

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Радіотехнічний факультет  
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури  
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Г.А. Меліч (підпис) Г.А. Меліч (ініціали, прізвище)

«20» 06 2019 р.

Дипломний проект  
на здобуття ступеня бакалавра

За напрямом підготовки 6.050902 Радіoeлектронні апарати  
(код та назва спеціальності)

на тему: Генератор ультразвуку в акустичній

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи РК-51  
(шифр групи)

Бодько Максим Євгенівич  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Бодько  
(підпис)

Керівник ст. викладач кафедри РА Новагород А.І. Фелікс  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Фелікс  
(підпис)

Консультант з охорони праці доцент, к.т.н., Каштанов С.Ф.  
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Каштанов  
(підпис)

Рецензент Сухомо Олександр Юрійович  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Сухомо  
(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проекті немає запозичень з праць ін-  
ших авторів без відповідних посилань.

Студент Бодько  
(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»

Факультет (інститут) радіотехнічний  
(повна назва)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

За напрямом підготовки 6.050902 Радіоелектронні апарати  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Є.А. Нелін  
(ініціали, прізвище)

«16» травня 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект (роботу) студенту

Бодька Максима Євгенійовича  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Генератор ультразвукових імпульсів

керівник проекту (роботи) Новосад Андрій Анатолійович  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «27» травня 2019 р. №1299-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 14 червня 2019 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) генератор з прямокутних імпульсів напруги в діапазоні 20-46 кГц, напруга на виході 150 вольт, потужності на виході 220В

4. Зміст (дипломної роботи) розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Оптимізація ширини різниці Гел  
аналіз ГЗ, Обґрунтування ТО, вибір елементної бази  
Проектування електричного мосту з проектуванням приладу  
за аналізом процесу роботи. Охорона праці.

5. Перелік (ілюстративного) графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів тощо) Схема електричної  
структури, Схема електричної принципова  
схема електричної структури

6. Консультанти розділів проекту (роботи)\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
З охорони праці	к.т.н., доцент Каштанов С.Ф.		

7. Дата видачі завдання 16 травня 2019 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Оптимізація ширини різниці	08.04-15.04	
2	Розробка ТО аналіз технічних умов	15.04-23.04	
3	Обґрунтування ТО, вибір елементної бази	23.04-29.04	
4	Вибір та обґрунтування елементів	30.04-06.05	
5	Проектування електричного мосту	30.04-07.05	
6	Проектування приладу	07.05-15.05	
7	Аналіз працездатності приладу	15.05-21.05	
8	Охорона праці	21.05-27.05	
9	Оформлення технічної документації	21.05-27.05	

Студент

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

(ініціали, прізвище)

(підпис)

(ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

## Анотація

Дипломний проект на тему «Генератор ультразвуковий імпульсний» містить 51 сторінку тексту, рисунків, таблиць, 3 кресленика А1, 1 кресленик А2.

Проект складається з 5 розділів, 3 додатків та висновку.

Ціль — спроектувати та розрахувати елементи генератора ультразвукового імпульсного. Були проведені наступні розрахунки: розрахунок фільтра низьких частот, розрахунок генератора, розрахунок надійності, проектування друкованої плати.

Отримані результати задовольняють умови технічного завдання.

## *Abstract*

Summary Diploma project on the topic "Ultrasound Impulse Generator" contains 51 pages of text, drawings, tables, 3 drawings A1, 1 drawings A2. The project consists of 5 sections, 3 annexes and a conclusion. The goal is to design and calculate the elements of an ultrasonic pulse generator. The following calculations were carried out: calculation of the low pass filter, calculation of the generator, reliability calculation, design of the printed circuit board. The results obtained satisfy the terms of the technical specification.

					PK51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**до дипломного проекту**

на тему: Генератор ультразвуковий імпульсний

Київ 2019

## Зміст

Перелік скорочень.....	4
Вступ.....	5
1 Огляд існуючих рішень та аналіз технічного завдання .....	8
1.1 Огляд ринку готової продукції.....	8
1.2 Аналіз технічного завдання.....	11
2 Обґрунтування та вибір схемотехнічного рішення, елементної бази ..	14
2.1 Структурна схема .....	14
2.2 Опис схеми електричної принципової .....	18
2.3 Вибір елементної бази.....	23
3 проектування електронного модуля.....	29
3.1. Вибір класу точності і конфігурації друкованої плати .....	29
3.2 Розрахунок друкованої плати.....	29
Розрахунок геометричних розмірів ДП .....	29
Розрахунок мінімальної ширини провідника по постійному струму	30
Розрахунок мінімальної ширини провідника за допустимим	
падінням напруги .....	30
Розрахунок максимальної ширини провідників .....	31
Розрахунок мінімальної відстані між елементами провідникового	
рисунок.....	31
Розрахунок мінімальної відстані між провідниками і контактною	
площиною у вузьких місцях.....	31
4 проектування приладу та аналіз працездатності .....	33
4.1 Розрахунок радіатора (теплових режимів).....	33
4.2 Розрахунок ФНЧ.....	35
4.3 Розрахунок механічної стійкості .....	36
4.4 Розрахунок надійності.....	38
5 Охорона праці.....	45
ВИСНОВКИ .....	53

					PK51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

БОДЬКО М.Є. РК-51, 2019

					РК51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ДП — друкована плата;

ФНЧ — фільтр низьких частот;

ТЗ — технічне завдання;

НЧ — Низька частота;

БОДЬКО М.Є. РК-51, 2019

					РК51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4



## Вступ

Ультразвук являє собою хвилеподібний коливальний рух частинок середовища і характеризується низкою відмінних особливостей в порівнянні з коливаннями чутного діапазону. В ультразвуковому діапазоні частот порівняно легко отримати направлене випромінювання; ультразвукові коливання добре піддаються фокусуванню, в результаті чого підвищується інтенсивність ультразвукових коливань в певних зонах впливу. До числа нових технологій які використовують ультразвук відносяться: технології гартування, лудіння і пайки металів, свердління крихких і особливо твердих матеріалів, екстрагування тваринної і рослинної сировини, розчинення, стерилізації рідких речовин, дрібнодисперсного розпилення лікарських препаратів, отримання емульсій та надтонких суспензій, диспергування фарбників, зварювання металів і полімерів, мийки, очищення деталей без використання горючих та токсичних розчинників.

Основною рушійною силою зазначених вище технологічних процесів є акустична кавітація для отримання розвиненої кавітації необхідно забезпечити високу інтенсивність коливань випромінювача. Ця параметр прямо пропорційний амплітуді коливань випромінювача. Що прямо пропорційна поданій на випромінювач напрузі.

Проектований пристрій буде створювати електричні коливання ультразвукової частоти, що подаються на випромінювач. Для забезпечення високої амплітуди коливань без перевищення допустимої потужності випромінювача в генераторі доцільно реалізувати імпульсний режим роботи. Генератор матиме можливість змінювати робочу частоту, що позитивно вплине на його універсальність, оскільки налаштувати його можна для будь якого випромінювача під резонансну частоту.

Мета розробити та виготовити генератор ультразвукової частоти, який буде створювати високочастотні електричні коливання на робочій частоті та забезпечить періодичний режим подачі на випромінювач. Такий режим

										Арк.
										5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

PK51.468784.001 ПЗ

імпульсної генерації забезпечить можливість подавати на п'єзоелектричний випромінювач потужність з більшим амплітудним значенням. При цьому середньоквадратичне значення буде залишатися в допустимих межах, але амплітуда коливань буде більша в порівнянні зі звичайними генераторами.

БОДЬКО М.Є. РК-51, 2019

					РК51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## 1 АНОТАЦІЯ

Дипломний проект на тему «Генератор ультразвуковий імпульсний» містить 51 сторінку тексту, рисунків, таблиць, 3 кресленика А1, 1 кресленик А2.

Проект складається з 5 розділів, 3 додатків та висновку.

Ціль — спроектувати та розрахувати елементи генератора ультразвукового імпульсного. Були проведені наступні розрахунки: розрахунок фільтра низьких частот, розрахунок генератора, розрахунок надійності, проектування друкованої плати.

Отримані результати задовольняють умови технічного завдання.

### ANMERKUNG

Summary Diploma project on the topic "Ultrasound Impulse Generator" contains 51 pages of text, drawings, tables, 3 drawings A1, 1 drawings A2. The project consists of 5 sections, 3 annexes and a conclusion. The goal is to design and calculate the elements of an ultrasonic pulse generator. The following calculations were carried out: calculation of the low pass filter, calculation of the generator, reliability calculation, design of the printed circuit board. The results obtained satisfy the terms of the technical specification.

					PK51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

## 2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Проаналізувавши ринок було знайдено генератори ультразвукових частот, які мають схожі параметри з тими, що задані в технічному завданні.

### 2.1 Огляд ринку готової продукції

Генератори, представлені на ринку, реалізуються за схемами з автопідстройкою частоти та за схемами з постійною частотою генерації. Генератори з постійною частотою генерації можуть мати елементи настроювання, які дозволяють змінити частоту, але більшість таких елементів не має.

Один з генераторів, що працює на фіксованій частоті представлений на рисунку.

					PK51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



**Рисунок 1.1 — Генератор ультразвуковий 28 кГц**

Цей генератор представлений у вигляді електронного модуля, призначений для встановлення в корпус. Має потужність 110 Вт. Працює на частоті 28кГц. Недоліком його є те, що робоча частота, незмінна. Такий випромінювач не дасть можливості підстроювати його під різні випромінювачі, тобто підстроювати його на частоту генерації для різних умов експлуатації. Ще одним недоліком є наявність в конструкції узгоджуючого дроселя функцією якого в проектованому виробі доцільно реалізувати в узгоджуючому трансформаторі, що дозволить виключити зі схеми додатковий намоточний елемент.

Також це не є повністю закінчений виріб, і потрібно буде виготовляти корпус, що збільшить ціну кінцевого продукту.

					PK51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9



Рисунок 1.2 — Генератор ультразвуковий 20 — 40 кГц 2000 Вт

Генератор ультразвукової частоти (рис. 1.2), може генерувати високочастотні імпульси від 20 до 40 кГц. Має кращі характеристики відносно попереднього, є можливість змінювати частоту коливань, має високу потужність, і дисплей який відображає показники його роботи в реальному часі. Цей пристрій має високу вартість, що є його недоліком.

Проаналізувавши ринок готової продукції було знайдено пристрої які можуть генерувати електричні коливання потрібної частоти, але всі вони не можуть працювати в імпульсному режимі. Оскільки не було знайдено готового варіанту, який повністю задовольняють вимоги ТЗ.

Було вирішено розробити імпульсний генератор який буде періодично припиняти генерацію з частотою в декілька герц. Таким можна забезпечити більше амплітудне значення потужності випромінення при збереженні в

					PK51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

межах норми діючого значення випромінюваної потужності, що збільшить продуктивність роботи генератора.

## 2.2 Аналіз технічного завдання

У даному дипломному проєкті розробляється пристрій, який генерує прямокутні електричні імпульси на ультразвукових частотах. Даний пристрій дозволяє отримати коливання частотою від 28 до 46 кГц. Для його живлення використовується електромережа 220 вольт.

Даний пристрій є переносним призначений для роботи в різних умовах. На основі цього важливим критерієм розробки є зручність у використанні, малогабаритність, міцність конструкції, та простота транспортування.

Також бажано забезпечити ізолюваність внутрішніх елементів пристрою від зовнішніх чинників, які можуть вивести з ладу схему, задля уникнення навмисного або ненавмисного псування.

Пристрою треба забезпечити достатню стійкість до механічних впливів. Механічні впливи, що діють на пристрій при транспортуванні наведені в таблиці.

За показниками надійності пристрій повинен мати гарантійний термін не менше 1-го року та середній час напрацювання на відому складає не менше 10000 годин. Ремонт та технічне обслуговування здійснюється у виробника.

Для спрощення та здешевлення конструкції корпус пристрою варто вибрати з готових що існують на ринку, обов'язково повинно бути місце для кріплення плати під гвинти. Також для забезпечення можливості технічного обслуговування пристрою корпус доцільно вибрати з розбірних варіантів.

За ГОСТ 30773-2001 утилізацією займається сторона виробника. При утилізації всі частини пристрою розділяються на ті, що йдуть в подальшу переробку та ті що повністю ліквідуються.

