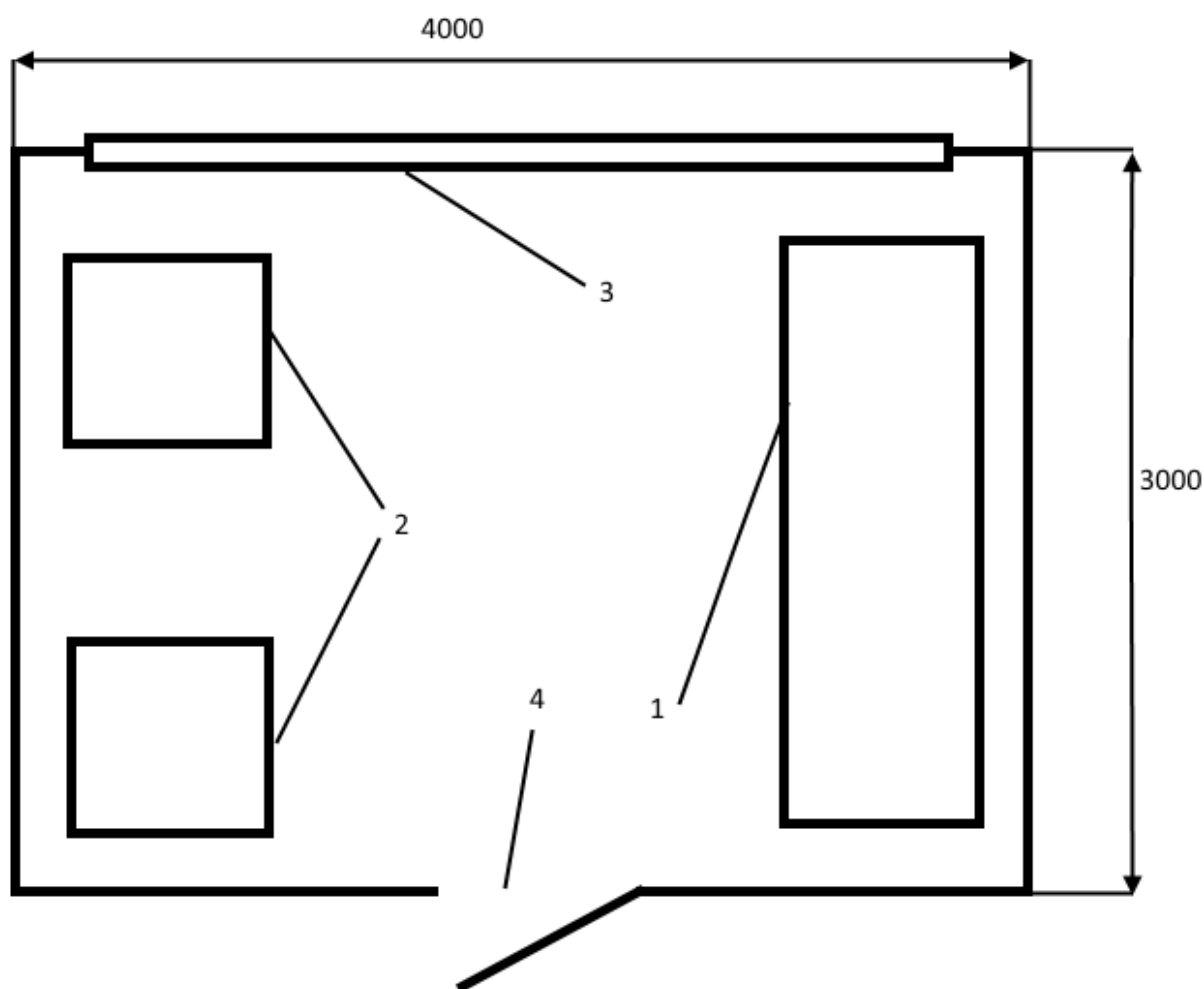
Для формування інтервалів часу заданої тривалості з вхідного імпульсу, невизначеної (але досить короткої) тривалості було використано одновібратор.

Обрана елементна база, за рахунок своїх характеристик, а саме діапазону робочих температур, робить даний прилад стійким для роботи навіть в поганих погодних умовах.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Розробка мікроелектронного пристрою для визначення рівня радіації здійснювалась у лабораторному приміщенні кафедри МЕІС (рис 3.1).



1 – робочий стіл, 2 – робоче місце операторів ПК, 3 – вікно,
4 – вхід у приміщення

Рисунок 3.1 – Схематичне зображення лабораторного приміщення

Параметри приміщення для проведення досліджень вказані у (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Параметри приміщення

Параметр приміщення	Числове значення
Довжина	4м
Ширина	3м
Висота	3,5м
Площа	12м ²
Об'єм	42м ³

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяються на чотири групи:

- фізичні;
- хімічні;
- біологічні;
- психофізичні.

При роботі за ПК найбільш уразливими стають нервова, імунна, зорова, ендокринна, опорно-рухова та репродуктивна системи користувачів. Саме тому комп'ютеризовані робочі місця відносяться до категорії небезпечних для стану здоров'я людини.

Небезпечні та шкідливі фактори, що діють на користувача комп'ютера в процесі роботи, наведені на (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 - Небезпечні та шкідливі фактори для користувача ПК

Дія шкідливих факторів призводить до порушення здоров'я. Причини відхилень в здоров'ї користувача ПК наведені у (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Причини відхилень в здоров'ї користувача ПК

Шкідливий чинник	Захворювання
Незадовільні ергономічні характеристики монітора	- порушення зору
Незадовільні санітарно-гігієнічні умови праці	- захворювання шкіри
Неправильна організація робочого місця	- порушення пов'язані з нервовим та емоційним навантаженням; - кістково-м'язові порушення

Дисплей ПК на електронно-променевої трубі є джерелом електромагнітних випромінювань, які включають:

- радіочастотне;
- рентгенівське;
- ультрафіолетове;
- інфрачервоне випромінювання.

