

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем

(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Цифровий детектор іонізаційного випромінювання

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи РАС-41  
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

	<hr/>	Качанюк А.В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	<hr/>	Дедів І.Ю.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<hr/>	Марценюк А.С.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<hr/>	Дунець В.Л.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	<hr/>	Дозорський В.Г.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«27» травня 2022 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Качанюку Анатолію Васильовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Цифровий детектор іонізаційного випромінювання

Керівник роботи Дедів Ірина Юріївна, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 27 » 05 2022 року № 4/7-445

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21.06.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи Діапазон реєстрованого гамма-випромінювання – 0,004-40 мкр/год;  
Час вимірювання – 10 с; Вихід на робочий режим – 30 с; Напруга живлення – 3 В;

Максимальний струм споживання – 50 мА

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз технічного завдання;

2. Розробка схеми структурної цифрового детектора;

3. Проектування схеми електричної принципової;

4. Вибір і обґрунтування компонентної бази;

5. Розробка компоновки та монтажу цифрового детектора.

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

1. Структурна схема;

2. Схема електрична принципова;

3. Друкована плата;

4. Друкований вузол;



## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Цифровий детектор іонізаційного випромінювання». Кваліфікаційна робота бакалавра// ТНТУ імені Івана Пулюя, ФПТ, група РАС-41. // Тернопіль, 2022р. //с.-51, рис.-23, табл.-2, бібліог.-14, додат.-3.

Ключові слова: ІОНІЗАЦІЯ, ДЕТЕКТОР, ВИПРОМІНЮВАННЯ.

Роботу присв'ячено побудові цифрового детектора іонізаційного випромінювання. Розглянуть суть іонізаційного випромінювання, способи його впливу та дії на живі організми, актуальність детектування такого випромінювання, методи та засоби для виявлення наявності такого випромінювання. Проаналізовано принцип роботи іонізаційних камер і лічильників та їхні типи. Використано лічильник Гейгера. Побудовано схеми структурну, функціональну та електричну. Вибрано електрорадіоелементи. Розроблено креслення друкованої плати та кінцевого вузла детектора. Технічні вимоги до джерела живлення: діапазон реєстрованого гамма-випромінювання 0,004-40 мкр/год ; час вимірювання до 10 с; вихід на робочий режим до 30 с; напруга живлення 3 В; максимальний струм споживання, 50 мА.

## SUMMARY

Theme of qualification work: "Digital ionization radiation detector".  
Qualifying work of a bachelor // TNTU, FPT, group RAs-41. // Ternopil, 2021 //p.-51, fig.-23, table-2, bibliog.-14, appendix-3.

Key words: IONIZATION, DETECTOR, RADIATION.

The work is devoted to the construction of a digital ionizing radiation detector. The essence of ionizing radiation, ways of its influence and action on living organisms, urgency of detection of such radiation, methods and means for detection of presence of such radiation will be considered. The principle of operation of ionization chambers and meters and their types are analyzed. Geiger counting is used. Structural, functional and electrical schemes are constructed. Electroradioelements are selected. Drawings of the printed circuit board and the end unit of the detector have been developed. Technical requirements for the power supply: range of registered gamma radiation 0.004-40  $\mu\text{r} / \text{h}$ ; measurement time up to 10 s; output to operating mode up to 30 s; supply voltage 3 V; maximum current consumption, 50 mA.

## Зміст

Вступ.....	7
1 Основна частина.....	8
1.1 Аналіз технічного завдання.....	8
1.2 Аналіз принципів роботи детекторів іонізуючого випромінювання.....	8
1.3 Проектування структурної та функціональної схеми детектора.....	20
1.4 Побудова та параметричний синтез схеми електричної принципової.....	22
1.5 Вибір елементної бази.....	27
1.6 Розробка компоновки та монтажу.....	36
1.7 Висновки до розділу 1.....	42
2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.....	43
2.1 Планування заходів з охорони праці. Види планування та контролю стану охорони праці. Виявлення, оцінка та зменшення ризиків небезпечних подій.....	43
2.2 Здійснення заходів щодо зниження дії радіоактивних випромінювань.....	45
2.3 Висновки до розділу.....	48
Висновки.....	49
Список використаних джерел.....	50
Додатки	

					КАВ 3.020.093.000 ПЗ			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	Качанюк А.В.				Цифровий детектор іонізаційного випромінювання	<i>Лім</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	Дедів І.Ю.					у	6	51
<i>Н. контр.</i>	Марценюк А.С.					ТНТУ, РАс-41		
<i>Зат. каф.</i>	Дунець В.Л.							
<i>Рецензент</i>	Дозорський В.Г							

## Вступ

*Актуальність роботи.* Основними завданнями дозиметрії іонізуючих випромінювань є визначення дози випромінювання в середовищах від різних видів випромінювань, оцінювання співвідношень між активністю радіоактивної речовини та дозою, яку він створює. Важливим є оцінювання доз, поглинених біологічною тканиною при її опроміненні, оскільки опромінення, що перевищує допустимий рівень, може призвести до необоротних ушкоджень тканин, а також викликати генетичні зміни.

Захист від різних типів іонізуючих випромінювань призначений зниження щільності потоку випромінювання як до допустимого рівня, а й нижче. Розрахунок захисту від випромінювань є складним і трудомістким завданням, що вимагає глибоких знань механізму впливу іонізуючого випромінювання, обліку всіх видів радіації, що впливають на людину, та раціонального вибору найефективніших захисних матеріалів. Крім того, при взаємодії випромінювання з речовиною виникають складні явища (багаторазове розсіювання, відображення на межі розділу середовищ, наведення активності нейтронами тощо), які необхідно мати на увазі при проектуванні захисту від випромінювань.

В роботі проводиться розроблення цифрового детектора іонізуючого випромінювання.

*Практичне значення отриманих результатів.* Отримані схемні рішення на основі проведеного аналізу принципів детектування іонізаційного випромінювання із застосуванням цифрових методів обчислень та індикації можуть бути використані при створенні портативних цифрових детекторів іонізаційного випромінювання.

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		7

## 1. Основна частина

### 1.1 Аналіз технічного завдання

Цифровий детектор іонізуючого випромінювання використовується, щоб визначати рівень іонізуючої радіації. Він повинен реагувати на бета, гамма і рентгенівські випромінювання. Вимірювання виконується за час двадцять секунд в одиницях мкр/год, також одиницях, що перевищують природний радіаційний фон, тобто >15 - 25 мкр/год. Режим вимірювання повинен бути циклічний. Режим апроксимації вимірів з подальшим зменшенням відсотка похибки з 80% до 25%. Повинне бути передбачене коригування часу вимірювання фону за один прохід та світло-звукова візуалізація випромінювання. Індикатор детектора повинен показувати рівень зарядки акумуляторної батареї.

Технічні вимоги, яким повинен відповідати детектор:

1. Діапазон реєстрованого гамма-випромінювання, мкр/год 0,004-40;
2. Час вимірювання, с 10;
3. Вихід на робочий режим, с 30;
4. Напруга живлення, В 3;
5. Максимальний струм споживання, мА 50;

### 1.2 Аналіз принципів роботи детекторів іонізуючого випромінювання

Проаналізуємо особливості оцінювання іонізуючого випромінювання і типи чутливих елементів, для наступного використання в основі роботи проєктованого детектора.

Іонізаційний метод реєстрації випромінювань заснований на іонізуючій дії випромінювань.

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		8



Під дією будь-якого іонізуючого випромінювання в речовині (газі) з нейтральних атомів або молекул утворюються іони - частки, що несуть позитивні або негативні електричні заряди. Позитивні іони виникають у результаті відриву від атома, молекули чи групи молекул одного чи кількох зовнішніх електронів. Такі електрони залежно від роду газу залишаються вільними, або приєднуються до нейтральних частинок газу, утворюючи негативні іони. У звичайних умовах іони, що утворилися, існують недовго, вони рекомбінують, тобто знову з'єднуються в нейтральні атоми і молекули.

Найбільш рухливі іони у газі. В електричному полі вони досить швидко переміщуються до відповідних електродів, унаслідок чого рекомбінація є незначною. Без джерела випромінювання провідність газу настільки мала, що практично нею можна знехтувати.

Працюючи з різними радіоактивними джерелами доводиться вимірювати силу іонізаційного струму від  $10^{-16}$  до  $10^{-11}$  А. Іонізаційні струми менше  $10^{-11}$  А вимірюють методом зарядки чи розрядки відомої ємності; методом компенсації та методом постійного відхилення.

Для вимірювань завжди застосовують іонізаційні камери або лічильник і реєструючу схему, що містить чутливий прилад.

Іонізаційна камера (рис. 1.1) є конденсатором, що складається з електродів 1 і 2, між якими знаходиться газ. Електричне поле між електродами створюється від зовнішнього джерела 4. Без радіоактивного джерела 5 іонізація в камері не відбувається і прилад, який служить для вимірювання струму, показує нуль. Під дією іонізуючого випромінювання в газі камери виникають позитивні та негативні іони. Під впливом електричного поля хаотичний рух іонів накладається рух дрейфу: негативні іони рухаються до позитивно зарядженого електрода, позитивні — до негативно зарядженого електрода. У ланцюзі виникає струм, який реєструється вимірювальним приладом 3.

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		9

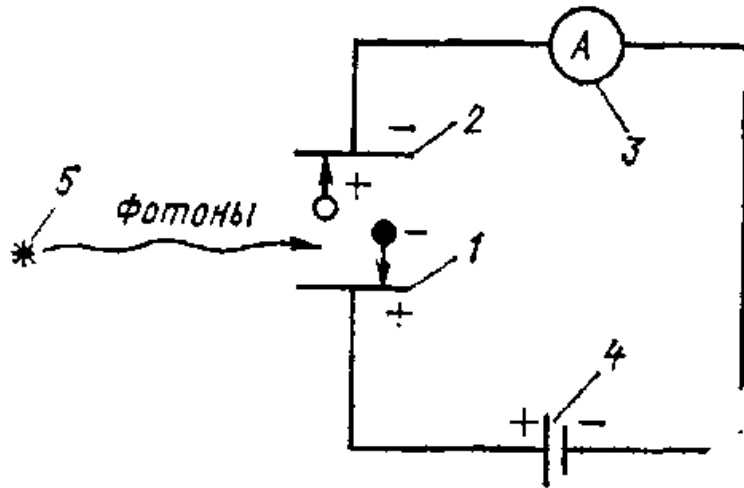


Рисунок 1.1 – Іонізаційна камера

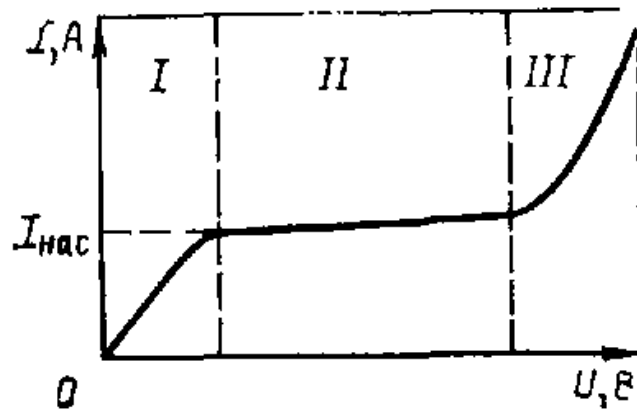


Рисунок 1.2 – Вольт-амперна характеристика

Якщо прикладену до ланцюга різницю потенціалів поступово збільшувати, починаючи з нуля, при постійній інтенсивності випромінювання, то виявляється, що струм у ланцюгу спочатку збільшується пропорційно доданій різниці потенціалів (рис. 1.2, область I), а потім його збільшення уповільнюється доти, доки він стає постійним за величиною, попри збільшення різниці потенціалів (область II). При дуже великих різницях потенціалів струм знову зростає, доки не настане пробій (область III).

Отримана залежність іонізаційного струму від напруги є вольт-амперною характеристикою іонізаційної камери.

Іонізаційні камери залежно від призначення можна розділити на дві групи:

- імпульсні, призначені для вимірювання кількості частинок та їх енергії реєстрацією імпульсів струму, що виникають у камері під час проходження через неї заряджених частинок.

- інтегруючі, призначені для вимірювання іонізаційного струму, що виникає при проходженні через камеру потоку частинок за деякий, але не дуже малий інтервал часу.

Основна відмінність між імпульсними та інтегруючими іонізаційними камерами полягає у різному значенні постійної часу RC-ланки, до складу якої входять камера та радіометричний пристрій.