Пристрій призначений для використання в приміщеннях, де відсутні агресивні середовища та є стабільний температурний режим. Згідно таких вимог оберано кліматичне виконання УХЛ 4.2 за ГОСТ 15150-69: для

									РК51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						11

експлуатації в лабораторних, капітальних житлових та інших подібного типу приміщеннях. При такому виконанні робоча температура знаходиться в межах від +10°C до +35°C, а гранична — від +1°C до +40°C. Середнє значення відносної вологості повітря становить 65%, граничне — близько 80%. Робоче значення атмосферного тиску складає 104 кПа, а мінімально допустиме 84 кПа.

Враховуючи вищеописані фактори, а також умови ТЗ необхідно прийняти рішення по забезпеченню всіх цих норм.

Згідно ГОСТ 16019-2001, умови експлуатації приладу С1: стаціонарна апаратура, що встановлюється в опалюваних наземних чи підземних спорудах. Такі умови експлуатації мають наступні основні характеристики, що подані в таблиці 1.1:

Таблиця 1.1. Характеристики та значення механічних та кліматичних чинників

Чинник	Характеристика чинника	Значення чинника
Синусоїдальна вібрація	Діапазон частот, Гц	10-70
	Амплітуда прискорення, м/с <sup>2</sup> (g)	19,6 (2)
	Тривалість впливу, хв	90
Знижена температура	Робоча, °С	+5
	Гранична, °С	-40
Підвищена температура	Робоча, °С	+40
	Гранична, °С	+55
Знижений атмосферний тиск	Тиск, кПа	55

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PK51.468784.001 ПЗ

Арк.

12



Умови транспортування згідно ГОСТ 16019-2001 – дуже легкі (ДЛ).  
Перевезення без перевантажень автомобільним транспортом –  
транспортними засобами з пневматичним демпфіруванням по дорогам з  
асфальтним та бетонним покриттям ( дороги 1-ї категорії по будівельним  
нормам та правилам затвердженими Укравтодором) на відстані до 1000 км.

БОДЬКО М.Є. РК-51, 2019

					РК51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

### 3 ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СХЕМОТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ, ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

Розробку приладу доцільно почати з проектування структурної схеми, в якій розглянемо основні структурні вузли генератора. Далі на основі структурної схеми буде спроектовано схему електричну принципову.

#### 3.1 Структурна схема

В спрощеному вигляді схема повинна в своєму складі мати такі структурні елементи як джерело живлення, генератор коливачь УЗ частоти, керуючий НЧ генератор.(рис 2.1).

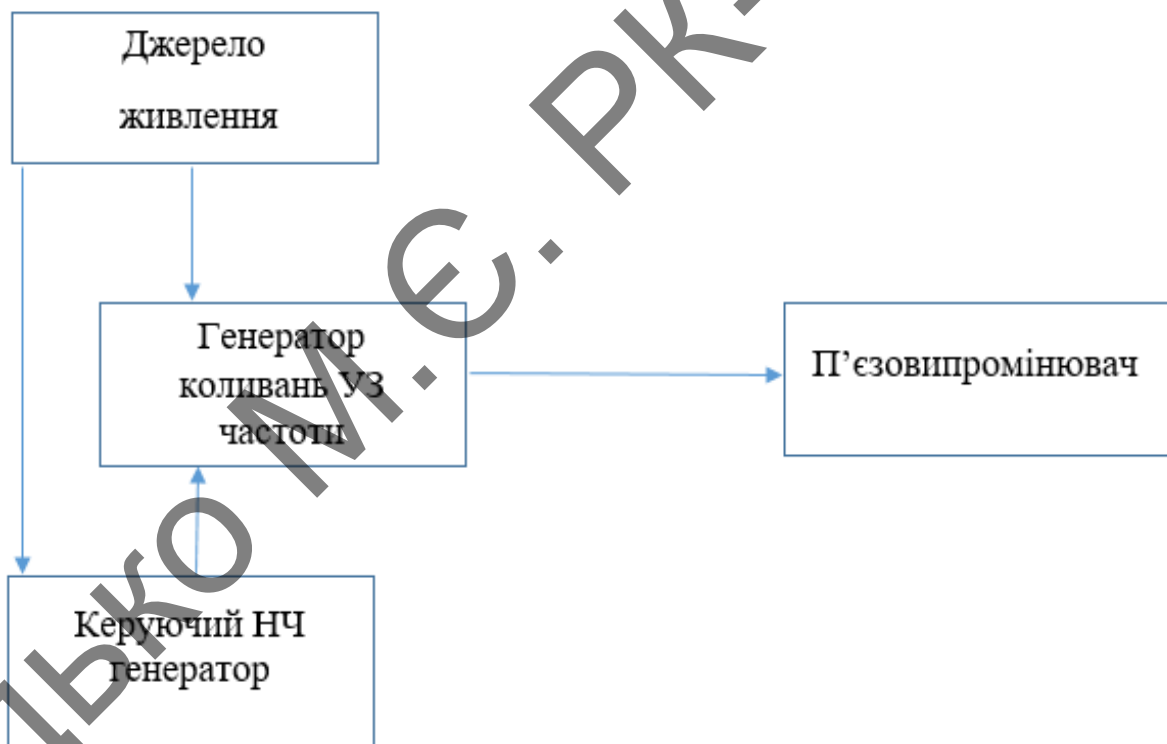


Рисунок 2.1 — Спрощена структурна схема генератора.

Джерело живлення потрібне для того, щоб понизити напругу мережі до величини, що потрібна для живлення мікросхем генераторів.

Генератор коливань УЗ частоти створює симетричні коливання високої частоти, які потім будуть використовуватися для живлення п'єзоелектричного випромінювача.

Керуючий НЧ генератор створює імпульси, які керують роботою УЗ генератора забезпечуючи імпульсний режим роботи.

Суть імпульсного режиму полягає в тому, що на виході УЗ генератора коливання ультразвукової частоти з'являються періодично, коли на виході генератора НЧ напруга дорівнює нулю. Таким чином при одночасній роботі НЧ і УЗ генераторів отримуємо сигнал у формі послідовностей імпульсів.

БОДЬКО М.Є. РК-51, 2019

					РК51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

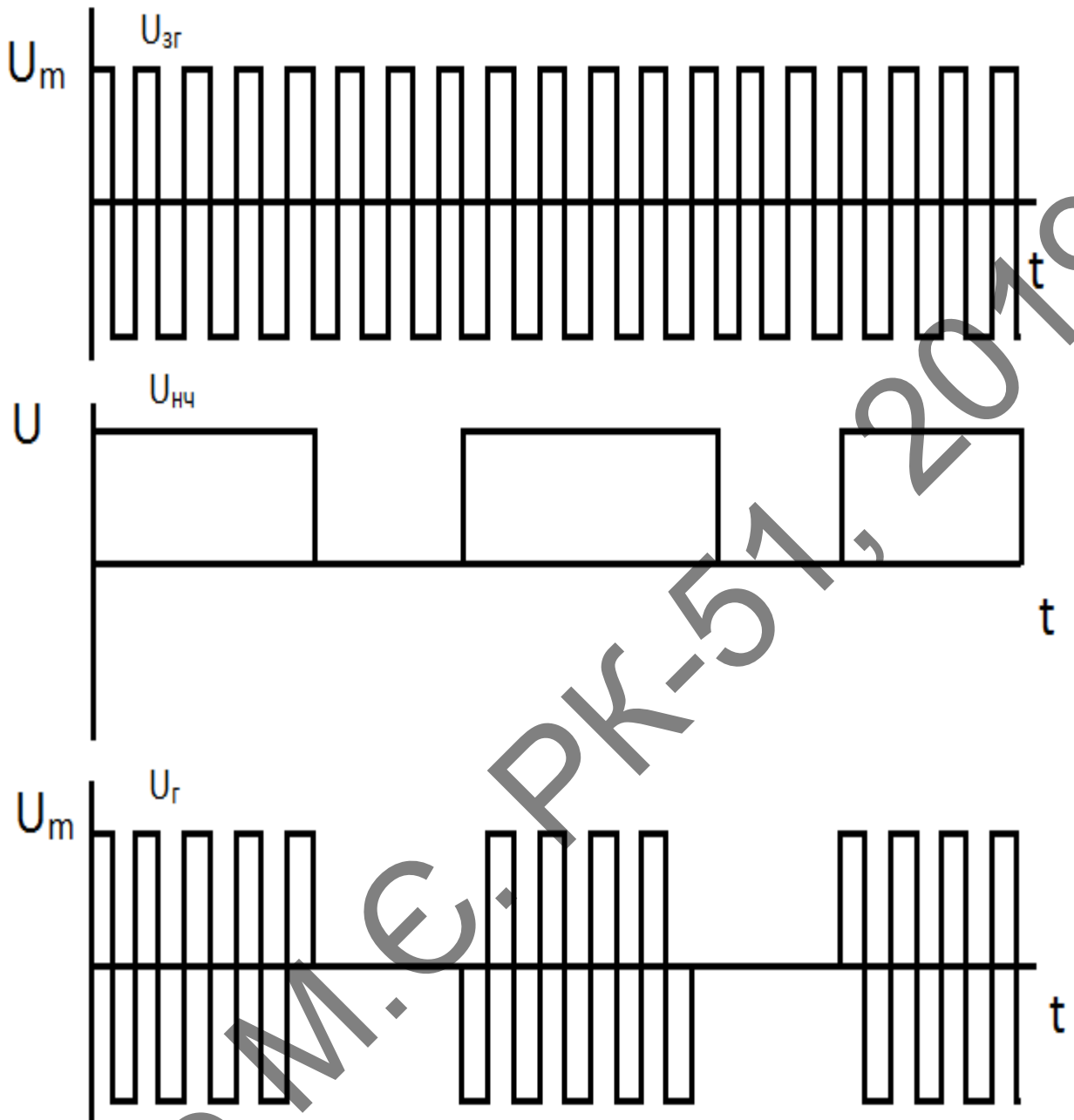


Рисунок 2.2 — Зображення сигналу на виходах генераторів.

На рисунку 2.2 зображено часові діаграми роботи генераторів, при одночасній роботі яких можна отримати імпульсний режим роботи в якому і буде працювати наша схема.

Розглянемо Повну структурну схему пристрою, що зображена на рисунку 2.3

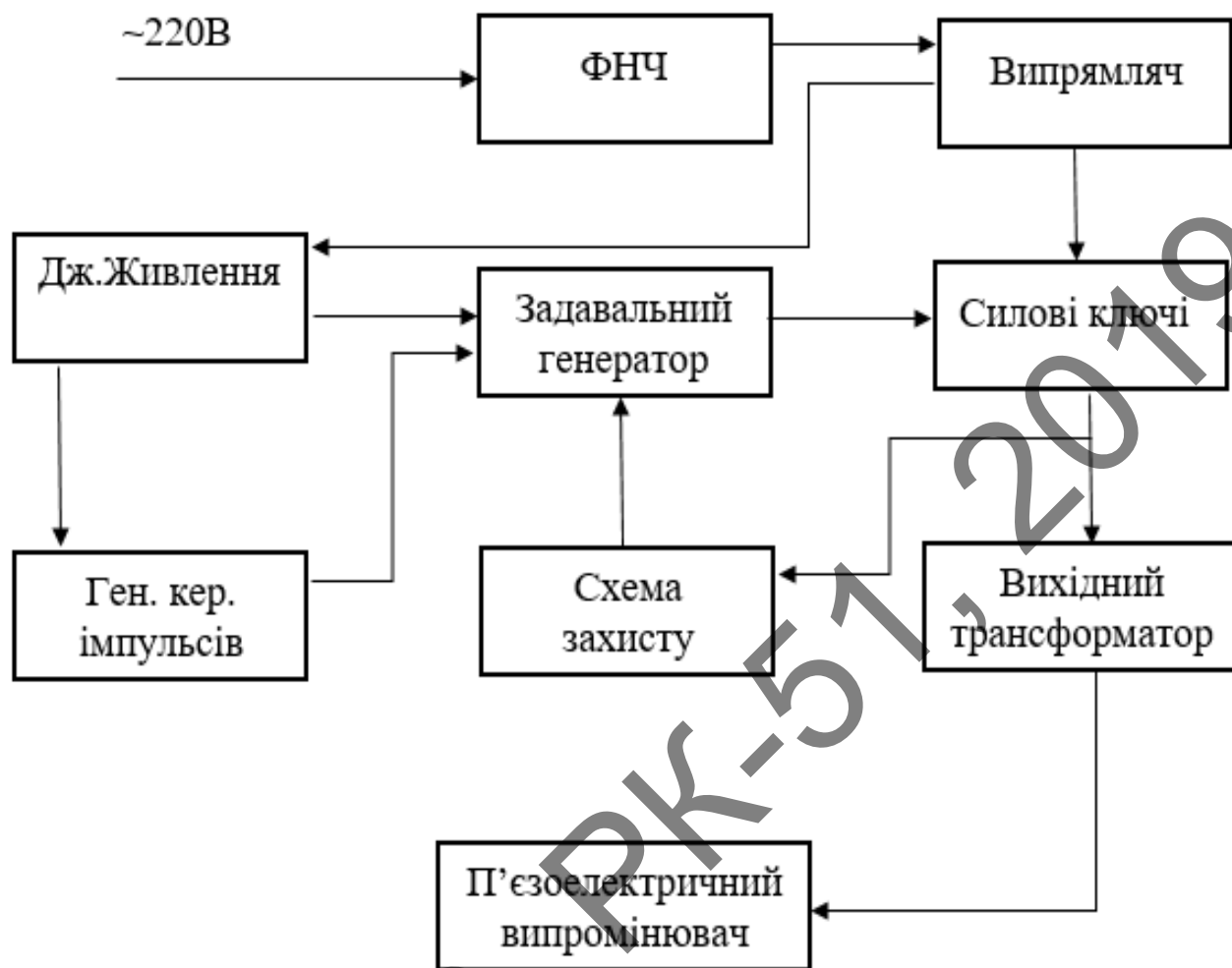


Рисунок 2.3.— Структурна схема генератора

Задавальний генератор — основна частина схеми де генеруються електричні коливання ультразвукової частоти. Сигнал з задавального генератора керує силовими ключами. Такі генератори найчастіше будуються на мікросхемах – драйверах.

