

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ
(повна назва інституту/факультету)

КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Владислав ШЛИКОВ

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2021р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності _____ 163 «Біомедична інженерія»
(код і назва)

на тему: Комбінований прилад для вимірювання рівня радіації та рівня
напруженості електричного поля

Виконав: студент 4 курсу, групи БМ-71
(шифр групи)

Петро ОСАВОЛЮК

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник

ст.вик.каф.БМІ Катерина САВКІНА

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Консультант

3

(номер розділу)

с.н.с., к.т.н., доц. кафедри БМІ Андрій ДУБКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Консультант

4

(номер розділу)

к.т.н., доцент кафедри ОППЦБ Гліб ДЕМЧУК

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Нормоконтроль

Нормоконтролер інж.1 категорії Петро АНДРЕЄВ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Рецензент

ст. викл. каф. БМІ, к.ф.н. Олена ГОЛЕМБІОВСЬКА

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2021 р.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»**

Факультет Біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра Біомедичної інженерії
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 163 «Біомедична інженерія»
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Медична інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Владислав ШЛИКОВ**
(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту
Осаволюку Петру Артемовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Комбінований прилад для вимірювання рівня радіації та рівня напруженості електричного поля»

керівник роботи: Савкіна Катерина Олександрівна, ст. вик. каф. БМІ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «27» травня 2021р. №1361-с

2. Термін подання студентом роботи «6» червня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: підручники (в електронному вигляді), друковані видання з даного напрямку; статті з цього напрямку (в електронному вигляді); державні та міжнародні стандарти; програмні продукти Fritzing, Arduino та підручники з його використання.

4. Зміст роботи: оглянути літературні джерела за темою роботи, створити електричну схему приладу, обрати компоненти та створити макет приладу, створити програмне забезпечення для керування роботою приладу

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація на 15 слайдів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
3. Практична частина	Дубко А.Г., доцент кафедри біомедичної інженерії.		
4. Охорона праці	Демчук Г.В., доцент кафедри охорони праці, промисловості та цивільної безпеки		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літературних джерел	Лютий 2021	
2	Створення моделі пристрою у середовищі Fritzing	Березень 2021	
3	Створення програмного забезпечення в середовищі Arduino	Березень 2021	
4	Калібрування приладу	Травень 2021	
5	Охорона праці	Травень 2021	
6	Оформлення ПЗ	Червень 2021	
7	Отримання рецензії та відгуку	Червень 2021	
8	Здача роботи на нормоконтроль	Червень 2021	
9	Захист дипломної роботи	Червень 2021	

Студент _____
(підпис)

П.А.Осаволук _____
(ініціали, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

К.О.Савкіна _____
(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Тема роботи: «Комбінований прилад для вимірювання рівня радіації та рівня напруженості електричного поля».

Обсяг дипломної роботи становить 52 сторінок, міститься 21 ілюстрацій, 21 таблиць. Загалом опрацьовано 27 джерел.

Метою роботи є комбінований прилад для вимірювання рівня радіації та рівня напруженості електромагнітних полів, що виникають при роботі лікувально-діагностичної апаратури.

Актуальність: найпоширенішими штучними джерелами іонізуючого випромінювання є медичні апарати, як рентгенівські апарати, і інші медичні пристрої; вплив ЕП, яке генерується медичним обладнання, на медичний персонал фізіотерапевтичних кабінетів, а також вплив його на загальний електромагнітний фон вивчено недостатньо в плані експозиційних навантажень з урахуванням всіх частотних діапазонів і режимів генерації.

Завдання:

- огляд літератури за темою роботи;
- створення електричної схеми приладу;
- вибір компонентів та створення макету приладу;
- створення програмного забезпечення.

Основні результати: Проаналізовані літературні джерела по темі роботи. Створений макет приладу для вимірювання рівня радіації та рівня напруженості електромагнітних полів. Також створене програмне забезпечення для керування роботою пристрою.

Ключові слова: електричне поле, іонізуюче випромінювання, мікроконтролер ArduinoUno, індикатор електричного поля, датчик рівня радіації.

ABSTRACT

Title " Combined device for measuring the level of radiation and the level of electric field strength ".

The volume of the explanatory note is 52 pages, contains 21 illustrations, 21 tables. In total, 27 sources have been processed.

The purpose of the work is a combined device for measuring the level of radiation and the level of electromagnetic fields that occur during the operation of medical and diagnostic equipment.

Actuality of the work : the most common artificial sources of ionizing radiation are medical devices, such as X-ray machines, and other medical devices; the influence of EMF generated by medical equipment on the medical staff of physiotherapy rooms, as well as its influence on the general electromagnetic background has been insufficiently studied in terms of exposure loads, taking into account of all frequency ranges and generation modes.

Tasks:

- review of literature on the topic of work;;
- creation of the electric scheme of the device;
- selection of components and creation of the device layout;
- software development..

Main results: analyzed literary on the topic of work. A model of the device for measuring the level of radiation and the level of electromagnetic fields is created. Software for controlling the operation of the device has also been created..

Key words: electric field, ionizing radiation, ArduinoUno microcontroller, electric field indicator, radiation level sensor..

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	10
1.1 Радіація та електричне випромінювання	10
1.1.1 Електричне випромінювання	10
1.1.2 Радіація.....	11
1.2 Вплив електричного випромінювання на організм людини.....	13
1.2.1 Вплив електричного поля на нервову систему	13
1.2.2 Вплив електричного поля на серцево-судинну систему	13
1.2.3 Вплив електричного поля на імунну та ендокринну систему	13
1.2.4 Вплив електричного поля на імунну та ендокринну систему	14
1.3 Вплив радіації на організм людини	14
1.4 Індикатор електричного поля.....	15
1.5 Лічильник Гейгера	16
1.6 Сучасні дозиметри-радіометри та індикатори електричного поля	18
Висновки до розділу 1	19
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ	20
2.1 Вибір програмного забезпечення	20
Висновки до розділу 2	21
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	22
3.1 Моделювання індикатора електричного поля	22
3.2 Моделювання приладу для вимірювання рівня радіації	27

					БМ-71.13.2705.1361.ПЗ				
Вим	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив	Осаволук П. А				Комбінований прилад для вимірювання рівня радіації та рівня напруженості електричного поля	Літ.	Лист	Листів	
Перевірів	Савкіна К. О						6		
Реценз.	Голембіовська О. І.					КПІ ім. Ігоря Сікорського ФБМІ БМ-71			
Н. Контр.	Андрєв П.І.								
Затвердив	Шликов В.В								

3.3 Програмування комбінованого приладу для вимірювання напруженості електричного поля та рівня радіації.....	32
3.4 Калібрування комбінованого приладу для вимірювання напруженості електричного поля та рівня радіації.....	35
3.4.1 Калібрування лічильника Гейгера.....	35
3.4.2 Калібрування індикатора ЕП.....	36
Висновки до розділу 3	37
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	39
4.1 Характеристика приладу для вимірювання рівня радіації та напруженості електричного поля.....	39
4.1.1 Характеристики компонентів приладу.....	39
4.1.2 Складові частини приладу	40
4.1.3 Характер взаємодії об'єкту в системі «людина – об'єкт».....	41
4.2 Оцінка потенційних небезпек, що створюються конструкцією приладу який проектується, та заходи їх усунення	42
4.2.1 Фізичні джерела небезпечних і шкідливих виробничих факторів	42
4.2.2 Небезпека ураження електричним струмом	43
4.2.3 Небезпека займання	45
4.3 Розробка «Інструкції по техніці безпеки при експлуатації приладу для вимірювання рівня радіації та рівня напруженості електричного поля».....	47
Висновки до розділу 4	48
ВИСНОВКИ	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50
ДОДАТОК А	53
ДОДАТОК Б.....	59

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЕП – електричне поле

ПЗ – програмне забезпечення

					БМ-71.13.2705.1361.ПЗ	Лист
						8
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сьогодні найпоширенішими штучними джерелами іонізуючого випромінювання є медичні апарати, як рентгенівські апарати, і інші медичні пристрої.

На медичне використання випромінювання припадає 98% всієї дози опромінення з усіх штучних джерел; воно становить 20% від загального впливу на населення. Щорічно в світі проводиться 3 600 мільйонів радіологічних обстежень з метою діагностики, 37 мільйонів процедур з використанням ядерних матеріалів і 7,5 мільйона процедур радіотерапії в лікувальних цілях [1].

До сьогоднішнього дня вплив ЕП, яке генерується медичним обладнанням, на медичний персонал фізіотерапевтичних кабінетів, а також вплив його на загальний електричний фон вивчено недостатньо в плані експозиційних навантажень з урахуванням всіх частотних діапазонів і режимів генерації. Не існує відпрацьованої методики гігієнічної оцінки, здатної врахувати особливості умов праці працівників даної категорії. В першу чергу слід відзначити необхідність адекватного визначення діапазонів ЕП. Особливий інтерес становить те, що в даний час надзвичайно розширився спектр частотних діапазонів і режимів генерації ЕП, які використовуються в фізіотерапевтичному обладнанні [2].

Тема ДР: комбінований прилад для вимірювання рівня радіації та рівня напруженості електромагнітних полів

Мета ДР: макет приладу для вимірювання рівня радіації та напруженості електромагнітного поля.

Для досягнення мети, були поставлені наступні задачі:

1. Огляд літератури за темою роботи.
2. Створення електричної схеми приладу.
3. Вибір компонентів та створення макету приладу.
4. Створення програмного забезпечення.

					БМ-71.13.2705.1361.ПЗ	Лист
						9
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Радіація та електричне випромінювання

1.1.1 Електричне випромінювання

Електричне випромінювання – це електрична складова, електромагнітного випромінювання, яка утворює електричне поле. Випромінювання розповсюджується за допомогою електричних хвиль, як випромінюються позитивно або негативно зарядженими частинками, антенами, тощо. Основні частотні діапазони електричного поля описані в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Частотні діапазони ЕП та їх назви [3]

Назва	Довжина хвилі	Частота
Квазіпостійні	-	0-3 Гц
Вкрай низькі	100 000 – 10 000 км	3 – 30 Гц
Наднизькі	10 000 -1000 км	30 -300 Гц
Інфранизькі	1000 – 100 км	0,3 -3 кГц
Дуже низькі	100 – 10 км	3 – 30 кГц
Низькі	10 – 1 км	30 – 300 кГц
Середні	1 км – 100 м	0,3 – 3,0 МГц
Високі	100 – 10 м	3 – 30 МГц
Дуже високі	10 – 1м	30 – 300 МГц
Ультрависокі	1 м – 10 см	0,3 – 3 ГГц
Надвисокі	10 – 1 см	3 – 30 ГГц
Вкрай високі	1 – 0,1 см	30 – 300 ГГц
Гіпервисокі	1 – 0,1 мм	300 – 3 000 ГГц

В медицині широке розповсюдження отримало ЕП майже всіх частотних діапазонів. Наприклад, при магнітно-резонансній терапії використовуються електромагнітне поле в різних діапазонах частот, як в кГц так і в МГц діапазоні (130 – 300 МГц) [3]; для лікування гліоми використовується випромінювання частотою 100 – 300 кГц; при епілепсії проводиться стимуляція в правій лобовій

корі з використання імпульсу частотою 100 Гц, тривалістю 100 мкс протягом 100–200 с; для різних дерматологічних досліджень можуть використовуватися терагерцові хвилі частотою від 300 ГГц, оскільки випромінювання таких частот можна використовувати для створення зображень у місцях, недоступних для відповідних досліджень за допомогою звичайних методів [4].

Силову характеристикою електричного поля є напруженість електричного поля, яка дорівнює відношенню сили, з якою поле діє на точковий заряд поміщений у цю точку, до значення цього заряду і описується формулою 1.1

$$E = \frac{F}{q}, \quad 1.1$$

Де F – сила, q – електричний заряд, E – напруженість електричного поля у В/см.

1.1.2 Радіація

Радіація – це тип випромінювання, який здатний змінювати стан атомів та їх ядер, перетворюючи їх на заряджені іони та інші продукти ядерних реакцій. Різні види іонізуючого випромінювання характеризуються різними проникаючими здатностями, тому по-різному впливають на наш організм [5].

Альфа-випромінювання – іонізуюче випромінювання, яке є потоком альфа-частинок – двічі іонізованих атомів гелію, який виникає при розпаді ядер урану, радію, тощо. Мають найбільшу іонізуючу здатність і найменшу проникну здатність серед радіаційних видів випромінювання.

Бета-випромінювання – це потік бета-частинок, які являють є утвореними в процесі радіоактивного бета-розпаду ядра електронами і позитронами. Мають більшу проникну здатність ніж альфа-частинки.

Гамма-випромінювання – являє собою електромагнітне випромінювання, яке фактично є фотонами чистої енергії виникає в процесах ядерного розпаду,

					БМ-71.13.2705.1361.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

синтезу та анігіляції частинок. Мають значно більшу за альфа- та бета-частинки проникність, яка збільшується з зростанням енергії випромінювання [6].

Однією з основних характеристик радіаційного випромінювання є його проникаюча здатність. Як було сказано вище найбільшу проникну здатність має гамма-випромінювання, а найменшу – альфа-опромінення. Так, наприклад, альфа-частинку може затримати навіть листок паперу, а гамма-випромінювання може затримати лише товстий шар свинцю або бетону на рис. 1.1.

