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

Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

на тему Розробка спеціалізованого джерела живлення портативного осцилографа

Виконав: студент IV курсу, групи 6.1711
спеціальності 171 «Електроніка»
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Електроніка
(код і назва освітньої програми)

Д. С. Білецький
(ініціали та прізвище)

Керівник старший викладач Тупишев К.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент дир. ТП „НВКФ „Екотон" Шарий С.І.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2025

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

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 171 «Електроніка»
(код і назва)
Освітня програма Електроніка
(код і назва)
Спеціалізація

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Критська Т.В.
"____" _____ 2025 рок

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Бінецький Дмитро Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Розробка спеціалізованого джерела живлення портативного осцилографа

керівник роботи Тупчиєв Костянтин Олегович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «_____» _____ 202__ року №_____

2 Строк подання студентом роботи 12.06.2025р.

3 Вихідні дані до роботи напруга живлення - 5В..30В, споживчий струм – постійний, номінальна вихідна напруга - 12В, номінальний вихідний струм - 0,5А, відхилення вихідної напруги від номінального значення – ±5%

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Фізико-хімічні та технічні основи побутових осцилографів, 2. Розробка спеціалізованого джерела живлення, 3. Дослідницька частина, 4. Конструкторська - технологічна частина, 5. Техніко - економічне обґрунтування

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

1. Аналіз ринку, 2 Аналітичний огляд джерела живлення. Схема електрична структурна, 3 Розрахунок джерела живлення Схема електрична принципова, 4 Друковані плати односторонні, 5 Загальний вигляд пристрою, 6 Економічні показники

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Турішев К.О., старший викладач	10.02.25	07.03.25
2	Турішев К.О., старший викладач	07.03.25	02.04.25
3	Турішев К.О., старший викладач	02.04.25	02.05.25
4	Турішев К.О., старший викладач	02.05.25	16.05.25
5	Турішев К.О., старший викладач	16.05.25	28.05.25

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз джерела живлення	07.03.2025	
2	Розробка джерела живлення	02.04.2025	
3	Конструкторська частина	02.05.2025	
4	Конструкторсько-технологічна частина	16.05.2025	
5	Техніко-економічне обґрунтування	28.05.2025	
6	Оформлення пояснювальної записки	05.06.2025	
7	Оформлення графічної частини	12.06.2025	

Студент _____ Бінєєвський Д.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ Турішев К.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Турішев К.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект містить: 92 стор., 39 рис., 20 табл., 46 джерел літератури та 6 креслень.

ОЗОН, ГЕНЕРАЦІЯ ОЗОНУ, ПОБУТОВИЙ ОЗОНАТОР, ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ DC-DC, ВХІДНА НАПРУГА, ВИХІДНА НАПРУГА, ПОТУЖНІСТЬ, ІМПУЛЬСНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ДРУКОВАНА ПЛАТА

Мета проекту - розробка універсального джерела живлення для портативних озонаторів, яке зможе забезпечити їх необхідною напругою живлення в умовах широкого діапазону вхідних напруг (постійної напруги - від 5,0 до 30,0 В та змінного струму напругою 110 В або 220 В).

У дипломному проекті представлено огляд ринку побутових озонаторів та джерел живлення. Розглянуто принцип роботи та основні технічні характеристики компонентів джерел живлення.

Подано опис структурної та принципової електричної схеми спеціалізованого джерела живлення для портативного озонатора. Проведено розрахунок ключових елементів універсального джерела живлення, подано результати моделювання процесів у створеній схемі.

Наведено опис шкідливих факторів і заходів з охорони праці при виготовленні виробу. Проведено розрахунок пристрою заземлення.

У економічній частині проведено обґрунтування технічної та економічної доцільності проектованого виробу.

Роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення Інженерного навчально – наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ з 12.05.2025 по 15.06.2025.

ЗМІСТ

Стор.