Силові ключі — комутують високу напругу з випрямляча через первинну обмотку трансформатора формуючи прямокутні імпульси.

Випрямляч — використовується для перетворення змінної напруги мережі в постійну, оскільки для роботи силових ключів потрібна постійна напруга.

ФНЧ — використовується у схемі для зменшення високочастотних шумів, які присутні в електромережі. А також для запобіганню проникнення

					РК51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

до мережі живлення пульсацій, які утворюються при роботі силових ключів. В нашому варіанті використовується мережевий фільтр для симетричних кондуктивних завад, які утворюються при роботі силових ключів.

Генератор керуючих імпульсів — Це генератор який налаштований на роботу на низькій частоті. Основним призначенням цієї частини схеми є те, що за допомогою цього генератора встановлюється імпульсний режим роботи ЗГ.

Джерело живлення — зменшує напругу з 220В до 12В які потрібні для роботи мікросхем генераторів. Оскільки для живлення мікросхем потрібна мала потужність то було вирішено встановлювати конденсаторний блок живлення малої потужності.

Вихідний трансформатор — використовується для гальванічної розв'язки мережі живлення і виходу генератора. Також трансформатор допомагає в узгодженні з навантаженням.

Схема захисту — передбачена для припинення роботи генератора коли його потужність зростає до величини, яка буде небезпечною для його роботи і зможе вивести його з ладу.

### 3.2 Опис схеми електричної принципової

На основі даної структурної схеми запропоновано схему електричну принципову, яка зображена на рисунку 2.4.

Розглянемо детальніше як виглядає кожен модуль структурної схеми не принциповій, та за що відповідають конкретні елементи електричної схеми.

					PK51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

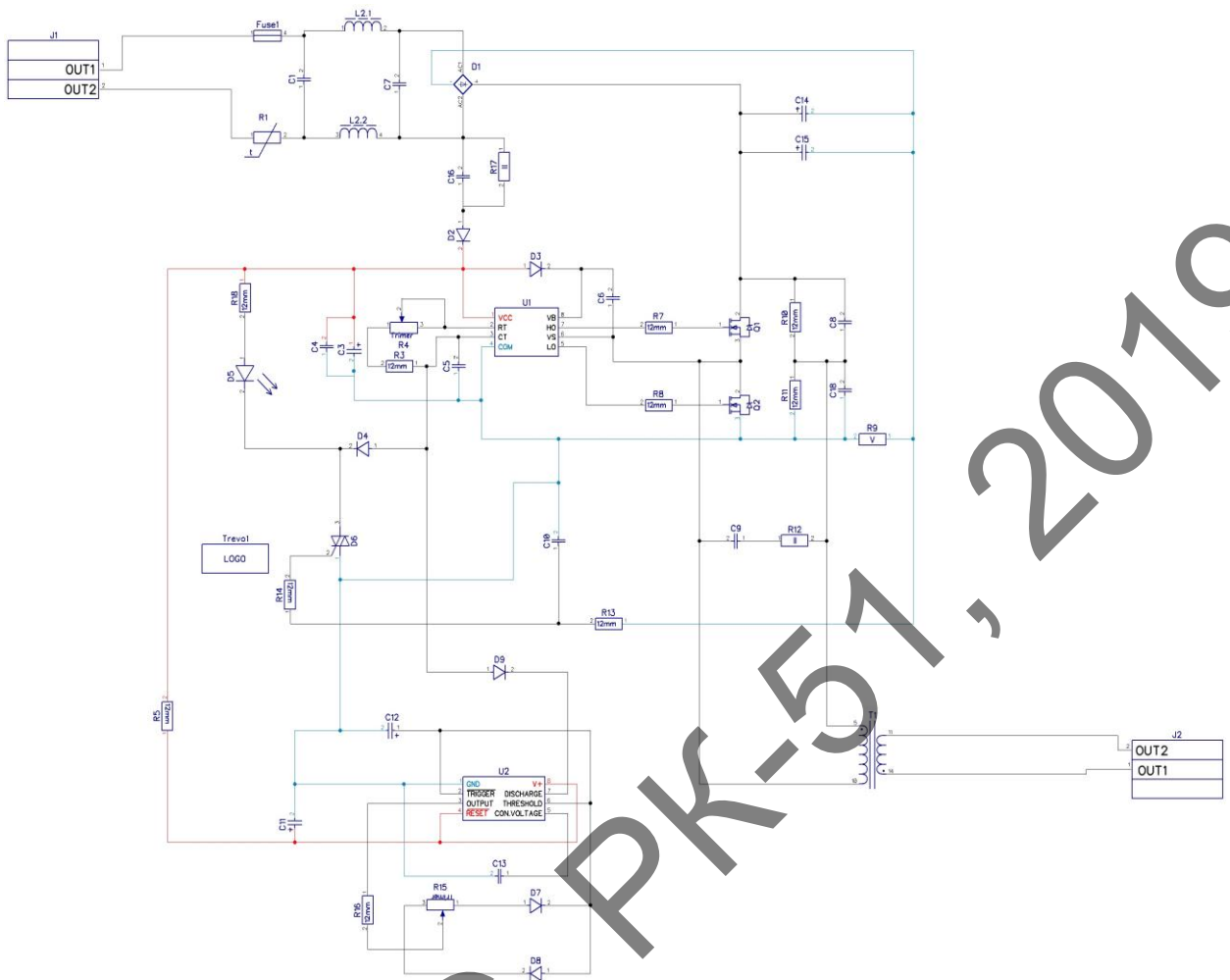


Рисунок 2.4 — Схема електрична принципова.

В електричній схемі будь-якого електроприладу першим елементом на шляху напруги живлення доцільно встановити запобіжник, який в разі виходу схеми з ладу припинить подачу живлення і збереже пристрій від короткого замикання.

ФНЧ створений на реактивних елементах а саме послідовно включених котушках індуктивності, які на високих частотах мають великий опір, а між ними встановлені паралельно два керамічних конденсатора, які на високих частотах мають низький реактивний опір і зменшують непотрібні нам коливання високої частоти.

Випрямляч — створений на основі напівпровідникових діодів. Діод має одnobічну провідність, пропускає напругу лише в одному напрямку. Використано у схемі діодний міст (D1), що представляє собою збірку діодів,

										Арк.
										19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

PK51.468784.001 ПЗ

які з'єднані між собою в певній послідовності, вона дозволяє перетворити від'ємну півхвилю в позитивну, це потрібно для того щоб не втрачати потрібну на потужність таким чином при проходженні змінної напруги через випрямляч ми отримуємо постійну.

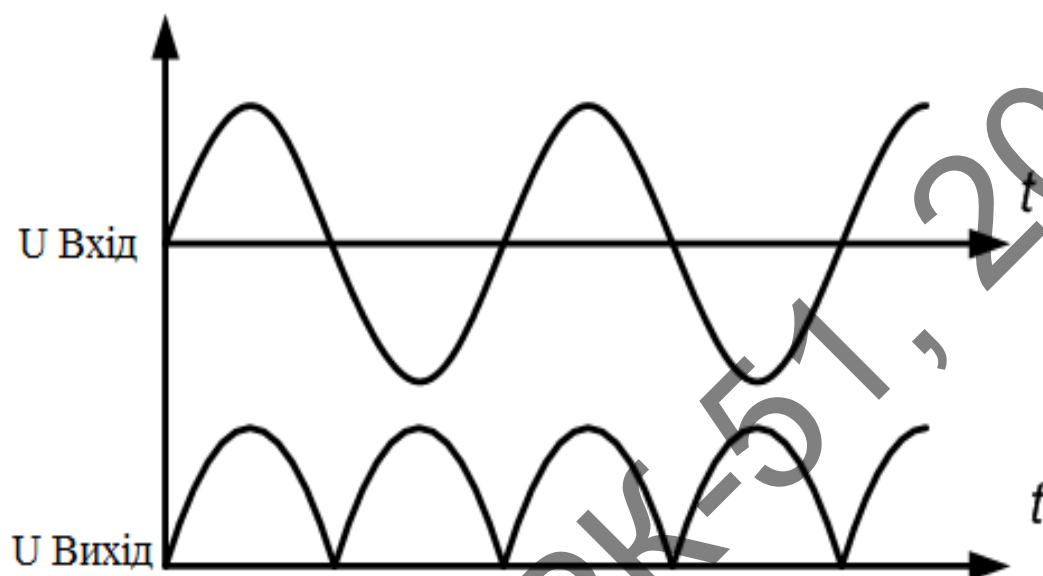


Рисунок 2.5 — графік напруги діодного моста

Після діодного випрямляча встановлені електролітичні конденсатори (C14, C15), вони заряджаються енергією коли півхвиля має максимальне значення і віддають її в потрібний момент.

Джерело живлення — в його схемі використано розділювальний конденсатор (C16) при проходженні через який напруга зменшується до потрібної нам величини а діод (D2) пропускає напругу лише в одному напрямку. Паралельно конденсатору встановлено резистор (R17), що розрядить його при вимкненні живлення.

Задавальний генератор для виготовлення високочастотного генератора було взято за основу мікросхему IR2153. Вона являє собою високовольтний драйвер з внутрішнім генератором. Такий набір вузлів дозволяє на базі цієї мікросхеми організувати напівмостові імпульсні блоки живлення. В основі мікросхеми закладено резистивний дільник, три операційних підсилювача і RS тригер.