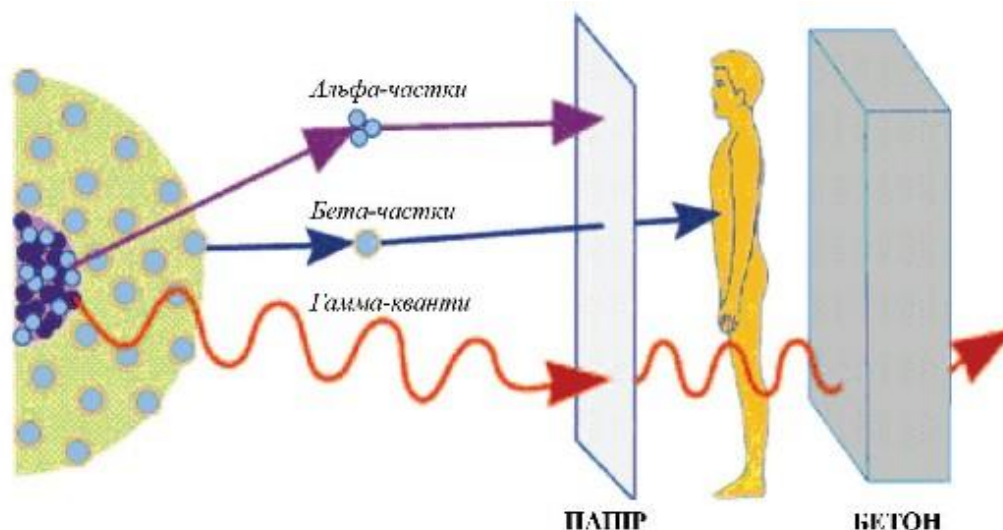


Рисунок 1.1 – Проникна здатність радіохвиль[7]

Найбільше використання в медицині отримали рентгенівські промені. Як і гамма-промені, рентген - це фотони чистої енергії, але вони, як правило, менш проникаючі через дещо нижчу енергію. Рентгенівські промені, на відмінну від гамма-променів виникають не всередині, а ззовні атому. Медично-діагностична радіологія, заснована на рентгенівських променях, є найбільшим джерелом техногенного опромінення, на яке припадає понад 40% всього випромінювання опромінення середньостатистичної людини протягом життя [8].

Променева терапії – є одним із найпоширенішим методом лікування злоякісних пухлин, при терапії використовується іонізуюче випромінювання для знищення пухлин, Може використовуватися як разом з хірургією та хіміотерапією, так і окремо. При променевій терапії використовують іонізуюче випромінювання в різних його формах: гамма- та бета-випромінювання високих енергій [9].

1.2 Вплив електричного випромінювання на організм людини

Численні дослідження в області біологічної дії ЕП визначили найбільш чутливі системи організму: нервову, імунну, ендокринну, статеву. Біологічний ефект ЕМП в умовах багаторічного впливу накопичується, внаслідок чого можливий розвиток віддалених наслідків дегенеративних процесів в центральній нервовій системі, новоутворень, гормональних захворювань. До електромагнітних полів особливо чутливі діти, вагітні, люди з порушеннями в серцево-судинній, гормональній, нервовій, імунній системах [10].

1.2.1 Вплив електричного поля на нервову систему

У модельних експериментах показана можливість впливу слабких електромагнітних полів на процеси синтезу в нервових клітинах. Отримано чіткі зміни пульсації коркових нейронів, що призводять до порушення інформації, що передається в більш складні структури мозку. Було виявлено, що під впливом електричного поля порушується передача нервових імпульсів, як наслідок виникає слабкість, втомлюваність, порушення сну, тощо. Також виявлено, що при впливі електромагнітного поля в надвисокочастотному діапазоні може розвиватися порушення короткочасної пам'яті [11].

1.2.2 Вплив електричного поля на серцево-судинну систему

Порушення діяльності цієї системи проявляються, як правило, лабільністю пульсу і артеріального тиску, схильністю до гіпотонії, болями в області серця. У крові відзначається помірним зниженням кількості лейкоцитів і еритроцитів [10].

Також було проведено дослідження, в ході якого було доведено, що при тривалому впливі навіть незначних дозах електричного опромінення, спостерігаються патологічні зміни в тканинах серця [12].

1.2.3 Вплив електричного поля на імунну та ендокринну систему

Встановлено, що при впливі ЕМП порушується імуногенез, частіше в бік пригнічення. У тваринних організмів, опромінених ЕМП, обтяжується перебіг

					БМ-71.13.2705.1361.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

інфекційного процесу. Вплив електромагнітних полів високої інтенсивності проявляється в гнітючий ефект на Т-систему клітинного імунітету. Під дією ЕМП збільшується вироблення адреналіну, активізується згортання крові, знижується активність гіпофіза [10].

1.2.4 Вплив електричного поля на імунну та ендокринну систему

Статева система жінок більш чутлива до впливу електричного поля, ніж чоловіча. ЕМП можуть викликати патології розвитку ембріона, впливаючи в різні стадії вагітності. Періодами максимальної чутливості є ранні стадії розвитку зародка, відповідні періодам імплантації і раннього органогенезу. Також встановлено, що наявність контакту жінок з електромагнітним випромінюванням може привести до передчасних пологів і знизити швидкість нормального розвитку плода. Дослідження показують, що вплив ЕМП на чоловічу репродуктивну систему може приводити до зміни кількості сперматозоїдів, їх морфології, рухливості, пошкодження ДНК, викликаючи утворення мікроядер і нестабільність генному, а також збої в, гормонах і антиоксидантних ферментах [13].

1.3 Вплив радіації на організм людини

Поглинання енергії випромінювання об'єктом, в нашому випадку організмом людини, є причиною виникнення радіаційних ефектів. Мірою поглиненої енергії, є поглинена доза опромінення, яка характеризує дію випромінювання на певне середовище, при впливові випромінювання на організм людини середовищем виступає біологічна тканина.

Зіверт - одиниця еквівалентної дози іонізуючого випромінювання в системі СІ 1 Зіверт - це кількість енергії, поглиненої кілограмом біологічної тканини, тобто такої поглиненої дози, при якій 1 Дж енергії поглинається 1 кг речовини ($1 \text{ Sv} = 1 \text{ Дж} / \text{кг}$). Міжнародне позначення – Зв [14].

Вплив радіації на людський, в великих дозах, викликає серйозні наслідки. Радіація потрапляє до організму багатьма шляхами. В процесі дихання, під час прийому їжі, разом із зараженими продуктами, через шкіру. Під час опромінення

					БМ-71.13.2705.1361.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

організм отримує дозу радіації, яка проникаючи в клітини може знищити їх, або спотворити ДНК клітини викликавши появу дефектних клітин, і як наслідок мутацій. При цьому можуть розвиватися найрізноманітніші хвороби.

Радіація може викликати як оборотні так і необоротні зміни в організмі людини, які в свою чергу поділяються на соматичні, які виникають безпосередньо у людини, яка перебувала під впливом радіації, так і генетичні – тобто у її нащадків. Ступінь впливу радіації залежить також від тривалості та порційності даного впливу. Більшість органів людини здатні перенести кілька короточасних доз радіації, так як можуть встигати відновлюватися між ними, але не здатні перенести сумарну дозу опромінення за один раз [15].

Радіоактивне випромінювання може спричиняти такі порушення: порушення згортання крові, гальмування функцій кровотворних органів, розлад кишково-шлункового тракту та виснаження організму, зниження імунітету.

При роботі з речовинами, які випромінюють, інтенсивному впливу випромінювання можуть піддатися руки, враження шкіри яких може бути гострим або хронічним.

Найнебезпечніші речовини відкладаються в життєво важливих органах та кістках, що призводить до пошкодження цих органів [16].

1.4 Індикатор електричного поля

Найпростіші індикатори поля (ІП) складаються з антени, широкосмугового підсилювача, порогового пристрою, яким може бути транзистор або діод і пристрою індикації виявленого сигналу. Робочий діапазон частот індикатора визначається пропускнуою здатністю широкосмугового підсилювача. В більшості індикаторів поля відсутні входні кола, які призначені для селекції сигналів, вони не здатні сканувати частотний діапазон і реагують тільки на появу електричних сигналів, що перевищують певне граничне значення миттєво, незалежно від частоти передачі. За останній час на ринку з'явилися селективні ІП, що працюють за принципом скануючого приймача, але з більш широкою смугою огляду. За

					БМ-71.13.2705.1361.ПЗ	Лист
						15
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

рахунок широкої смуги пропускання чутливість індикатора поля не перевищує 10 мВ, в зв'язку з чим дальність виявлення електричних полів, що перевищують граничне значення, невисока і на практиці становить одиниці метрів («ближня зона»), а також сильно залежить від робочої частоти і потужності джерела випромінювання [17].

1.5 Лічильник Гейгера

Лічильник Гейгера – це газорозрядний пристрій для автоматичного розрахунку кількості іонізуючих частинок, які потрапили в нього. Є інтегральним приладом, який дозволяє виміряти сумарну енергію іонізуючого випромінювання за певний проміжок часу.

Реєструючим пристроєм в лічильниках Гейгера-Мюллера, є герметична трубка, або контейнер іншої форми, який заповнений інертним газом, аргоном, неоном, тощо. Основними матеріалами для виготовлення контейнерів є скло і метал. Газ у балоні перебуває під низьким тиском. Це необхідно для спрощення реєстрації заряджених частинок. В контейнері розташовані анод і катод, на які за допомогою навантажувального резистору подається висока напруга [18].

Робота лічильника основана на ударній іонізації. Гама-кванти, які випромінюються радіоактивним ізотопом, при потраплянні на стінки лічильника, вибивають з нього електрони. Вибиті електрони, рухаючись в газі і контактуючи з атомами газу вибивають з атомів газу електрони, створюючи при цьому позитивно заряджені іони і вільні електрони. Електричне поле між катодом і анодом прискорює електрони до енергій, достатніх для початку ударної іонізації. При цьому виникає лавина іонів, і струм в лічильнику зростає. При цьому на навантажувальному резисторі утворюється імпульс напруги, який подається в реєструючий пристрій [19].

Такий механізм дозволяє зареєструвати лише одну частинку, але в середовищах з інтенсивним іонізуючим випромінювання, потрібне швидке

					БМ-71.13.2705.1361.ПЗ	Лист
						16
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

повернення реєстраційної камери в початкове положення, для можливості визначення нової радіоактивної частки. Цього можна досягнути двома способами. Перший полягає в тому, щоб на дуже малий проміжок часу зупинити подачу напруги на катод і анод, при цьому іонізація інертного газу різко припиняється, а повторна подача напруги, дозволяє повторити реєстрацію з початку. Такі лічильники називаються несамозгасаючі [20].

Другий тип лічильників називають самозгасаючими дозиметрами. В самозгасаючих дозиметрах в інертному газі присутні добавки, на основі галогенідів або спирту. Присутність даних добавок приводить до автоматичного погашення розряду. При цьому опір навантажувального резистора може складати до десятків МОм, що дозволяє різко зменшити різницю потенціалів між анодом і катодом, що припиняє проходження струму, і призводить до повернення трубки в початковий стан [20].

Для можливості реєстрації наступної частинки, «лавина» погашається автоматично. В момент появи імпульсу струму на навантажувальному резисторі виникає велике падіння напруги, тому напруга між анодом і катодом зменшується настільки, що розряд припиняється, і лічильник знову готовий до роботи [19].

Оскільки гамма-взаємодія з речовиною відбувається достатньо рідко, тому при потраплянні гамма-фотонів на лічильник, не всі гамма-фотони будуть зареєстровані і дадуть вторинні електрони, і частина вторинних електронів поглинається в стінках лічильника, не досягаючи обсягу газу. Тому важливою характеристикою лічильника є його ефективність. Ефективність лічильника визначається мінімальною кількістю частинок, яку здатний зареєструвати лічильник за одиницю часу, тобто його роздільною здатністю. Роздільна здатність визначається тривалістю фізичних процесів, які протікають в лічильнику, при потраплянні в нього зарядженої частинки [19].

На рис. 1.2 зображено: 1 – навантажувальний резистор, 2 – власне трубка Гейгера-Мюллера, 3 – напругу живлення, 4 – пристрій для відображення даних.