Іонізаційними камерами можна виміряти відношення або різницю двох іонізаційних струмів. Такі камери називають диференціальними. Диференціальна камера складається з двох іонізаційних камер із загальним збираючим (центральною) електродом.

За конструктивним оформленням іонізаційні камери можна поділити на три класи.

1. Камери, у вимірювальному об'ємі яких іонізація виникає за рахунок частинок від джерела, розташованого всередині самої камери, називаються камерами з внутрішнім розташуванням джерела. Їх використовують для вимірювання іонізації від  $\alpha$ -часток або нейтронів.

2. Камери, у вимірювальному об'ємі яких іонізація проводиться меншою мірою частинками, що виникають у вимірювальному об'ємі, і переважно частинками, вибитими зі стінок камери, називаються стінковими.

3. Камери, у вимірювальному об'ємі яких іонізація створюється не тільки частинками, що утворюються у вимірювальному об'ємі, та частинками, що надходять у вимірювальне середовище з навколишнього газу, називаються камерами з вільним газом, а іноді діафрагмовими, або нормальними камерами.

Вони служать для абсолютних вимірювань експозиційної дози рентгенівського та  $\gamma$ -випромінювань.

Газовий лічильник є детектором (за конструкцією аналогічний іонізаційній камері), призначений для реєстрації окремих ядерних частинок. На відміну від іонізаційних камер у газових лічильниках для підсилення іонізаційного струму використовується газовий розряд.

Завдяки високій чутливості лічильник реагує на кожну іонізуючу частинку, що виникає всередині об'єму газу або проникає в нього зі стінки лічильника.

Залежно від характеру газового розряду лічильники можна розділити на два типи: пропорційні лічильники (з несамостійним розрядом); лічильники Гейгера - Мюллера (з самостійним розрядом).

При невеликій різниці потенціалів на електродах лічильник працює в режимі іонізаційної камери, тобто величина імпульсів у деякому інтервалі напруг не залежить від різниці потенціалів, а визначається лише кількістю іонів, які утворюються в газовому об'ємі лічильника іонізуючою частинкою.

Інакше висловлюючись, на ділянці струму насичення, доки не відбувається ударної іонізації, амплітуда імпульсу зберігає постійне значення; вона суворо пропорційна початковій іонізації (від  $\alpha$ -частинок імпульс більше, ніж від  $\beta$ -частинок), отже, пропорційна енергії, залишеній часткою в лічильнику.

При подальшому збільшенні різниці потенціалів на електродах лічильника величина імпульсу зростає, так як при цьому вторинні електрони в електричному полі, що підсилюється, набувають достатньої кінетичної енергії, щоб зробити ударну іонізацію нейтральних молекул газу на шляху свого вільного пробігу. У той же час електрони, що знову утворюються, прискорюються електричним полем і іонізують нові молекули. При цьому виходить лавинний розряд, який припиняється, як тільки електрони, що

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		12

утворюються, і іони досягнуть відповідних електродів лічильника (несамостійний розряд).

Збільшення іонізаційного струму при несамостійному розряді називається газовим підсиленням, а співвідношення кількості утворених при цьому іонів і досягли електродів, та початкового числа іонів, утворених іонізуючою частинкою, називається коефіцієнтом газового підсилення.

Лічильники, у яких амплітуда імпульсів пропорційна втраченій енергії частинок у газовому об'ємі, називаються пропорційними.

Якщо продовжувати збільшувати напругу на лічильнику, то коефіцієнт газового підсилення дуже зростає по абсолютній величині і залежатиме від початкової іонізації. Це область обмеженої пропорційності. До кінця цієї області відбувається зближення кривих із різною початковою іонізацією. Чим більша початкова іонізація, тим менший коефіцієнт газового підсилення і тим повільніше він зростає зі збільшенням різниці потенціалів.

За областю обмеженої пропорційності слідує область Гейгера, в якій величина імпульсів зовсім не залежить від початкової іонізації; всі імпульси при заданій напрузі незалежно від роду іонізуючих частинок мають однакову величину. Кожен вторинний електрон, що виник в об'ємі лічильника, викликає спалах самостійного розряду.

Лічильники, що працюють у області самостійного розряду (гейгерівська область), називаються лічильниками Гейгера - Мюллера.

Якщо продовжувати підвищувати напругу, настає область безперервного (самовільного) розряду, який не викликається іонізацією. У цьому випадку лічильник не придатний для вимірювання і може вийти з ладу внаслідок пробую.

Залежно від роду газу, що заповнює лічильники Гейгера-Мюллера, їх поділяють на самогасячі, у яких розряд припиняється під дією внутрішніх причин за час порядку  $10^{-7}$  с. з моменту виникнення, і несамогасячі, у яких

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		13

розряд, що виник, горить до тих пір, доки не припиниться дія зовнішнього впливу. В даний час більше використовують самогасячі лічильники.

Розглянемо механізм розряду в лічильниках (рис. 1.3). Лічильник є деякою ємністю, зарядженою до потенціалу джерела живлення. Припустимо, що в якійсь точці лічильника відбулася іонізація за рахунок вторинного електрона, вибитого з катода лічильника. Новостворені електрони будуть рухатися до анода (центрального електрода - нитки) лічильника I, якого вони досягнуть за дуже короткий проміжок часу - близько  $10^{-7}$ - $10^{-8}$  с, а малорухливі позитивно заряджені іони прямують до катода (циліндричної частини) лічильника..

Практично під час руху електронів позитивні іони залишаються дома, утворюючи навколо нитки щільний чохол, який сильно зменшує напруженість електричного поля поблизу нитки.

Позитивні іони, що потрапляють на катод лічильника, нейтралізуються, вибиваючи електрони з металу. При цьому нейтральні атоми газу, що виходять, знаходяться в збудженому стані і випромінюють фотони, які з поверхні катода можуть вирвати додаткові електрони — родоначальники нових лавин, якщо напруженість поля навколо нитки набула первісного значення. Додаткові електрони з катода можуть бути вирвані і в процесі первинної іонізації, оскільки частина атомів газу буде перебувати у збудженому стані, випромінюючи фотони, які можуть спричинити утворення лавин.

В результаті описаних процесів розряд у лічильнику стає безперервним. Він може продовжуватися доти, доки напруга на аноді не буде знижена високоомним резистором R (рис. 1.3), послідовно включеним з лічильником.

Інтенсивне утворення розряду в лічильнику зменшує напруженість електричного поля між електродами до такої величини, при якій подальше утворення розряду стає неможливим.

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		14

Наявність високоомного резистора у схемі включення лічильника забезпечує повільне відновлення різниці потенціалів. Черговий розряд у лічильнику може статися лише після відновлення необхідної напруги на електродах лічильника.

Несамогасячі лічильники наповнюються одним з одноатомних газів (аргоном, неоном та ін.).

Самогасячі лічильники, крім одноатомного газу, наповнюються деякою кількістю парів однієї з багатоатомних органічних сполук (етиловий спирт, етилен, ізопентан та ін.). Потенціал іонізації багатоатомного газу повинен бути нижчим за потенціал іонізації основного газу. Такий склад наповнювача лічильника обумовлює автоматичне гасіння розряду без зовнішнього втручання.

Найбільшого поширення набули самогасячі лічильники, наповнені сумішшю аргону (потенціал іонізації 15,7 В) при тиску 17 кПа і парів етилового спирту (потенціал іонізації 11,3 В). У такому лічильнику припинення виниклого розряду під дією вторинних електронів, вибитих з катода лічильника, досягається внаслідок дисоціації багатоатомних молекул спирту, які поглинають випромінювання як від збудження атомів аргону, перешкоджаючи тим самим виникненню фотопоглинання на катоді, так і від нейтралізації.

Майже тільки іони спирту досягають катода лічильника.

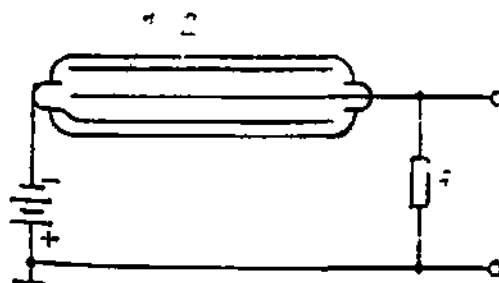


Рисунок 1.3 – Лічильник

Це тому, що іони аргону внаслідок зіткнень з молекулами спирту нейтралізуються, оскільки іон аргону має більший потенціал іонізації, ніж молекула спирту. Порушені атоми аргону, що утворилися, повертаються в основний стан з випромінюванням фотонів, які, у свою чергу, поглинаються молекулами спирту. Позитивні іони спирту, підійшовши до катода на досить малу відстань ( $10^{-7}$  см), виривають з нього при нейтралізації електрони і перетворюються на збуджені молекули, які дисоціюють набагато раніше ( $10^{-13}$  с), ніж випромінюють ( $10^{-8}$  с). Таким чином, розряд у лічильнику з добавкою багатоатомних молекул має однолавінний характер.

Час життя самогасячих лічильників визначається числом молекул спирту, що наповнюють об'єм лічильника. Зазвичай лічильник містить близько  $10^{20}$  молекул спирту. При кожному імпульсі дисоціює  $10^{10}$  молекул. Отже, тривалість життя лічильника становить близько  $10^{10}$  відліків.

На рис. 1.4 показано зміну величини імпульсу залежно від часу його виникнення після попереднього імпульсу (суцільна крива) та виникнення наступних імпульсів (пунктирні криві);  $T_m$  — мертвий час, протягом якого лічильник не здатний зареєструвати частки, що знову надійшли. Мертвий час настає після виникнення лавини у лічильнику. За цей час електрони збираються на аноді, а позитивні іони рухаються від анода до катода. Самогасячі лічильники мають мертвий час порядку  $10^{-4}$  с, тобто менше, ніж несамагасячі ( $10^{-2}$  с), тому їх іноді називають швидкими лічильниками;  $T_p$  — час відновлення. Це інтервал часу від кінця мертвого часу до моменту повного відновлення різниці потенціалів на електродах лічильника (до моменту коли позитивні іони досягнуть катода). Якщо частка потрапить у лічильник під час відновлення, амплітуда імпульсу, що утворюється при цьому (пунктирні криві), менше від номінального значення, тому імпульс зареєстрований не буде. Час відновлення самогасячого лічильника близько  $10^{-4}$  с. Тривалість імпульсу визначається сумою мертвого часу та часу відновлення.

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		16



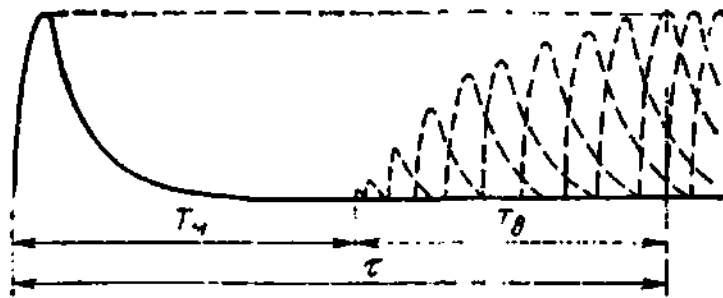


Рисунок 1.4 – Зміна величини імпульсу залежно від часу його виникнення після попереднього імпульсу (суцільна крива) та виникнення наступних імпульсів (пунктирні криві)

Лічильники Гейгера - Мюллер знайшли широке застосування для реєстрації випромінювань. У дозиметричній практиці ці лічильники іноді застосовують для визначення потужності дози від фотонів.

Для реєстрації  $\alpha$ -частинок використовують пропорційні лічильники та імпульсні іонізаційні камери. Лічильник з самостійним розрядом, у якого величина імпульсу не залежить від початкової іонізації, використовувати важко, так як він нарівні з імпульсами, створюваними  $\alpha$ -частинками, реєструє і фон, що вносить похибку до вимірювання.

Для рахунку  $\alpha$ -частинок застосовують торцевий циліндричний пропорційний лічильник. Іноді джерело  $\alpha$ -частинок поміщають усередині робочого об'єму.

Газовим середовищем лічильника є повітря за атмосферного тиску. Напруга живлення 2,5-6 кВ. За такої напруги між електродами завжди протікає постійний струм коронного розряду.

Якщо між електродами лічильника проскакує  $\alpha$ -частка, що має велику лінійну щільність новоутворення, на ділянці її проходження утворюється іскровий розряд. При проходженні через лічильник  $\beta$ - або  $\gamma$ -випромінювань іскрового розряду не утворюється внаслідок малої іонізуючої здатності цього виду випромінювання.