Електромагнітні поля навколо комп'ютера (особливо низькочастотні) негативно впливають на людину. Найбільш чутливою до дії електромагнітних випромінювань (ЕМВ) є центральна нервова система.

Вплив електромагнітного випромінювання на нервову систему:

- погіршення пам'яті;
- безсоння;
- депресія та головні болі;
- погіршується сприймання інформації;
- запаморочення;
- “безпричинна” втома.

Випромінювання ПК співпадає з частотою сигналів, які посиляють одне одному клітини нашого організму. Клітини виконують найрізноманітніші завдання: передача нервових імпульсів і обробка інформації, транспортування кисню та поживних речовин, синтезу й виділення різних сполук, скорочення м'язових волокон. Таким чином, в механізми внутрішнього спілкування організму людини втручаються штучні сторонні чинники. В результаті цього руйнується інформаційно-керуюча система організму, збивається ритм роботи і, як наслідок, запускаються патологічні процеси.

Електромагнітне випромінювання ослаблює імунну систему, розбалансовує ендокринну та статеву системи, що призводить до передчасного старіння.

Особливо уразливі до випромінювання моніторів ПК вагітні жінки. Ризик появи дітей з уродженими хибами збільшується в 25 раз, в 3,5 рази вища імовірність викидів.

Електростатичне поле, яке створюють монітори на електронно-променевої трубі може негативно вплинути на самопочуття, нервову і судинну системи, також воно може бути причиною бронхо-легеневих та шкірних захворювань.

Накопичена статична електрика, зокрема, на екрані монітора притягує пил, бруд та інші частини присутні в повітрі. При чому електризується не тільки екран, а і повітря на робочому місці, а також одяг користувача, якщо він з синтетичного та шерстяного матеріалу.

При напруженій роботі за екраном монітора зменшується частота кліпання очей, що призводить до висихання та викривлення роговиці ока, погіршення зору.

Найбільш повним нормативним документом щодо забезпечення охорони праці користувачів ПК є "Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) електронно-обчислювальних машин" ДСанПіН 3.3.2.007-98.

При виготовленні апарату для реєстрації радіоактивного випромінювання найбільш небезпечними, з точки зору охорони праці і техніки безпеки, операціями, що виконуються у лабораторному приміщенні є:

- пайка;
- виготовлення друкованих схем;
- збірка.

При виготовленні приладу були використані припій ПОС-61 (ГОСТ 21930-76) і каніфоль світла (ГОСТ 797-64). При пайці і залуженні олов'яно-свинцевими припоями утворюються пари свинцю.

Свинець негативно впливає на організм, особливо на стан нервової і серцево-судинної системи, викликає ряд хворобливих явищ шлунково-кишкового тракту, що призводить до професійного отруєння.

При систематичній роботі з припоями, що містять свинець, необхідна припливно-витяжна вентиляція, а на робочому місці повинен бути встановлений відсмоктувач. Пайку і лудіння рекомендується проводити в спеціальних витяжних шафах.

Склад припою марки ПОС-61 і допустимих домішок, а також МДК цих матеріалів зазначені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Склад і МДК компонентів припою ПОС-61

Компонент	Вміст	МДК
Олово	60...62 %	0,05 мг/м ³
Вісмут	0,1 %	0,5 мг/м ³
Миш'як	0,05 %	0,3 мг/м ³
Залізо	до 0,02 %	0,004 мг/м ³
Нікель	до 0,02 %	0,001 мг/м ³
Сірка	до 0,02 %	6 мг/м ³
Цинк	до 0,002%	0,25 мг/м ³
Алюміній	до 0,002%	2 мг/м ³
Мідь	до 0,05 %	0,002 мг/м ³
Свинець	інше	0,0003 мг/м ³

При роботі з олов'яно-свинцевими припоями потрібно строго виконувати передбачені правила виробничої та особистої гігієни:

- категорично забороняється приймати їжу і курити в приміщеннях, де проводиться паяння;
- перед обідньою перервою і після роботи необхідно обмивати руки 1% розчином соди і ретельно мити їх теплою водою;
- після закінчення роботи слід приймати душ;
- очищення місць пайки від залишків флюсу робити спиртом;
- спецодяг слід регулярно прати і зберігати на виробництві;
- медичний огляд осіб, які працюють з припоями, повинен проводитися не рідше одного разу на рік.

Друковані плати сучасного типу можуть бути виготовлені за однією з двох технологій – адитивним чи субтрактивним способом. У першому випадку провідний малюнок на матеріалі формується за допомогою процедури хімічного міднення.

Процес виробництва друкованих плат складається з таких етапів:

1. Виробництво заготовівлі для платі;
2. Подальша обробка заготовки;
3. Здійснення монтажу всіх необхідних елементів плати;
4. Проведення планового тестування працездатності [28].

При нанесенні малюнка струмопровідними фарбами з подальшим гальванічним нарощуванням металу велику шкідливість для організму працюючих представляють різні речовини:

- розчинники,
- відновники,
- наповнювачі, що входять до складу струмопровідних фарб.

Найбільш шкідливо впливають хлорорганічні розчинники (дихлоретан, хлороформ та ін.), ароматичні сполуки (бензол, толуол, ксилол та ін.), фенолальдегідні смоли, формальдегід та інші речовини.

Під час роботи з струмопровідними фарбами велику роль відіграє механізація і автоматизація технологічного процесу, слід виключити можливість безпосереднього контакту працівників з фарбами.

Робоче місце повинно бути обладнано вентиляцією, а працюючий зобов'язаний дотримуватися заходів виробничої і особистої гігієни.

При електролітичному методі нарощування металу необхідно дотримуватися санітарних вимог і правил з техніки безпеки, прийнятих для гальванічних цехів.

При пайці друкованих схем методом занурення в розплавлений припій ПОС-61 пари свинцю можуть забруднювати повітря.