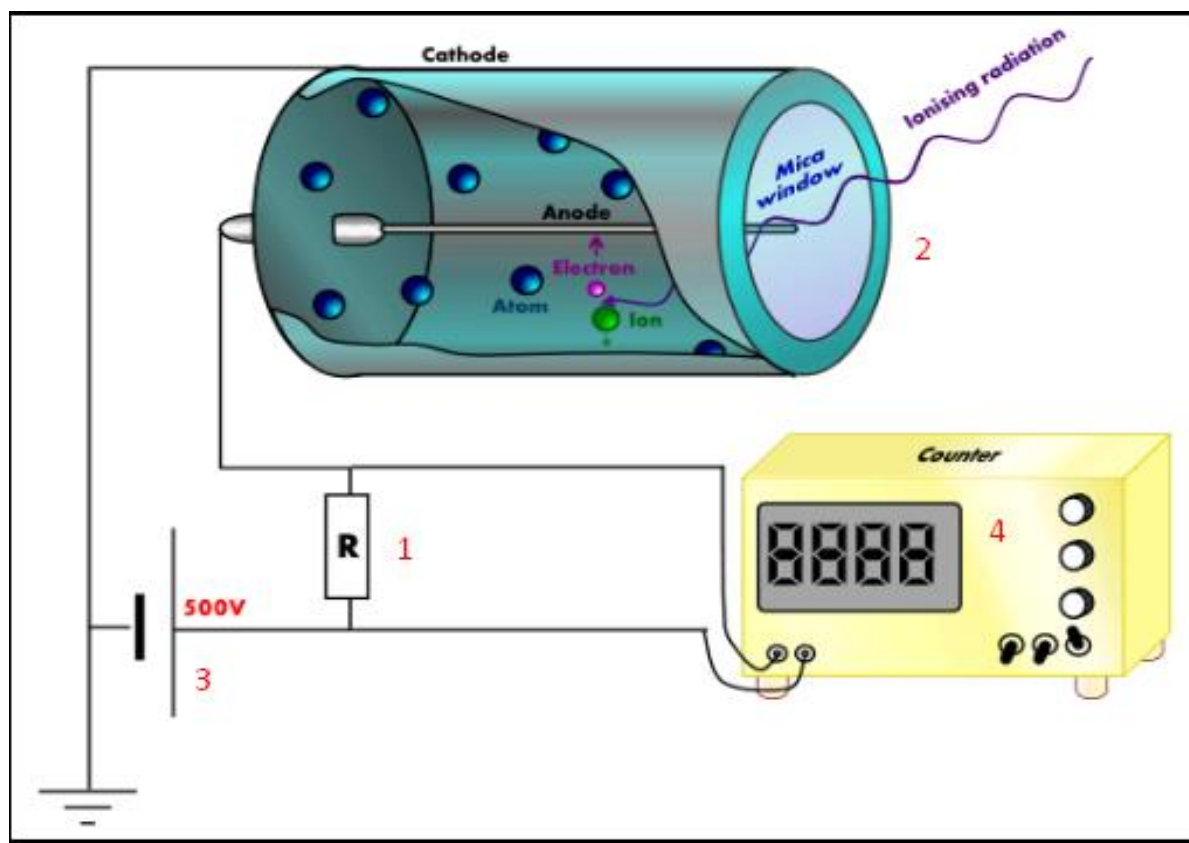


Рисунок 1.2 – Схематичне зображення будови й принципу дії лічильника Гейгера [21]

1.6 Сучасні дозиметри-радіометри та індикатори електричного поля

Дозиметр-радіометр побутовий МКС-05 є одним із найпопулярніших побутових дозиметрів в Україні та світі. Основне призначення – вимірювання еквівалентної дози по Bluetooth-каналу, тощо. Мінімальна ціна – 5000 гривень [22].

Детектор електричного випромінювання Benetech GM3120 – це один із найпоширеніших детекторів, який призначений для визначення сили електричного випромінювання. Частотний діапазон детектора від 5 Гц до 3500

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

БМ-71.13.2705.1361.ПЗ

Лист

18

МГц. Здатний вимірювати магнітне поле в його силових параметрах від 0,01 до 20мкТл, а електричне – в межах від 1 до 2000 В/м. Обладнаний рідкокристалічним дисплеєм. Мінімальна ціна – від 700 гривень [23].

Висновки до розділу 1

Було розглянуто вплив електричного поля та радіації на організм людини. Визначено, що вплив електромагнітного поля призводить до порушень короткочасної пам'яті, патологічних змін в тканинах серця, збільшення вироблення адреналіну, активізації згортання крові, зміни кількості та морфології сперматозоїдів у чоловіків та передчасних родів у жінок. Радіоактивне випромінювання, в свою чергу викликає порушення згортання крові, гальмування функцій кровотворних органів, розлад кишково-шлункового тракту та зниження імунітету. Враховуючи необхідність визначення еквівалентної дози радіоактивного випромінювання та індикації рівня напруженості електричного поля, було визначено особливості будови індикаторів електричного поля та газорозрядного лічильника Гейгера. Також було розглянуто найпоширеніші та найдешевші в Україні дозиметр та детектор ЕП. Аналізуючи дану інформацію буде здійснено вибір компонентів для реалізації приладу.

					БМ-71.13.2705.1361.ПЗ	Лист
						19
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ

2.1 Вибір програмного забезпечення

Програма Fritzing призначена для розробки електронних пристроїв від прототипу в вигляді макетної плати до кінцевого продукту у вигляді друкованої плати. Програма має значну бібліотеку з електричних елементів, яка включає в себе різні аналогові і цифрові мікросхеми, транзистори, світлодіоди, резистори, конденсатори, кнопки, макетні плати, батарейки та навіть моторчики. Основною перевагою даного середовища є наявність в бібліотеці плат Arduino, що значно спрощує проектування та макетування пристроїв, з використанням даних плат. Щоб помістити елемент на схему - їх досить вибрати зі списку і перетягнути на робоче простір лівою кнопкою мишки. Малювати схему можна як в режимі макетної плати - так і в режимі принципової схеми. При складанні електричної схеми на макетної платі - вона автоматично побудується і у вигляді принципової схеми і навпаки, необхідно буде лише з'єднати елементи схеми. Програма знаходиться у вільному доступі [24].

Arduino IDE – це програмне середовище розробки, що використовує C++ і призначена для програмування всіх плат ряду Arduino. Arduino IDE дозволяє створювати програми в зручному текстовому редакторі, компілювати їх в машинний код, і завантажувати на всі версії плати Arduino. Додаток є повністю безкоштовним, а завантажити його можна на офіційному сайті спільноти Arduino.

Інтерфейс Arduino IDE порівняно простий в освоєнні, його основою є C++ подібна мова програмування з зумовленими функціями. Для програмування Arduino використовується спрощена версія мови C++. Як і в інших Cі-подібних мовах програмування є ряд правил написання коду. Так само як і C++ мова є жорстко типізованим і компільовані.

					БМ-71.13.2705.1361.ПЗ	Лист
						20
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Також Arduino IDE має широкий спектр підтримуваних плат: Arduino UNO, Arduino Nano, ESP32, ESP8266, сімейство мікроконтролерів Attiny, тощо [25].

Висновки до розділу 2

На підставі аналізу наявних бібліотек, було прийнято рішення використовувати програму, призначену для розробки електронних пристроїв від прототипу в вигляді макетної плати до кінцевого продукту у вигляді друкованої плати Fritzing, яка використовуватиметься для створення принципових електричних схем та макетування приладу. Програмне середовище розробки Arduino IDE, для створення ПЗ для керування роботою приладу було обрано виходячи з планів реалізувати пристрій на основі плати Arduino.

					БМ-71.13.2705.1361.ПЗ	Лист
						21
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Моделювання індикатора електричного поля

В якості прототипу було обрано схему (рис. 3.1) індикатора високочастотного електричного поля, яка живиться від «крони» 9В. Основні елементи схеми – антена, і підсилюючий каскад на транзисторах, задаючий транзистор VT1 на базу якого з антени наводиться сигнал, пропорційний напруженості поля.

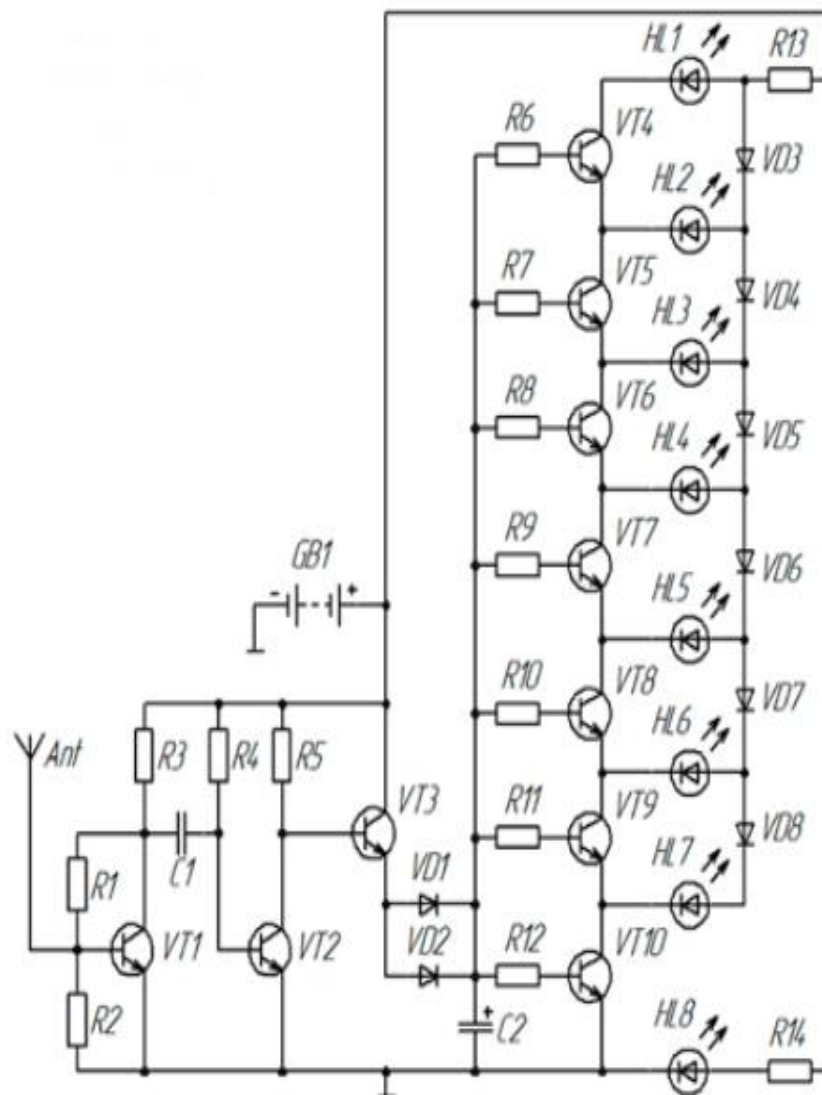


Рисунок 3.1 – Схема для індикації ВЧ-електричного поля [26]

З даної схеми на рис. 3.1 були видалені елементи R6-R13/HL1-HL7/VT4-VT10/VD3-VD8, які використовувалися для індикації рівня електричного поля, і дана система буде реалізована з використанням системи світлодіодів та мікроконтролера Arduino.

В програмному середовищі Fritzing була змодельована схема електрична принципова зображена на рис. 3.2

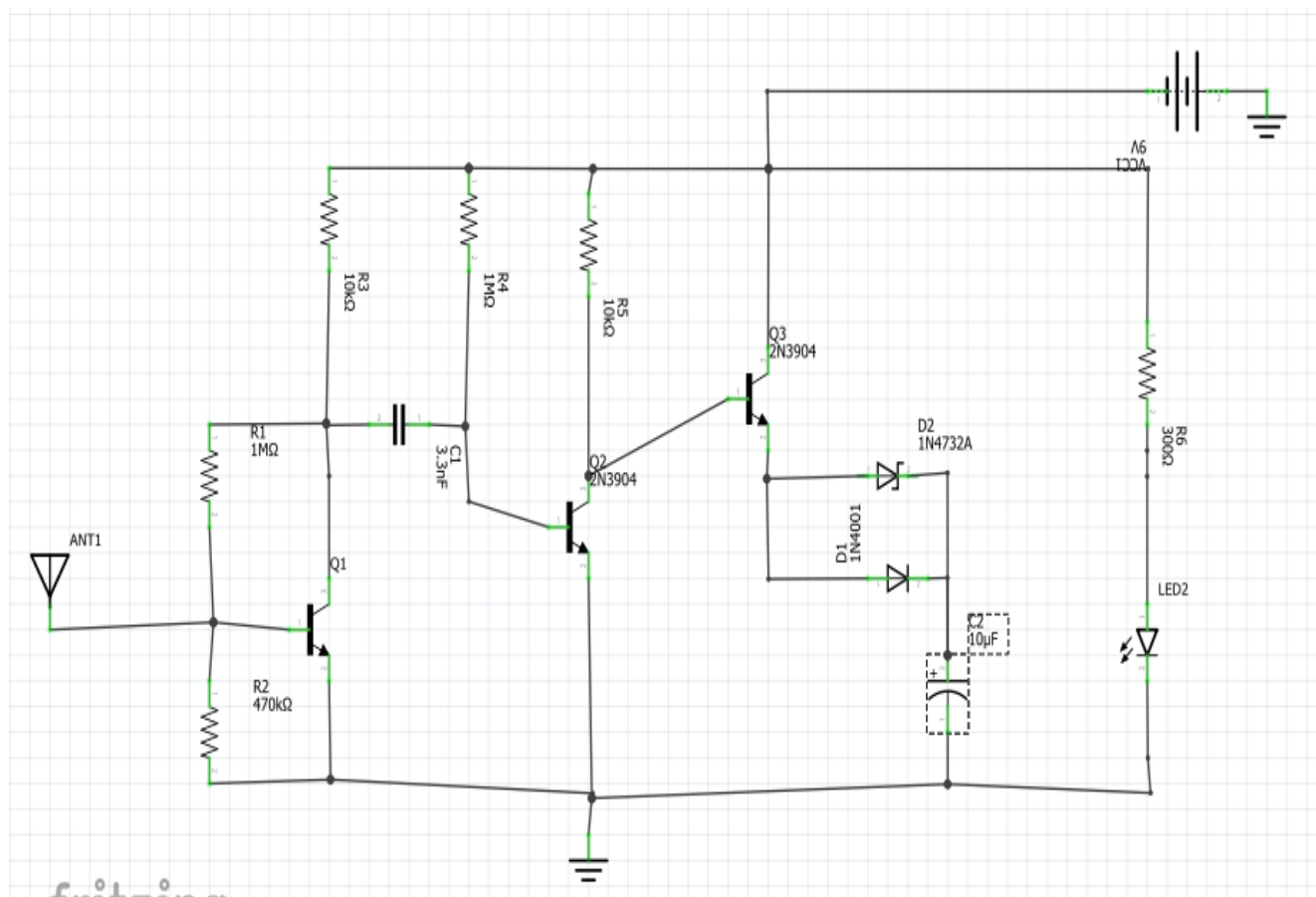


Рисунок 3.2 – Принципова схема приладу у середовищі Fritzing

В даній схемі були використані такі елементи :

1) Резистори:

R1 / R4 – 1 МОм 5% 0.25 Вт;

R2 – 470 кОм 5% 0.25 Вт;

R3 / R5 – 10 кОм 5% 0.25 Вт;

R6 – 300 Ом 5% 0.25 Вт.