						PK51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			20



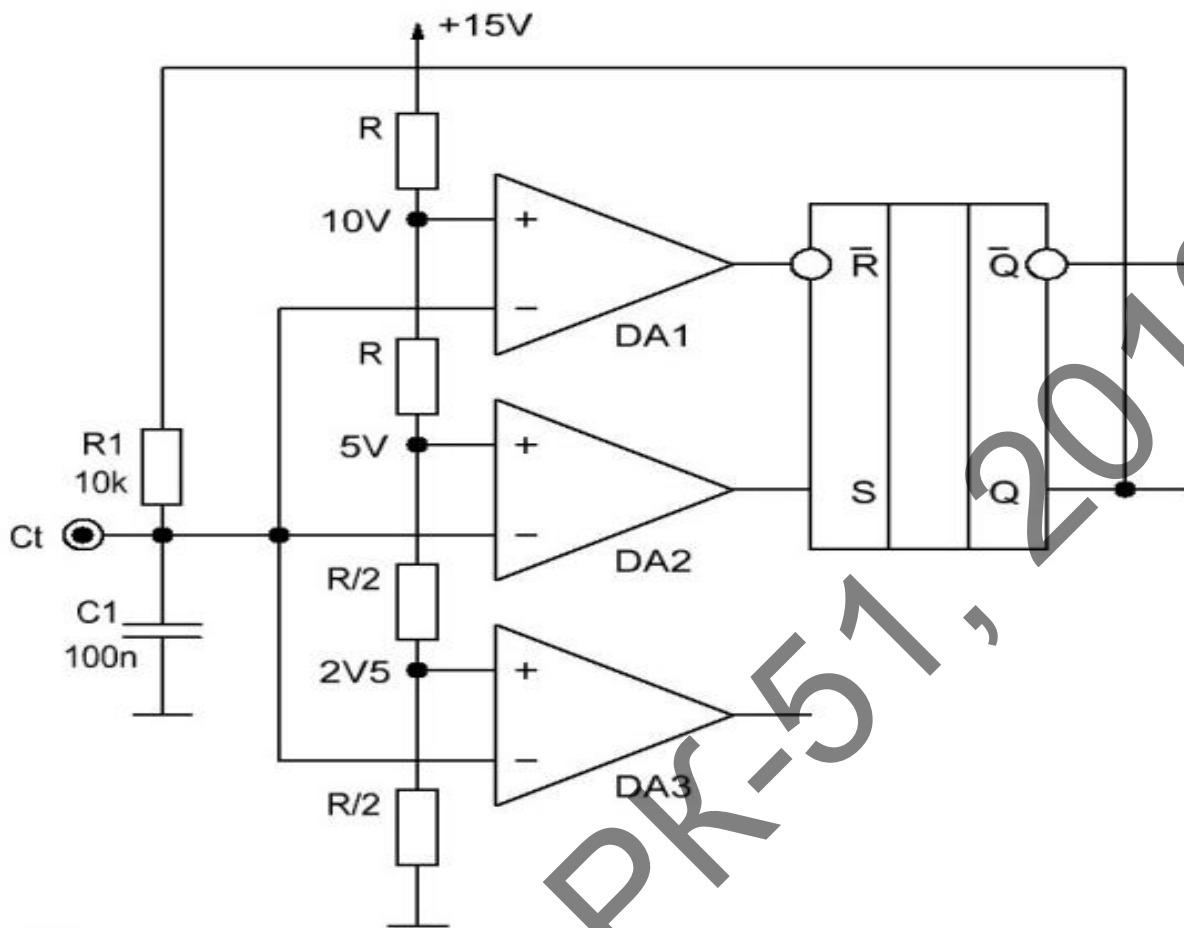


Рисунок 2.6— Частина мікросхеми, що утворює імпульси

В початковий момент часу коли подали напругу живлення конденсатор C1 не заряджений і на всіх інвертуючих виходах ОП присутній нуль, а на не інвертуючих позитивна напруга формована резисторним дільником. В результаті чого отримуємо те, що на інвертуючих входах напруга менша ніж на не інвертуючих і всі три ОП на своїх виходах формують напругу близьку до напруги живлення, логічну одиницю. Оскільки вхід R на тригері інвертуючий, то для нього це буде стан при якому він не впливає на роботу тригера, а на вході S буде присутня логічна одиниця, що встановлює на виході тригера також логічну одиницю і конденсатор Ct через R1 починає заряджатись. Часові діаграми роботи генератора можна побачити на рисунку 2.7.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PK51.468784.001 ПЗ

Арк.

21

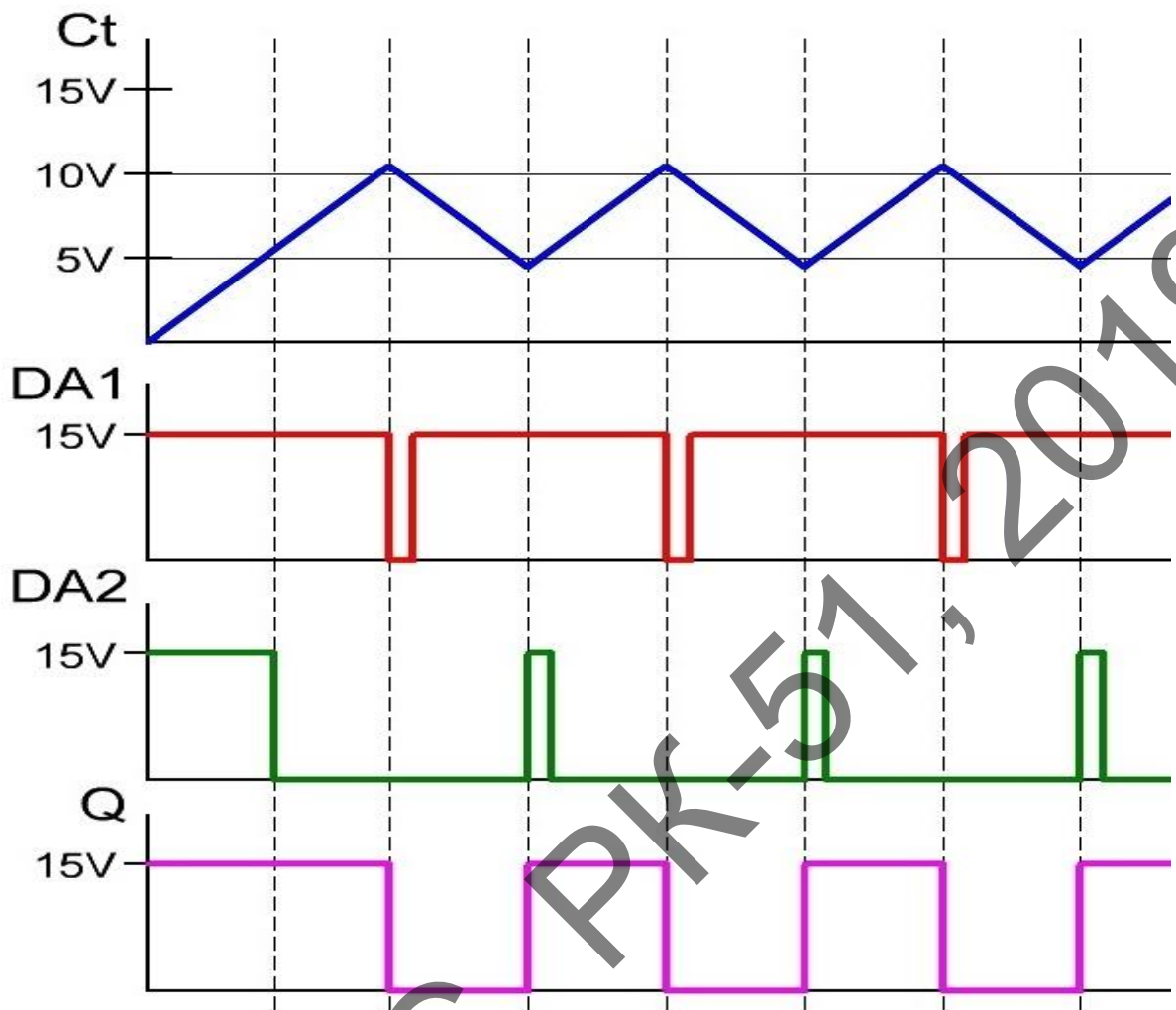


Рисунок 2.7 — графіки перемикання тригерів у мікросхемі

Як тільки напруга на  $C_t$  перевищить 5 В на виході  $DA2$  з'явиться логічний нуль, а коли напруга досягне більше 10-ти вольт логічний нуль з'явиться на виході  $DA1$ , що в свою чергу прослужить установкою  $RS$  тригера в стан логічного нуля. З цього моменту  $C_t$  почне розряджатись через резистор  $R_1$  і як тільки напруга стане трохи менше встановленого дільником знову на виході знову з'явиться логічна одиниця. Коли напруга на конденсаторі  $C_t$  стане менше 5 В логічна одиниця з'явиться на виході  $DA2$  і переведе  $RS$  тригер в стан одиниці і  $C_t$  знову почне заряджатися. Таким чином на виходах  $RS$  тригера з'являються протилежні по фазі, але рівні по тривалості рівні логічної одиниці і нуля.

На основі описаної вище мікросхеми була розроблена схема генератора, який створює прямокутні імпульси напруги в діапазоні частот 25-

40 кГц. В об'язці мікросхеми використовуються R3, R4 які впливають на швидкість розряду конденсатора C5 що відповідає за частоту перемикання RS тригера. На виходах 5 і 7 з'являються протилежні по фазі, але однакові за тривалістю рівні логічної одиниці та логічного нуля.

Силкові ключі під'єднані затворами під'єднані через резистори (R7, R8) до 5 і 7 виходів мікросхеми ЗГ і по черзі комутують постійний струм від блоку живлення в момент коли на виході мікросхеми присутня напруга логічної одиниці.

### 3.3 Вибір елементної бази

Для побудови генератора було вирішено використовувати елементи з монтажом в отвори. Це пов'язано з тим що планується малосерійне виробництво.

Оскільки для роботи трансформатора потрібна напруга 300В, а значення сили струму в цьому колі знаходиться в межах 5А то доцільно буде комутувати напругу і струм через полові ключі. В ролі силових ключів було вирішено використовувати польові транзистори Mosfet irf740

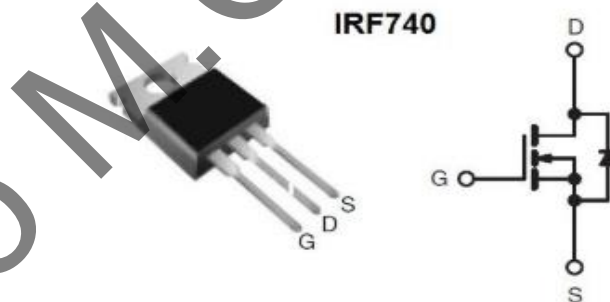


Рисунок — 2.9 Польовий транзистор IRF740

Основні характеристики

- Напруга стік – витік 400В
- Напруга заслін – витік  $\pm 20$ В
- Струм стоку – 20А

В схемі використовується 2 шт.

						PK51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			23

Основне призначення комутація напруги на трансформатор у відповідності з сигналами що подає мікросхема.

Мікросхема задавального генератора

Само атакований пів мостовий драйвер IR2153 використовується для генерації ультразвукових коливань частотою від 25 до 40 кГц.

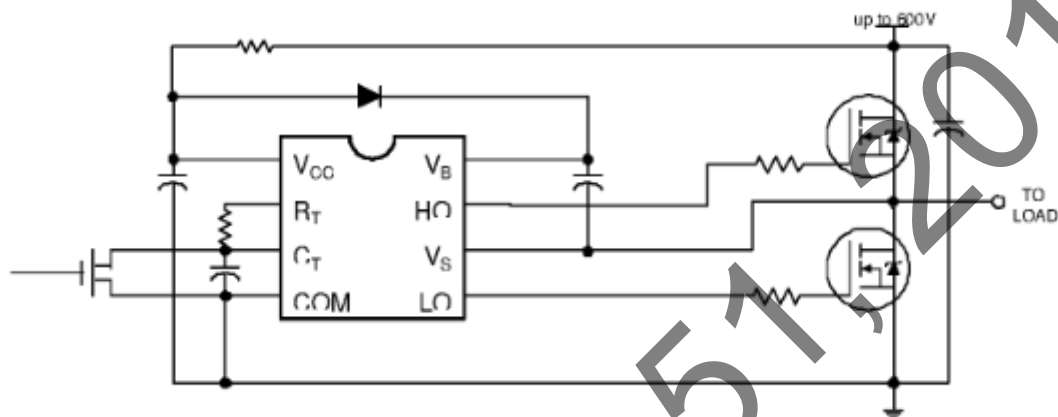


Рисунок 2.10 — Мікросхема IR2153

Характеристики

Інтегральний 600В пів мостовий драйвер

15,6В стабілітрон на лінії живлення

Дійсна мікро потужність при старті

Функція вимкнення (1/6 від Vcc на виводі СТ)

Більш малопотужна схема перетворення рівня

Драйвер високовольтного напівмосту з генератором аналогічним до промислового таймеру 555.

Таймер NE555

На цій мікросхемі було розроблено низькочастотний генератор, що періодично виключає задавальний генератор, це потрібно для надання вихідному сигналу імпульсної характеристики.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PK51.468784.001 ПЗ

Арк.