Для запобігання переходу іскрового розряду в дуговий розряд в ланцюг лічильника включають резистор. Амплітуда на виході іскрового лічильника становить кілька сотень вольт. Тривалість розряду  $10^{-10}$  с (на кілька порядків менше, ніж лічильників Гейгера-Мюллера). Робоча ділянка лічильної характеристики має довжину від 2,5 до 6 кВ. Максимальна ефективність реєстрації  $\alpha$ -частинок спостерігається за нормального падіння їх стосовно площині катода. Для збільшення чутливого об'єму над площиною лічильника катода натягується кілька паралельних ниток. Відстань між нитками вибирається 3-4 мм, щоб унеможливити спотворення конфігурації електричного поля окремих ниток.

Пропорційні лічильники наповнюються багатоатомними чи двоатомними газами. При наповненні багатоатомними газами лічильник має велику пропорційну ділянку, коефіцієнт газового підсилення змінюється повільно зі зміною напруги. Лічильники, наповнені двоатомними газами, навпаки мають малу пропорційну область, і коефіцієнт газового підсилення різко змінюється зі зміною напруги.

Лічильна характеристика (рис. 1.5) є залежністю швидкості рахунку імпульсів  $N$ , що визначаються лічильником, від прикладеної до нього різниці потенціалів  $U$ . Якщо включити лічильник за схемою, представленою на рис. 1.6, і поступово підвищувати напругу, отримаємо криву, зображену на рис. 1.5.

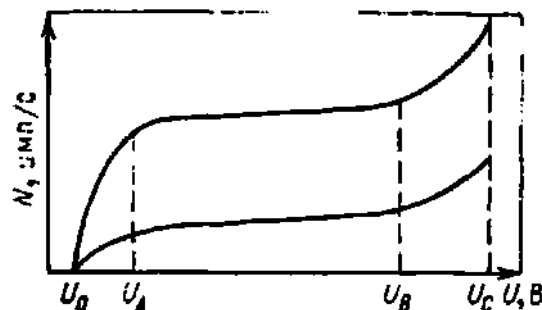


Рисунок 1.5 – Лічильна характеристика

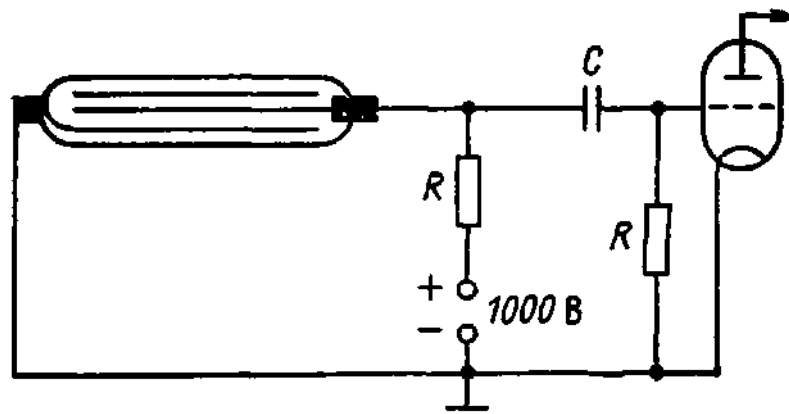


Рисунок 1.6 – Схема включення лічильника

При певному значенні напруги  $U_0$ , що називається потенціалом запалювання, у лічильнику виникає розряд і лічильник починає рахувати імпульси. Зі збільшенням напруги до значення  $U_A$  число імпульсів зростає досить швидко. На ділянці напруги  $U_0-U_A$  не кожна частка, що потрапила в лічильник, викликає спалах самостійного розряду, який ще залежить від числа іонів, що спочатку утворилися. При напрузі  $U_A$  лічильник реєструє вже всі частинки, які утворюють в об'ємі не менше як одну пару іонів. З подальшим збільшенням різниці потенціалів в інтервалі  $U_A-U_B$  значення швидкості рахунку від напруги майже не змінюється. Ця ділянка характеристики лічильника, що є робочою ділянкою, зветься плато лічильника. Плато лічильника до осі абсцис має нахил (до 5% на 100 В). Однак практично можна вважати, що всі імпульси мають одну й ту саму величину. Нахил плато обумовлений частково зростанням чутливого об'єму лічильника, частково рахунком помилкових імпульсів, тобто імпульсів, що з'являються у відсутність іонізуючого випромінювання, число яких збільшується зі зростанням напруги. Нахил плато також залежить від конструктивних особливостей лічильника, від роду, чистоти та тиску газу.

При напрузі  $U_C$ , більше  $U_B$ , швидкість рахунку знову зростає, але не за рахунок збільшення чутливості, а внаслідок появи самодовільних розрядів. Ділянка характеристики, що знаходиться за межами напруги  $U_B$ , є неробочою,

так як число мимовільних розрядів для цих напруг невизначено і змінюється із зміною інтенсивності джерела випромінювання та часу. Зазвичай, якщо лічильник працює в області розряду, що не згасає, він швидко виходить з ладу (згорає).

Нижня крива (див. рис. 1.5) є характеристикою лічильника, знятою без джерела випромінювання, і обумовлена фоном. Фон визначається в основному космічним випромінюванням, радіоактивністю землі, радіоактивними забрудненнями повітря та предметів, що оточують лічильник.

### 1.3 Проектування структурної та функціональної схеми детектора

Основою приладу є електронно-обчислювальний блок, який власне і проводить підрахунок дози гамма-випромінювання.

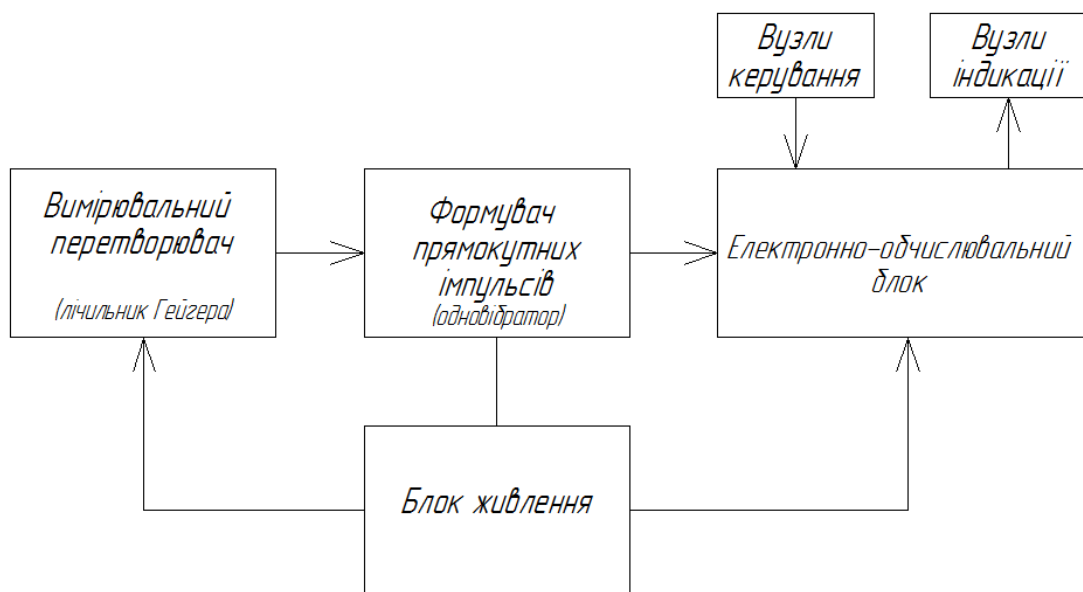


Рисунок 1.7 – Структурна схема детектора

Детектора відноситься до класу вимірюючих приладів, тому основною його задачею є перетворення іонізуючого випромінювання в електричний сигнал, зручний для обробки і вимірювання. Це здійснюється завдяки детектору випромінювання – вимірювальному перетворювачеві. Іонізуюче

випромінювання представляє собою потік заряджених часток, які випускають всі радіоактивні препарати. По кількості часток в довкіллі за період часу можна підрахувати дозу радіації, поглинену навколишніми предметами. Проникаючи в детектор, частки викликають протікання електричного струму. При цьому на виході детектора формуються імпульси напруги. Ці стрибкоподібні імпульси запускають одно вібратор – формувач прямокутних імпульсів, кількість яких підраховується в електронно-обчислювальному блоці і переводиться в значення дози опромінення за певний проміжок часу, що відображується на табло приладу.

На основі структурної схеми складаємо схему функціональну, яка зображена на рис. 1.8 та в додатку Б.

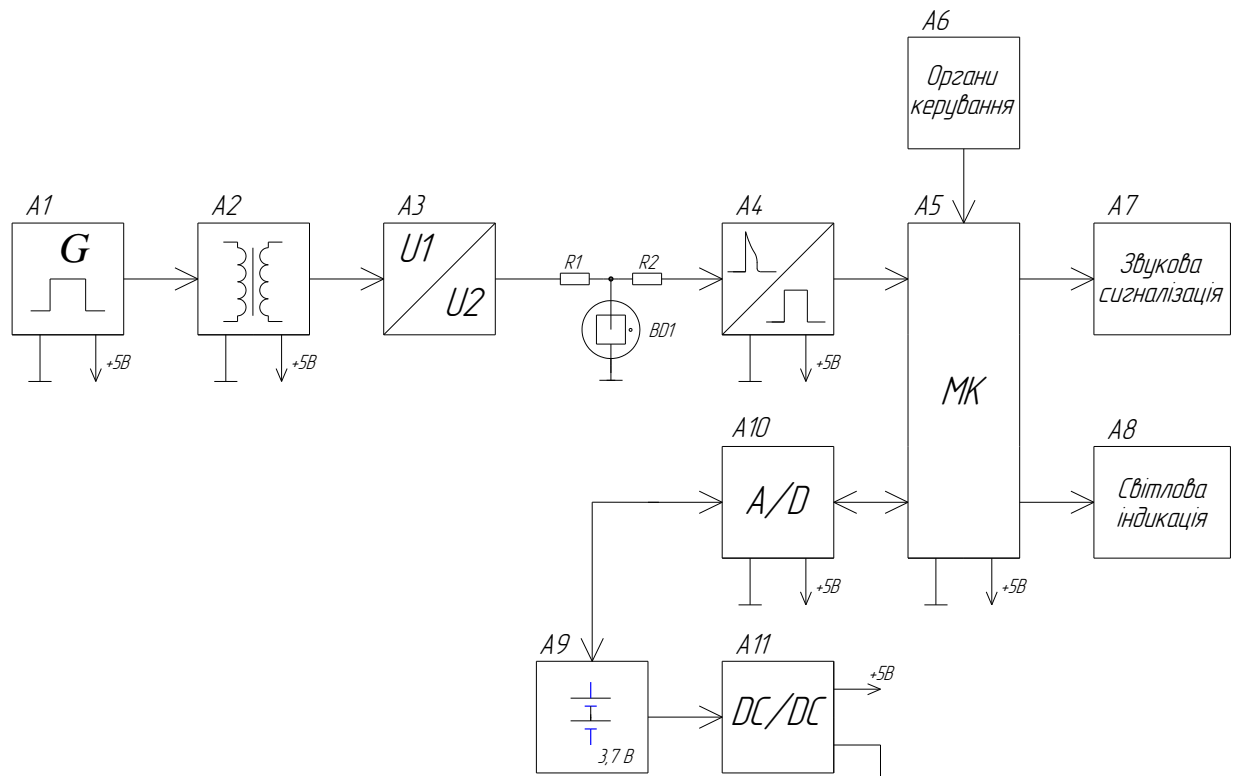


Рисунок 1.8 – Функціональна схема детектора

Основою пристрою є мікроконтролер (A5). З його допомогою здійснюється обчислення дози опромінення та забезпечення світлової індикації та звукової сигналізації. Також він керує роботою дозиметра та

формує сигнали звукової сигналізації та цифрової індикації. З органів керування задається режим вимірювання дозиметра.

Для роботи лічильника Гейгера BD1 необхідна висока напруга. Для її формування використовується конвертер напруги (блоки А1-А3). Блок А1 являє собою генератор прямокутних імпульсів підвищеної частоти, які підсилюються по амплітуді імпульсним трансформатором (А2). Оскільки для живлення лічильника Гейгера необхідна напруга порядку 400 В, прийнято рішення замість одного підвищуючого трансформатора з 3,6 В до 400 В використати підвищуючий трансформатор та помножувач напруги. Це підвищить надійність імпульсного трансформатора при роботі на підвищених напругах. Власне блок А3 і є помножувачем напруги. Він через резистор R1 живить лічильник Гейгера. Сигнал знімається з лічильника через резистор R2 та надходить на одновібратор (А4), який з стрибкоподібних імпульсів робить прямокутні імпульси, які надходять на мікроконтролер.