При ручному способі занурення плат можливі опіки працюючих краплями розплавленого припою, тому процес занурення плат повинен бути механізований. Для підвищення рівня безпеки працівників ванни з розплавленим припоєм повинні мати кришки та пристрої для відсмоктування повітря з ванн.

Процес залуження кінців дротів супроводжується виділенням парів свинцю і флюсів. Тому приміщення в яких проводиться залуження кінців дротів повинні бути обладнаними працюючими місцевими вентиляціями.

Ізоляцію монтажних дротів у ряді випадків виконують різними клеями, а постійне забруднення поверхні шкіри клеями може викликати появу шкірних захворювань. Тому для попередження цих захворювань рекомендується користуватися спеціальними захисними пастами.

Таким чином, на дільниці складання і монтажу на працюючих можуть впливати:

- пари свинцю і флюсів (при пайці);
- пари та дрібний пил металів, що сполучаються;
- газоподібні речовини;
- дим і пари, що утворюються при приготуванні ізоляції проводів.

Тому складальні і монтажні місця повинні бути обладнані ефективною, раціонально влаштованою припливно-витяжною механічною вентиляцією.

3.2 Заходи з поліпшення умов праці. Виробнича санітарія

Вимоги до робочого місця та розташування всіх його елементів прописано в ДНАОП 0.00-1.31-99 "Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин".

Згідно з вимогам облаштування робочих місць, обладнаних відеотерміналами, повинні забезпечуватись:

- належні умови освітлення приміщення і робочого місця;
- відсутність відблисків;
- оптимальні параметри мікроклімату;
- належні ергономічні характеристики основних елементів

робочого місця, з врахуванням небезпечних і шкідливих факторів, які були розглянуті раніше.

Площа приміщень для роботи з відеодисплейним и терміналами розраховується таким чином, щоб площа на одне робоче місце, обладнане відеотерміналом становила не менше $6,0\text{ м}^2$, а об'єм на одне робоче місце – не менше $20,0\text{ м}^3$.

Робочі місця мають бути розташовані на відстані не менше 1,5 м від стіни з вікнами, від інших стін на відстані 1 м, між собою на відстані не менше 1,5 м.

Відносно вікон робоче місце доцільно розташовувати таким чином, щоб уникнути попадання в очі прямого світла. Тому місця розміщують так, щоб природне світло падало на нього збоку, переважно зліва.

Джерела освітлення рекомендується розташовувати з обох боків екрану паралельно напрямку погляду.

Під час розробки комбінованої транзисторної структури, яка проводилась у лабораторному приміщенні кафедри ФБМЕ, всі необхідні вищеперераховані вимоги виконувались.

Робочі місця операторів ПК розташовані на відстані 2 метрів від вікна, та 1 метра від стіни, таким чином, що світло з вікна падає на робоче місце збоку.

У приміщенні, площа якого 12 м^2 та об'єм 42 м^3 , знаходиться два робочих місця з комп'ютером, що відповідає санітарним умовам. Монітор розміщений таким чином, що він знаходиться на оптимальній відстані від очей користувача, 50-60 см.

Виробнича санітарія - це система організаційних заходів і технічних засобів, що запобігають або зменшують вплив на працюючих шкідливих виробничих факторів, які в певних умовах можуть привести до травм або професійних захворювань.

Основною метою є зменшення або повне усунення впливу несприятливих і шкідливих виробничих факторів на організм людини.

Оскільки головним у діяльності з охорони праці є профілактика травматизму, заходи щодо поліпшення умов праці й побуту працюючих дозволяють не тільки знизити виробничий травматизм, професійну й загальну захворюваність, а й сприяють підвищенню продуктивності і якості праці [29].

На робочому місці необхідно використовувати правильно спроектоване та безпечне у використанні виробниче освітлення, це допоможе знизити втомлюваність, покращить умови праці.

Недостатня або надмірна освітленість, нерівномірність освітлення в полі зору втомлює очі, призводить до зниження продуктивності праці; при цьому зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків.

Надмірна яскравість джерел світла може спричинити головний біль, різь в очах, розлад гостроти зору; світлові відблиски — тимчасове засліплення.

Освітлення виробничих приміщень характеризується кількісними та якісними показниками.

До основних кількісних показників відносяться:

- світловий потік;
- сила світла;
- яскравість;
- освітленість.

До основних якісних показників зорових умов роботи можна віднести: контраст між об'єктом та фоном, видимість.

Для створення сприятливих умов зорової роботи виробниче освітлення повинно відповідати наступним вимогам:

- створювати на робочій поверхні освітленість, що відповідає характеру зорової роботи і не є нижчою за встановлені норми;
- не повинно бути засліплюючої дії як від самих джерел освітлення, так і від інших предметів, що знаходяться в полі зору;
- забезпечити достатню рівномірність та постійність рівня освітленості у виробничих приміщеннях, щоб уникнути частотої переадаптації органів зору;
- не створювати на робочій поверхні різких та глибоких тіней (особливо рухомих);
- повинен бути достатній, для розрізнення деталей, контраст поверхонь, що освітлюються;
- не створювати небезпечних та шкідливих виробничих факторів (шум, теплові випромінювання, небезпечне ураження струмом, пожежо- та вибухонебезпека світильників);
- повинно бути надійним і простим в експлуатації, економічним та естетичним.

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути природним, штучним і суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.

Недостатність освітлення приводить до напруги зору, послаблення уваги, передчасної стомленості.

Неправильне освітлення може привести до нещасного випадку або профзахворювань, тому настільки важливий правильний розрахунок освітленості.

Вимоги до освітленості в приміщеннях, де встановлені комп'ютери: при виконанні зорових робіт середньої точності – 200 лк загального й 300лк для комбінованого освітлення.

Обчислювальна техніка є джерелом істотних тепловиділень, що може привести до підвищення температури й зниження відносної вологості в приміщенні.