24

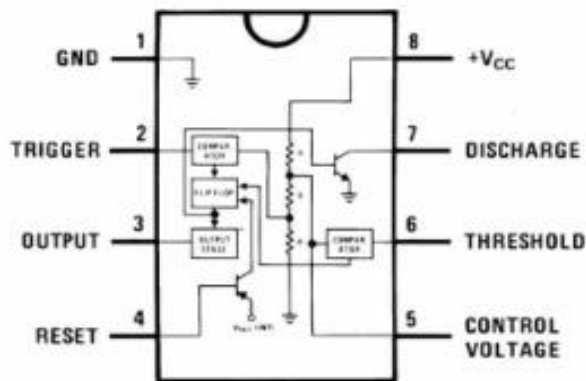


Рисунок 2.11 — Таймер NE555

### Основні характеристики

Максимальна частота більше за 500кГц

Довжина імпульсу від 1мсек до години

Може працювати в режимі мультивібратора

Високий вихідний струм (до 200 мА)

Температурна стабільність 0,005% на 1 °С

### Інші елементи

Для вибору резисторів, конденсаторів, та діодів слід керуватися тим, ці елементи повинні мати гарну якість, на що впливають показники :

- Надійності
- Вартості
- Стабільності параметрів
- Технологічності установки

Отже при покупці цих елементів слід звертати увагу на параметри що вказані вище

### Резистори

Постійні резистори малої потужності було вирішено використовувати плівкові, вони прості в виробництві і мають невисоку ціну що позитивно впливає на кінцеву вартість.



Рисунок 2.12 — Резистор малої потужності

Основні переваги;

- Низька ціна
- Низька залежність опору
- Висока стабільність
- Рівень шумів не перевищує  $0,02 \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}$

Резистор високої потужності було обрано дротяний на 5 Вт.

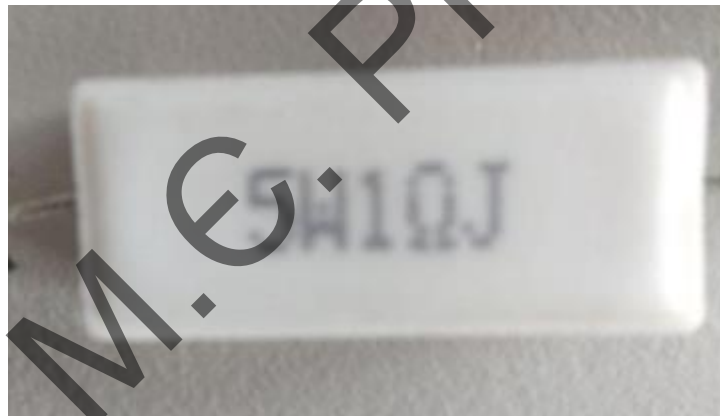


Рисунок 2.13 — Резистор дротяний

Основні переваги;

- Висока потужність
- Низький рівень власних шумів
- Стабільний опір.

Конденсатори

В схемі використовуються три типи конденсаторів електролітичні, плівкові, та керамічні.

					PK51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Електроліти мають високу ємність і спроможні накопичувати багато енергії, що потрібно в колах живлення для накопичення ємності коли її достатньо і віддачі в потрібний момент.



Рисунок 2.14 — Електролітичний конденсатор.

Єдиною перевагою електролітичного конденсатора є висока ємність.



Рисунок 2.15 — Плівковий конденсатор.

Основні переваги;

- Неполлярні
- Можливість самовідновлення
- Висока теплова стабільність
- Стабільність параметрів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PK51.468784.001 ПЗ

Арк.

27



Рисунок 2.16 — Конденсатор керамічний

Основні переваги

- Надійність
- Неполлярність
- Відносно висока ємність

БОДЬКО М.Є. РК-51, 2019

					РК51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28



## 4 ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ

Оскільки схема, відповідно до завдання, має невелику кількість елементів, а також нами було вирішено, що елементи будемо брати вивідні, то було вирішено виготовляти односторонню друковану плату. Для виготовлення ОДП найкраще підходить хімічний метод оскільки він є простим у реалізації.

На фольгований текстоліт наносять малюнки друкованих провідників фарбою яка стійка до впливу кислоти, це потрібно для того, щоб захистити ті ділянки які повинні залишитися на платі.

### ***3.1. Вибір класу точності і конфігурації друкованої плати***

Враховуючи вимоги за мінімальною вартістю, вибираємо третій клас точності, зважаючи на наявність вузьких місць, що виникають, як правило, при трасуванні багатовивідних елементів (мікросхем).

Габаритні розміри ДП повинні відповідати ГОСТ10317-79 при максимальному співвідношенні довжини і ширини ДП 1:1, а розмір ДП по великій стороні при його величині до 100 мм повинен бути кратним 2,5 мм. Товщина ДП визначається товщиною вихідного матеріалу і вибирається залежно від використовуваної елементної бази та діючих механічних навантажень з ряду 0,8; 1,0; 1,5; 2,0 мм.

На основі попереднього аналізу товщину плати прийнято 1,5 мм.

### **3.2 Розрахунок друкованої плати**

#### ***Розрахунок геометричних розмірів ДП***

Вихідними даними для розрахунку ДП, є габаритні розміри елементів.

Для визначення площі плати треба розрахувати мінімальну площу, що відповідає загальній площі всіх елементів.

Мінімальна площа плати — 9879 мм<sup>2</sup>

Для кращого тепловідведення, а також компоновки елементів та резервування місця для кріпильних отворів обрана плата розмірами

100 мм x 150 мм площа якої 15000 мм<sup>2</sup>

### ***Розрахунок мінімальної ширини провідника по постійному струму***

Всі розрахунки проводяться у середовищі Mathcad.

Розрахунок проводимо за формулою :

$$b_{\min 1} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot h_0}$$

де  $I_{\max}$  – максимальний струм в друкованому провіднику ;

$j_{\text{доп}}$  - допустима потужність струму в друкованому провіднику при заданих зовнішніх умовах і температурі перегріву провідника ;

$h_0$  – товщина фольги ДП.

Максимальний струм за результатами аналізу схеми електричної принципової це струм в колі живлення .Згідно документації виробника не перевищує 0,5 А.

Згідно п. 2.4 ГОСТ 23751-86 значення допустимої густини струму при найгірших умовах дорівнює 20 А/мм<sup>2</sup>,  $h_0=35$  мкм

$$b_{\min} = 0,429 \text{ мм}$$

### ***Розрахунок мінімальної ширини провідника за допустимим падінням напруги***

Розрахунок проводимо за формулою :

$$b_{\min 2} = \frac{I_{\max} \cdot R \cdot l}{h_0 \cdot U_{\text{доп}}}$$

де  $R$  – питомий опір міді, 0,0175 Ом·мм<sup>2</sup>/м;

$U_{\text{доп}}$  – допустиме падіння напруги на провіднику. Задамо  $U_{\text{доп}}=3\%$ .

$l$  – довжина провідника. За результатами трасування протяжність найдовшого провідника не перевищує 0,02м.

$$b_{\min 2}=0,174 \text{ мм}$$

					<b>PK51.468784.001 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Мінімально можлива ширина друкованого провідника у вузькому місці ДП складає 0,35 мм, що відповідає третьому класу точності рисунка ДП.

### ***Розрахунок максимальної ширини провідників***

Розрахунок проводимо за формулою :

$$b_{\max}=b_{\min}+(0,02\dots 0,07)$$

$$b_{\max}=0,5 \text{ мм.}$$

Таким чином, ширина провідника визначається технологічною нормою на виготовлення і дорівнює 0,5 мм.

### ***Розрахунок мінімальної відстані між елементами провідникового рисунку***

Розрахунок проводимо за формулою :

$$S_{1\min} = L_0 - \left[ \frac{D_{\max}}{(2 + b_p)} + \frac{b_{\max}}{(2 + \delta_e)} \right],$$

$$\delta_e, \delta_p = 0,1 \text{ мм [1]},$$

де  $L_0$  – відстань між центрами елементів,  $L_0 = 2,3 \text{ мм}$ .

$$S_{\min}=0,35\text{mm}$$

### ***Розрахунок мінімальної відстані між провідниками і контактною площиною у вузьких місцях***

Розрахунок проводиться для одного і двох провідників мінімальної ширини (0,26мм) між площинами (див. рис. 5.1)

										Арк.
										31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

PK51.468784.001 ПЗ

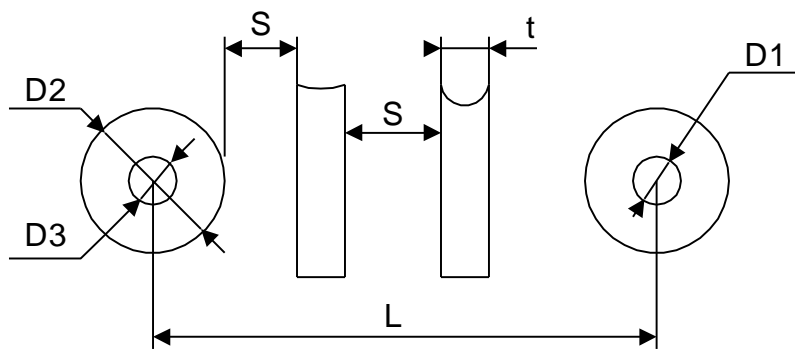


Рисунок 2.17 — Ескіз вузького місця на ДП

Розрахунок проводимо за формулою :

$$S = \frac{D_1 + D_2}{2} + t \cdot n + S(n + 1) + T_1$$

де  $n$  – кількість провідників,

$T_1$  – позиційний допуск розташування друкованого провідника відносно сусіднього провідникового  $T_1 = 0,05$  мм.

$$S = 2,3 \text{ мм}$$

В цих розрахунках ми побачили те, що в нас виходить на друкованій платі під електронними елементами дотриматись інтервалу між доріжками в 2,3 мм, що буде достатньо для того щоб провести два провідники під електронним елементом.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PK51.468784.001 ПЗ

Арк.

32

## 5 ПРОЕКТУВАННЯ ПРИЛАДУ ТА АНАЛІЗ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

### 5.1 Розрахунок радіатора (теплових режимів)

Оскільки потужність генератора складає 100 ват, а ККД 80 %, то в нагрів приладу припадає 20 Вт. Будемо вважати, що на польові транзистори припадає 75% тепловиділень від загальної кількості, то радіатор повинен розсіювати 15 ват. Було вирішено розраховувати радіатор на 20 ват для зменшення теплових навантажень на транзистори, оскільки це позитивно вплине на надійність приладу. Для транзистора що ми використовуємо робоча температура лежить в межах від -55 до 150 °С. Раніше було вказано що генератор буде працювати в умовах коли температура зовнішнього середовища знаходиться в межах від 1 до 40 °С. Також для розрахунку генератора потрібно знати температури переходів транзистора з урахуванням теплових опорів з'єднань кристал-корпус, корпус-радіатор, радіатор-зовнішнє середовище. Залишиться підібрати радіатор, який створить задовільні умови для роботи транзистора, а саме триматиме температуру кристалу в межах до 150 °С . тепло передається шляхом процесу теплопровідності, тепловий опір величина постійна і залежить тільки від якості теплового контакту між кожним з'єднанням. В нашому випадку маємо три теплових переходи: кристал-корпус, корпус-радіатор, радіатор-зовнішнє середовище. Розрахуємо загальний тепловий опір:

$$T_K = T + (R_{к-к} + R_{к-р} + R_{р-з}) \times P, \quad (4.1)$$

де  $T_K$  – Температура кристалу

$T$  – температура зовнішнього середовища

$R_{к-к}$  – тепловий опір кристал - корпус

$R_{к-р}$  – тепловий опір корпус - радіатор

$R_{р-з}$  – тепловий опір радіатор - зовнішнє середовище

$P$  – розсіювана тепла потужність

Далі підставимо дані взяті з datasheet транзистора Irf 740

									Арк.
									33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$R_{к-к} = 1 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

$$R_{к-р} = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

$$TK = 150 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$P = 15 \text{ ват}$$

$R_{р-з}$  – потрібно розрахувати

З попередньої формули виводимо іншу коли невідомим буде виступати тепловий опір радіатор — зовнішнє середовище

$$R_{р-з} = \frac{TK - T}{P} - R_{к-к} - R_{к-р}$$

Звідси отримуємо те, що радіатор потрібно підібрати з таких, що матимуть тепловий опір з зовнішнім середовищем не більше ніж  $5,833 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ,

Далі потрібно взяти отриманий нами тепловий опір радіатор - зовнішнє середовище і перемножити на потужність, це дасть нам знати величину перегріву радіатора відносно зовнішнього середовища. В моєму випадку вона складає  $87,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ , але така температура перегріву є зavelика. Звідси тепловий опір генератора візьмемо такий, щоб ця температура була величиною  $70 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Для виконання такої умов потрібно взяти радіатор з тепловим опором  $4,66 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ . В цьому випадку при використанні генератора при максимально допустимій робочій температурі ( $40 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) кристал буде нагріватись до  $110 \text{ } ^\circ\text{C}$ , що менше ніж  $150$ , і задовольняє умови функціонування транзистора. Площу радіатора можна розрахувати за наступною формулою.

$$S = (T / R_{р-з})^2$$

З формули отримуємо що радіатор потрібно взяти площею  $225 \text{ см}^2$

Було розраховано радіатор з потрібною площею який буде вміщатися в нашому корпусі. Розміри основної стінки  $60 \times 55 \times 4$ , а розміри ребр охолодження  $55 \times 14 \times 1,5$ , яких встановлено 12 шт. загальна площа радіатора виходить  $230 \text{ см}^2$ , Що задовольняє вимоги для радіатора.