Вступ

1. Фізико-хімічні та технічні основи побутових озонаторів 7

1.1 Озон 7

1.1.1 Фізико-хімічні характеристики 7

1.1.2 Застосування озону 8

1.1.3 Способи одержання озону 9

1.2 Огляд ринку побутових озонаторів 9

1.3 Джерела живлення DC-DC 16

1.3.1 Огляд та аналіз ринку джерел живлення DC-DC 16

1.3.2 Принцип роботи та основні технічні характеристики компонентів джерел живлення 17

1.4 Імпульсні перетворювачі постійної напруги 21

1.4.1 Типові типи, схеми та принцип роботи імпульсних перетворювачів постійної напруги. 21

1.4.2 Системи керування джерелом живлення. 28

1.5 Постановка завдання 30

2. Спеціалізоване джерело живлення озонатору 31

2.1 Опис електричної структурної схеми джерела живлення 31

2.2 Вибір елементу керування ІППН 33

2.3 Опис електричної принципової схеми джерела живлення 34

3. Розрахунок основних елементів спеціалізованого джерела живлення для портативних озонаторів 37

3.1 Розрахунок коефіцієнту заповнення 37

3.2 Розрахунок та вибір індуктивностей 38

3.3 Розрахунок та вибір силового ключа (MOSFET) 41

3.4 Розрахунок та вибір діоду 43

3.5 Розрахунок та вибір сполучного конденсатору 44

3.6 Розрахунок та вибір вихідного конденсатору 46

3.7 Розрахунок та вибір вхідного конденсатору 47
3.8 Налаштування ШІМ контролера для бажаної вихідної напруги 48
3.9 Налаштування ШІМ контролера для бажаного вихідного струму 49
3.10 Налаштування ШІМ контролера для встановлення порогу захисту по мінімальній вхідній напрузі 50
3.11 Розрахунок елементів компенсації зворотного зв'язку 50
3.12 Вибір інших елементів перетворювача 51
3.13 Моделювання перетворювача SEPIC 52
4. Технологічні процеси і організація безпеки на підприємстві 55
4.1 Технологія виготовлення друкованих плат 55
4.1.1 Типи та види друкованих плат 55
4.1.2 Основні методи виготовлення друкованих плат 57
4.1.3 Програми для трасування друкованих плат 61
4.2 Організація безпеки на підприємстві 65
4.2.1 Електробезпека 66
4.2.2 Протипожежні заходи 66
4.3.3 Повітряні тривоги 67
4.3 Розрахунок пристрою заземлення 67
5. Обґрунтування технічної та економічної доцільності 75
5.1 Суми витрат по статтям кошторису 75
5.2 Визначення строку окупності розробки 81
Висновки 84
Перелік джерел посилання 85
Додаток А 90
Додаток Б 91

ВСТУП

Генератори озону — це пристрої, призначені для створення озону, який є природним сильним окиснювачем і використовується для дезінфекції у різних сферах, зокрема у водоочищенні, харчовій промисловості та медицині.

Зростаючі вимоги до ефективної дезінфекції повітря і поверхонь, передбачають використання портативних озонаторів. Такі пристрої забезпечують швидке знезараження приміщень та транспорту, що особливо актуально в умовах підвищеного ризику розповсюдження інфекцій.

З розвитком технологій побутові портативні генератори озону стали доступними для широкого кола споживачів. Однак для стабільної й безпечної роботи таких приладів важливу роль відіграє джерело живлення. Особливо актуальним стає питання створення універсального джерела живлення, яке б забезпечувало генератор озону необхідною напругою та струмом у різних умовах експлуатації — від побутових розеток до портативних акумуляторів.

У межах цієї роботи розглядається розробка спеціалізованого джерела живлення для портативного озонатору. Таке джерело живлення має забезпечувати перетворення постійної напруги від 5,0 до 30,0 В та змінної напруги 110 В або 220 В на напругу що необхідна для живлення різних вузлів озонатора зокрема, електроніки управління, вентилятора та високовольтного генератора. Розробка універсального джерела живлення є ключовим етапом у створенні мобільного, енергоефективного та функціонального генератора озону.

1. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ПОБУТОВИХ ОЗОНАТОРІВ

Побутовий озонатор — це електронний прилад, призначений для генерації озону у невеликих концентраціях з метою очищення, знезараження повітря, води або поверхонь у побутових умовах.

1.1 Озон

1.1.1 Фізико-хімічні характеристики

Озон – хімічна речовина, що є алотропною формою оксигену та простою речовиною [1].