2) Конденсатори:

керамічний C1 – 3,3нФ 50V;

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

БМ-71.13.2705.1361.ПЗ

Лист

23

електролітичний С2 – 10 мкФ 25V.

3) Діоди Шотки 1N5818 та випрямляючий діод 1N4001(табл. 3.1, 3.2).

Таблиця 3.1 – Характеристики діоду Шотки 1N5818

Характеристика	Значення
Максимальний робочий струм	1А
Максимальна зворотна напруга	30 В
Максимальний імпульсний струм	25 А
Максимальна напруги в прямому напрямку, 25 ° С	0,55 В
Максимальний постійний зворотний струм при номінальній замикаючій напрузі 25 ° С	1мА
Робоча температура	-65°C ... +125°C

Таблиця 3.2 – Характеристики випрямляючого діоду 1N400

Характеристика	Значення
Максимальний робочий струм	1А
Максимальна зворотна напруга	30 В

4) Транзистори біполярні: ВС 546С та 2N3904 (табл. 3.3, 3.4).

Таблиця 3.3 – Характеристики біполярного транзистора ВС 546С

Характеристика	Значення
Структура	п-р-п
Макс. напруга колектор-база	80 В
Макс. напруга колектор-емітер	65 В
Макс. напруга емітер-база	6 В
Макс. постійний струм колектора	0,1 А
Потужність розсіювання	0,625 В
Гранична частота	150 МГц
Коефіцієнт передачі току	420-800

Таблиця 3.4 – Характеристики біполярного транзистора 2N3904

Характеристика	Значення
Структура	п-р-п
Макс. напруга колектор-база	60 В
Макс. напруга колектор-емітер	40 В
Макс. постійний струм колектора	0,2 А

5) Світлодіоди 1,5 – 2,3 В

Значення розсіювання потужності резистора – 0.25 Вт в зв'язку тим, що передбачувана потужність на резисторах, буде значно менше за 0.25Вт, що пов'язано з малою напругою живлення схеми.

Після вибору елементів, в середовищі Fritzing була створена модель приладу на макетній платі, з розташованими на ній елементами зображена на рис. 3.3.

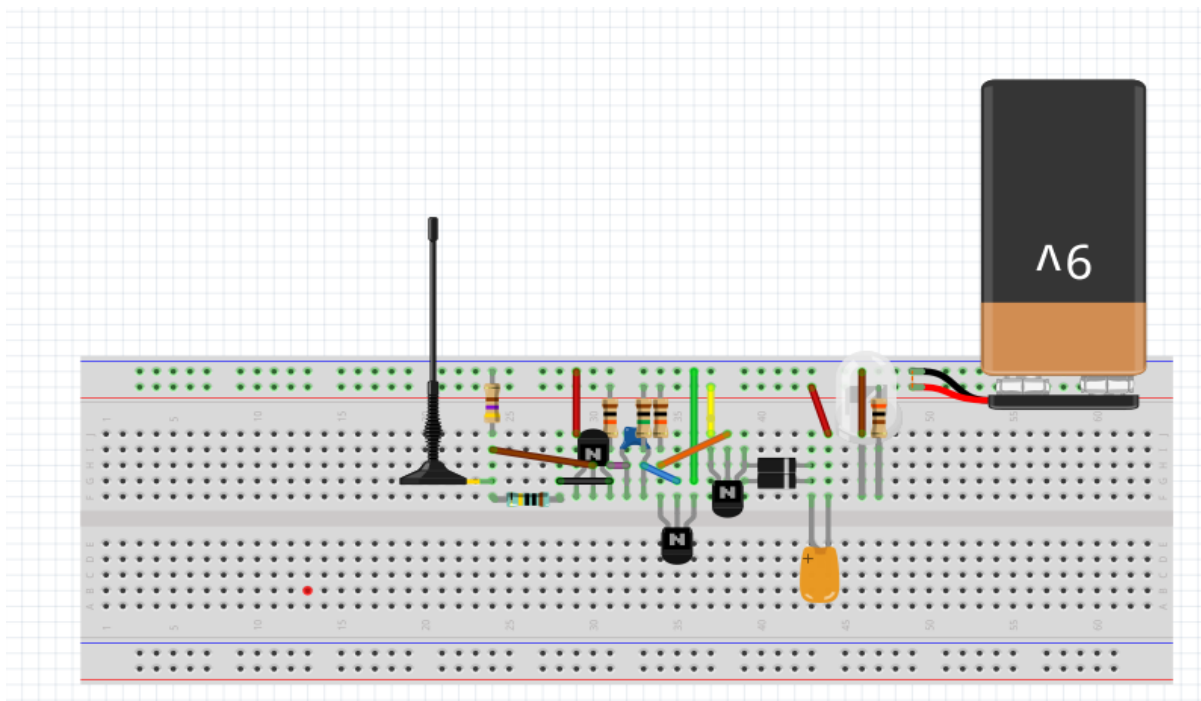


Рисунок 3.3 – Макетна плата з елементами в середовищі Fritzing

Індикація рівня напруженості електричного поля буде відбуватися таким чином: з сигнального виходу схеми на сигнал буде подаватися на мікроконтролер ArduinoUNO, на якому буде оброблятися ПЗ, яке наведене в додатку А, таким чином, що при досягненні певного рівня напруженості електричного поля, буде засвічуватися один світлодіод, який відповідатиме за свій певний діапазон напруженості поля, при напруженості електричного поля, яка не буде лежати в діапазоні напруженості певного світлодіоду, у випадку перевищення цього рівня буде засвічуватися наступний світлодіод, у випадку виходу напруженості за нижню межу значень діапазону, світлодіод буде гаснути. Було вирішено використати сім світлодіодів, які своїм катодом підключаються до цифрових виходів плати ArduinoUNO, а анодом підключені до резисторів номіналом в 300 Ом, для запобігання перегорання світлодіодів.

Принципова схема індикатора ЕП з системою світлодіодів та платою ArduinoUNO зображено на рис. 3.4, на рис. 3.5 зображено зібрану на макетній платі схему приладу та систему індикації

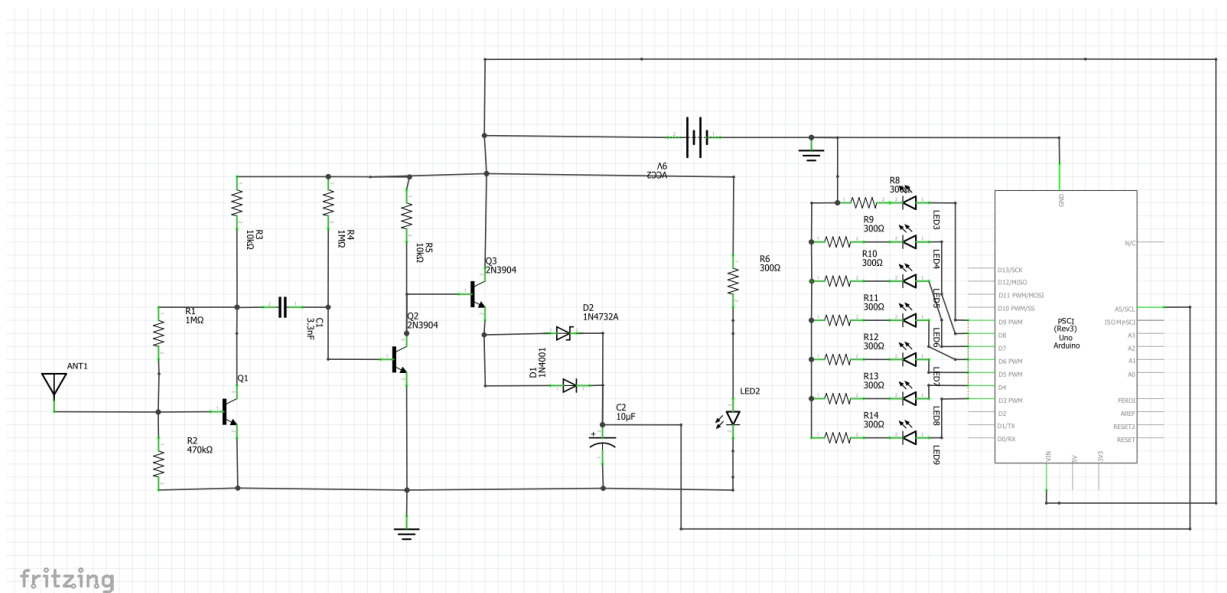


Рисунок 3.4 – Принципова схема індикатора ЕП з системою індикації у середовищі Fritzing

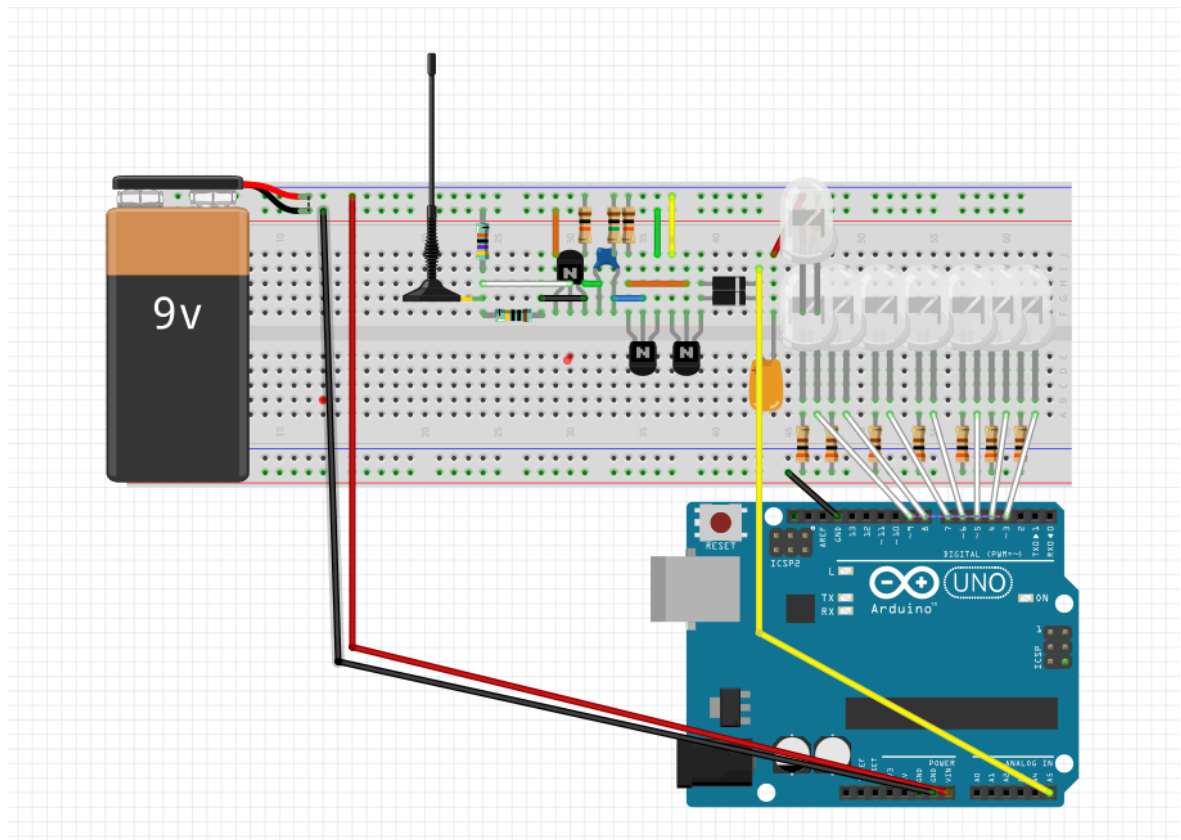


Рисунок 3.5 – Індикатор ЕП з системою індикації на макетній платі у середовищі Fritzing

Джерелом живлення для індикатора та мікроконтролера ArduinoUNO служить батареяка типу «крона» ємністю 9 вольт.

3.2 Моделювання приладу для вимірювання рівня радіації

Основними електричними елементами другої частини пристрою є:

1) Плата ArduinoUno (рис. 3.6) на основі мікроконтролера Atmega328p. Характеристики плати та мікроконтролера наведено в табл. 3.5, 3.6 відповідно.