Живиться дозиметр від акумуляторної батареї напругою 3 В. Оскільки для нормальної роботи мікроконтролера та одновібратора необхідна напруга живлення 5 В, в дозиметрі використано перетворювач постійної напруги – блок А11.

Блок А10 являє собою аналого-цифровий перетворювач, який проводить вимірювання напруги на акумуляторній батареї.

#### 1.4 Побудова та параметричний синтез схеми електричної принципової

Базовим елементом детектора є лічильник Гейгера. Робота лічильника основана на ударній іонізації.

До електродів підводять високу напругу  $U$ , яка само по собі не викликає яких-небудь розрядних явищ. У такому стані лічильник перебуватиме поки не утвориться центр з іонів і електронів, породжуваний зовнішньою іонізуючою часткою. Прискорені первинні електрони, іонізують інші молекули газового

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		22

середовища. Електричне поле прискорює електрони до появи ударної іонізації. Розвиваючись лавиноподібно, цей процес закінчується утворенням в просторі між електродами електронно-іонної хмари та розряду. При цьому на опорі R1, R3 утворюється імпульс напруги, що надходить на формувач прямокутних імпульсів DD1.

Вузли пристрою:

1. Генератор прямокутних імпульсів – блокінг-генератор, на вихідній обмотці утворюються короткі імпульси приблизно 10 мкс з амплітудою приблизно 220 Вольт. Через помножувач подвоєння напруга збільшується до потрібних 400 - 440 Вольт. Частота генерації блокінг-генератора задається ланкою Rобм C2. Складається він з елементів: VT1, VD1, C2, T1, Rобм.

2. Помножувач напруги. Зроблений він на елементах VD2-VD3, C1, C3. Через помножувач подвоєння, напруга збільшується до потрібного значення 400 - 440 Вольт.

3. Детекторна камера, виконана на елементах BD1-BD2, R1, R3, C4-C5. Використовується, щоб детектувати радіацію. BD1- BD2 лічильники Гейгера, R1, R3 – навантаження для лічильників, C4-C5 розділові конденсатори.

4. Одновібратор, DD1.1-DD1.2 C7, R9-R10, формує з коротко затягнутого імпульсу імпульс прямокутної форми, для правильної роботи МК DD2.

5. Світло-акустичний вузол індикації, світловий – VT2, R2, R5, HL1. Біп сигнал – VT3, R12, HA2. Акустичний вузол, використовується для звукової індикації гарячих часток, зроблений на генераторі очікування DD1.3-DD1.4, R8, C8, HA1.

6. Цифрова частина, використовується для управління і цифрової обробки сигналів детекторної камери, і щоб виводити результат на екран. Включає DD2, S1-S5, C11-C12, Z1.

7. Аналого-цифровий перетворювач (тобто АЦП), призначений, щоб заміряти рівні напруги акумулятора – елементи DD2, R16, C17.

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		23

8. Блок індикації – елементи HG1, R15, R14, VT4.

9. Перетворювач постійної напруги DD3, потрібен, щоб підвищувати напругу живлення з 1,2-4 В до 5 В, виконаний на елементах DD3, VD4, L1, C15-C16.

Проведемо розрахунки номіналів елементів одновібратора (рис. 1.3). Він є різновидом мультивібратора очікування. При надходженні запускаючого імпульсу, одностабільний мультивібратор (одновібратор) перемикається в нестійкий стан на час:

$$t = \ln(2) \cdot R9 \cdot C7,$$

причому цей час не залежить від тривалості запускаючого імпульсу, а потім повертається в стійкий стан.

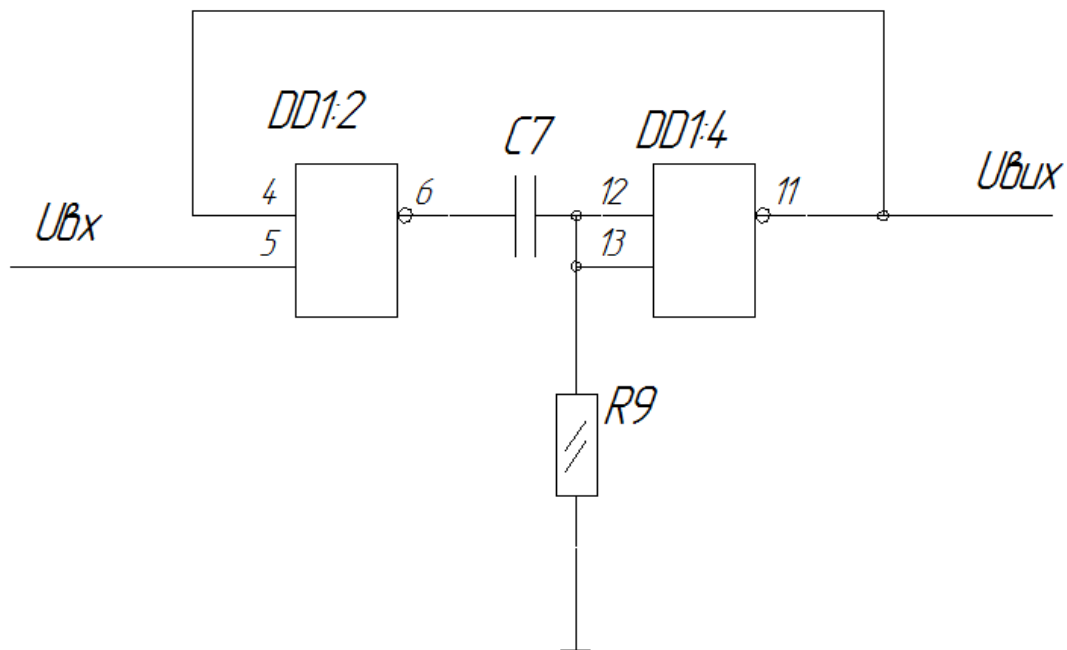


Рисунок 1.9 – Схема одновібратора

Задамося тривалістю імпульсів на виході одновібратора на рівні 140 мкс, чого буде достатньо для вимірювання великого значення радіаційного випромінювання, і значенням опору  $R9=220$  кОм. Тоді:



$$C7 = \frac{t}{\ln(2) \cdot R9} = \frac{140 \cdot 10^{-6}}{0.693 \cdot 220 \cdot 10^3} = 0.918 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

Прийmemo C9=1000 пФ.

Проведемо розрахунок ланки світлової індикації (рис. 1.10).

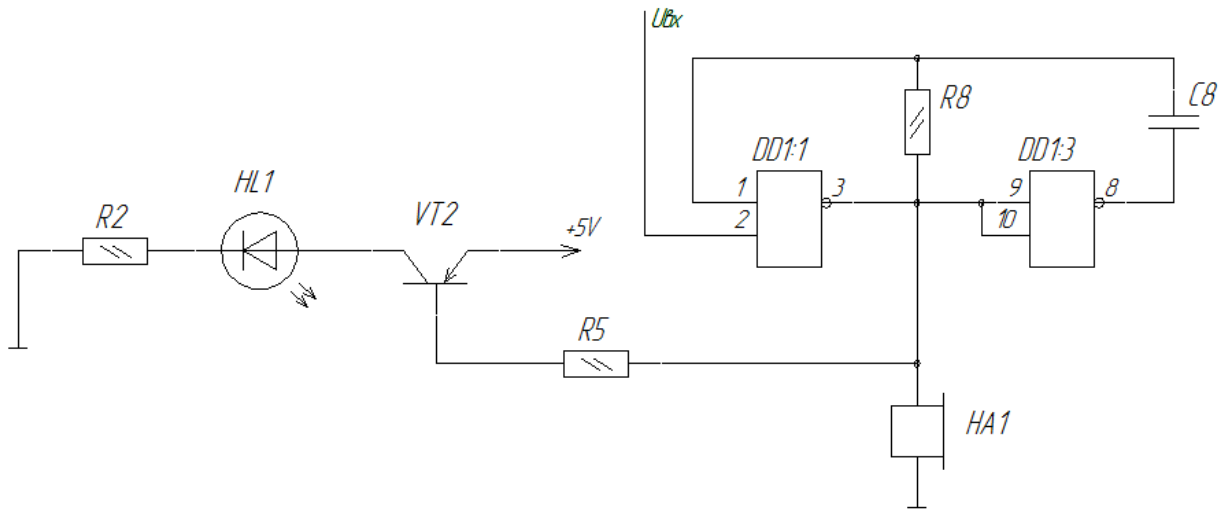


Рисунок 1.10 – Світлова індикація та звукова сигналізація

Резистор R5 обмежує струм, що протікає через базу транзистора VT2, який працює в ключовому режимі. Для відкриття транзистора VT2 необхідно забезпечити струм бази порядку 1 мА та падіння напруги між базою і емітером в 0,6 В. Так як керується транзистор сигналом логічного рівня «1» з мікросхеми DD1 амплітудою 5 В, в коло бази транзистора VT2 включено резистор R5, на якому повинно падати 4,4 В. Знайдемо опір резистора:

$$R5 = U/I = 4,4/0.001 = 4400 \text{ Ом.}$$

З рядів номінальних значень опорів вибираємо резистор, опором 4,7 кОм.

Знайдемо номінал резистора R2, виходячи з того, що струм споживання світлодіода становить 0,01 А, а пряме падіння напруги – 2 В. Тоді на резисторі повинно падати 2,8 В, оскільки напруга живлення становить 5 В, а падіння напруги на транзисторі VT2 становить 1,2 В. Опір резистора становитиме:

$$R2 = \frac{U}{I} = \frac{2,8}{0,01} = 280 \text{ Ом}$$

Приймаємо значення номіналу резистора R2 з стандартних рядів рівним 300 Ом. Знайдемо потужність, що розсіюється на резисторі:

$$P = U \cdot I = 2,8 \cdot 0,01 = 0,028 \text{ Вт}$$

Вибираємо резистори на 0,125 Вт із невеликим запасом.

Для генератора звукової сигналізації (рис. 1.10) приймемо частоту імпульсів рівною 1,5 кГц. Приймемо C8=0.01 мкФ. Тоді:

$$f = \frac{0.721}{R8 \cdot C8}$$

$$R8 = \frac{0.721}{C8 \cdot f} = \frac{0.721}{0.01 \cdot 10^{-6} \cdot 1.5 \cdot 10^3} = 48 \text{ кОм}$$

Приймаємо значення номіналу резистора R8 з стандартних рядів рівним 47 кОм.

В такий же спосіб розраховуються номінали решти елементів.

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		26

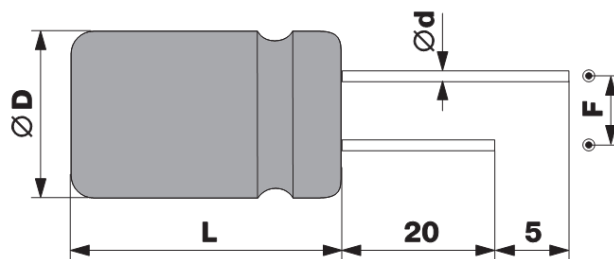
## 1.5 Вибір елементної бази

В детекторі використані конденсатори типів ЕСАР (K50-35), K73-17 та GRM21 0805.

Оксидно-електролітичні алюмінієві конденсатори ЕСАР добре працюють в колах постійного або пульсуючого струмів. Можуть бути ущільнені, ізольовані і неізольовані.

Діелектриком електролітичних конденсаторів є тонкий шар оксиду металу, нанесений електролітичним способом на тонку стрічку з фольги, що є однією обкладкою конденсатора. Інша обкладка конденсатора утворюється з просоченої електролітом паперової стрічки і дотичної з нею іншої, не окисленої стрічки з фольги. Електролітичні конденсатори вимагають певної полярності включення їх в схему. Зазвичай корпус конденсатора підключається до негативного полюса джерела. Основною перевагою електролітичних конденсаторів є їх велика ємність при невеликих габаритних розмірах.

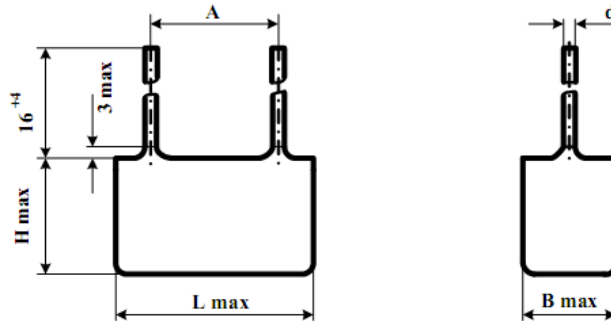
Конденсатори мають широкий діапазон робочих напруг - від 6,3 до 450 В. Також значний діапазон ємностей, що становить від 0,10 до 22000 мкФ.