Хімічні характеристики озону:

Озон має хімічну формулу O_3 та відносну молекулярну масу близько 48 г/моль. Це потужна окиснювальна сполука, що значно активніша за звичайний двохатомний кисень. Він здатен переводити більшість металів у їх найвищі ступені окиснення, а також взаємодіє з багатьма неметалами. Основним продуктом таких перетворень зазвичай є молекулярний кисень. Молекула озону нестабільна — за звичайних умов при певній концентрації у повітрі вона спонтанно розпадається на O_2, що супроводжується виділенням тепла. Збільшення температури та зменшення тиску прискорюють цей процес. У випадку високих концентрацій розклад озону може супроводжуватися вибухом. Озон активно вступає в реакції з багатьма органічними й неорганічними речовинами, такими як йодид калію, сірководень, діоксид азоту, етилен та інші. Навіть незначні домішки деяких органічних сполук, металів або їх оксидів у повітрі різко прискорюють його розпад [1].

Фізичні характеристики озону:

За звичайних умов Озон перебуває у газоподібному агрегатному стані. Також має рідкий та твердий (кристали) агрегатні стани. У рідкому та газоподібному стані має блакитний колір. У газоподібному стані має різкий

запах, що відчувається навіть при малих концентраціях. Температура плавлення озону складає -192,5 °С, а температура кипіння -112 °С. Добре розчиняється у воді та органічних розчинниках (краще, ніж кисень) [1]. Густина газу за нормальних умов складає 2,1445 г/дм³. Відносна густина газу за киснем 1,5, а за повітрям 1,62 (1,658).

1.1.2 Застосування озону

Завдяки своїм унікальним властивостям, зокрема сильним окислювальним здібностям, озон знайшов широке застосування в різних галузях.

Очищення води [2]:

- Дезінфекція питної та стічної води (знищення бактерій, вірусів, грибків)
- Видалення запахів, покращення смаку

Очищення повітря:

- У лікарнях, громадських місцях (нейтралізація запахів, знищення мікроорганізмів)

Медицина [3]:

- Озонотерапія (антибактеріальні, протизапальні властивості)
- Застосовується в стоматології та хірургії

Промисловість:

- Вибілювання тканин, паперу (альтернатива хлору)
- Обробка продуктів харчування (зменшення пестицидів, збільшення терміну зберігання)

Аналітична хімія:

- Виявлення ненасичених сполук (озоноліз)

Здатність озону ефективно знищувати мікроорганізми, усувати забруднення та подовжувати термін зберігання продуктів обумовлює значний інтерес до подальшого впровадження озонних технологій. Водночас необхідно враховувати потенційну токсичність озону при перевищенні

допустимих концентрацій, що вимагає суворого дотримання норм і правил безпеки під час його застосування.

1.1.3 Способи одержання озону

У природі озон утворюється переважно у верхніх шарах атмосфери під дією ультрафіолетового випромінювання Сонця або під час грозових розрядів. В умовах лабораторії та промисловості озон отримують штучно різними методами проте схожими за принципом дії:

1. Електророзрядний метод (коронний розряд): під дією електричного розряду частина молекул кисню O2 розпадається на атоми, потім атомарний кисень з'єднується з молекулярним і утворюється озон O3. Вихідною речовиною для синтезу озону виступає молекулярний кисень (O2).

2. Фотохімічний метод (УФ-опромінення): під дією УФ-випромінювання, з довжиною хвилі менше 240 нм, молекули кисню поглинають УФ-фотони, дисоціюють на атоми кисню, які потім взаємодіють з O_2, утворюючи озон. Метод використовується переважно для малих об’ємів, наприклад, у системах знезараження води [4].

3. Метод електролізу води: при електролізі води за певних умов на аноді може утворюватися озон як побічний продукт, особливо при використанні спеціальних анодних матеріалів. Метод є менш ефективним і використовується обмежено через складність контролю процесу та низьку продуктивність [5].

1.2 Огляд ринку побутових озонаторів

У зв’язку зі зростанням інтересу до екологічно безпечних методів знезараження повітря, води та поверхонь, попит на побутові озонатори останніми роками суттєво зріс. На ринку представлено широкий асортимент побутових озонаторів різного призначення: для очищення повітря в житлових приміщеннях, обробки води, зберігання продуктів, а також для озонування

одягу, взуття та дрібних побутових речей. Сучасні озоногенератори для побутового використання відзначаються компактністю, енергоефективністю та універсальністю застосування.