										Арк.
										34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

PK51.468784.001 ПЗ

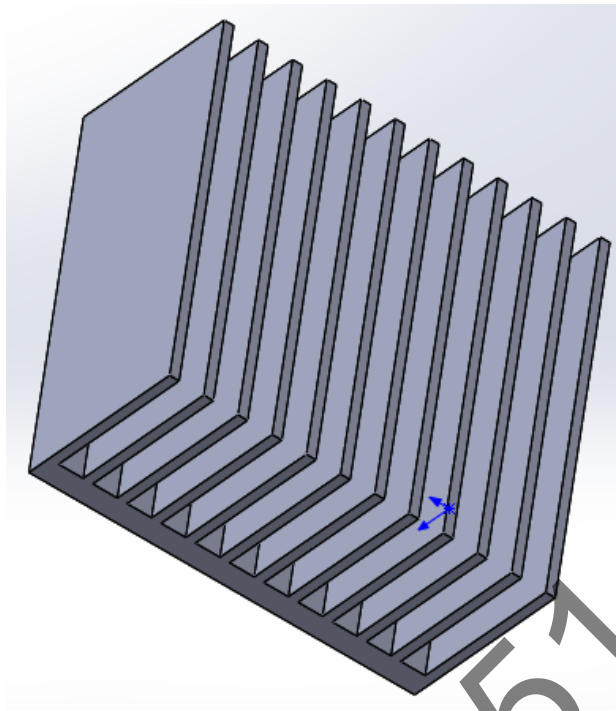


Рисунок 4.1 — Радіатор охолодження 230 см<sup>2</sup>

## 5.2 Розрахунок ФНЧ

У схемі використовується синфазний фільтр живлення. У таких типах фільтрів намотки котушок індуктивності мають початок в одній точці. Струм в такому випадку знаходиться в протифазі. В такому випадку в осерді струм буде урівнюватися і не пропускатиме високочастотні завади.

Для початку проектування мережевого фільтра визначається частота зрізу фільтру  $f_c$

$$f_c = f_{sw} \cdot \left(\frac{G}{40}\right),$$

де  $f_{sw}$  — частота на якій працює генератор,  $G$  — затухання на частоті генерації.

Враховуючи, що найнижча робоча частота генератора 25 кГц, затухання доцільно обрати 24 дБ, то частота зрізу фільтра

$$f_c = 25 \cdot 10^{\frac{-24}{40}} = 6,28 \text{ кГц}$$

					PK51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Коефіцієнт затухання на частоті зрізу приймаємо  $k=0,707$ . Далі почнемо розраховувати елементи фільтра.

Розрахуємо значення індуктивності котушки.

$$L = \frac{R_l \cdot k}{\pi \cdot f_c},$$

де  $R_l = 50 \text{ Ом}$  — імпеданс лінії,  $k$  — коефіцієнт передачі на частоті зрізу.

Індуктивність котушки

$$L = \frac{50 \cdot 0,707}{\pi \cdot 6,28} = 1792 \text{ мГн}$$

Далі розрахуємо значення ємності фільтруючого конденсатора

$$C = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_c)^2} \cdot L$$

З розрахунку отримуємо значення конденсатора фільтра.

$$C = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_c)^2} \cdot 1792 = 1,4 \text{ мкФ}$$

Для створення фільтра будуть використовуватися керамічні конденсатори, а також намотані здвоєний дросель з розрахованим значенням індуктивності.

### 5.3 Розрахунок механічної стійкості

Проведемо розрахунок віброміцності друкованого вузла, за визначеною методикою. Розрахунок частоти власних коливань друкованої плати. Вихідні данні:

- довжина плати  $a=0,1 \text{ м}$ ;
- ширина плати  $b=0,07 \text{ м}$ ;
- товщина плати  $h=1,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Матеріал друкованої плати – двосторонній фольгований склотекстоліт FR-4 з параметрами:

					<b>PK51.468784.001 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36



— модуль пружності  $E=3,02 \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>

— щільність  $\rho=1,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>

— коефіцієнт Пуассона  $\xi =0,22$

Маса встановлених на платі елементів  $M= 0,1$  кг

Визначимо приведену масу друкованої плати:

$$mn = r_0 \cdot h = 2,8$$

Визначимо приведену масу плати з деталями:

$$m_1 = mn + \frac{M}{a \cdot b}$$

$$m_1 = 21,429 \text{ кг/м}^2$$

Розраховуємо циліндричну жорсткість:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12(1-\xi^2)} = 10,8 \text{ Нм}$$

Визначаємо значення функції для кріплення плати в шести точках:

$$\phi = \pi^2 \sqrt{\frac{1 + 1,62 \cdot \frac{\varepsilon}{1,5} + \frac{1}{1,5^2}}{1 + 1,621 \cdot \frac{\varepsilon}{1,5} + \frac{1}{1,5^6}}} = 11,3$$

де 1.5 — коефіцієнт, залежний від співвідношення довжини і ширини плати.

Визначимо значення резонансної частоти плати:

									Арк.
									37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

PK51.468784.001 ПЗ

$$f = \frac{\varphi}{2\pi \cdot a^2} \cdot \sqrt{\frac{D}{m_1}} = 126 \text{ Гц}$$

Так як резонансна частота плати  $f_0=126$  Гц майже в 2 рази перевищує максимальну частоту вібраційних впливів ( $f=60$  Гц), то обраний варіант кріплення плати влаштовує вимоги віброміцності.

#### 5.4 Розрахунок надійності

Розрахуємо надійність нашого приладу, та знайдемо час його безвідмовної роботи. Порівняємо отримані дані з технічним завданням, щоб з'ясувати чи відповідає наша схема вимогам технічного завдання.

Для розрахунку інтенсивності відмов всієї схеми потрібно розрахувати інтенсивність відмов кожного елемента. Далі знаходимо суму інтенсивностей і отримаємо інтенсивність відмов всього приладу.

Резистори малої потужності будемо використовувати недротяні, ( $\lambda_0=1,2 \cdot 10^{-6}$  1/год.), резистор потужністю 5 Вт дротяний ( $\lambda_0=2 \cdot 10^{-6}$  1/год.), також в схемі будуть використовуватися змінні недротяні резистори ( $\lambda_0=1,2 \cdot 10^{-6}$  1/год.)

Коефіцієнт електричного навантаження резисторів було обрано  $K_n=0,5$ . Інтенсивність відмов для резисторів розраховується за наступною формулою

$$\lambda_p = \lambda_0 K_1 K_c$$

Для кожного елемента значення  $K_1$  знаходимо по графікам з довідника та будемо заносити до таблиці для подальшого розрахунку.

де —  $K_1=f(K_n, T)$  — поправний коефіцієнт;  $K_n$  — коефіцієнт навантаження резистора;  $T$  — температура резистора.

					РК51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

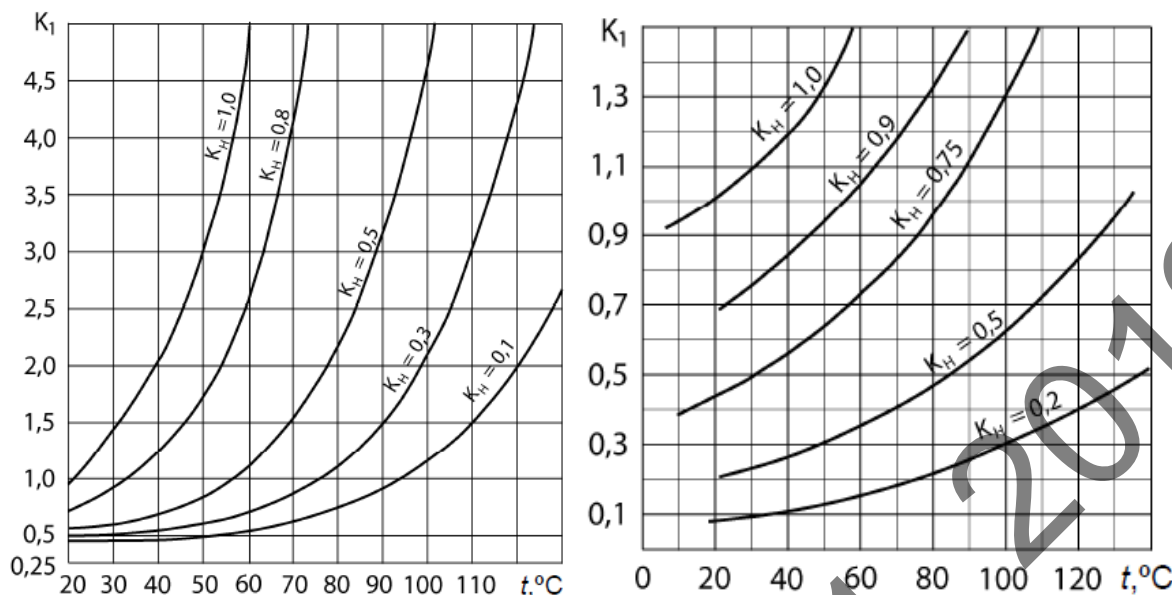


Рисунок 4.2 — Залежність коефіцієнта K1 для постійних резисторів

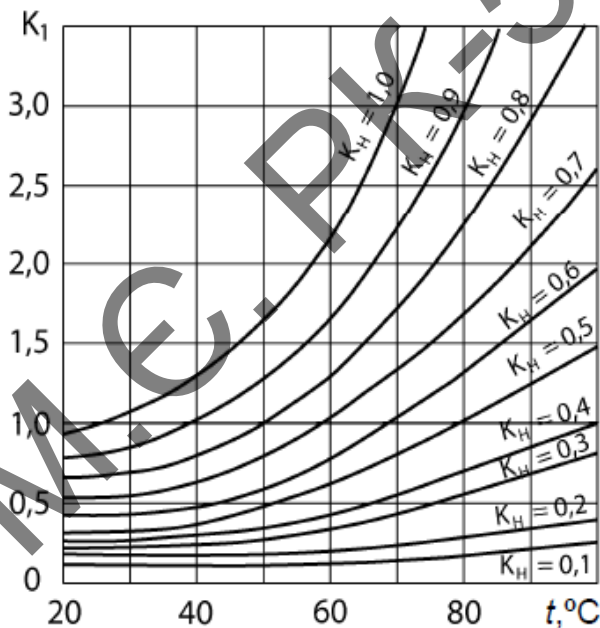


Рисунок 4.3 — Залежність коефіцієнта K для змінних резисторів.

Користуючись графіками з додатку визначимо коефіцієнт K1 для усіх типів резисторів визначимо  $\lambda_p$  і занесемо до таблиці.

Інтенсивність відмов конденсаторів:

В нашій схемі використовуються три типи конденсаторів для керамічних ( $\lambda_0=0,7 \cdot 10^{-6}$ ), для електролітичних ( $\lambda_0=3 \cdot 10^{-6}$ ), для плівкових ( $\lambda_0=0,5 \cdot 10^{-6}$ ). Розрахунки будемо проводити для коефіцієнту електричного навантаження, що дорівнює  $K_H=0,6$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PK51.468784.001 ПЗ

Арк.

39

Інтенсивність відмов конденсаторів визначається за формулою:

$$\lambda_p = \lambda_0 K_1 K_2 K_C$$

Для визначення коефіцієнтів  $K_1$  і  $K_2$  скористаємося графіками з додатку, визначимо для кожного  $\lambda_p$  дані занесемо до таблиці.