Таблиця 3.5 – Характеристики плати ArduinoUno

Характеристика	Значення
Напруга живлення	7-12 В
Струм споживання	<100мА
Мікроконтролер	Atmega328p
Лінійні розміри	68·53·15 мм

Таблиця 3.6 – Характеристики мікроконтролера Atmega328p

Характеристика	Значення
Пам'ять програм	32кБ
Пам'ять даних	1кБ
Тактова частота	16МГц
Цифрових портів	14
Аналогових портів	6



Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд плати ArduinoUno

2) Перехідник інтерфейсу I2C (рис. 3.7) у паралельний інтерфейс. Він дозволяє використовувати лише два виводи Arduino для керування виводом інформації на екран.

Характеристики перехідника наведено в табл. 3.7

Таблиця 3.7– Характеристики перехідника інтерфейсу I2C

Характеристика	Значення
Напруга живлення	4,5-5,5В
Адреса у інтерфейсі I2C	0x27
Кількість цифрових виходів	8
Найменування мікросхеми	PCF8574
Лінійні розміри	42·28 мм



Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд перехідника інтерфейсу I2C

3) Символьний дисплей QC1602A (рис. 3.8). Він використовується для відображення інформації, що надходить з блоку вимірювання.

Характеристики дисплею наведено в табл. 3.8

Таблиця 3.8 – Характеристики дисплея QC1602A

Характеристика	Значення
Напруга живлення	4,5-5,5В
Ширина шини даних	4 або 8 біт
Наявність підсвітки	так
Колір символів	білий
Лінійні розміри	80·36 мм



Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд дисплея QC1602A

4) Детектор іонізуючого випромінювання для Arduino «Лічильник Гейгера» (рис. 3.9).

Характеристики детектор іонізуючого випромінювання наведено в табл. 3.9

Таблиця 3.9 – Характеристики детектора іонізуючого випромінювання для Arduino

Характеристика	Характеристика
Напруга живлення	5В
Струм	12мА
Трубка Гейгера-Мюллера	M4011
Колір символів	білий
Лінійні розміри	Розмір: 108·63·20 мм



Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд детектора іонізуючого випромінювання
Характеристики трубки Гейгера-Мюллера (рис. 3.10) наведено в табл. 3.10

Таблиця 3.10 – Характеристика трубки Гейгера-Мюллер M4011

Характеристика	Характеристика
Робочі температури	-40°C~55°C
Робоча напруга	380-450В
Робочий струм	0,015-0,02 мА
Кількість СРМ, яка відповідає 1 мкЗв/год	158,35

Продовження таблиці 3.10

Використовується для	γ-променів 20мР/год-120мР/год β-промені 100мР/год-~1800мР/год
Лінійні розміри	Розмір: 88·10·20 мм



Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд трубки Гейгера-Мюллера М4011

Після вибору елементів, було створено принципову схему приладу в середовищі Fritzing, та модель приладу на макетній платі. Так як детектор іонізуючого випромінювання для Arduino відсутній у середовищі Fritzing, сигнал, який отримує мікроконтролер з даного датчику було позначено як А2 та провідником ціанового кольору зображено на рис. 3.11.

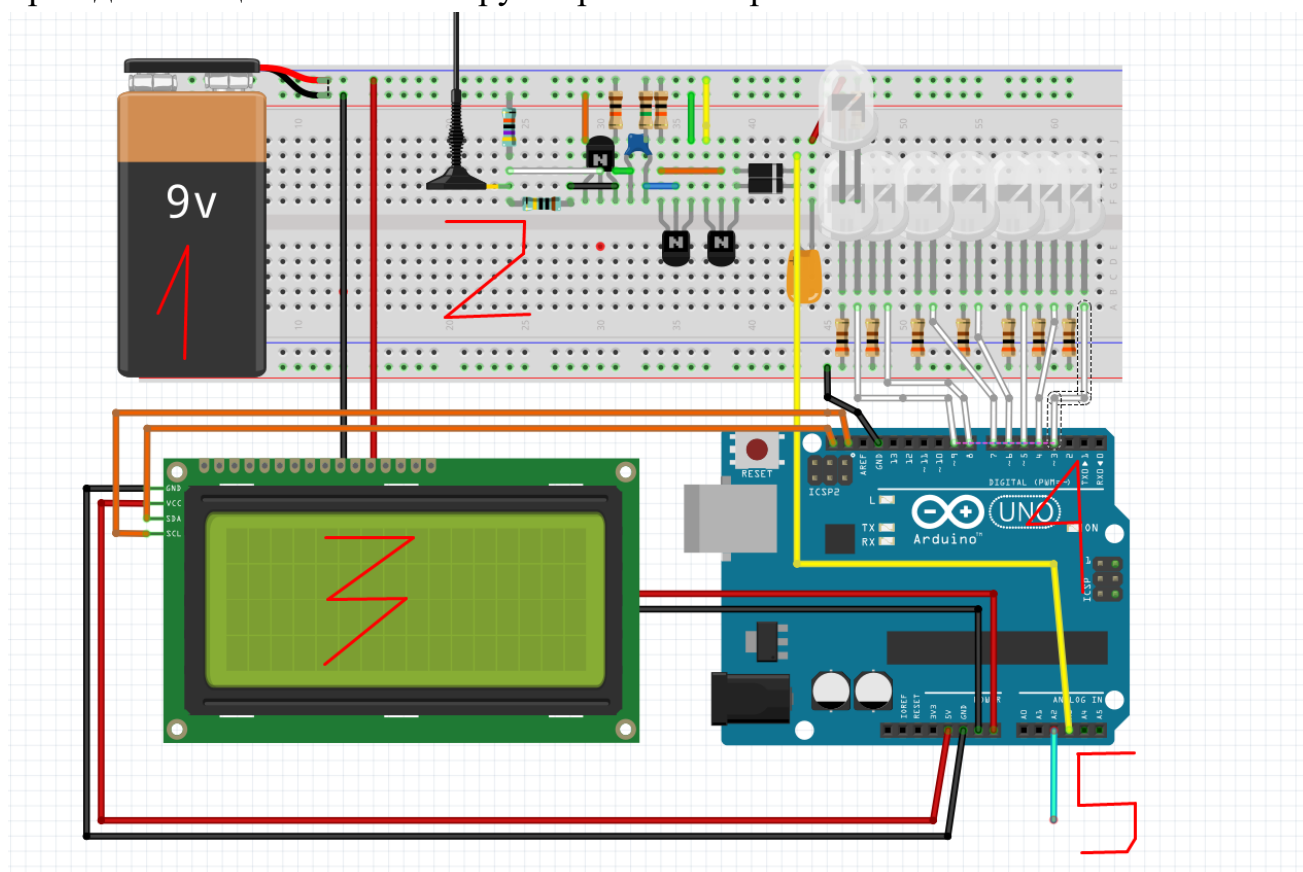


Рисунок 3.11 – Модель комбінованого приладу для вимірювання напруженості електричного поля та рівня радіації у середовищі Fritzing

На рисунку 3.11 зображено:

- 1 – джерело живлення 9 Вольт;
- 2 – індикатор ЕП з системою індикації на макетній платі;
- 3 – LCD-дисплей з I2C-перехідником, для виводу інформації про рівень радіації;
- 4 – мікроконтролер ArduinoUNO;
- 5 – провідник, який підключається до мікроконтролера і який є сигнальним виходом датчику іонізуючого випромінювання.

Загальний зовнішній вигляд приладу зображено на рис. 3.12

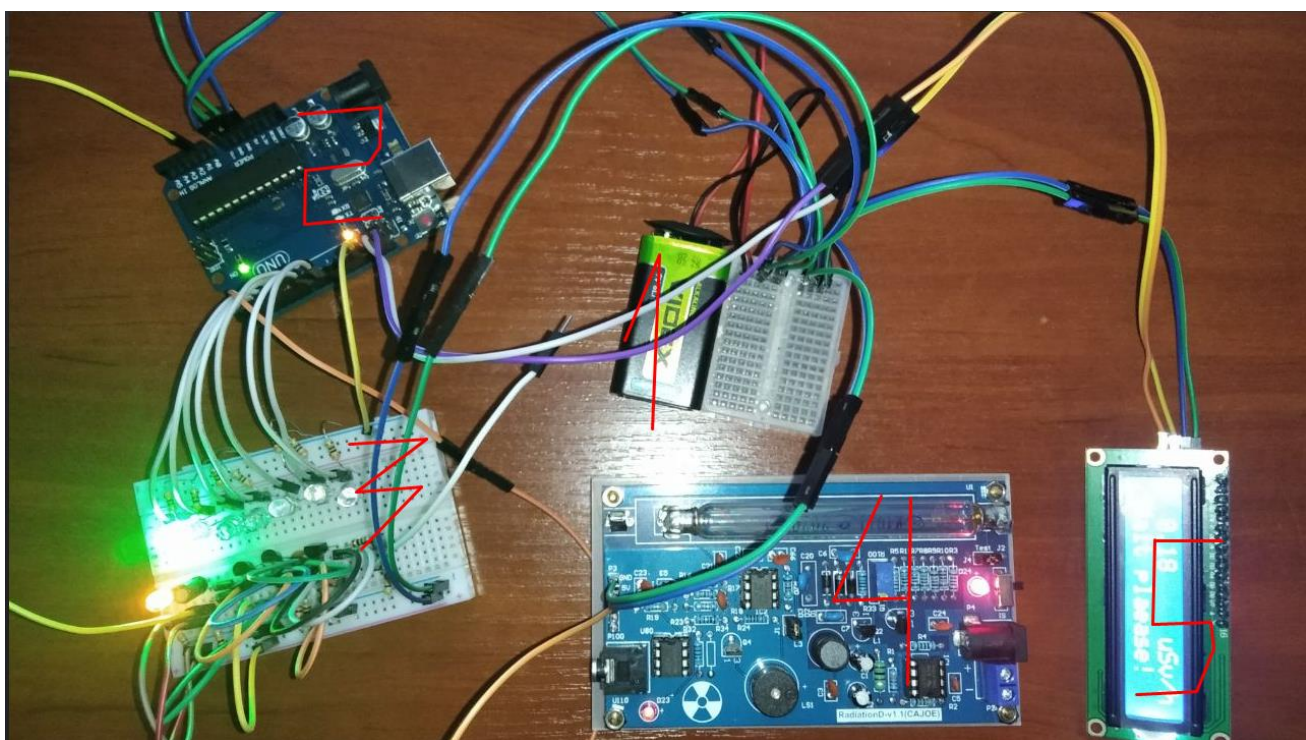


Рисунок 3.12 – Комбінований прилад для вимірювання напруженості електричного поля та рівня радіації

На рисунку 3.12 зображено:

- 1 – джерело живлення 9 Вольт;
- 2 – мікроконтролер ArduinoUNO;
- 3 – індикатор ЕП з системою індикації на макетній платі;
- 4 – Детектор іонізуючого випромінювання для Arduino «Лічильник Гейгера»;

5 – LCD-дисплей з I2C-перехідником, для виводу інформації про рівень радіації.

Для макетування індикатора ЕП було використано безпачну макетну плату на 400 отворів, також було використану безпачну плату на 170 отворів для впорядкування живлення кожного з елементів приладу.

3.3 Програмування комбінованого приладу для вимірювання напруженості електричного поля та рівня радіації

В середовищі Arduino було написано код (додаток А), який неперервно збирає події з індикатора ЕП та обраховує рівень радіації. На виході на LCD-дисплеї отримуємо значення рівня радіації за останню хвилину, та середнє значення радіації за останні 10 хвилин у мкЗв/год

На рис. 3.13 зображено повідомлення, яке бачить користувач приладу при його ввімкненні, воно пояснює нам, що в процесі роботи у верхньому рядку екрану з'явиться рівень радіації за останню хвилину, а в нижньому рядку середній рівень радіації за останні 10-хв.



Рисунок 3.13 – Інформаційне повідомлення, яке з'являється при підключенні приладу до живлення

Середнє значення, за останні 10 хвилин отримали за допомогою алгоритму «Ковзаючого середнього»: кожну хвилину на вільне місце в масиві з 10 елементів додавали значення рівня радіації за останню хвилину, як тільки отримували значення радіації за одинадцяту хвилину, видаляли перше значення з масиву і додавали в нього останнє отримане значення, відповідно після цього в масиві отримуємо значення з 2-ї по 11-ту хвилину.

Результатом роботи коду, є зображені на рис. 3.14 данні про рівень радіації.