Основні представники ринку побутових озонаторів в Україні станом на квітень 2025 року:

1. Doctor-101 компактний (3-в-1)

На маркетплейсі «Розетка» ціна озонатору становить 1 490 грн без урахування можливих знижок. На рисунку 1.1 наведено загальний вигляд озонатору Doctor-101 компактний (3-в-1).



Рисунок 1.1 — Загальний вигляд озонатору
Doctor-101 компактний (3-в-1) [6].

Технічні характеристики озонатору Doctor-101 компактний (3-в-1) наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — технічні характеристики Doctor-101 (3-в-1)

Продуктивність	300 мг/год
Потужність	8 Вт
Тип живлення	від мережі
Площа обслуговування	до 20 м²

У переліку переваг приладу розробником заначено: робота впродовж 7-ми років без втрати потужності; компактний розмір; універсальність – для повітря, продуктів і води; тиха робота; просте управління та таймер від 0 до 30 хвилин [6].

2. Doctor-101 Premium

На маркетплейсі «Розетка» ціна озонатору становить 2 900 грн без урахування можливих знижок. На рисунку 1.2 наведено загальний вигляд озонатору Doctor-101 Premium.



Рисунок 1.2 — Загальний вигляд озонатору Doctor-101 Premium [7].

Технічні характеристики генератору озону Doctor-101 Premium наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 — технічні характеристики Doctor-101 Premium

Продуктивність	500 мг/год
Потужність	13 Вт
Тип живлення	від мережі
Площа обслуговування	до 70 м²

У переліку переваг приладу розробником заначено: велика продуктивність; велика площа дії; робота впродовж 7-ми років без втрати потужності; просте управління та таймер від 5 до 60 хвилин [7].

3. Majster Polska MP-0490

На маркетплейсі «Розетка» ціна озонатору становить 2442 грн без урахування можливих знижок. На рисунку 1.3 наведено загальний вигляд озонатору Majster Polska MP-0490.



Рисунок 1.3 — Загальний вигляд озонатору Majster Polska MP-0490 [8].

Технічні характеристики генератору озону MajsterPolskaMP-0490 наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 — технічні характеристики Majster Polska MP-0490

Продуктивність	60000 мг/год
Потужність	140 Вт
Тип живлення	від мережі

У переліку переваг приладу розробником заначено: велика продуктивність; мобільність; високоякісні озонові пластини; потужний вентилятор; просте управління та таймер від 1 до 60 хвилин [8].

4. ОЗОН-25ККН

На маркетплейсі «Розетка» ціна озонатору становить 28800 грн без урахування можливих знижок. На рисунку 1.4 наведено загальний вигляд озонатору ОЗОН-25ККН.



Рисунок 1.4 — Загальний вигляд озонатору ОЗОН-25ККН [9].

Технічні характеристики ОЗОН-25ККН наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 — технічні характеристики ОЗОН-25ККН

Продуктивність	25 000 мг/год
Потужність	550 Вт
Тип живлення	від мережі

У переліку переваг приладу розробником заначено: велика продуктивність; мобільність; можливість регулювання генерації озону (9 режимів); потужний вентилятор; просте управління [9].

5. G.I.KRAFT

На маркетплейсі «Розетка» ціна озонатору становить 6930 грн без урахування можливих знижок. На рисунку 1.5 наведено загальний вигляд озонатору G.I.KRAFT.



Рисунок 1.5 — Загальний вигляд озонатору G.I.KRAFT [10].

Технічні характеристики озонатору G.I.KRAFT наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 — технічні характеристики G.I.KRAFT

Продуктивність	10 000 мг/год
Потужність	80 Вт
Тип живлення	від мережі
Площа обслуговування	до 100 м²

У переліку переваг приладу розробником заначено: невеликий розмір; мала вага; мобільність; висока ефективність; просте управління; наявність таймеру [10].

Розрахунок енергоефективності озонатору здійснюється за формулою 1.1.

$$\text{Енергоефективність} = \frac{\text{Продуктивність}}{\text{Потужність}} = \frac{\text{мг}}{\text{год}} / \text{Вт}, \qquad (1.1)$$

де: Продуктивність — кількість озону, що виробляється за годину (в міліграмах);

Потужність — електроспоживання приладу в ватах;

Енергоефективність — ефективність озонатора в плані енергоспоживання.