У приміщеннях, де встановлені комп'ютери, повинні дотримуватися певні параметри мікроклімату. У санітарних нормах ДСН 3.36.042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень" установлені величини параметрів мікроклімату, що створюють комфортні умови.

Ці норми встановлюються залежно від пори року, характеру трудового процесу й характеру виробничого приміщення (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Оптимальні параметри мікроклімату приміщень, для категорії робіт 1А

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні	22...24°C
	Відносна вологість	40...60%
	Швидкість руху повітря	до 0,1м/с
Теплий	Температура повітря в приміщенні	23...25°C
	Відносна вологість	40...60%
	Швидкість руху повітря	0,1...0,2м/с

Відповідно до норм подачі свіжого повітря в приміщення, де розташовані комп'ютери в даній лабораторії необхідно подавати 30 м³/год, на одну людину

Для забезпечення комфортних умов використовуються як організаційні методи (раціональна організація проведення робіт залежно від пори року й доби, чергування праці й відпочинку), так і технічні засоби (вентиляція, кондиціонування повітря, опалювальна система).

Шум погіршує умови праці, роблячи шкідливу дію на організм людини, при роботі в умовах тривалого шумового впливу робітники відчують:

- дратівливість;
- головні болі;
- запаморочення;
- знижується концентрація уваги;
- підвищену стомлюваність;
- зниження апетиту;
- біль у вухах і т.д.

Рівень шуму в даному приміщенні становить 50дБ, що не перевищує норму. Для зниження рівня шуму стіни й стеля приміщення, де встановлені комп'ютери, облицьовані звуковбирними матеріалами.

3.3 Електробезпека

Оскільки в приміщенні знаходиться електроустаткування, основні заходи щодо техніки безпеки повинні стосуватися безпечної експлуатації ПЕОМ, і здійснюватись відповідно до НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Приміщення, в якому знаходиться робоче місце, відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки.

Ураження електричним струмом може статись через:

- пошкодження ізоляції;
- випадковий дотик до струмоведучих деталей;

- замикання в результаті аварії;
- статичну напругу.

Характеристика мережі у приміщенні: 220/380В, 50Гц, 3-фазна чотирьох провідна з глухо заземленою нейтраллю.

Електричний струм, проходячи через організм людини, спричиняє термічну, електролітичну та біологічну дії.

Термічна дія струму виявляється в опіках окремих ділянок тіла, ураженні внаслідок високої температури кровоносних судин, нервових клітин, серця, мозку, що призводить до серйозних функціональних розладів.

Електролітична дія струму виявляється в розкладанні органічних рідин, в тому числі крові, що призводить до значних порушень їх фізико-хімічного складу.

Біологічна дія струму виявляється у подразненні й збудженні живої тканини організму, що супроводжується мимовільним скороченням м'язів [30].

Найчастіше нещасні випадки відбуваються через низький рівень організації робіт або грубе порушень правил, у тому числі:

- безпосереднього дотику до відкритих струмоведучих частин і дротів;
- дотику до струмоведучих частин, ізоляція яких ушкоджена;
- дотику до металевих частин устаткування, що випадково під напругою;
- дотик до струмоведучих частин за допомогою предметів з низьким опором ізоляції;
- відсутності або порушення захисного заземлення;
- помилкової подачі напруги під час ремонтів або оглядів;
- впливу електричного струму через дугу;
- впливу крокової напруги й ін.

Для усунення небезпеки ураження електричним струмом в лабораторному приміщенні під час аварійного режиму використовується захисне заземлення.

Заземлення – це спеціальне електричне сполучення із землею або її еквівалентом струмопровідних елементів обладнання, які не повинні перебувати під напругою, але в процесі експлуатації можуть опинитися під напругою, наприклад, у разі пошкодження ізоляції, дефектів комутаційних апаратів, в аварійних випадках тощо.

3.3.1 Розрахунок захисного заземлення

Заземленню підлягають вимірювальні установки, напруга живлення яких 220В.

У якості заземлювача візьмемо сталеві вертикальні стержні довжиною $l = 2$ м, діаметром $d = 0,03$ м, діаметр сполучної смуги $b = 0,03$ м.

Контур заземлення розташовано на горизонтальному майданчику біля корпусу академії.

Грунт - суглинок.

Допустимий опір заземлюючого пристрою (R_n) дорівнює 4 Ом. Визначимо питомий електричний опір ґрунту (суглинку), ρ якого дорівнює 100 Ом·м. Розрахуємо опір розтікання струму одного вертикального стержня:

$$R_B = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \ln \frac{4 \cdot 2}{0,03} = 44,46 \text{ Ом} \quad (4.1)$$

Приймемо число заземлювачів:

$$n = \frac{R_1}{R_n} = \frac{44,46}{4} = 11,1 \approx 12 \quad (4.2)$$

Визначимо довжину горизонтальної смуги (по контуру):

$$l_{\Gamma} = a \cdot n = 2 \cdot 12 = 24 \text{ м} \quad (4.3)$$

де a - відстань між вертикальними електродами ($a = 2 \text{ м}$)

Опір горизонтальної смуги:

$$R_{2c} = \frac{\rho}{\pi l_{\Gamma}} \ln \frac{4 \cdot l_{\Gamma}}{b} = \frac{100}{3,14 \cdot 24} \ln \frac{4 \cdot 24}{0,03} = 10,7 \text{ Ом} \quad (4.4)$$

Коефіцієнт екранування для вертикального заземлювача і для горизонтальної смуги:

$$\eta_{\text{в}} = \frac{0,68+0,56}{2} = 0,62 \quad (4.5)$$

$$\eta_{\Gamma} = \frac{0,34+0,4}{2} = 0,37 \quad (4.6)$$

Опір групи вертикальних заземлювачів:

$$R_{\text{гр}} = \frac{R_{\text{вз}}}{n \cdot \eta_{\text{в}}} = \frac{44,46}{12 \cdot 0,62} = 5,97 \text{ Ом} \quad (4.7)$$