<b>D,мм</b>	5	6	8	10	13	16	18	22	25
<b>F,мм</b>	2.0	2.5	3.5	5.0	7.5	10.0	12.5		
<b>d,мм</b>	0.5		0.6		0.8		1.0		

Рисунок 1.11 – Габаритні розміри конденсаторів K50-35

Керамічні неполярні конденсатори K73–17 можуть мати значення робочої напруги від 63 до 630 В, а діапазон номінальних ємностей від 10 пФ до  $4,7 \cdot 10^6$  пФ.



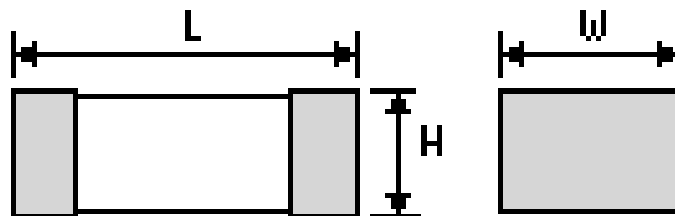
$U_{\text{НОМ}}, V$ $U_r, V$	$C_{\text{НОМ}}, \text{мкФ}$ $C_r, \mu\text{F}$	$L_{\text{max}}, \text{мм}$	$B_{\text{max}}, \text{мм}$	$H_{\text{max}}, \text{мм}$	$A, \text{мм}$	$d, \text{мм}$
63	0.18	12	6	10	10	0.6
	0.22		6	10		
	0.33		6.3	13		
	0.47		8	15		
	0.68	18	6.3	13	15	0.8
	1.0		8	15		
	1.5		8.5	19		
	2.2	23	8.5	19	20	1.0
	3.3		10.5	21		
	4.7		12	25		

Рисунок 1.12 – Габаритні розміри конденсаторів K73-17

Конденсатори GRM21 0805 – керамічні SMD конденсатори.

В якості діелектрика керамічного конденсатора служить кераміка, в основі якої, головним чином, лежать титанат цирконію ( $ZrTiO_3$ ), кальцій ( $CaTiO_3$ ), нікель ( $NiTiO_3$ ) і барій ( $BaTiO_3$ ). Їх ємність буває від часток пікофарад до декількох мікрофарад. Кераміка володіє неорганічною полікристалічною структурою, яку отримують шляхом випалення при високій температурі. Завдяки спеціальним технологіям виробництва виходять надтонкі шари керамічного матеріалу. Ці шари укладаються для отримання конструкції конденсатора, чії електричні та механічні характеристики повинні відповідати жорстким вимогам. Багатошаровий конденсатор в своєму складі включає монолітний керамічний блок з металізованими електродами. Таким чином, завдяки збільшенню числа електродів і їх активної площі,

діелектричної проникності діелектрика і зменшенню товщини шарів діелектрика можна домогтися збільшення ємності конденсатора. Але через зниження товщини діелектрика відбувається зниження напруги пробою. Збільшенням активної площі одного електрода є підвищення габаритних розмірів конденсатора, що в свою чергу призводить до високої вартості виробу. Керамічні конденсатори схильні до істотного сильній залежності ємності від прикладеної напруги та погіршення температурної стабільності у разі, коли збільшується діелектрична проникність при помітному збільшенні ємності. Зовнішній вигляд і основні габаритні розміри наведені на рис. 1.13.

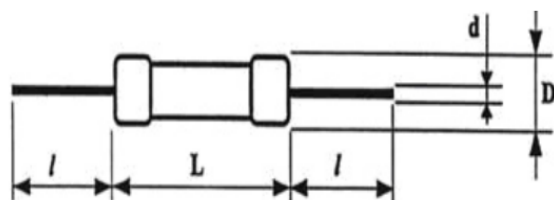


Типорозмір EIA	Типорозмір метричний	L (mm)	W (mm)	H (mm)
0805	2012	2.0	1.25	1.3

Рисунок 1.13 – Габаритні розміри конденсаторів

Резистори вибрано типу C2-33 та 0805-RC11.

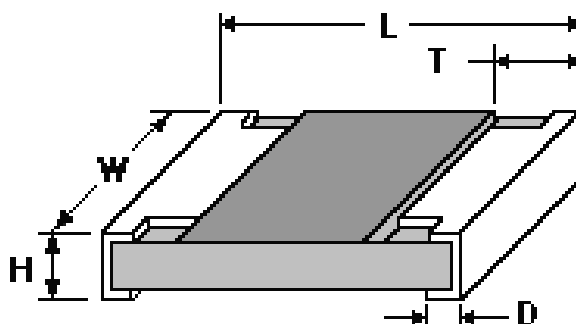
Постійні резистори C2-33 з металодіелектричним провідним шаром, загального призначення, неізолювані. Працюють в електричних колах постійного або пульсуючого струмів. Мають широкий діапазон номінальних опорів від 1 до  $3,01 \cdot 10^6$  Ом, а рівень власних шумів не перевищує 5 мкВ/В.



Номинальна розсіювана потужність, Вт	Габаритні розміри, мм				Маса, г
	L	D	l	d	
0,125	6,0	2,2	18	0,6	0,15
0,25	7,0	3,0			0,25
0,5	10,2	4,2	25	0,8	1,0
1,0	13,0	6,7			2,0
2,0	28,0	8,8			5,0

Рисунок 1.14 – Габаритні розміри конденсаторів резисторів типу С2-33

Резистори 0805-RC11 – постійні чіп резистори загального призначення, неізолювані. Ровнішній вигляд і основні габаритні розміри наведені на рис. 1.15.



Типорозмір EIA	Типорозмір метричний	L (mm)	W (mm)	H (mm)	D (mm)	T (mm)
0805	2012	2.1±0.1	1.3±0.1	0.5±0.05	0.4±0.2	0.4±0.2

Рисунок 1.15 – Габаритні розміри резисторів 0805-RC11

Резистори змінні PV36P101 (СП5-2ВБ) – змінні підстроювальні одноелементні багатооборотні з круговим переміщенням рухомої системи, призначаються для експлуатації в колах постійного та пульсуючого струмів.

Технічні дані:

- номінальна потужність розсіювання при підвищеній робочій температурі + 70 ° C, Вт – 0,5;
- номінальний опір, Ом – 3,3 ... 22000;
- допустиме відхилення від номінального опору, % –  $\pm 5$ ;  $\pm 10$ ;
- інтервал робочих температур, °C – -60 ... + 125;
- мінімальне напрацювання, годин – 20000;
- мінімальний термін зберігання, років – 20;
- число циклів переміщення рухомої системи, циклів – 200;
- гранична робоча напруга, В – 100.

Також в роботі вибрано індикатор WH1602 - алфавітно-цифровий РК-модуль фірми Winstar (рис. 1.16).

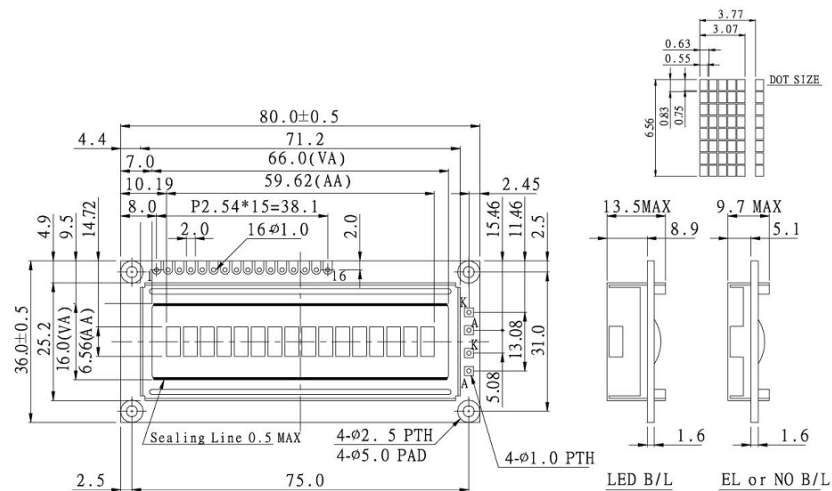


Рисунок 1.16 – Габаритні розміри індикатора WH1602

Технічні характеристики індикатора:

- напруга живлення, В 5;
- струм споживання, мА 1,2;

ATmega8-16AU 8-bit AVR – мікроконтролер.

Технічні характеристики:

- ядро – AVR;
- розрядність – 8;
- тактова частота, МГц – 16;

- об'єм ROM-пам'яті – 8К;

- тип корпусу – TQFP32.

MAX1674, MAX1675, MAX1676

Високоєфективний компактний слабкострумний підвищує перетворювач напруги Компактний, економічний малошумящий дизайн: обмежувач струму дроселя виключає його вібрацію і зменшує ЕМІ.

Технічні параметри:

- ККД 94% при струмі навантаження 200 мА;
- Струм спокою 16 мкА;
- Інтегрований синхронний випрямляч;
- УКП / LBO детектор розряду батареї;
- Вибір рівня обмеження струму для зниження викидів;
- Корпуси 8-контактний і 10-контактний  $\mu$ MAX;

MAX1674 IC, MAX1675, MAX1676 є компактними, високоєфективними підвищуючими перетворювачами напруги, вбудованими в корпуси  $\mu$ MAX. Вони включають в себе вбудовані синхронні випрямлячі, які збільшують ККД і зменшують габарити і собівартість, виключаючи застосування зовнішніх діодів Шоттки. Струм спокою не перевищує 16 мкА.

Вхідна напруга може лежати в межах від 0,7 В до  $V_{OUT}$ , де  $V_{OUT}$  можна встановити від 2 В до 5,5 В. Запуск гарантований при вхідній напрузі 1,1 В. MAX1674 IC / MAX1675 / MAX1676 мають встановлені, обрані, вихідні напруги 5 В і 3,3 В. Напруга виходу також може бути встановлена за допомогою двох зовнішніх резисторів.

Всі три IC мають вбудований 0,3 Ом n-канальний МОН-транзистор ключовий транзистор. MAX1674 має обмеження струму перетворення 1 А. MAX1675 має обмеження струму перетворення 0,5 А, що дозволяє використовувати дросель меншого розміру. MAX1676 випускається в 10-контактному  $\mu$ MAX корпусі і включає в себе функції регульованого обмеження струму і коло для зниження вібрацій в дроселі. Типовий вихідний

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		32



струм для всіх трьох ІС дорівнює 0,3 А. Робочий діапазон температур від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ .

Мікросхема HEF4011BT містить чотири логічних елемента 2І-НЕ.

Кнопки вибрато типу SWT9, що мають наступні параметри:

- робочий діапазон: ... 12В 50мА;
- гранична напруга: ... 500 В на протязі 1 хв;
- опір ізолятора: ... не менше 100 Мом;
- опір контакту: ... не більше 0,1 Ом;
- число циклів: ... 100 000.

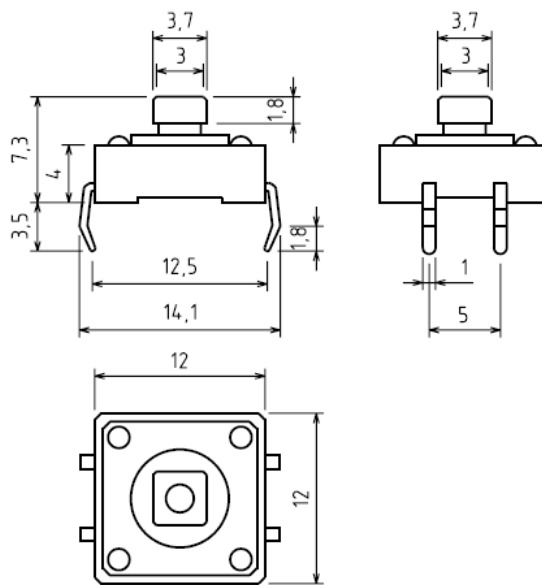


Рисунок 1.17 – Габаритні розміри кнопки SWT9

Діод вибрано кремнієвий, типу 1N4007.