Розрахунок енергоефективності озонатору Doctor-101 (3-в-1) наведено у формулі 1.2.

$$\text{Енергоефективність Doctor101 (3в1)} = \frac{300}{8} = 37{,}5 \frac{\text{мг}}{\text{год}} / \text{Вт} \qquad (1.2)$$

Розрахунок енергоефективності озонатору Doctor-101 Premium наведено у формулі 1.3.

$$\text{Енергоефективність Doctor101 Premium} = \frac{500}{13} = 38{,}46 \frac{\text{мг}}{\text{год}} / \text{Вт} \qquad (1.3)$$

Розрахунок енергоефективності озонатору MajsterPolskaMP0490 наведено у формулі 1.4.

$$\text{Енергоефективність Majster Polska MP0490} = \frac{60000}{140} = 428{,}57 \frac{\text{мг}}{\text{год}} / \text{Вт} \qquad (1.4)$$

Розрахунок енергоефективності озонатору ОЗОН-25ККН наведено у формулі 1.5.

$$\text{Енергоефективність ОЗОН} - 25\text{ККН} = \frac{25000}{550} = 45{,}45\,\frac{\text{мг}}{\text{год}}/\text{Вт} \qquad (1.5)$$

Розрахунок енергоефективності озонатору G.I.KRAFT наведено у формулі 1.6.

$$\text{Енергоефективність G. I. KRAFT} = \frac{10000}{80} = 125\,\frac{\text{мг}}{\text{год}}/\text{Вт} \qquad (1.6)$$

Загальне порівняння характеристик представників побутових озонаторів наведено у табл. 1.6.

Таблиця 1.6 — загальне порівняння представників побутових озонаторів

Модель	Ціна, грн	Продуктивність, мг/год	Потужність, Вт	Енергоефективність, $\frac{\text{мг}}{\text{год}}/\text{Вт}$
Doctor-101 (3-в-1)	1490	300	8	37,5
Doctor-101 Premium	2900	500	13	38,46
Majster Polska MP-0490	2442	60000	140	428,57
ОЗОН-25ККН	28800	25000	550	45,45
G.I.KRAFT	6930	10000	80	125

1.3 Джерела живлення dc-dc

1.3.1 Огляд та аналіз ринку джерел живлення DC-DC

У сучасних умовах проектування портативних пристроїв, зокрема озонаторів, важливо забезпечити ефективне, надійне та енергоощадне джерело живлення. Одним із ключових компонентів електронної системи озонатора є DC-DC перетворювач, який дозволяє адаптувати вхідну напругу до необхідного рівня для живлення високовольтного генератора озону.

Правильний вибір такого перетворювача впливає не лише на стабільність роботи пристрою, але й на його енергоефективність, вагу, габарити та вартість. Ринок України пропонує великий вибір DC-DC джерел живлення, які відрізняються за технічними характеристиками, виробниками та ціною. Для досягнення оптимального співвідношення між ціною та технічними параметрами було здійснено огляд наявних на ринку рішень. У таблиці 1.7 наведено представників ринку DC-DC джерел живлення в Україні [11]…[20].

Таблиця 1.7 — представники ринку DC-DC джерел живлення в Україні

сайт	посилання	Назва або код товару	Вх. напр., В	Вих. напр., В	пот., Вт	ціна, грн	виробник
rcs	[11]	148321	8,5 … 50	10 … 60	400	180	-
rcs	[12]	109750	7 … 35	1,25 … 30	15	75	Китай
rcs	[13]	95962	3,5 … 32	5 … 35	20	55	-
kosmodrom	[14]	PSD-15B-12	18 … 36	12	15	631	MW
kosmodrom	[15]	SD-15A-12	9,2 … 18	12	15	860	MW
kosmodrom	[16]	SD-15B-12	18 … 36	12	15	935	MW
ПП «Ворон»	[17]	033455	5 … 32	1,25 … 30	30	81,69	-
ПП «Ворон»	[18]	024709	5 … 28	1,25 … 26	-	193,5	-
mini-tech	[19]	2505	5 … 32	1,25 … 35	6	65	-
nado.in.ua	[20]	XY-SJV-4	5,5 … 30	0,5 … 30	30	150	-

1.3.2 Принцип роботи та основні технічні характеристики компонентів джерел живлення

Джерела живлення портативних озонаторів складаються з ряду електронних компонентів, кожен з яких виконує важливу функцію у забезпеченні стабільної, ефективної та безпечної роботи пристрою. На

рисунку 1.6 наведено приклад структурної схеми джерела живлення портативного озонатора.