Опір горизонтальної смуги з врахуванням екранування:

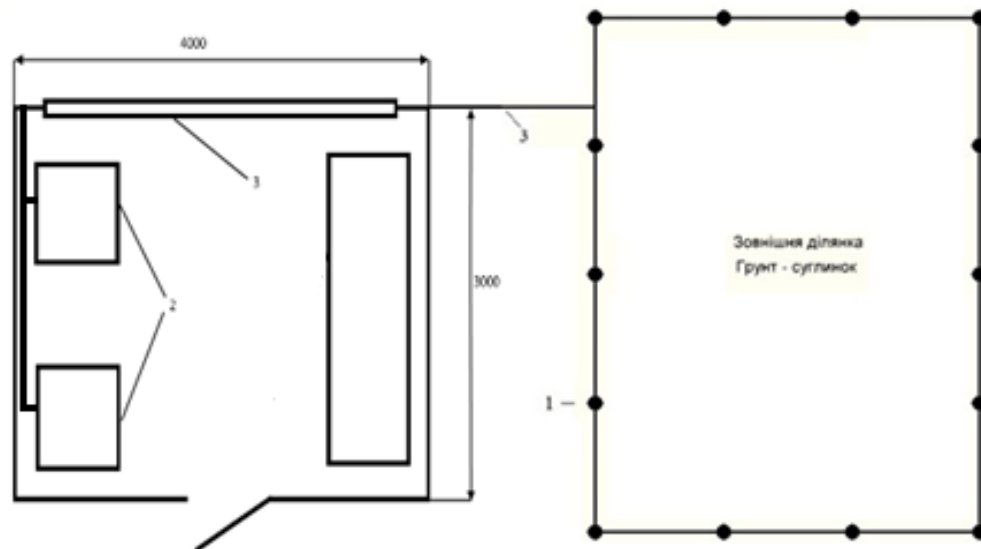
$$R_{\Gamma} = \frac{R_{\text{го}}}{\eta_{\Gamma}} = \frac{10,7}{0,37} = 28,91 \text{ Ом} \quad (4.8)$$

Опір заземлювача в цілому:

$$R_3 = \frac{R_{\text{гр}} \cdot R_{\Gamma}}{R_{\text{гр}} + R_{\Gamma}} = \frac{5,97 \cdot 28,91}{5,97 + 28,91} = 4,94 \text{ Ом} \quad (4.9)$$

Як видно, опір заземлювача перевищує нормативне значення (4 Ом), тому збільшимо кількість заземлювачів до $n = 14$, тоді опір заземлювача в цілому складе $R_3 = 3,97 < R_{\text{н}}$.

Число заземлювачів дорівнює 14, які розміщені по контуру зовнішньої ділянки, як показано на рисунку 3.3.



1 – заземлювачі; 2 - електроустаткування що заземлюється; 3 - сполучна смуга внутрішній контур заземлення.

Рисунок 3.3 — Розміщення заземлювачів на зовнішній ділянці.

Таким чином, для виконання захисного заземлення використовується 14 вертикальних стержнів з такими характеристиками:

- діаметр - 0,03 м;
- довжина - 2 м;
- опір стержня - 44,46 Ом;
- опір сполучної смуги 10,7 Ом;
- опір заземлювачів в цілому - 3,97 Ом.

Такі характеристики заземлення забезпечують безпечну роботу на установках лабораторії.

3.4 Пожежна безпека. Техногенна безпека

Пожежа в лабораторному приміщенні, де розташовано робоче місце, може виникнути при взаємодії горючих речовин і джерел запалювання.

Горючими речовинами в лабораторії можуть стати:

- матеріали меблів,
- пластмасові корпуси техніки,
- шнури тощо.

Джерелами запалювання можуть бути:

1. Електронні схеми комп'ютерів,
2. Пристрої електроживлення, де внаслідок різних порушень виникає перегрівання елементів, утворюються електричні іскри, здатні спричинити займання горючих матеріалів.

Клас пожежі Е, категорія приміщення Д.

Для ліквідації пожежі в даному приміщенні немає необхідності влаштування системи автоматичного пожежогасіння.

Приміщення оснащено переносним вуглекислотним вогнегасником типу ВВК-3,5 - 1шт.

Облицювання стін та стелі приміщення зроблене з негорючих матеріалів.

Коридори будівлі, в якому знаходиться дане приміщення, оснащені стендами з планом евакуації під час пожежі (рис. 3.4), на стіні є ящик пожежним стволем і пожежним рукавом.

Дана будівля відносяться до другої категорії по блискавко захисту, захист будівлі від прямих ударів блискавки здійснюється за допомогою стрижневих блискавковідводів.