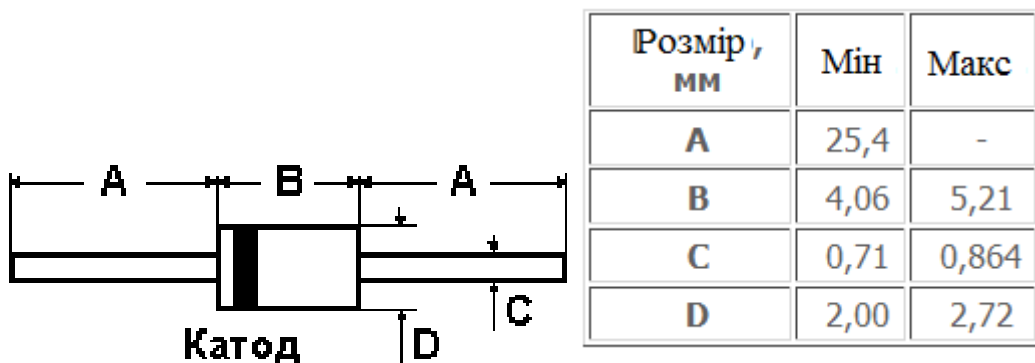


Рисунок 1.18 – Габаритні розміри діодів 1N4007

Основні технічні характеристики діодів 1N4007:

- максимальна зворотна напруга 1000 В;
- максимальний прямий струм становить 1 А;
- вага 0,4 г.

Діоди 1N4148 імпульсні, кремнієві, епітаксіально-планарні.

Основні технічні характеристики діодів 1N4148:

- максимальна зворотна напруга становить 50 В;
- максимальний прямий струм становить 0,1 А;
- максимальна робоча частота становить 0,1 ГГц.

MBR0520 – діоди Шоткі.

Світлодіод АЛ307Б має наступні електричні параметри:

- пряма напруга, В 2;
- прямий струм, А 0,01;

Транзистор BC847C – транзистор n-p-n структури, кремнієвий. Основні технічні характеристики транзистора BC847C:

- найбільша напруга між колектором і базою 50 В;
- найбільша напруга між колектором і емітером 45 В;
- статичний коефіцієнт передачі емітера по струму ... 520;
- максимальний струм колектора, А ... 0,1;
- максимальна розсіювана потужність колектора, Вт, ... 0,2.

Транзистор BC857C – транзистор p-n-p структури, кремнієвий. Основні технічні характеристики транзистора BC847C:

- найбільша напруга між колектором і базою 50 В;
- найбільша напруга між колектором і емітером 45 В;
- статичний коефіцієнт передачі емітера по струму ... 110;
- максимальний струм колектора, А ... 0,1;
- максимальна розсіювана потужність колектора, Вт, ... 0,2.

Також в роботі використано роз'єми PLS з наступними параметрами:

- крок контактів, мм: 2;

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		34



- низьке енергоспоживання Вибір перерахованих вище елементів пояснюється їх дешевизною поряд з їхньою високою надійністю, малою масою і габаритними розмірами. Крім того, вони стандартизовані і уніфіковані, що спрощує ремонт, заміну.

## 1.6 Розробка компоновки та монтажу

Розглянемо детальніше конструктивні особливості розроблюваного детектора.

В роботі використовується тип 1С монтажу елементів (рис. 1.20), при якому і корпусні і без корпусні елементи розміщуються на одній стороні друкованої плати, що має двосторонню топологію (рис. 1.20).

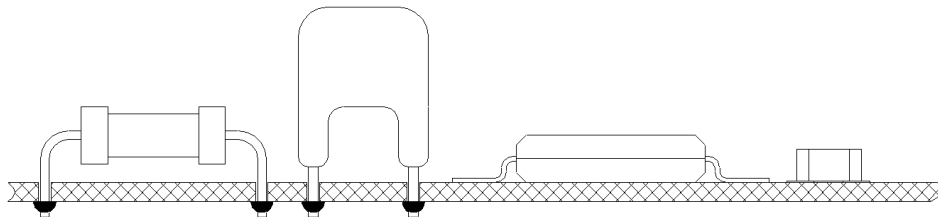


Рисунок 1.20 – Компоновка типу 1С

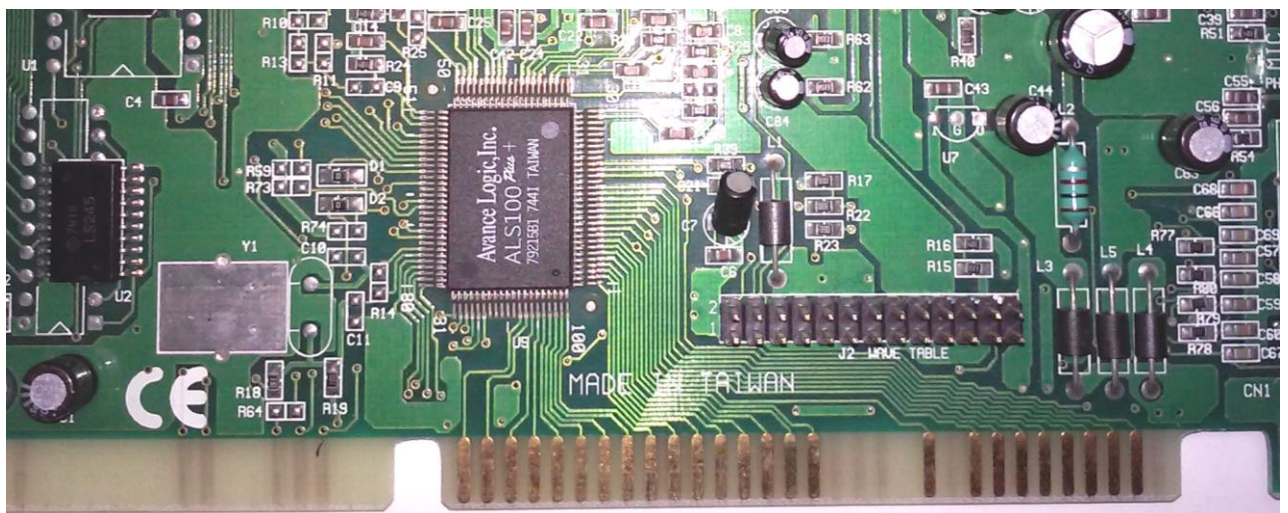


Рисунок 1.21 – Компоновка типу 1С

При розрахунку ДП визначають розміри елементів її рисунку: номінальні розміри діаметрів монтажних отворів, мінімальні діаметри

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

контактних площадок, мінімальні відстані для прокладки даного числа провідників між двома отворами.

Оскільки на друкованій платі встановлюються і корпусні і без корпусні елементи, то рисунок ДП повинен відповідати 3-му класу точності. При цьому, для корпусних елементів діаметри установочних отворів (ДУО) знаходяться з формули:

$$d = d_e + |\Delta d_{н.в.}|r, \quad (1.1)$$

де  $d_e$  – діаметр виводу (ДВ) відповідного ЕРЕ;

$\Delta d_{н.в.}$  – відхилення на значення  $d_e$ ;

$r$  – можна прийняти 0,1÷0,4 мм).

Значення максимальних ДВ:

Елемент	Максимальний ДВ, мм
Резистори, діоди	0,6
Конденсатори	0,5
Світлодіоди	0,6
Транзистори	0,5
Мікросхеми	0,5
Трансформатори	0,8

Тоді отримуємо наступні значення ДУО:

для резисторів  $d_1 = 0,9\text{мм}$ ;

для конденсаторів  $d_2 = 0,9\text{мм}$ ;

для діодів  $d_3 = 0,9\text{мм}$ ;

для транзисторів  $d_4 = 0,9\text{мм}$ ;

для мікросхеми  $d_5 = 0,9\text{мм}$ ;

для трансформатора  $d_6 = 1,1\text{мм}$  – приймаємо  $1,3\text{мм}$

Розрахуємо параметри контактних площадок (КП).

Значення найменших діаметрів КП (НДКП) навколо МО визначаємо за формулою

$$D = (d + \Delta d_{\text{в.в.}}) + 2\epsilon + \Delta t_{\text{в.в.}} + 2\Delta d_{\text{мп}} + \sqrt{\delta d^2 + \delta p^2 + \Delta t_{\text{н.в.}}}, \quad (1.2)$$

де  $d$  – номінальний ДУО,

$\Delta d_{\text{в.в.}}$  – верхнє відхилення ДО;

$\epsilon$  – гарантований контур;

$\Delta t_{\text{в.в.}}$  – допускширини провідника,

$\Delta d_{\text{мп}}$  – допуск на підтравлення діелектрика;

$\delta d$  – допуск позиціонування отворів;

$\delta p$  – допуск позиціонування КП;

$\Delta t_{\text{н.в.}}$  – нижній допуск ширини провідника.

Для ДО  $d = 0,8\text{ мм}$ :

$$\delta d = 0,3\text{ мм}; \delta p = 0,2\text{ мм}; d_{\text{в.в.}} = 0,1\text{ мм}; \Delta t_{\text{в.в.}} = 0,1\text{ мм}; \Delta t_{\text{н.в.}} = 0,1\text{ мм};$$

$$\Delta d_{\text{мп}} = 0,03\text{ мм}; \epsilon = 0,2\text{ мм}.$$

Тоді найменший діаметр КП  $D$  навколо МО діаметром  $d = 0,9\text{ мм}$ , буде:

$$D_1 = (0,9 + 0,1) + 2 \cdot 0,2 + 0,1 + 2 \cdot 0,03 + \sqrt{0,2^2 + 0,3^2 + 0,1^2} = 1,8\text{мм},$$

Для ДО  $d = 1,3\text{мм}$ :

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		38

$$\delta d = 0,2 \text{ мм}; \delta p = 0,3 \text{ мм}; d_{\text{в.в.}} = 0,15 \text{ мм}; \Delta t_{\text{в.в.}} = 0,1 \text{ мм}; \Delta t_{\text{н.в.}} = 0,1 \text{ мм};$$

$$\Delta d_{\text{mp}} = 0,03 \text{ мм}; \epsilon = 0,2 \text{ мм}.$$

Тоді найменший діаметр КП навколо ДМО  $d = 1,3 \text{ мм}$ , буде:

$$D_2 = (1,3 + 0,15) + 2 \cdot 0,2 + 0,1 + 2 \cdot 0,03 + \sqrt{0,2^2 \cdot 0,3^2 \cdot 0,1^2} = 2,4 \text{ мм}.$$

Обчислимо ширину провідника (ШП).

Визначення номінальної ШП  $t$  здійснюється з виразу:

$$t = t_{\text{м.д.}} + |\Delta t_{\text{н.о.}}|, \quad (1.3)$$

де  $t_{\text{м.д.}}$  – найменша можлива ШП ширина провідника,

$\Delta t_{\text{н.о.}}$  – допуск,  $\Delta t_{\text{н.о.}} = -0,1 \text{ мм}$ .

Оскільки повний струм споживання

$$I_{\text{сн}\Sigma} = 0,005 + 0,047 = 0,052 \text{ А}$$

То визначаємо  $t = 0,3 \text{ мм}$ . Відповідно до 3–го класу точності ДП вибираємо  $t_{\text{м.д.}} = 0,45 \text{ мм}$ .

Тоді

$$t = 0,45 + 0,1 = 0,55 (\text{мм})$$

Знаходимо відстань між провідниками (ВМП):

$$S = S_{\text{м.д.}} + \Delta t_{\text{в.в.}} \delta \ell, \quad (1.4)$$

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		39

де  $S_{м.д}$  – найменша віддаль між провідниками;

$\delta\ell$  – відхилення.

Приймаємо  $\delta\ell = 0.1\text{мм}$ ,  $\Delta t_{в.в.}$ ,  $S_{м.д} = 0,45\text{мм}$ . Тоді знаходимо ВМП:

$$S = 0,45 + 0,1 + 0,1 = 0,65(\text{мм})$$

Тепер використовуючи програму Р-САD проведено розробку креслень друкованої плати та друкованого вузла та оформлено їх в програмі Компас. На друкованому вузлі виконано розміщення елементів за типом ІС відповідно до вимог, при цьому без корпусні елементи розміщувались групами у вільних місцях плати, де не розміщувались корпусні елементи з встановленням в отвори. Креслення наведені в додатках. Так, на рис. 1.22 наведено рисунок друкованої плати.