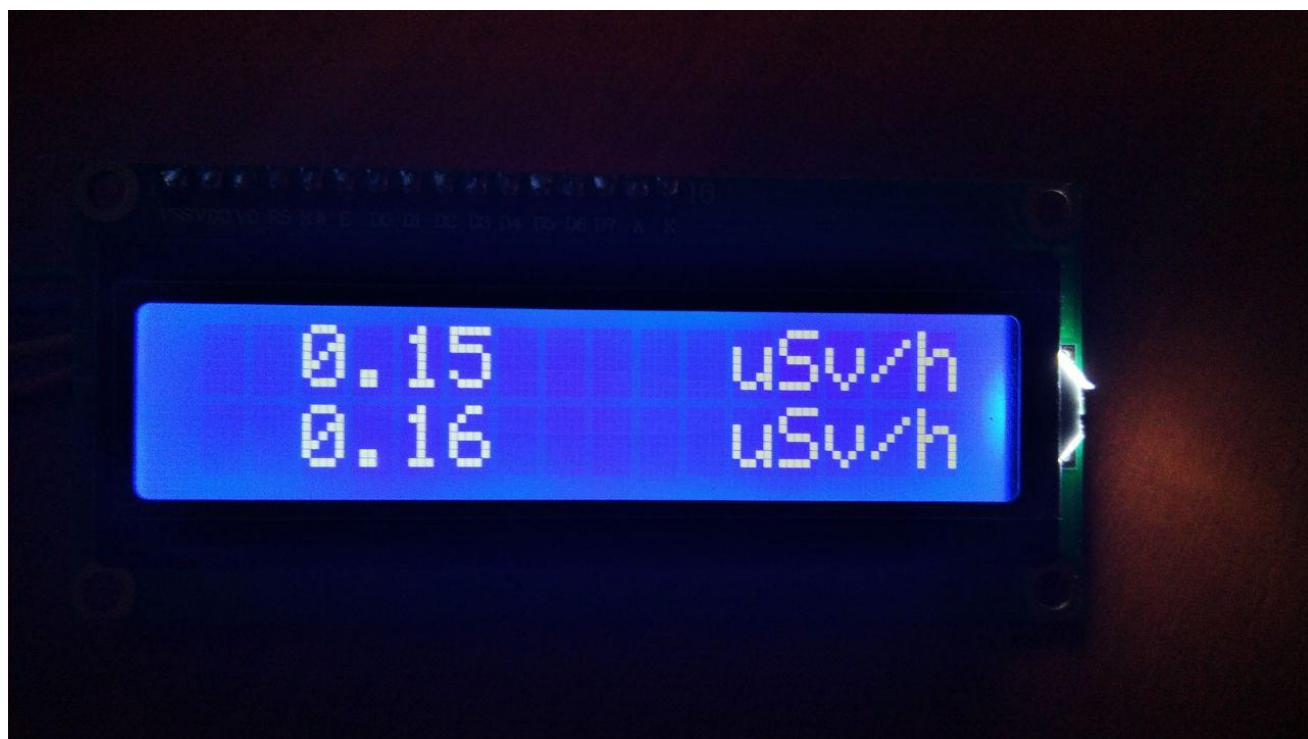


Рисунок 3.14 – Результат роботи лічильника Гейгера

Сигнал, який мікроконтролер отримує при роботі індикатора ЕП, також обробляється кодом: при досягненні сигналом рівня першого порогового значення, з цифрового виходу мікроконтролера подається сигнал, який спричиняє світіння світлодіоду, якщо значення сигналу збільшується до другого порогового значення, буде ввімкнутий відповідно другий світлодіод, при зниженні значення сигналу світлодіоди будуть гаснути в зворотному порядку. Всього було використано 7 світлодіодів: п'ять зелених, один жовтий та один червоний. Кожен із світлодіодів відповідатиме певному діапазону значень напруженості електричного поля, які будуть визначатися при калібруванні.

					БМ-71.13.2705.1361.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		33

Результатом роботи розробленого коду є відображений на екрані обрахований рівень радіації: в верхній частині дисплею відображається значення радіації за останню хвилину, а в нижній частині – середнє значення рівня радіації за останні десять хвилин (рис. 3.14); та індикація рівня напруженості електричного поля системою різнокольорових світлодіодів. Опис роботи коду зображений на блок-схемі на рис. 3.15

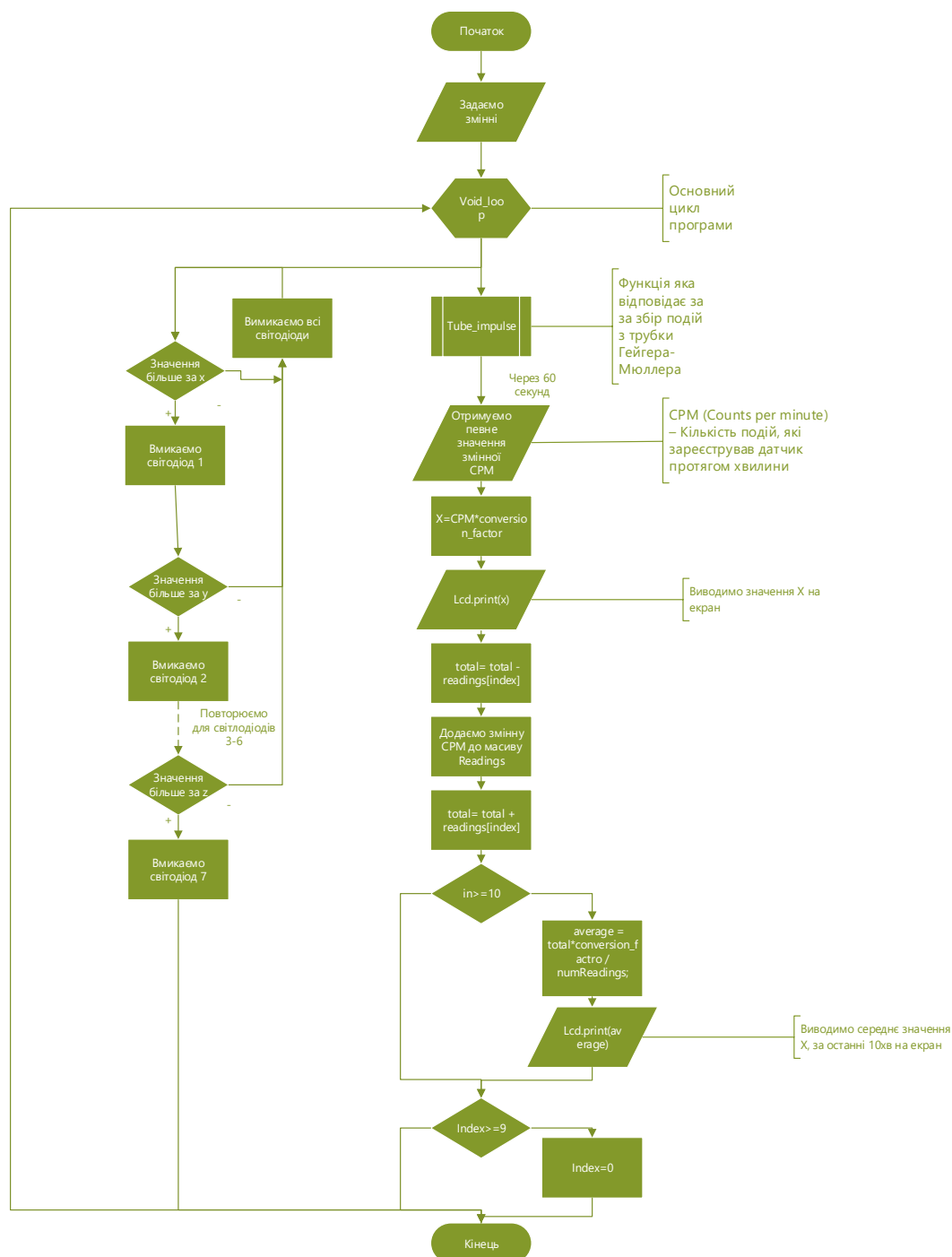


Рисунок 3.15 – Блок-схема роботи коду

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

3.4 Калібрування комбінованого приладу для вимірювання напруженості електричного поля та рівня радіації

3.4.1 Калібрування лічильника Гейгера

Для калібрування лічильника Гейгера необхідний мультиметр та виконання наступних дій:

1) Встановити потенціометр R100 (рис. 3.16) на 50 Ом при вимкненому живленні приладу



Рисунок 3.16 – Потенціометр R100 на платі детектора іонізуючого випромінювання

2) Підключити позитивний контакт трубки до штифтів (J4) за допомогою перемички.

3) Підключити мультиметровий чорний щуп до будь-якої точки землі (GND)

4) Підключити червоний щуп мультиметра до точки J2

5) Налаштувати мультиметр на діапазон 200В постійного струму

6) Підключити датчик до живлення

7) Відрегулювати напругу за допомогою R100 до 6,5 В, якщо ви використовуєте мультиметр з входним імпедансом 1 МОм, або відрегулюйте напругу 57 В, якщо ви використовуєте мультиметр з входним імпедансом 10 МОм. Використовуйте формулу: $V_{out} = V_{read} * ((60M + R_{voltmeter}) / R_{voltmeter})$
R100 - потенціометр величиною 100 Ом.

3.4.2 Калібрування індикатора ЕП

Для калібрування індикатора ЕП необхідно використовувати вже відкалібровані детектори або індикатори ЕП в нашому випадку був використаний індикатор ЕМП Benetech GM3120, який здатний вимірювати напруженість електричного поля в межах від 1 до 2000 В/м. Для того, щоб відкалібрувати пристрій було створено ПЗ (Додаток Б), яке виводить значення сигнального виходу індикатора ЕП на LCD-дисплей.

Обладнання для калібрування індикатора ЕП зображено на рисунку 3.17

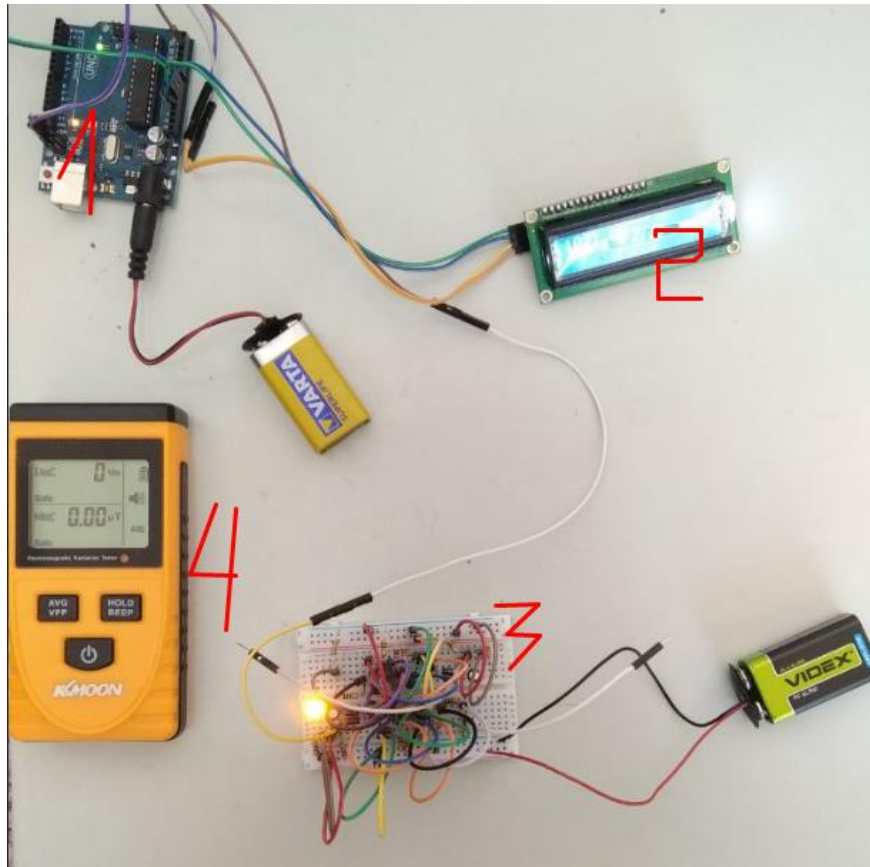


Рисунок 3.17 – Обладнання для калібрування приладу

На рисунку 3.17 зображено необхідні для калібрування індикатора ЕП елементи:

- мікроконтролер ArduinoUNO;
- LCD-дисплей;
- індикатор ЕП;
- еталонний індикатор ЕМП Benetech GM3120.

Калібрування проходить у наступні етапи:

Еталонний індикатор підноситься на певну відстань до джерела ЕП, та з нього знімаються покази рівня напруженості поля (рис. 3.18)

Індикатор поля підноситься разом з антеною підноситься на таку ж відстань, та з LCD-дисплею знімається сигнал з індикатору



Рисунок 3.18 – Зняття показів з еталонного індикатору ЕМП

Прирівнюються значення показані еталонним індикатором та сигнальні значення на дисплеї

Процедуру повторюємо стільки разів, скільки необхідно для встановлення відповідності між рівнем сигналу з індикатору на макетній платі, та певними пороговими рівнями напруженості ЕП

Записуємо порогові значення напруженості ЕП в ПЗ (Додаток А)

Висновки до розділу 3

На підставі проаналізованої літератури було обрано та модифіковано електричну схему індикатора високочастотного електричного поля. В середовищі Fritzing розроблено макетну плату для подальшої розробки макету.

На основі обраних елементів, та створеної у середовищі Fritzing принципової схеми, та моделі макету, було створено макет приладу для

вимірювання еквівалентної дози радіоактивного випромінювання та індикації рівня напруженості електричного поля.

В середовищі Arduino було створено ПЗ, для керування роботою пристрою і виведення на екран еквівалентної дози випромінювання за останню хвилину та середнього значення еквівалентної дози за останні десять хвилин.

Також був створено ПЗ для калібрування індикатора ЕП, та описано процес калібрування комбінованого приладу для вимірювання рівня радіації та рівня напруженості ЕП.

					БМ-71.13.2705.1361.ПЗ	Лист
						38
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

Даний розділ дипломного проектування виконуватиметься за планом № 1, оскільки за мету дипломної роботи було поставлено розробити та спроектувати макет приладу для вимірювання рівня радіації та напруженості електричного поля.

Метою даного розділу є виявлення та оцінка потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів що створюються конструкцією об'єкту, який проектується, та заходи їх усунення.