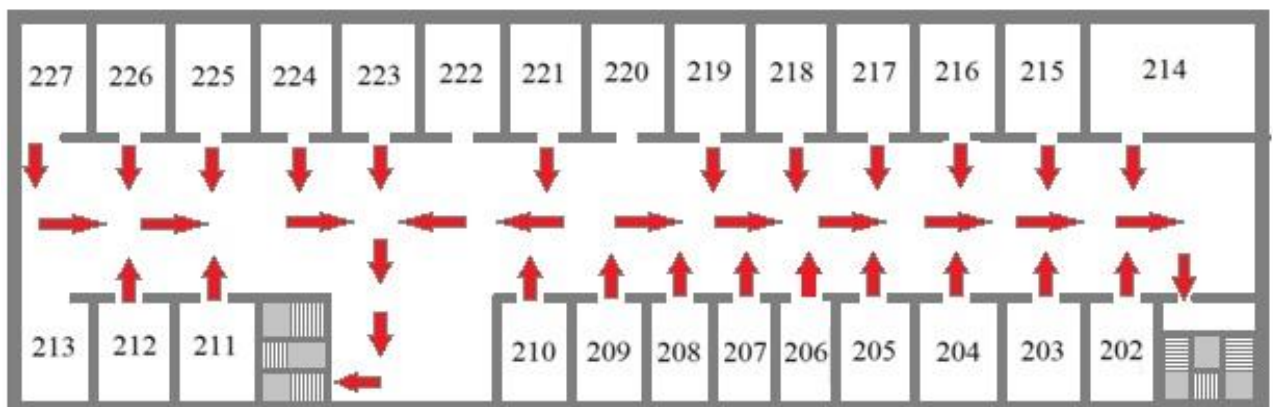


Рисунок 3.4– План евакуації при пожежі

3.5 Засоби захисту від впливу радіації

3.5.1 Засоби захисту працівників від радіації

Організм людини не відчуває іонізуючого випромінювання. Тому для захисту від шкідливого впливу радіоактивних речовин неодмінно потрібно використовувати засоби захисту від радіації.

Також працівники, які виконують роботи з радіоактивними речовинами, повинні перебувати під постійним медичним наглядом, використовувати прилади індивідуального дозиметричного контролю (універсальні радіометри) для своєчасного виявлення і вимірювання рівня випромінювання, дотримуватися вимог безпеки праці.

Під час організації захисту від зовнішнього іонізуючого опромінювання при роботах із закритими джерелами випромінювання, тобто такими, які виключають можливість потрапляння радіоактивних речовин у навколишнє середовище, передусім необхідно не допустити переопромінення працівників.

Основним способами захисту від цього є:

1. Зменшення активності джерела, з яким контактують працівники під час конкретного технологічного процесу, — досягається шляхом використання речовин із меншою активністю;

2. Зменшення часу контакту з джерелом випромінювання — досягається шляхом вдосконалення організації робіт і технологічного виробничого процесу та проведення попередніх тренінгів працівників;

3. Збільшення відстані між людиною і джерелом — використовується, як правило, при контакті з точковим джерелом випромінювання шляхом використання дистанційних універсальних маніпуляторів та інших автоматизованих пристроїв;

4. Розташування між людиною і джерелом захисного екрану (стаціонарного, пересувного, розбірного, настільного тощо), тобто

пристрою, який зменшує інтенсивність випромінювання до безпечного рівня.

Для виготовлення екранів, а також для захисту працівників в стаціонарних спорудах, використовується бетон, чавун, сталь, алюміній, скло, свинець та інші матеріали.

Від дії рентгенівських променів застосовують екрани зі сталевого листа товщиною 0,5-1 мм або алюмінію товщиною 3 мм, спеціальної гуми. Оглядові вікна виконують з плексигласу товщиною 30 мм або з покритого оловом скла товщиною 9 мм.

Для захисту шкіри від забруднень радіоактивними речовинами та запобігання їх попаданню всередину організму, захисту від альфа і бета-випромінювання передусім застосовуються засоби індивідуального захисту від радіації (ЗІЗ від радіації).

Засоби захисту від радіації використовуються у тих випадках, коли інші заходи недостатньо ефективні: при переході через зони збільшеної інтенсивності випромінювання, при ремонтних та налагоджувальних роботах у аварійних ситуаціях, під час короткочасного контролю та при зміні інтенсивності опромінення [26].

3.5.2 Види засобів індивідуального захисту від радіації

Залежно від виду виконуваних робіт і їх небезпечності засобами індивідуального захисту є:

- спецодяг (комбінезони або костюми, спецбілизна),
- рукавиці, чоботи,
- респіратори,
- окуляри,
- ізолювальні пневмокостюми,
- пневмошоломи, з індивідуальним подаванням в них повітря тощо.

Наприклад, для захисту тіла використовується одяг із металізованих тканин та радіопоглинальних матеріалів. Очі захищають спеціальними окулярами зі скла з нанесеною на внутрішній бік плівкою двоокису олова. Гумова оправа окулярів має запресовану металеву сітку або обклеєна металізованою тканиною.

Як засіб індивідуального захисту під час робіт на рентгенівських установках застосовують фартухи, рукавиці, шапочки з покритої оловом гуми.

Підручними засобами індивідуального захисту можуть бути накидки, плащі із синтетичних плівок, гумові чоботи, рукавички тощо [26].

3.6 Інструкція по техніці безпеки під час проведення радіографічного контролю

3.6.1 Загальні положення

Джерелами іонізуючих випромінювань (ДІВ) є рентгенівські апарати, гамма-дефектоскопи, заряджені радіонуклідами Цезію-137, Іридію-192 і Тулія-170, і окремі радіоактивні речовини названих радіонуклідів у закритому виді, поміщені в контейнери.

Устаткування, контейнери, упакування, транспортні засоби, апарати, пересувні установки, приміщення, призначені для робіт із застосуванням джерел іонізуючих випромінювань, повинні мати знаки радіаційної небезпеки.

При радіографічному контролі небезпечними факторами є:

- перевищення основних дозувальних меж, встановлених НРБ-76/87;
- забруднення радіоактивними речовинами робочих місць, устаткування, спецодягу і тіла працюючих;

- надходження радіоактивного ізотопу усередину організму працюючих;

- замикання електричного ланцюга через тіло працюючого при експлуатації переносних, пересувних і стаціонарних рентгенівських апаратів.

Вплив небезпечних факторів, що приводять до опромінення осіб, які працюють на переносних гамма-дефектоскопах, можливо при установці гамма-дефектоскопа в робоче положення і поверненні джерела у вихідне положення після закінчення роботи, при просвічуванні, а також при збереженні і транспортуванні радіоактивних джерел. Небезпека опромінення чи надходження ізотопів усередину організму зростає в аварійних ситуаціях, які виникають внаслідок стихійного лиха і розгерметизації радіоактивних джерел чи грубого порушення режимів їх експлуатації.