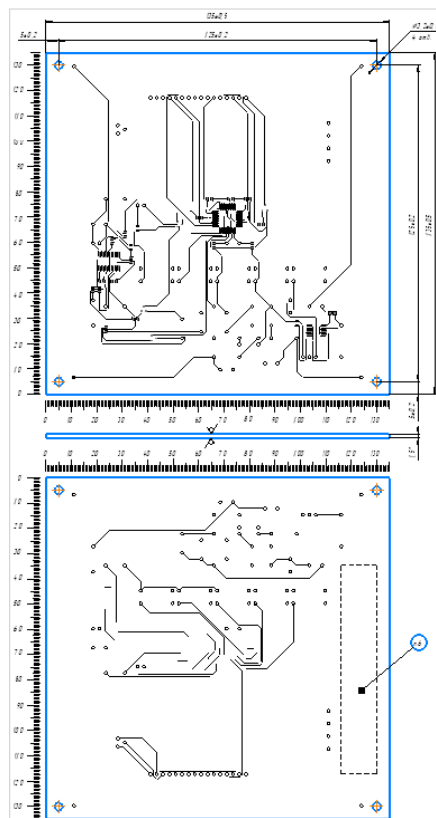


Рисунок 1.22 – Рисунок друкованої плати

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат



При цьому на кресленні вказано всі деобхідні розміри та допуски, додаткові технічні вимоги.

Додатково в таблиці наведено параметри провідного рисунка для поверхневого монтажу.

Таблиця 1.2 – параметри провідного рисунка

Умовні позначення	Діаметр отвору, мм	Розмір контактної площадки	Найвища металізація	Кількість
	$0,8 \pm 0,08$	$\phi 1,2 \pm 0,1$	+	162
	$3,2 \pm 0,2$	-	-	4
	-	$\square (2,2 \times 0,7) \pm 0,05$	-	32
	-	$\square (1,8 \times 1,2) \pm 0,05$	-	4
	-	$\square (1,8 \times 0,9) \pm 0,05$	-	58

На рис. 1.23 наведено вигляд отриманого дркованого вузла

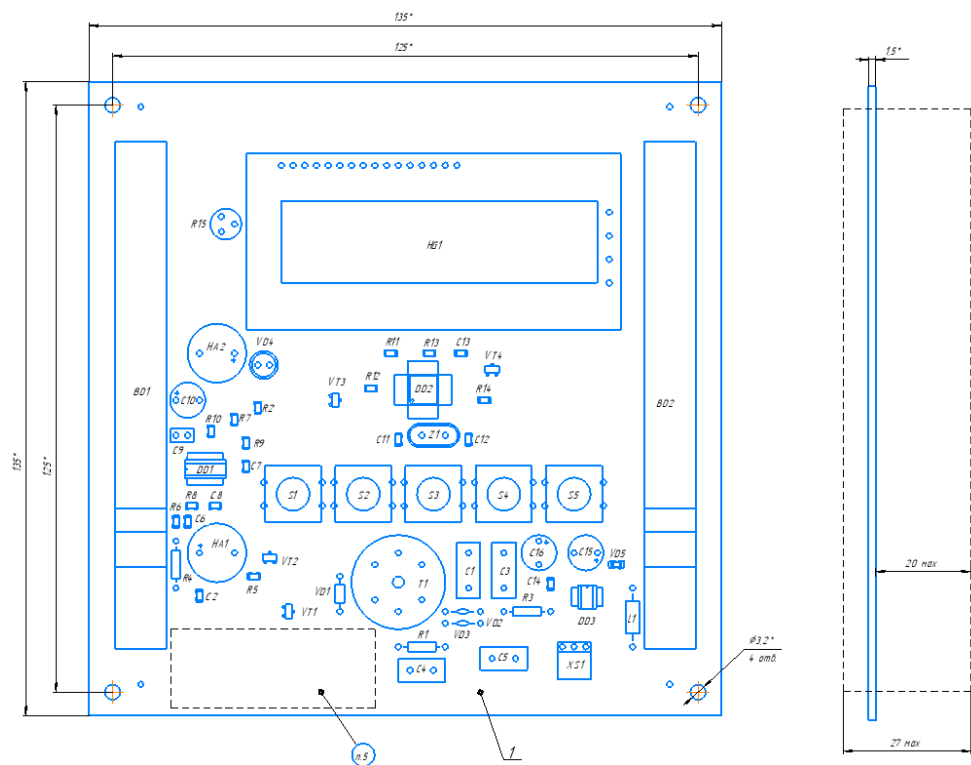


Рисунок 1.23 – Креслення друкованого вузла

Додатково на кресленні вказано елементи із нестандартним типом установки, технічні та додаткові вимоги, зокрема тип та варіанти установки стандартних елементів, місце та тим нанесення маркування, захисне покриття вузла тощо.

### 1.7 Висновки до розділу 1

В розділі проведено аналіз технічного завдання, аналіз принципів роботи детекторів іонізуючого випромінювання, проектування структурної та функціональної схеми детектора, побудова та параметричний синтез схеми електричної принципової, вибір елементної бази, розробка компоновки та монтажу.

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		42

## 2 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

2.1 Планування заходів з охорони праці. Види планування та контролю стану охорони праці. Виявлення, оцінка та зменшення ризиків небезпечних подій

Метою планування заходів з охорони праці є визначення необхідних вкладень у заходи з охорони праці для ефективного впливу на стан охорони праці.

Система планів з охорони праці окремого підприємства може включати:

- перспективне планування (на період, більший одного року) ;
- поточне планування (на рік) ;
- оперативне планування (детальні плани, спрямовані на вирішення конкретних питань працезахоронної діяльності на підприємстві в короткостроковому, до одного року, періоді).

Планування в охороні праці може включати:

- визначення цілей діяльності з охорони праці на підприємстві та засобів їх досягнення;
- вибір методів і базових показників, за допомогою яких може здійснюватися оцінка необхідних вкладень в охорону праці;
- розрахунок суми вкладень у заходи з охорони праці та раціональний розподіл цієї суми за напрямками діяльності;
- забезпечення організації контролю виконання плану (при необхідності здійснення коригування запланованих показників) ;
- здійснення постійного контролю умов і безпеки праці на підприємстві та оперативне реагування на відхилення від нормативних вимог.

Перспективне планування вміщує найбільш важливі, трудомісткі і довгострокові за терміном виконання заходи з охорони праці, виконання яких, як правило, вимагає сумісної роботи кількох підрозділів підприємства.

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		43

Можливість виконання заходів перспективного плану повинна бути підтверджена обґрунтованим розрахунком необхідного матеріально-технічного забезпечення і фінансових витрат з зазначенням джерел фінансування.

До перспективних планів належить комплексний план покращення умов праці і санітарно-оздоровчих заходів, що передбачає створення, відповідно до нормативних актів з охорони праці, умов праці, пов'язаних з перспективними змінами підприємства. Таке планування, як правило, розраховане на термін від 2 до 5 років. Реалізація цих планів забезпечується через річні плани номенклатурних заходів з охорони праці, які вносяться до угоди, що є невід'ємною частиною колективного договору.

Поточне планування здійснюється у межах календарного року через розроблення відповідних заходів у розділі «Охорона праці» колективного договору.

Поточні плани передбачають реалізацію заходів із покращення умов праці, створення кращих побутових і соціальних умов на виробництві. Ці плани обов'язково забезпечуються фінансуванням згідно з розробленими кошторисами.

Питання охорони праці можуть віддзеркалюватися в інших поточних планах, які підприємства та організації можуть складати на вимогу трудових колективів:

- план соціального розвитку колективу;
- наукової організації праці;
- механізації важких і ручних робіт;
- охорони праці жінок;
- підготовки підприємства до робіт в осінньо-зимовий період;
- підвищення культури виробництва та ін.

Оперативне планування роботи з охорони праці здійснюється за підсумками контролю стану охорони праці в структурних підрозділах і на підприємстві в цілому.

Оперативні плани складаються для швидкого виправлення виявлених в процесі державного, відомчого і громадського контролю недоліків в стані охорони праці, а також для ліквідації наслідків аварій або стихійного лиха.

Оперативні заходи щодо усунення виявлених недоліків зазначаються безпосередньо у наказі власника підприємства, який видається за підсумками контролю, або у плані заходів, як додатку до наказу.

Організаційно-методичну роботу щодо складання перспективних, поточних та оперативних планів здійснює служба (спеціаліст) охорони праці.

## 2.2 Здійснення заходів щодо зниження дії радіоактивних випромінювань

Оцінка уразливості лабораторного блока живлення від радіоактивного забруднення і проникаючої радіації починається з визначення максимальних очікуваних значень рівня радіації і дози проникаючої радіації. За показник стійкості об'єкта приймається допустима доза радіації, яку можуть одержати люди за час робочої зміни.

Для характеристики радіоактивного забруднення застосовують ступінь (щільність) забруднення, який характеризується поверхневою щільністю забруднення радіонуклідами і вимірюється активністю радіонукліда на одиницю площі (об'єму). Основною дозиметричною величиною, за допомогою якої оцінюється дія радіації, є доза випромінювання - кількість енергії, яка поглинута одиницею маси опроміненого середовища. Експозиційна доза визначається тільки для повітря при гама і рентгенівському випромінюванні. Поглинута доза визначається для речовин. Місцевість, що забруднюється внаслідок радіаційної аварії, за щільністю забруднення радіонуклідами умовно поділяють на зони: зону відчуження, зону

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		45

безумовного (обов'язкового) відселення, зону гарантованого (добровільного) відселення і зону підвищеного радіоекологічного контролю.

За дозами опромінення зону забруднення поділяють на наступні зони: надзвичайно-небезпечного забруднення, небезпечного забруднення, сильного забруднення, помірного забруднення, і зону радіаційної небезпеки.

Також радіоактивне забруднення буде безпосередньо впливати лабораторного блока живлення, але і на його конструкцію, оскільки, до його складу входять метічні провідники з ізоляційним покриттям, металічний корпус, пласмасові роз'єми і самі радіоелементи (резистори, транзистори, мікросхема, конденсатори, діод).

Органічні речовини вельми чутливі до радіації. Вплив радіації призводить до перетворення молекул, що супроводжується хімічними реакціями, що викликають незворотні зміни природи речовини і її механічних властивостей.

Перетворення супроводжується виділенням газів, які в поєднанні з вологою утворюють кислоти, які здійснюють шкідливий вплив на ізоляційні матеріали. Більшість пласмас отримує механічне пошкодження навіть при малих дозах радіації.

Фенолформальдегід і метилметакрилат стають крихкими і деформуються. Поліетилен і полістирол - спочатку збільшується опір розриву і твердість, а потім вони стають крихкими. Більшість пласмас темніє і знебарвлюється. Просочення і ізоляційні масла псуються, як і оргматеріали. Синтетичний каучук і кремнійорганічна гума твердіють

Зміна електричних властивостей органічних речовин (провідність, діелектрична проникність, кут втрат) має оборотний характер. Час відновлення залежить від природи матеріалу та умов опромінення.

На неорганічні речовини (матеріали) радіація впливає менше, ніж на органічні. При опроміненні нейтронами можливо об'ємне розширення. Кварц і скло втрачають прозорість при великих дозах.

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		46

Вплив радіації на напівпровідниковий діод залежить від того, який ефект використаний в основі його роботи, виду матеріалу, питомого опору його, а також конструктивних особливостей діода. Оскільки в підсилювачі використані лише кремнієві діоди то розглянемо лише їхню реакцію.

Під впливом нейтронної радіації провідність точково-контактних діодів зменшується в прямому і зворотному напрямках; у площинних діодів провідність у прямому напрямку також зменшується. Пошкодження діодів обумовлюється зміною характеристик провідності в прямому напрямку. Вплив  $\gamma$ -опромінення викликає оборотні зміни зворотного струму.

Характеристика впливу радіоактивного забруднення на транзистор. Вплив опромінення викликає порушення кристалічної решітки матеріалу (основний ефект) і іонізацію (вторинний ефект). Внаслідок цього змінюються параметри напівпровідникових матеріалів – час життя основних носіїв, питома провідність, швидкість поверхневої рекомбінації дірок з електронами. Внаслідок зміни вищевказаних параметрів зменшується коефіцієнт підсилення по струму, збільшується зворотний струм колектора, зростають шуми транзистора.

Іонізація, створювана радіацією, інжектується надлишок носіїв у транзистор, внаслідок чого виникають значні шуми. Зміна коефіцієнта посилення є незворотнім, а зміни зворотного струму можуть бути оборотними і необоротними. Як бачимо змінюється основний із електричних параметрів підсилювача – коефіцієнт підсилення, а отже вихідна потужність.

Потрібно зазначити, що більшу радіаційну стійкість мають германієві транзистори в порівнянні з кремнієвими.