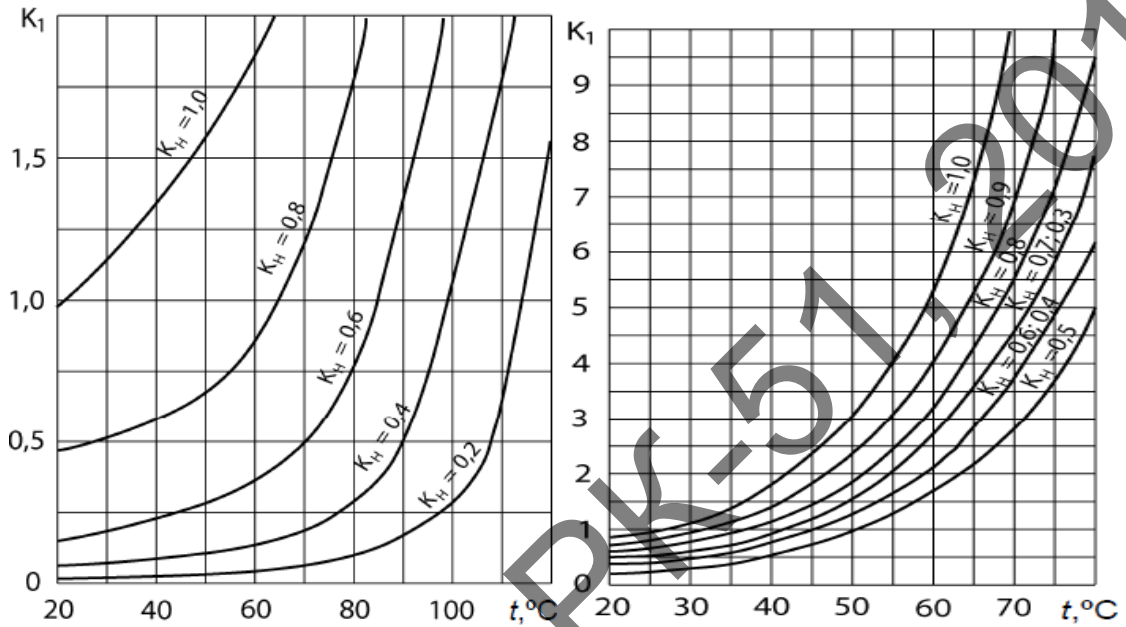


Рисунок 4.4 — залежність коефіцієнта для керамічних та електролітичних конденсаторів

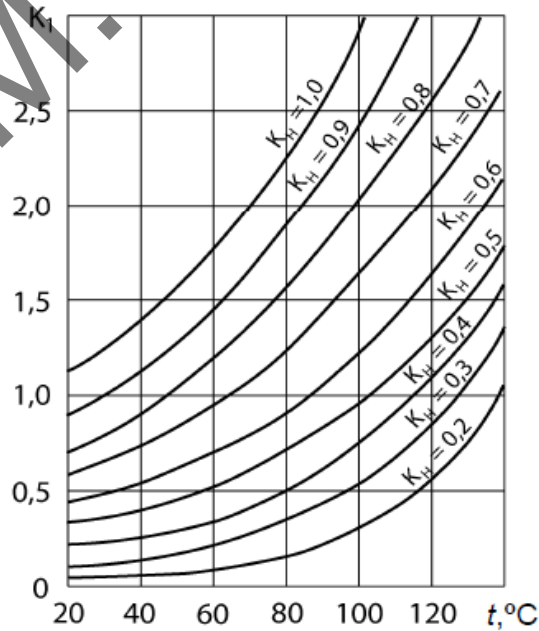


Рисунок 4.5 — залежність коефіцієнта для плівкових конденсаторів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PK51.468784.001 ПЗ

Арк.

40

Розрахунок інтенсивності відмов для індуктивностей

визначаємо коефіцієнт  $K_1$  по графіку та заносимо його до таблиці

$$\lambda_p = \lambda_0 K_1 K_C$$

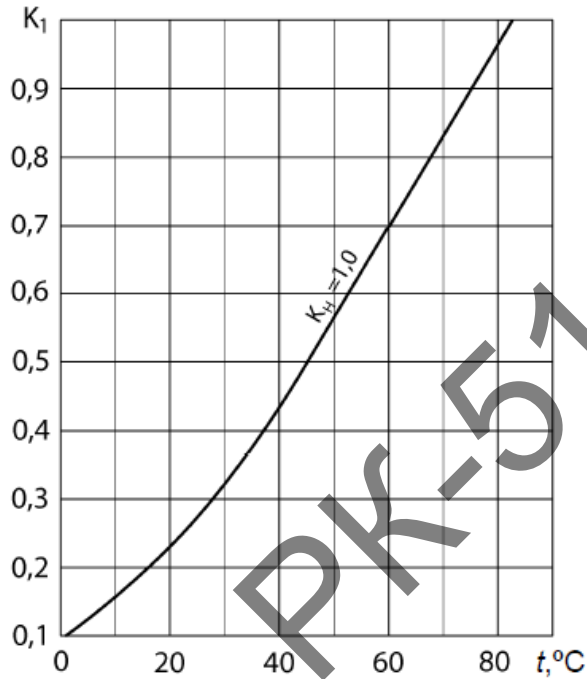


Рисунок 4.6 — залежність коефіцієнта  $K$  для низькочастотних дроселів.

Розрахунок інтенсивності відмов для напівпровідникових елементів.

Для напівпровідникових елементів інтенсивність відмов можна розрахувати за наступною формулою.

$$\lambda_p = \lambda_0 K_1 K_C$$

Для польових транзисторів коефіцієнт електричного навантаження обрано  $K_n=0,6$  і використовуючи графік з додатку визначимо коефіцієнт  $K_1$ , потім рахуємо  $\lambda_p$  і занесемо дані до таблиці.

										Арк.
										41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

PK51.468784.001 ПЗ

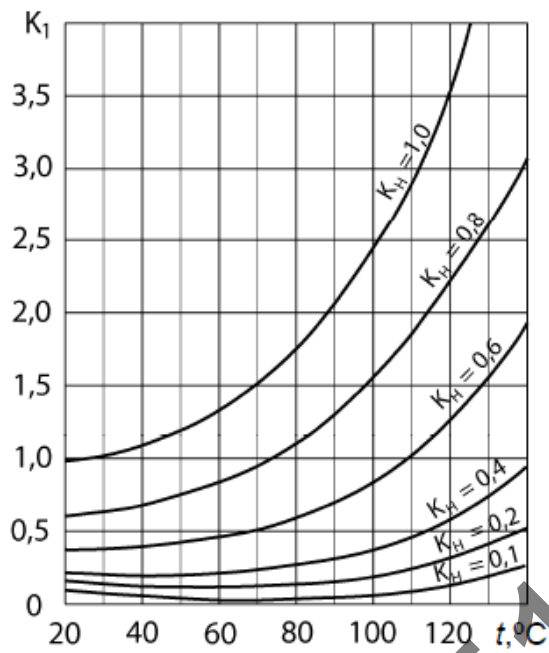


Рисунок 4.7 — Залежність коефіцієнта K1 для Польових транзисторів.

Для діодів обираємо коефіцієнт електричного навантаження що дорівнює 0,6  
 значення  $\lambda_p$  візьмемо з додатку та занесемо до таблиці

$$\lambda_p = \lambda_0 K_1 K_C$$

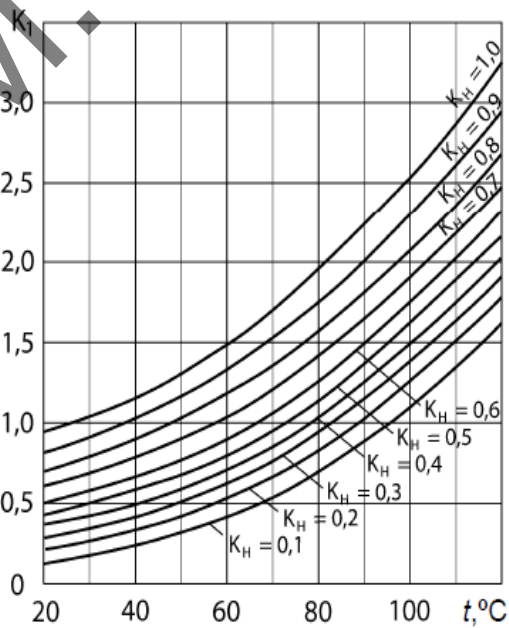


Рисунок 4.8 — залежність коефіцієнта K для кремнієвих діодів

Таблиця 4.1 — значення для розрахунку інтенсивності відмов.

Назва і тип елемента	$\lambda_0 \cdot 10^6$ , 1/год $\omega_0 \cdot 10^6$ , 1/год	$K_H$	T	K1	K2	$\lambda_p \cdot 10^6$ $\omega_p \cdot 10^6$	N
Резистори недротяні	1,2	0,5	40	0,75		$4,5 \cdot 10^7$	11
Резистор дротяний	2	0,5		0,28		$2,8 \cdot 10^7$	1
Резистор змінний недротяний	1,2	0,5		0,8		$4,8 \cdot 10^7$	2
Електролітичний конденсатор	3	0,6		0,7	1,5	$1,89 \cdot 10^6$	4
Конденсатор плівковий	0,5	0,6		0,4	1	$1,2 \cdot 10^7$	2
Конденсатор керамічний	0,7	0,6		0,3	1	$1,2 \cdot 10^7$	5
Котушки індуктивності	3	1		0,45		$1,35 \cdot 10^6$	2
Польові транзистори	1	0,6		0,4		$2,4 \cdot 10^7$	2
Кремнієві діоди	1,4	0,6		1		$8,4 \cdot 10^7$	10
Мікросхеми	0,3	0,5		0,3		$4,5 \cdot 10^8$	2

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PK51.468784.001 ПЗ

Арк.

43

З побудованої таблиці розрахуємо інтенсивність відмов усього приладу, що дорівнює сумі інтенсивності відмов кожного елемента

$$\lambda_p = 4,9 \cdot 10^{-7}$$

А також розрахуємо середній час безвідмовної роботи генератора.

$$T = 2 \cdot 10^4 \text{ год.}$$

Згідно розрахункам час безвідмовної роботи вийшов більшим ніж заданий в ТЗ. Це задовольняє вимоги ТЗ оскільки прилад зможе пропрацювати безвідмовно весь гарантійний термін.

БОДЬКО М.Є. РК-51, 2019

					РК51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44



## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Основне завдання цього розділу це визначення потенційних шкідливих небезпечних виробничих факторів при розробці генератора ультразвукової частоти, а також визначення відповідних технічних рішень та організаційних заходів з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії, а також вибір заходів з пожежної безпеки та профілактики.

Основну увагу приділено питанням електробезпеки та забезпеченням комфортних та безпечних умов праці при конструюванні радіоелектронної апаратури. З урахуванням директиви 90/270ЄЕС від 29 травня 1990р. ДСанПіНЗ.3.2.007-98. В цьому розділі визначені основні потенційно шкідливі та небезпечні фактори і запропоновані Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни та виробничої санітарії.

### 5.1. Визначення основних потенційно шкідливих та небезпечних виробничих факторів.

Основними потенційно небезпечними та шкідливими факторами, які мають місце при створенні програмного забезпечення є:

можливе ураження електричним струмом;

недостатнім рівнем освітленості або підвищеної яскравості освітленості робочої зони;

невідповідністю параметрів мікроклімату робочої зони санітарним нормам;

наявністю шкідливих виробничих випромінювань електромагнітних хвиль;

наявність шуму вентиляторів системних блоків;

невідповідна організація робочого місця;

можливість ураження електричним струмом;

					РК51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

монотонність праці, тощо.

## **5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни та виробничої санітарії**

### **5.2.1. Електробезпека.**

Причинами поразок електричним струмом можуть бути:

дотик до струмоведучих частин;

дотик до відключених струмоведучих частин або до конденсаторів, на яких залишився залишковий заряд в разі помилкового включення установки;

дотик до неструмоведучих металевих частин при аварійному режимі роботи електроустаткування.

Прилади й устаткування живляться від 3-х фазної електричної мережі напругою 220 В и частотою 50 Гц, тобто відносяться до електроустановок напругою до 1000В.

Згідно з ДСТУ ІЕС 61.140.2015 електрообладнання, яке встановлене у робочому приміщенні має 0І клас електрозахисту - вимірювальні пристрої, І клас – системні блоки ПЕОМ, ІІ клас – ВДТ ПЕОМ, ІІІ – допоміжне обладнання та периферія ПЕОМ

Виробниче приміщення згідно ОНТП 24-86 і ДНАОП 0.00-1.32-01 відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки поразки персоналу електричним струмом, оскільки:

відносна вологість повітря не перевищує 75%;

температура не вище 35°С;

відсутні хімічно агресивні середовища;

відсутня можливість одночасного дотику до металевих елементів електроустаткування та до металоконструкцій будинку, які з'єднані із землею;

—має місце надійне заземлення в робочих приміщеннях за системою заземлення типу TN-S

PK51.468784.001 ПЗ

Арк.