Опромінення осіб, що працюють на рентгенівських апаратах, можливо тільки при подачі високої напруги на рентгенівську трубку, коли працюючі знаходяться в радіаційно-небезпечній зоні.

Ураження струмом осіб, що працюють на рентгенівських апаратах, відбувається при порушенні правил електробезпеки.

При роботі з джерелами іонізуючих випромінювань, їх збереженні і транспортуванні необхідно дотримуватися заходів, що передбачають зниження дозувальних навантажень до допустимих рівнів, а також запобігають розгерметизації джерел, ураженню працюючих струмом і забезпечують дотримання загальних правил техніки безпеки: робота на висоті, у замкнутих посудинах, траншеях і ін [27].

3.6.2 Вимоги до лабораторій і сховищ, порядку зберігання, видачі і повернення ДІВ

Вимоги до лабораторій і сховищ, порядку зберігання, видачі і повернення дів:

1. Роботи з радіографічного контролю в організації, підприємстві повинні проводитися в спеціальних лабораторіях. Приміщення лабораторії повинні обладнатися автоматичною пожежною сигналізацією і відокремлюватися від інших приміщень протипожежними перегородками. Потужність еквівалентної дози випромінювання на зовнішніх поверхнях будинку, де знаходиться лабораторія, у тому числі прорізах вікон і дверей, стін камери, що відокремлюють суміжні приміщення, у яких можуть знаходитися особи категорії Б, не повинна перевищувати 0,12 мбер/год.

2. Для виконання робіт з переносними гамма-дефектоскопами в складі лабораторії передбачаються приміщення для сховища зі спеціальними колодязями із захисними кришками. Площа сховища повинна бути не менше 10 м², з розрахунку 3 м² на один дефектоскоп. Сховище повинне бути обладнане звуковою сигналізацією.

3. При проведенні робіт на площадках з використанням для просвічування переносних гамма-дефектоскопів необхідно мати сховище, фотокімнату, приміщення для персоналу і зберігання плівок. Потужність еквівалентної дози на зовнішній поверхні сховища чи його огороження, що виключає доступ сторонніх осіб, не повинна перевищувати 0,12 мбер/год. На поверхні сховища, що знаходиться в санітарно-захисній зоні організації, підприємства потужність еквівалентної зони не повинна перевищувати 2,9 мбер/год.

Примітка: У сховищі немає потреби при проведенні короткочасних робіт з контролю, коли приїзд і виїзд з об'єкта здійснюється в той же день.

4. При зберіганні переносних рентгенівських апаратів вимоги по радіаційній безпеці не пред'являються. Їх рекомендується зберігати в сейфах чи закритих металевих шухлядах.

5. Проведення робіт із джерелами іонізуючих випромінювань і їх збереження дозволяється тільки після оформлення санітарного паспорта на право роботи з джерелами іонізуючого випромінювання, що видається Держсаннаглядом організаціям, підприємствам на термін не більше трьох років.

6. В лабораторії повинен знаходитися обов'язковий комплект або аварійний запас спецодягу, пристосувань, засобів індивідуального захисту дня аварійних робіт.

7. Видача дефектоскопів чи контейнерів з радіоізотопами дефектоскопісту відповідальною особою здійснюється за письмовим наказом начальника лабораторії або керівника групи радіаційної дефектоскопії; видача і повернення фіксується в прибутково-видатковому журналі, а розпорядження - у журналі завдань дефектоскопістам.

8. Для проведення робіт за межами території, на яку поширюється дія санітарного паспорта, дозволяється вивіз дефектоскопів чи контейнерів з радіоізотопами тільки після узгодження з органом Держсаннагляду, що видав санітарний паспорт, і одержання від нього листа-дозволу на вивіз дефектоскопів чи контейнерів, а також повідомлення органів Держсаннагляду і внутрішніх справ по місцеві проведення робіт про вивіз джерела іонізуючих випромінювань і термінах перебування на даній території.

9. При видачі і поверненні ДІВ необхідно, використовуючи дозиметр, впевнитися в наявності джерела в радіаційній голівці або контейнері і відсутності на їх поверхні іонізуючого випромінювання, що перевищує допустимі норми. Потужність еквівалентної дози випромінювання на відстані 1 і 0,1 м від поверхні радіаційної голівки або контейнера не повинна перевищувати відповідно 3 і 100 мбер/год.

10. Не дозволяється залишати в тимчасових сховищах несправні гамма-дефектоскопи з радіоактивними джерелами. Адміністрація повинна вжити термінових заходів для їх відправлення в стаціонарні сховища.

3.6.3 Правила транспортування ДІВ

Правила транспортування ДІВ:

1. Транспортування гамма-дефектоскопів і контейнерів з радіоізотопами повинне здійснюватися відповідно до вимог "Правил безпеки при транспортуванні радіоактивних речовин". При транспортуванні рентгенівських апаратів спеціальних вимог не пред'являється. У цьому випадку повинні виконуватися загальні вимоги, запропоновані до перевезення електрорадіоапаратури.

2. Для постійних перевезень гамма-дефектоскопів, рентгенівських апаратів і контейнерів з радіоізотопами використовуються спеціально обладнані автомобілі-спецлабораторії, на які оформляють санітарний паспорт. У середині автомобіля повинен бути вивішений перелік апаратури і засобів ліквідації аварії, а також інструкція з радіаційної безпеки і ліквідації аварій. Зовні повинні бути нанесені знаки радіаційної небезпеки і напис "Спецлабораторія". Автомобіль-спецлабораторія повинен бути оснащений на випадок аварії в шляху індивідуальними засобами захисту від радіоактивних забруднень і первинних засобів пожежегасіння [27].

Таким чином, у 4 розділі було проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можливі при розробці мікроелектронного пристрою для визначення рівня радіації. Встановлено заходи з поліпшення умов праці, оптимальні параметри мікроклімату приміщень та зроблено розрахунок захисного заземлення.