До основних методів захисту радіоелектронної апаратури відносять такі конструктивні рішення:

- правильно підбирати і розташовувати елементи;
- ширше використовувати керамічні ізолятори в частинах перемикачів, роз'ємах, гніздах і т.д.;

- застосовувати склотканина та інші неорганічні матеріали для манжет, кабельної ізоляції тощо;
- застосування елементів з неорганічних матеріалів, слюдяних і керамічних конденсаторів;
- застосовувати плівкові і металлопленочні опору;
- ретельно продумувати схему розташування, для зменшення струмів витоку і пробую;
- екранувати найбільш чутливі елементи;
- правильно вибирати матеріали деталей конструкції;
- правильно вибирати напівпровідникові прилади (надавати перевагу германієвим).
- Для захисту від  $\gamma$  - променів добре екранують, захищають - свинець, вісмут, вольфрам, золото, платина, ртуть і деякі інші важкі матеріали.

### 2.3 Висновки до розділу

В розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто планування заходів з охорони праці. Види планування та контролю стану охорони праці. Виявлення, оцінка та зменшення ризиків небезпечних подій. Також описано заходи щодо зниження дії радіоактивних випромінювань

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		48



## Висновки

В роботі проведено розробку цифрового детектора іонізаційного випромінювання.

Проведено аналіз способів та засобів визначення наявності іонізаційного випромінювання, зокрема іонізаційних камер та лічильників. В роботі використано за основу газонаповнений лічильник. Знаючи принцип його роботи побудовано структурну та функціональну схеми детектора.

Розроблено схему електричну принципову та вибрано елементи для неї. В основі цифрової частини детектора використано мікроконтролер, який проводить підрахунок кількості імпульсів, створюваних лічильником, які будуть пропорційними кількості частинок, що потрапляють всередину камери лічильника, та відображає їх значення, приведену дозу випромінювання та стан заряду акумуляторів на екрані індикатора.

Розроблено друковану плату і друкований вузол та оформлено відповідні креслення в середовищах 3D-V14 та P-Cad 2006

Проведено аналіз охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		49

## Список використаних джерел

1. Семенов Б.Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов.-М.:СОЛОН Р, 2001. - 321с.
2. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства:Справ, радиолюбителя/ Р.М. Терещук, К.М. Терещук, С.А. Седов. - 4-е изд., стер.- Киев: Наук. думка, 1988,-800с.: ил.-Библиогр.: с. 765-800.
3. П. Хоровиц, У. Хилл. Искусство схемотехники. 2.М: Мир, 1986. - 590 с.
4. Технологія і автоматизація виробництва радіоелектронної апаратури-М.: Радіо і зв'язок, 1989 - 263 с.: Іл.
5. Радиопередающее устройства : Учебник для вузов. / Л. А. Белов, М. В. Благовещенский, В. М. Богачев и др.; Под ред. М. В. Благовещенского, Г. М. Уткин. – М.: «Радио и связь», 1982. – 408 с., ил.
6. Радиопередающие и радиоприемные устройства / В. Г. Левичев. – М., «Воениздат», 1974. – 510 с.
7. Радиопередающее устройства : Учебник для техникумов / М. С. Шумилин, В. П. Севальнев, Э. А. Шевцов. – М.: «Высш. Школа», 1981.-293 с.
8. Основа теории транзисторов и транзисторных схем. / И.П.Степаненко. - М., «Энергия», 1977. – 672 с. с ил.
9. Мощные полупроводниковые приборы. Транзисторы: Справочник. / Б. А. Бародин, В. М. Ломакин, В. В. Мокряком и др.; Под ред. А.В. Голомедова. - М., «Радио и связь», 1985. – 560 с., ил.
10. Полупроводниковые приборы. Транзисторы: Справочник. / В.А. Аронов, А. В. Баюков, А. А.Зайцев и др. Под общей редакцией Н. Н. Горюнова - М., «Энергоиздат», 1982. – 904 с., ил.
11. Транзисторы для аппаратуры широкого применения: Справочник. / К. М. Бережнева, Е. И. Гантман, Т. И. Давыдова и др. Под общей редакцией Б.Л. Перельман – М., «Радио и связь», 1981. – 656 с., ил.

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		50

12. Проектирование радиопередающих устройств: Учебник для вузов. / В. В. Шахгильдян, И. А. Попов и др.: Под редакцией В. В. Шахгильдяна. – М., «Радио и связь», 1984. – 424 с., ил.

13. Радиопередающие устройства связи и вещания: Учебник для техникумов. / О. Л. Муравьев – М., «Радио и связь», 1983. – 352 с., ил.

14. Проектирование радиопередающих устройств малой и средней мощности. / М. В. Верзунов, Е.Г. Лапицкий, А.М. Семеновский, Л.Н. Сосновский. - Л., «Энергия», 1967. – 376 с. с ил.

					ФПТ 3.060.015.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		51

# ДОДАТКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедру РТ  
\_\_\_\_\_ к.т.н. Дунець В.Л.  
“27” травня 2022 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу бакалавра

На тему: «Цифровий детектор іонізаційного випромінювання»

Узгоджено:

Керівник кваліфікаційної роботи

Дедів І.Ю. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”

Студент групи РАС-41

Качанюк А.В. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 р.

Тернопіль 2022

# 1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “Цифровий детектор іонізаційного випромінювання”

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету на затвердження дипломного проекту № 4/7-445 від 27.05.2021 р.).

## 2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Качанюк А.В. групи РАс-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

## 3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою роботи є розробка цифрового детектора іонізаційного випромінювання, що включає в себе:

- вибір апаратного забезпечення для даного пристрою;
- вибір елементної бази розроблювального пристрою;
- розрахунок і вибір компонентів для оптимальної роботи пристрою;
- розробку друкованої плати та друкованого вузла.

## 4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

1. Діапазон реєстрованого гамма-випромінювання, мкр/год 0,004-40;
2. Час вимірювання, с 10;
3. Вихід на робочий режим, с 30;
4. Напруга живлення, В 3;
5. Максимальний струм споживання, мА 50;

## 5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

- Пояснювальна записка;
- Структурна схема пристрою;
- Функціональна схема пристрою;
- Принципова схема пристрою;
- Друкована плата;
- Друкований вузол.

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 - Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи

№ етапу	Назва етапу виконання	Термін виконання
1	Розробка та затвердження технічного завдання	22.02. 2022
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	1.03. 2022
	Вибір власних схемо-технічних рішень	16.03.2022
3	Вибір елементної бази для розроблюваного пристрою;	29.03.2022
4	Розрахунок основних вузлів у схемі пристрою.	12.04.2022
5	Створення допоміжної документації	26.04.2022
6	Розроблення креслень	26.04.2022
7	Розділ охорони праці та безпеки життєдіяльності	10.05.2022
8	Нормоконтроль	24.05.2022
9	Попередній захист	31.05.2022
10	Захист	23.05.2022

## ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

.1 Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.



Поз. познач.	Найменування				Кіл.	Примітка		
	<u>Конденсатори</u>							
	ECAP (Hitano)					K50-35 ОЖ0.464.214 ТУ		
	GRM21 0805					Вітебський завод радіодеталей "МОНОЛИТ"		
	K73-17 ОЖ0.460.172 ТУ							
C1,C3	K73-17-630B-0,047 мкФ±5%				2			
C2,C9	K73-17-63B-0,01 мкФ±5%				2			
C4,C5	K73-17-630B-47 пФ±5%				2			
C6,C7	GRM21-50B-1 нФ ±5%				2			
C8	GRM21-50B-0,01 мкФ ±5%				1			
C10,C15-C17	ECAP-16B-100 мкФ±5%				4			
C11,C12	GRM21-50B-22 пФ ±5%				2			
C13,C14	GRM21-50B-0,1 мкФ ±5%				2			
	<u>Мікросхеми</u>							
DD1	HEF4011BT				1	NXP Semiconductors		
DD2	ATMEGA8 TQFP32				1	NXP Semiconductors		
DD3	MAX1674				1	Texas Instruments		
	<u>Індикатор</u>							
HG1	WH1602D				1	Winstar Display		
	<u>Резистори</u>							
	PV36P101					MURATA		
	0805-RC11					MURATA		
	C2-33-0.125 ОЖ0.466.112 ТУ					Еркон		
R1,R3	C2-33-0.125-1,5 МОм ±5%				2			
R2	0805- RC11-300 Ом ±5%				1			
R4	0805- RC11-75 кОм ±5%				1			
R5,R8	0805- RC11-47 кОм ±5%				2			
R6	0805- RC11-2 МОм ±5%				1			
					КАВ 3.020.093.000 ПЕЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Качанюк А.В.				Перелік елементів	Лім.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Дедів І.Ю.						1	2
Н. Контр.	Марценюк А.С.					ТНТУ, гр. РАс-41		
Зав. каф.	Дунець В.Л.							
Реценз.	Дозорський В.Г.							

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
R7	0805- RC11-100 кОм ±5%	1	
R9	0805- RC11-220 кОм ±5%	1	
R10	0805- RC11-1 кОм ±5%	1	
R11,R16	0805- RC11-4,7 Ом ±5%	2	
R12,R14	0805- RC11-4,7 кОм ±5%	2	
R13	0805- RC11-10 Ом ±5%	1	
R15	PV36P101-0,125-15 кОм±10%	1	
S1-S5	<u>Кнопки</u> SWT9	5	<i>Завод БКТП</i>
T1	<u>Трансформатор</u> ФПТ 4.7.001	1	
L1	<u>Дросель</u> ФПТ 4.7.002	1	
<u>Діоди</u>			
VD1	1N4007	1	<i>Fairchild Semiconductor</i>
VD2,VD3	1N4148	2	<i>Fairchild Semiconductor</i>
VD4	MBR0520	1	<i>Fairchild Semiconductor</i>
HL1	АЛ307Б	1	<i>Fairchild Semiconductor</i>
<u>Транзистори</u>			
VT1,VT3,VT4	BC847	3	<i>PHILIPS</i>
VT2	BC857	1	<i>PHILIPS</i>
<u>Роз'єми</u>			
XS1	PLS-2-3	1	<i>NXU</i>
HA1,HA2	П'єзореzonансний випромінювач НСМ1201	2	<i>JL KIG</i>
BQ1,BQ2	Лічильник Гейгера СТМ-20	2	<i>Сорбполимер-Аналитик</i>
Z1	<u>Резонатор</u> РК1706А-6АП-4МГц	1	<i>Иртыш</i>
			Каб 3.020.093.000 ПЕЗ
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис
			Дата
			Арк. 2

Форма	Зона.	Поз.	Найменування	Найменування	Кіл.	Примітка
				<b><u>Документація</u></b>		
A1			КАВ 6.020.093.000 СК	Складальне креслення		
A2			КАВ 3.020.093.000 ЕЗ	Схема електрична принципова		
				<b><u>Деталі</u></b>		
		1	КАВ 7.020.093.000	Плата друкована	1	
		2	КАВ 5.020.093.000	Прокладка	2	
				<b><u>Стандартні вироби</u></b>		
				<b><u>Інші вироби</u></b>		
				<b><u>Діоди</u></b>		
		3	<i>Fairchild Semiconductor</i>	1N4007	1	VD1
		4	<i>Fairchild Semiconductor</i>	1N4148	2	VD2,VD3
		5	<i>Fairchild Semiconductor</i>	MBR0520	1	VD4
		6	<i>Fairchild Semiconductor</i>	АЛ307Б	1	HL1
				<b><u>Конденсатори</u></b>		
			К50-35 ОЖ0.464.214 ТУ	ЕСАР ( <i>Hitano</i> )		
			<i>Вітебський завод радіодеталей "МОНОЛИТ"</i>	GRM21 0805		
				К73-17 ОЖ0.460.172 ТУ		
		7		К73-17-630В-0,047 мкФ±5%	2	С1,С3
		8		К73-17-63В-0,01 мкФ±5%	2	С2,С9
		9		К73-17-630В-47 пФ±5%	2	С4,С5
		10		GRM21-50В-1 нФ ±5%	2	С6,С7
		11		GRM21-50В-0,01 мкФ ±5%	1	С8
				КАВ 3.020.093.000		
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>		
<i>Розроб.</i>		Качанюк А.В.			<b>Лім.</b>	<b>Арк.</b>
<i>Перевір.</i>		Дедів І.Ю.				<b>Аркушів</b>
<i>Н. Контр.</i>		Марценюк А.С.				1
<i>Затверд.</i>		Дунець В.Л.			ТНТУ, гр. РТ-51	
<i>Рецензент</i>		Дозорський В.Г.				
Друкований вузол						3