46

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Проведемо перевірочний розрахунок відключаючої здатності автоматів захисту й вирівнювання режиму роботи елемента заземлення корпусів електроустаткування. Струм короткого замикання визначається по формулі:

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} + R_n + \frac{Z_T}{3}} = \frac{220}{2 + 1,6 + 0,2} = 57,89 \text{ А}$$

де  $U_{\phi} = 220 \text{ В}$  – фазова напруга,  $R_{\phi} = 1.8 \text{ Ом}$  – опір фазового проводу,  $R_n = 1.8 \text{ Ом}$  – опір нульового проводу,  $\frac{Z_T}{3} = 0.2 \text{ Ом}$  – еквівалентний опір трансформатора.

Для правильної роботи автоматів захисту повинна виконуватись нерівність:

$$I_{кз} \geq 1,4 \cdot I_{от}$$

де  $I_{от}$  – номінальний струм спрацювання автомату захисту. Звідси визначаємо, що  $I_{от}$  повинен бути не більше, ніж  $41,35 \text{ А}$ .

Розрахуємо напругу дотику до зануленого встаткування:

$$U_n = I_{кз} \cdot R_n = 57,89 \cdot 1,6 = 92,6 \text{ В}$$

Розрахована величина напруги дотику  $U_n$  при часі спрацювання автоматів струмового захисту  $t < 0.5 \text{ с}$  не перевищує припустимого значення  $U_{доп} = 100 \text{ В}$ , що задовольняє вимогам ПУЕ–2017

### **5.2.2. Вимоги до освітленості робочих місць конструкторів радіоапаратури.**

Одним із елементів, що впливають на комфортні умови праці працюючих, є виробниче освітлення. До систем виробничого висвітлення, що обслуговує робочі місця з комп'ютером, пред'являються наступні основні вимоги:

відповідність рівня освітленості робочих місць характеру виконуваної зорової роботи;

										Арк.
										47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

рівномірний розподіл яскравості на робочих поверхнях й у навколишньому просторі;

відсутність різких тіней, прямих і відбитих відблисків;

сталість освітленості в часі й просторі;

оптимальна спрямованість випромінюваного освітлювальними приладами світлового потоку;

довговічність, економічність, електро- і пожежобезпечність, естетичність, зручність і простота експлуатації.

Для висвітлення робочих місць, обладнаних ПЕОМ, застосовується природне, штучне освітлення.

Згідно ДСанПіНЗ.3.2.007-98, освітлення у виробничих приміщеннях з моніторами комп'ютерів повинна бути сумісне. Природне освітлення повинне здійснюватися через отвори, орієнтовані переважно на північ і північний схід. Згідно ДБНВ 2.5-28-2006 «Природне й штучне освітлення. Норми проектування» коефіцієнт природної освітленості (КПО) виробничих приміщень із моніторами комп'ютерів повинен бути не нижче 1,5 %.

Розташування будинків і планування виробничих приміщень повинне виключати надмірне надходження тепла від сонячної радіації через вікна і пряме попадання сонячних променів на пристрої ЕОМ і носії інформації.

Штучне освітлення в приміщеннях з моніторами комп'ютерів необхідно здійснювати по загальній системі рівномірного освітлення. Світильники загального освітлення необхідно розташувати у виді ліній (суцільних або переривчастих) збоку від робочих місць паралельно лінії зору користувачів. Допускається використання світильників таких класів світлорозподілу:

прямого світла (П);

переважно прямого світла (Н);

переважно відбитого світла (В).

Як джерела штучного освітлення використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ із розсіювачами й екранними сітками.

										Арк.
										48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

PK51.468784.001 ПЗ

Згідно ДСанПіНЗ.3.2.007-98 коефіцієнт пульсації світлового потоку джерел світла не повинен перевищувати 5 %. Для зменшення коефіцієнта пульсації світлового потоку необхідно використати джерела світла з високочастотними пускорегулюючими апаратами. Яскравість світильників загального висвітлення в зоні кутів випромінювання від 50° до 90° щодо вертикалі в поздовжній і поперечній площинах повинна становити не більше 200 кд/м<sup>2</sup>, а захисний кут світильників повинен становити не більше 40°.

Для обмеження прямої блискості від джерел природного й штучного освітлення необхідно, щоб яскравість їхніх поверхонь, які перебувають у полі зору користувачів, не перевищувала 100 кд/м<sup>2</sup>, яскравість відблисків на екрані монітору комп'ютера 40 кд/м<sup>2</sup>, а яскравість стелі 200 кд/м<sup>2</sup>.

У поле зору користувача монітора комп'ютера повинне бути забезпечене відповідний розподіл яскравості. Відношення значень яскравості робочих поверхонь до загальної яскравості у приміщенні не повинне перевищувати 3:1, а робочих поверхонь і навколишніх предметів (стіни, устаткування, меблі) – 5:1.

У виробничих приміщеннях з моніторами комп'ютерів показник засліпленості повинен становити не більше 20 одиниць, а показник дискомфорту – не більше 40 одиниць.

Для забезпечення нормованих показників освітленості в приміщеннях з моніторами ПК необхідно не менш 2 разів у рік очищати від пилу й бруду скла вікон і світильники і вчасно замінювати несправні світильники.

### **5.2.3. Оптимізації параметрів мікроклімату та повітряного середовища в робочій зоні.**

Роботи з розробки програми розроблялись протягом холодної та теплої пори року, категорії виконуваних робіт - Іа.

Згідно ДСН.3.3.6-042-99 під мікрокліматом виробничих приміщень розуміють: клімат внутрішнього середовища, що визначається дією на організм людини в сполученні температури, вологості, швидкості руху повітря й теплових випромінювань.

										Арк.
										49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	PK51.468784.001 ПЗ					

Параметри мікроклімату можуть змінюватися в дуже широких межах і впливати на самопочуття й здоров'я працюючих, продуктивність і якість їхньої праці. Значне відхилення параметрів мікроклімату від оптимального або припустимих може бути причиною ряду фізіологічних порушень в організмі людини й привести до різкого зниження працездатності і у підсумку до професійних захворювань.

Норми на оптимальні й припустимі значення температури, відносній вологості й швидкості руху повітря встановлюються для робочої зони виробничих приміщень залежно від періоду року й категорії виконуваних робіт.

Оптимальні і припустимі параметри мікроклімату виробничих приміщень наведені в таблиці 3 і 4 відповідно.

Оптимальні норми температури, відносній вологості й швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень зведені в таблицю 3.

**Таблиця 3**

Сезон року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, m/s
Холодний	легка 1a	22-24	40-60	0,1
Теплий	легка 1a	23-25	40-60	0,1

Припустимі норми температури, відносній вологості й швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень зведені в таблицю 4

**Таблиця 4**

Сезон року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, m/s
Холодний	легка 1а	21-25	75	не більше 0,1
Теплий	легка 1а	21-28	75 (при 24 °С і нижче)	0,1...0...0,2

У виробничих умовах параметри мікроклімату варто вимірювати на початку, середині і кінці холодного й теплого періодів року не менш трьох разів у зміну.

У приміщенні, де проводиться розробка програми, підтримується температура 22-23°С при вологості повітря, що не перевищує 75%, а швидкість потоку повітря – близько 0,2 м/сек. Перепад температур у робочій зоні:

по висоті – не більше 2°С;

у горизонтальній площині – не більше 3°С.

Виконання норм за ТОВ 12.1.005-88 і ДСН 3.3.6.042-99 досягається проведенням наступних мір:

природна вентиляція в холодний сезон року;

штучна вентиляція в теплий сезон;

опалення приміщень у холодний сезон центральним опаленням.

Умови мікроклімату в робочому приміщенні повністю відповідають вимогам ГОСТ 12.1.005-88 і ДСН 3.3.6.042-99, тому проведення додаткових заходів по їхньому поліпшенню не потрібно.

### 5.3. Пожежна безпека та профілактика.

До основних причин виникнення пожежі в робочому приміщенні, де конструюються РЕА відноситься небезпека електричного характеру.

										Арк.
										51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	PK51.468784.001 ПЗ					

До них відносяться: короткі замикання, перевантаження, іскріння від порушення ізоляції, електрична дуга, що виникає між контактами комутаційних апаратів, незадовільні контакти в місцях з'єднання проводів (скрутки) і їхнє сильне нагрівання внаслідок великого перехідного опору при протіканні електричного струму.

До причини неелектричного характеру можна віднести порушення режимних вимог, халатне й необережне поводження з вогнем, порушення правил пожежної безпеки.

Робочі приміщення відповідно до ДБН В.2.5-56-2014 обладнане одним пожежним датчиком типу ДПС-038 (площа, що перебуває під захистом одного датчика становить до 25 м<sup>2</sup>, відстань між датчиками становить 4м). Відповідно до ДСТУ 3675-98 і ISO 3941-77 як первинний засіб гасіння пожежі використовується один вогнегасника ОУ-3 – вуглекислий (клас пожежі "Е"). Вибір речовини вогнегасника обґрунтовується тим, що у вогні можуть виявитися електричні пристрої, що перебувають під напругою. Кількість, розміщення і зміст первинних засобів гасіння пожежі повністю задовольняє всім вимогам ДСТУ 3675-98 й ISO 3941-77. Крім цього, у коридорі є 1 пожежний кран.

Витримано всі умови ДБН В.1.1-7-2003, СНиП 2.01.02-85 і СНиП 2.09.02-85 по вогнестійкості будинків, часу евакуації у випадку пожежі, ширині евакуаційних проходів і виходів із приміщень. Двері приміщень відкриваються назовні, ширині дверей 1.2 м при нормі не менш 0.8 м, висота проходу 2.1 м при нормі не менш 2м, ширина коридору 2.1м при нормі не менш 2м. Витримано всі умови ГОСТ 12.3.019-80 і НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні».

					PK51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52



## ВИСНОВКИ

1. Генератор, розроблений в результаті виконання дипломного проекту може бути використаний для живлення потужних п'єзоелектричних випромінювачів, призначених для створення розвиненої кавітації в рідких середовищах.

2. В генераторі реалізовано імпульсний режим роботи, що дозволяє задавальному генератору працювати з паузами. Це в свою чергу дає можливість подавати більшу амплітуду коливань на випромінювач не перевищуючи його допустиму діючу потужність.

3. В генераторі передбачена можливість зміни робочої частоти в межах 25 – 48 кГц, та налаштування тривалості куруючих імпульсів в межах від 0,2 до 1 секунди.

4. Моделювання теплових режимів силових ключів при використанні запропонованого радіатора показали, що температура кристалу транзисторів не перевищуватиме значення  $110^{\circ}\text{C}$  при допустимій температурі  $150^{\circ}\text{C}$ .

5. Показники надійності спроектованого пристрою відповідають заданим у технічному завданні, зокрема напрацювання на відмову становить 20000годин.

					PK51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Повышение эффективности технологии ультразвукового обеззараживания сточных вод / А.Ф. Луговский, И.А. Грышко, И.Н. Берник // Химия и технология воды. — 2018 — №2 — С.191-202.
2. Імпульсний блок живлення своїми руками на IR2153 soundbarrel.ru [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [http://soundbarrel.ru/pitanie/IR2153\\_01.html](http://soundbarrel.ru/pitanie/IR2153_01.html) — Назва з екрану.
3. Як розрахувати радіатор для транзистора electruc.info [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://elektruk.info/main/praktika/1296-kak-rasschitat-radiator-dlya-tranzistora.html>— Назва з екрану.
4. Мехатроніка.—[Електронний ресурс] — Режим доступу <http://uk.wikipedia.org> — Назва з екрану.
5. Методичні вказівки до курсового та дипломного проектування. Методи розрахунку елементів конструкцій радіоелектронних засобів на статичну, вібраційну, ударну міцність та витривалість / Укл .: Б.М. Уваров. - Київ: КПІ, 1998.
6. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности Хмелев В.Н. Сливин А.Н. Барсуков Р.В. Цыганок С.Н. Шалунов А.В. 2010.
7. Фізико теоретичні основи конструювання радіоелектронної апаратури. Укл Перегудов С.М Зінченко М.В. 2012.

					PK51.468784.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54