4.1 Характеристика приладу для вимірювання рівня радіації та напруженості електричного поля

4.1.1 Характеристики компонентів приладу

Прилад спроектований на основі мікроконтролера ArduinoUNO, детектор іонізуючого випромінювання для Arduino «Лічильник Гейгера», LCD-дисплею та індикатора напруженості електричного поля. Технічні характеристики основних та допоміжних компонентів наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристики компонентів приладу, що проектується

№	Найменування приладу та функціональних блоків	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
1.	Плата ArduinoUno	клас виробу за способом захисту – I, клас виробу за ступенем захисту – IP 30, споживана потужність: до 2,4 Вт, напруга живлення: 7...12 В, загальний струм живлення контактів мікроконтролера: менше 100 мА	1	1
2.	Детектор іонізуючого випромінювання для Arduino «Лічильник Гейгера»	клас виробу за способом захисту – I, клас виробу за ступенем захисту – IP 30, напруга живлення: 5 В, максимальний струм живлення: 12 мА	1	2
3.	Трубка Гейгера-Мюллера	напруга живлення: 380-450 В, температурний режим : -40 ...+55 °С, струм живлення: 0,015-0,02 мА	1	3

Продовження таблиці 4.1

4.	Дисплей QC1602A	клас виробу за способом захисту – I, клас виробу за ступенем захисту – IP 30, напруга живлення: 4,5-5,5 В, загальний струм живлення контактів мікроконтролера: менше 40 мА	1	4
5.	I2C перехідник	клас виробу за способом захисту – I, клас виробу за ступенем захисту – IP 30, напруга живлення: 4,5-5,5 В, загальний струм живлення контактів мікроконтролера: менше 40 мА	1	5
6.	Індикатор електричного поля	клас виробу за способом захисту – I, клас виробу за ступенем захисту – IP 30 напруга живлення: 9 В, максимальний струм: 100 мА	1	6
7.	Літій-іонна батарея	напруга на виході: 9В максимальний струм розряду: 5А	1	7

Класи використаних компонентів за способом та ступенем захисту були зазначені відповідно до ДСТУ EN 61140:2015 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання» та ДСТУ EN 60529:2018 «Ступені захисту, забезпечувані кожухами».

До проектного приладу не висувається спеціальних вимог щодо освітлення, вологості повітря, тиску та температури

4.1.2 Складові частини приладу

Схема з'єднання функціональних частин приладу наведена на рис. 4.1.

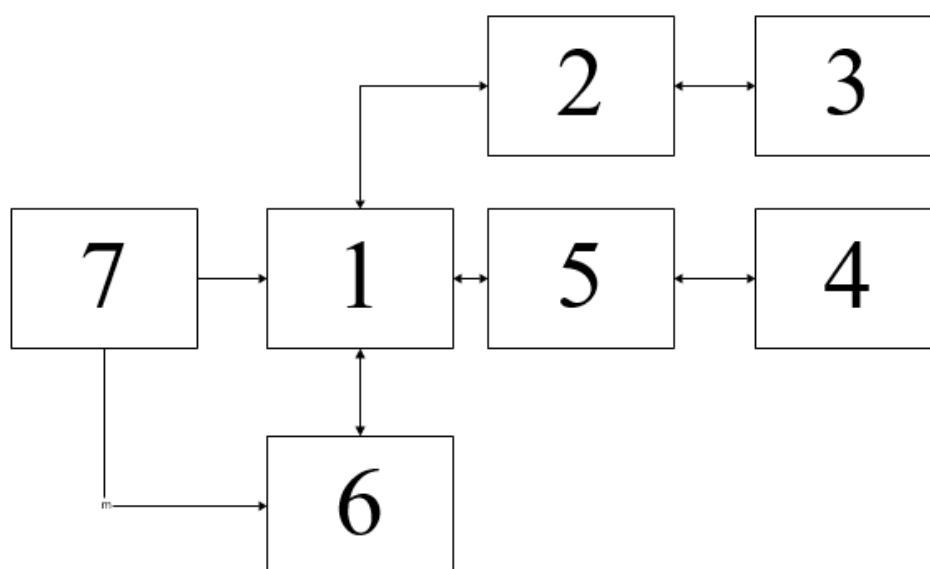


Рисунок 4.1 – Функціональна схема приладу для для вимірювання рівня радіації та напруженості електричного поля.

На рисунку 4.1 електричні функціональні зв'язки позначені суцільними стрілками. Для забезпечення роботи приладу літій-іонна батарея 7 підключається до мікроконтролера ArduinoUNO 1 та до індикатора електричного поля 6, й подає на них постійну напругу в 9В. Мікроконтролер зчитує дані з датчика рівня радіації 2, який в свою чергу реєструє іонізуючі частинки, які потрапили на трубку Гейгера 3, також мікроконтролер отримує дані з індикатора 6. Опрацьований сигнал з мікроконтролеру подається на I2C-перехідник 5, де данні конвертуються та виводяться на LCD-дисплей 4. Також мікроконтролер передає оброблений сигнал на систему світлодіодів, яка входить до складу індикатора 6.

4.1.3 Характер взаємодії об'єкту в системі «людина – об'єкт»

Засоби отримання інформації про стан роботи приладу представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Взаємодія об'єкту в системі «людина – об'єкт»

№	Найменування функціонального блока	Вид відображення інформації	Кількість
1.	Мікроконтролер ArduinoUNO	індикатор підключення живлення – світлодіод	1
2.	Детектор іонізуючого випромінювання для Arduino «Лічильник Гейгера»	індикатор підключення живлення – світлодіод	1
3.	I2C перехідник	індикатор підключення живлення – світлодіод	1
4.	Індикатор електричного поля	індикатор підключення живлення – світлодіод	1

4.2 Оцінка потенційних небезпек, що створюються конструкцією приладу який проектується, та заходи їх усунення

Для того, щоб використання даного приладу було безпечним, без шкоди для здоров'я людини, повинні бути дотримані вимоги до безпеки, які у даному випадку встановлюються для запобігання ураження електричним струмом та виникнення пожежі.

Небезпека ураження електричним струмом та виникнення пожежі є найбільш вагомими. Тому аналіз джерел та причин даних небезпек, оцінка їх наслідків є дуже важливою

4.2.1 Фізичні джерела небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Основною небезпекою іонізуючого випромінювання при роботі з системою клінічної дозиметрії полягає недостовірні покази приладу через які можливі такі наслідки як опромінення пацієнта підвищеним рівнем іонізаційної дози. У таблиці 4.3 приведено основне джерело небезпеки з причинами виходу з строю та можливими наслідками.

Таблиця 4.3 – Основні джерела фізичних небезпек

№	Найменування компонентів приладу	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Трубка Гейгера-Мюллера	Трубка Гейгера-Мюллера	неправильне з'єднання з датчиком іонізуючого випромінювання	Неправильна робота детектора та можливе перевищення іонізуючого випромінювання

У таблиці 4.4 приведені групи номенклатурних заходів з заходами для забезпечення безпеки.

Таблиця 4.4 – Заходи з забезпечення охорони праці

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні засоби	Звукова індикація	унеможливлення помилкового з'єднання складових частин приладу
2.	Організаційні заходи	інструкція з експлуатації, навчання персоналу;	Забезпечення ознайомленості з приладом;

Продовження таблиці 4.4

3.	Режимні заходи	перевірка несправностей спеціалістом	Перевірка коректності контакту трубки з датчиком
4.	Експлуатаційні заходи	перевірка на цілісність ізоляції;	забезпечення безпечної роботи з об'єктом;

4.2.2 Небезпека ураження електричним струмом

Оцінка та аналіз джерел, причин, наслідків небезпек електричного характеру 4 наведена у таблиці 4.5

Таблиця 4.5 – Оцінка небезпек електричного характеру

№	Найменування компонентів приладу	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Мікроконтролер ArduinoUNO	постійний струм	неправильне з'єднання з основним та допоміжними модулями	пошкодження доріжок плати мікроконтролера, порушення роботи модулів
			пошкодження ізоляції електричних з'єднань	Тепловий опік ураження електричним струмом
2.	Детектор іонізуючого випромінювання для Arduino «Лічильник Гейгера»	постійний струм	неправильне з'єднання	пошкодження доріжок плати Тепловий опік
			пошкодження ізоляції електричних з'єднань	ураження електричним струмом
3.	Трубка Гейгера-Мюллера	постійний струм	неправильне з'єднання з датчиком іонізуючого випромінювання	ураження електричним струмом
4.	Індикатор електричного поля	постійний струм	пошкодження ізоляції електричних з'єднань	ураження електричним струмом
5.	Літій-йонний акумулятор	Пошкодження захисної оболонки	Механічна деформація.	ураження електричним струмом

Реальні та нормативні значення небезпечних факторів електричного характеру порівняні в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Реальні та нормативні фактори електричної небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Максимальна сила струму	200 мА	10 мА
2.	Пошкодження захисної оболочки	Можливе	Не допускається

Нормативне значення постійного струму, що не перевищує больовий поріг для людини було визначено згідно ДСТУ EN 61140:2015 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання», а нормативне значення підвищеної напруги для мікроконтролера згідно технічної документації мікроконтролера ArduinoUNO.

Невідповідність реальних значень нормативним вимагає створення технічних, організаційних, режимних та експлуатаційних заходів із охорони праці – таблиця 4.7.

Таблиця 4.7 – Заходи із забезпечення охорони праці щодо електробезпеки

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні засоби для блоків підсилення та акумулятора	кольорове маркування дротів, що з'єднують мікроконтролер з основним та допоміжними модулями	унеможливлення помилкового з'єднання складових частин приладу
		підбір електричних елементів за напругою	унеможливлення перенагріву елементів та їх виходу з ладу
		недопущення механічних ушкоджень та потрапляння води	унеможливлення порушення роботи приладу, захист від ураження електричним струмом
2.	Організаційні заходи	інструкція з експлуатації, навчання персоналу;	Забезпечення ознайомленості з приладом;
3.	Режимні заходи	перевірка несправностей спеціалістом	уникнення контакту з елементами під напругою;
4.	Експлуатаційні заходи	перевірка на цілісність ізоляції;	забезпечення безпечної роботи з об'єктом;

Описані в таблиці 4.7 заходи суттєво підвищують електричну безпечність приладу при його використанні для користувача, та забезпечують захист компонентів приладу від виходу з ладу окремих його складових.

4.2.3 Небезпека займання

Розглядання у якості вагової небезпеки можливості виникнення займання, зумовлене можливим тривалим перегріванням деталей унаслідок помилок проектування при з'єднанні складових частин приладу, перегріванням струмопровідних частин при виникненні короткого замикання у випадку порушення роботи блоку живлення. У таблиці 1.6 наведений аналіз можливостей виникнення небезпеки загоряння.

Таблиця 4.8 – Основні небезпеки, пов'язані з виникненням пожежі

№	Найменування компонентів приладу	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Мікроконтролер ArduinoUNO	електричні іскри	підвищена температура складових частин мікросхеми, зокрема мікропроцесора	загоряння приладу та виникнення пожежі
			перегрівання електричних з'єднань з основним та допоміжними модулями, що пошкоджує ізоляцію	
2.	Детектор іонізуючого випромінювання для Arduino «Лічильник Гейгера»	електричні іскри	підвищена температура складових частин мікросхеми плати	загоряння приладу та виникнення пожежі
			перегрівання електричних з'єднань	
3.	Індикатор електричного поля	електричні іскри	підвищена температура складових частин схеми	загоряння приладу та виникнення пожежі
4.	Літій-йонний акумулятор	струм короткого замикання	порушення в роботі блоку живлення	загоряння приладу та виникнення пожежі
		попадання електроліту на компоненти приладу	порушення умов експлуатації	

Реальні та нормативні значення небезпечних факторів, які спричиняють загоряння представлені у таблиці 4.9

Таблиця 4.9 – Реальні та нормативні фактори пожежної безпеки

№	Фактор безпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Електричні іскри	наявні	відсутні
2.	Струм короткого замикання	наявні	відсутні
3.	Витікання електроліту з акумуляторних батарей	наявні	відсутні

Невідповідність реальних значень нормативним вимагає створення технічних, організаційних, експлуатаційних заходів із охорони праці

Таблиця 4.10 – Заходи із забезпечення охорони праці щодо пожежної безпеки

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні засоби для блоків підсилення та акумулятора	застосування літій-йонних акумуляторів з контролером захисту	захист від короткого замикання, внаслідок підключення неправильно полярністю
			контроль робочої температури, що унеможливило перегрів та пошкодження ізоляції
		вибір перерізу дротів з'єднання відповідно до потужності, що передається, по допустимому падінню напруги і щільності струму	збільшення коефіцієнту передачі потужності та уникнення перегрівання з'єднань між компонентами приладу
		наявність запобіжника, що зупиняє подачу напруги живлення на мікроконтролер та інші складові частини приладу	запобігання перегріву, інформування про необхідність звернутися за технічним обслуговуванням
2.	Організаційні заходи	інструкція з експлуатації, навчання персоналу;	навчання з питань пожежної безпеки при експлуатації приладу

Продовження таблиці 4.10

3.	Експлуатаційні заходи	належний технічний огляд перед наступним використанням приладу, у разі спрацювання запобіжника	своєчасне виявлення дефектів, які можуть призвести до загорання приладу та ураження електричним струмом
----	-----------------------	--	---

Обрані заходи з охорони праці забезпечують умови для безпечного використання приладу в цілому та мінімізують ймовірність виникнення горіння складових приладу, що відноситься до класу Д.