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі проведено аналіз і дослідження різних видів радіаційного випромінювання та приладів для вимірювання ефективної дози й потужності іонізуючого випромінювання, визначено їх недоліки та переваги, виходячи з яких було визначено мета та задачі роботи.

Розроблено структурну і принципову електричну схему індикаторного блоку приладу для вимірювання гамма-випромінювання.

Пристрій вимірювання радіаційного фону включає датчик, який вимірює радіаційний фон і передає інформацію на блок індикації. Пристрій для формування імпульсів призначений для формування імпульсів відповідної форми і тривалості, які згодом підраховуються за певний період часу.

З навантаження детектора – резистора, імпульси надходять на формувач, зібраний на логічних елементах за схемою одновібратора. Він здійснює формування інтервалів часу заданої тривалості з вхідного імпульсу. Для реалізації одновібратора обрано мікросхему, яка складається з логічних елементів І-НІ. 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. Для реалізації лічильника обрано мікросхему яка складається з чотирьох внутрішньо з'єднаних тригерів.

Зроблено розрахунок захисного заземлення та визначено характеристики які зможуть забезпечити безпечну роботу на установках лабораторії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Радіоактивність: веб-сайт. URL:
<https://goo.su/XJiS> (дата звернення: 01.04.2022).
2. Радіоактивне випромінювання та його вплив на людину: веб-сайт. URL:
https://ukrns.org/images/activity/2020/2020_10_13/Mykhailenko.pdf
(дата звернення: 01.04.2022).
3. Методи для реєстрації іонізуючих випромінювань. Класифікація приладів радіаційного контролю: веб-сайт. URL:
https://stud.com.ua/28701/bzhd/metodi_reyestratsiyi_ionizuyuchih_viprominyuvan_klasifikatsiya_priladiv_radiatsiynogo_kontrolyu (дата звернення: 01.04.2022).
4. Лічильник Гейгера: веб-сайт. URL:
<https://goo.su/rUfU> (дата звернення: 09.04.2022).
5. Лічильник Гейгера: веб-сайт. URL:
<https://goo.su/kb2aG5z> (дата звернення: 09.04.2022).
6. Методи реєстрації іонізуючих випромінювань, їх характеристика, використовувані детектори і прилади: веб-сайт. URL:
<http://um.co.ua/8/8-18/8-185690.html> (дата звернення: 25.04.2022).
7. Іонізаційна камера: веб-сайт. URL:
<https://goo.su/SiSm0F> (дата звернення: 26.04.2022).
8. Напівпровідникові лічильники: веб-сайт. URL:
https://studopedia.com.ua/1_32570_napivprovidnikovii-lichilniki.html
(дата звернення: 26.04.2022).
9. Як обрати дозиметр? : веб-сайт. URL:
<https://mydozimetr.ru/blog/stati/kak-vybrat-dozimetr/> (дата звернення: 02.06.2022).
10. Лічильник Гейгера: веб-сайт. URL:

- <https://mydozimetr.ru/blog/stati/schetchik-geygera-myullera/> (дата звернення: 02.06.2022).
11. Лічильник Гейгера-Мюллера СБМ 21: веб-сайт. URL: <https://idealratio.ru/shop/product/schetchik-geygera-myullera-sbm-21#shop2-tabs-1> (дата звернення: 03.06.2022).
12. Генератор високої напруги на транзисторі: веб-сайт. URL: <https://sto82.ru/pribory/bloking-generator.html> (дата звернення: 08.06.2022).
13. Транзистор 2N2222: веб-сайт. URL: <http://transistorlib.net/2n2222.html> (дата звернення: 09.06.2022).
14. Транзистор 2N2222: веб-сайт. URL: <https://www.radiolibrary.ru/reference/transistor-imp/2n2222.html> (дата звернення: 09.06.2022).
15. Діод КД102А: веб-сайт. URL: <https://www.chipdip.ru/product/kd102a> (дата звернення: 10.06.2022).
16. Одновібратори: веб-сайт. URL: <https://digteh.ru/digital/OdnVib.php> (дата звернення: 10.06.2022).
17. Двійково-десяткові лічильники: веб-сайт. URL: <https://vikidalka.ru/2-118309.html> (дата звернення: 13.06.2022).
18. Мікросхеми: 7490, 74L90, 74LS90 : веб-сайт. URL: <https://www.microshemca.ru/7490/> (дата звернення: 13.06.2022).
19. Семисегментний дешифратор: веб-сайт. URL: https://life-prog.ru/1_41050_semisegmentniy-deshifrator.html (дата звернення: 13.06.2022).
20. Мікросхема 74145: веб-сайт. URL: <https://www.microshemca.ru/74145/> (дата звернення: 13.06.2022).
21. Засоби індивідуального захисту від радіації: веб-сайт. URL: <https://www.sop.com.ua/article/1073-zasobi-ndivdualnogo-zahistu-vid-radats> (дата звернення: 13.06.2022).
22. Інструкція по техніці безпеки під час проведення радіографічного контролю (для операторів-радіографів) : веб-сайт. URL:

https://dnaop.com/html/33064/doc-ВНАОП_6.1.36-5.03-95

(дата

звернення: 13.06.2022).

23. Виготовлення друкованих плат для електроніки: веб-сайт. URL:

https://renome.biz/uk/index.php?route=news/article&news_id=61 (дата

звернення: 14.06.2022).

24. Виробнича санітарія та гігієна: веб-сайт. URL:

https://pidru4niki.com/15060913/bzhd/virobnicha_sanitariya_gigiyena(да

та звернення: 15.06.2022).

25. Основи схемотехніки електронних систем: Підручник [Текст]/ [Бойко В.І., Гуржій А.М., Жуйков В.Я. та ін.]- К.:Вища шк., 2004-527 с.

26. Цифрова схемотехніка: Підручник [Текст]/ Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Кісельов Є.М., Хрипко С.Л. - Запоріжжя. Видавництво ЗДІА., 2016-214 с.