4.3 Розробка «Інструкції по техніці безпеки при експлуатації приладу для вимірювання рівня радіації та рівня напруженості електричного поля»

1. Загальні положення, що стосуються прав і обов'язків обслуговуючого персоналу щодо дотримання вимог техніки безпеки:

- калібрування приладу, налаштування взаємодії між складовими частинами приладу може здійснюватися лише представником компанії-розробника, медичним інженером;

- тестування приладу може проводитися лише після інструктажу з експлуатації приладу та навчання з питань електробезпеки та пожежної безпеки.

2. Технологічні вимоги щодо дотримання заходів безпеки перед початком роботи, під час роботи і після закінчення роботи та в умовах надзвичайних ситуацій:

- для безпечного користування приладом користувач має перевірити зовнішній вигляд приладу та блок живлення на відсутність механічних пошкоджень;

- у разі виявлення порушень роботи приладу, а саме неспрацювання відсутності індикації рівня напруженості поля або рівня радіації, а також спрацювання запобіжника необхідно призупинити роботу приладу та звернутися за технічним обслуговуванням;

- після закінчення роботи прилад має бути вимкнений та покладений у безпечне місце.

3. Особливості обслуговування приладу для вимірювання рівня радіації та рівня напруженості електричного поля, безпечні режими роботи:

- під час транспортування прилад має бути розміщений в упаковці, яка забезпечує максимальний захист від різких ударів та поштовхів;
- технічне обслуговування приладу має відбуватися у випадку порушення його функціонування;
- під час обслуговування й подальшого застосування приладу мають бути дотримані усі правила безпеки, зазначені у цьому розділі.

Висновки до розділу 4

В даному розділі було розглянуто потенційно небезпечні фактори, які створюються розробленою конструкцією приладу для вимірювання рівня радіації та рівня напруженості електричного поля, та шляхи їх усунення. Найбільш вагомими небезпеками є електронебезпека та небезпека займання. Відповідно до цього були розроблені технічні, організаційні, режимні та експлуатаційні заходи, які суттєво підвищують електричну та пожежну безпечність приладу. Також результатом оцінки потенційних небезпек було розроблення інструкції з техніки безпеки при експлуатації даного приладу.

ВИСНОВКИ

Розглянуто вплив ЕП та радіації на організм людини, основні принципи побудови індикаторів електромагнітного поля та газорозрядного лічильника Гейгера, а також найпоширеніші та найдешевші в Україні дозиметр та детектор ЕМП для подальшої розробки приладу.

Для виконання поставлених задач було обрано середовище Fritzing, яке використовувалось для створення принципових електричних схем та макетування. ПЗ для мікроконтролера ArduinoUno створювалось в середовищі Arduino IDE.

В середовищі Fritzing була змодельована принципова електрична схему приладу, та його модель на макетній платі.

Обрано компоненти для створення макету комбінованого приладу для індикації рівня напруженості електромагнітного поля та рівня радіації, на основі яких зібрано його макет. Створено інструкцію для калібрування.

Результатом роботи створеного ПЗ є відображений на LCD-дисплеї рівень радіації за останню хвилину, середнє значення рівня радіації за останні 10 хв, та послідовне ввімкнення світлодіодів при збільшені рівня напруженості ЕП, та, відповідно, їх послідовне вимкнення при зменшені рівня напруженості ЕП.

Для спроектованої приладу досліджені питання безпеки експлуатації та сформульовані правила безпечного користування приладом, що максимізують безпечність експлуатації системи.

					БМ-71.13.2705.1361.ПЗ	Лист
						49
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ионизирующее излучение, последствия для здоровья и защитные меры [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>.
2. Рубцова Н. Б. Электромагнитные поля физиотерапевтического оборудования как источник потенциальной опасности для медицинского персонала / Н. Б. Рубцова, Д. В. Марков. // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. – 2012. – №4. – С. 48–54.
3. Зубков М. А. МР-томография в сверхвысоком поле: новые задачи и новые возможности / М. А. Зубков. // УФН. – 2019. – №12. – С. 1293–1314.
4. Mats-Olof M. Emerging medical applications based on non-ionizing electromagnetic fields from 0 Hz to 10 THz / Mattsson Mats-Olof. // Medical Devices: Evidence and Research. – 2019. – №12. – С. 347–368.
5. Що таке радіація [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://ecotest.ua/press/blog/what-is-radiation> (дата звернення 02.06.2020)
6. Ажеганов А. С. Атомная и ядерная физика: общий физический практикум / А. С. Ажеганов. – Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2020. – 112 с.
7. Денисевич К. Б. Енергетика історія сучасність і майбутнє / К. Б. Денисевич. – Київ: Бібліогр, 2013. – 301 с. – (Книга 5. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі).
8. Donya M. Radiation in medicine: Origins, risks and aspirations / Donya. // Global Cardiology Science and Practice. – 2014. – №4.
9. Лечение рака: лучевая терапия [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.iaea.org/ru/temy/lechenie-raka-luchevaya-terapiya> (дата звернення 02.06.2020).

					БМ-71.13.2705.1361.ПЗ	Лист
						50
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Влияние электромагнитных полей на здоровье человека и способы защиты от их вредного воздействия [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://13.rospotrebnadzor.ru/center/services/zdorov_obraz/135871 (дата звернення 02.06.2020).

11. Влияние электромагнитного излучения на живые организмы [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа до ресурсу: https://doza.net.ua/pages/ru_ref_emf.htm (дата звернення 02.06.2020).

12. Султанова З. И. Электромагнитное излучение и его действия на ткани сердечно-сосудистой системы (в эксперименте) / З. И. Султанова, Ы. А. Аннаоразов. // Вестник КазНМУ. – 2017. – №4. – С. 61–63.

13. Богомазова Е. К. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА / Е. К. Богомазова, И. М. Молчанова. // Экология и здоровье. – 2019. – С. 74–78.

14. Шевченко Є. Особливості взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною / Є. Шевченко, В. Балицька. // Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності. – 2016.

15. ВПЛИВ РАДІАЦІЇ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ. // Чорнобиль: катастрофа та уроки на майбутнє. – 2016. – С. 152–159.

16. Воздействие радиоактивных излучений на организм человека. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://delta-grup.ru/bibliot/97/74.htm>

17. Еще раз об индикаторах электромагнитного поля [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <https://detsys.ru/article/indikatorpolya> (дата звернення 02.06.2020).

18. Evolution of Ionizing Radiation Research – Japan: National Institute of Radiological Sciences, 2015. – С. 135 - 159.

19. Що таке дозиметр, радіометр? [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: http://doza.net.ua/pages/ua_ref_dozim_descr.htm (дата звернення 02.06.2020).

20. Сніжний В.Л., Міщенко В.Г., Меньйло В.І., Лякішев В.Ю. Фізика ядра та елементарних частинок: Практикум для студентів фізичного факультету. – Запоріжжя: ЗНУ, 2011. – 111 с.

21. An evaluation of the natural radioactivity in the soils of Okahandja and Karibib, Namibia [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.semanticscholar.org/paper/An-evaluation-of-the-natural-radioactivity-in-the-Midzi/580d242a20d577472c08711f2adf0d1c79b54f1b> (дата звернення 02.06.2020).

22. ТЕРРА-П Дозиметр-радіометр побутовий МКС-05 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://ecotest.ua/products/terra-p-dozymetr-radiometr-pobutovyy-mks-05> (дата звернення 02.06.2020).

23. Детектор електромагнітного випромінювання Benetech GM3120 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://electronoff.ua/academy/post/detektor-elektromagnitnogo-izlucheniya-benetech-gm3120-eto-vasha-bezopasnost.php> (дата звернення 02.06.2020).

24. Fritzing electronics made easy [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://fritzing.org/> (дата звернення 02.06.2020).

25. What is Arduino? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. (дата звернення 02.06.2020)

26. Індикатор ВЧ поля [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://cxem.net/indicator/indicator19.php>. (дата звернення 02.06.2020)

27. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://drive.google.com/drive/u/1/folders/11VrRfGudRb8cQKeuaU5Pd-mMo6B5ef2P> (дата звернення 02.06.2020).

ДОДАТОК А

Код для обрахунку і виводу значення рівня радіації на екран, та регулювання роботи системи світлодіодів

```
#define LOG_PERIOD 60000
#define MAX_PERIOD 60000 #define IN1 A3
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <LiquidCrystal_PCF8574.h>
LiquidCrystal_PCF8574 lcd(0x27);
unsigned long counts;
unsigned long cpm;
unsigned int multiplier;
unsigned long previousMillis;
double conversion_factro=0.00650195058;
double X;
const int numReadings = 10;
int readings[numReadings];
int index = 0;
int total = 0;
double average = 0;
int in = 0;

byte i;
byte LedMin = 3;
byte LedMax = 10;
int res;
int val;
```

					БМ-71.13.2705.1361.ПЗ	Лист
						53
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void tube_impulse(){
    counts++;
}

void setup(){
    counts = 0;//задаємо події трубки та сrm на 0
    cpm = 0;
    multiplier = MAX_PERIOD / LOG_PERIOD;
    for(i=LedMin; i<=LedMax; i++) { pinMode(i, OUTPUT);
        Serial.begin(9600);
        pinMode(IN1, INPUT);}
    Serial.begin(9600);
    for (int thisReading = 0; thisReading < numReadings; thisReading++)
        readings[thisReading] = 0;
    pinMode(IN1, INPUT);
    attachInterrupt(0, tube_impulse, FALLING);
    lcd.begin(16, 2);
    lcd.setBacklight(220);
    lcd.clear();
    lcd.print("");
    lcd.setCursor(1, 1);
    lcd.print("10min avg");
    lcd.setCursor(1, 0);
    lcd.print("1min");
    delay(59500);
    lcd.clear();
}

void loop(){

```

```

val = Serial.read();
Serial.println("Start:");
res = analogRead(IN1);
Serial.println(res);

unsigned long currentMillis = millis();
if (res<1000){
    for(i=LedMin; i<=3; i++) {
        digitalWrite(i, HIGH);
        if (res<900){
            for(i=LedMin; i<=4; i++) {
                digitalWrite(i, HIGH);}
            }
        else {
            digitalWrite(i=4, LOW);
            delay(10);
        }
        if (res<800){
            for(i=LedMin; i<=5; i++) {
                digitalWrite(i, HIGH);}
            }
        else {
            digitalWrite(i=5, LOW);
            delay(10);
        }
        if (res<700){
            for(i=LedMin; i<=6; i++) {
                digitalWrite(i, HIGH);}
            }
        }
    }
}

```

```

else {
digitalWrite(i=6, LOW);
delay(10);
}
if (res<600){
for(i=LedMin; i<=7; i++) {
digitalWrite(i, HIGH);}
}
else {
digitalWrite(i=7, LOW);
delay(10);
}
if (res<500){
for(i=LedMin; i<=8; i++) {
digitalWrite(i, HIGH);}
}
else {
digitalWrite(i=8, LOW);
delay(10);
}
if (res<400){
for(i=LedMin; i<=9; i++) {
digitalWrite(i, HIGH);}
}
else {
digitalWrite(i=9, LOW);
delay(10);
}
if (res<300){

```

					БМ-71.13.2705.1361.ПЗ	Лист
						56
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

```

    for(i=LedMin; i<=10; i++) {
        digitalWrite(i, HIGH);}
    }
    else {
        digitalWrite(i=10, LOW);
        delay(10);
    }
}
}
else {
    digitalWrite(i=3, LOW);
    delay(10);
}
if(currentMillis - previousMillis > LOG_PERIOD){
    previousMillis = currentMillis;
    cpm = counts * multiplier;
    X=cpm * conversion_factro;
    Serial.print("in=");
    Serial.print(in);
    Serial.print("x=");
    Serial.print(X);
    Serial.print(" ");
    lcd.setCursor(11, 0);
    lcd.print("uSv/h");
    lcd.setCursor(2, 0);
    lcd.print(X);
    total= total - readings[index];
    Serial.println("index: ");
    Serial.println(index);

```

```

Serial.println("total: ");
Serial.println(total);
readings[index] = cpm;
Serial.println("readings: ");
Serial.println(readings[index]);
total= total + readings[index];
index = index + 1;
in=in+1;
if (index >= numReadings)
index = 0;
if (in >= 10){
average = total*conversion_factro / numReadings;
Serial.println("average: ");
Serial.println(average);
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print("uSv/h");
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print(average);}
counts = 0;
cpm=0;
}
}

```

ДОДАТОК Б

Код для калібрування індикатору ЕП

```
#define IN1 A4

double res;

int val;

int key;

int resmm;

#include <Wire.h>

#include <SPI.h>

#include <LiquidCrystal_PCF8574.h>

LiquidCrystal_PCF8574 lcd(0x27);

void setup() {

    lcd.begin(16, 2);

    lcd.setBacklight(220);

    lcd.clear();

    Serial.begin(9600);

    pinMode(IN1, INPUT);}

void loop() {

    Serial.println("Start:");

    res = analogRead(IN1);

    Serial.println(res);

    lcd.print(res);

    delay(200);

    lcd.clear();

}
```

					БМ-71.13.2705.1361.ПЗ	Лист
						59
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		