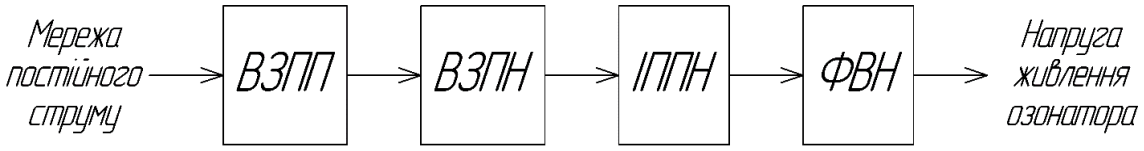


Рисунок 1.6 — Приклад структурної схеми джерела живлення портативного озонатора.

Захисні елементи (запобіжники, варистори, TVS-діоди):

Призначення – захист від перенапруги, перевантаження по струму та короткого замикання.

Основні технічні параметри запобіжників:

- номінальний струм – максимальний струм, який запобіжник може витримувати без перегорання;
- номінальна напруга – максимальна напруга, при якій запобіжник безпечно працює;
- тип часу спрацювання – визначає, наскільки швидко запобіжник перегорає (спрацьовує) при перевищенні номінального струму;
- максимальний струм розриву – максимальний струм, який запобіжник може безпечно перервати;
- розміри (форм-фактор) – розмір запобіжника, що залежить від попередніх технічних параметрів.

Принцип роботи запобіжників – це одноразовий захисний елемент, який має тонкий провідник всередині. Під час нормальної роботи струм проходить через нього безперешкодно. У випадку перевищення допустимого струму провідник перегрівається та плавиться, розриваючи коло і запобігаючи подальшому пошкодженню пристрою.

Основні технічні параметри варисторів:

- номінальна напруга – напруга, при якій починається провідність;

- максимальна робоча напруга – найбільша постійна або змінна напруга, при якій варистор може працювати без деградації;
- імпульсний струм – максимальний струм імпульсу, який може бути витриманий;
- поглинаєма енергія – кількість енергії (в джоулях), яку варистор може поглинути за один імпульс.

Принцип роботи варисторів – це нелінійний резистор, опір якого різко падає при перевищенні певного порогу напруги. У нормальних умовах він має дуже високий опір і практично не проводить струм. При перенапрузі миттєво переходить у провідний стан, відводячи надлишкову енергію від чутливих компонентів, після чого повертається в початковий стан.

Основні технічні параметри TVS-діодів:
- стояча напруга – максимальна постійна напруга, при якій діод не проводить струм;
- напруга пробою – напруга, при якій діод починає проводити струм;
- кліпінгова напруга – максимальна напруга на діоді при заданому імпульсному струмі;
- імпульсний струм – найбільший струм, який діод може пропустити без пошкодження.

Принцип роботи – працює подібно до варистора, але точніше і швидше реагує на короткочасні імпульсні перенапруги. У нормальному режимі TVS-діод не проводить струм. При перевищенні заданої напруги пробивається в обраному напрямку та проводить надлишковий струм на землю, обмежуючи напругу до безпечного рівня. Після закінчення імпульсу повертається до стану високого опору.

Імпульсний перетворювач постійної напруги (ІППН):

Призначення – стабілізація вихідної напруги, необхідної для генератора озону.

Основні технічні параметри імпульсних перетворювачів постійної напруги:

- вхідна напруга – діапазон напруги, при якому перетворювач здатен працювати стабільно;
- вихідна напруга – напруга, яку перетворювач видає на навантаження. Може бути фіксованою або регульованою;
- максимальний вихідний струм – найбільший струм, який може стабільно постачати перетворювач без перегріву чи нестабільності;
- коефіцієнт корисної дії (ККД) – відношення вихідної потужності до вхідної, що показує ефективність роботи;
- частота перемикання – частота, з якою працює ключовий транзистор перетворювача. Впливає на розміри компонентів і рівень завад;
- габарити та форм-фактор – розміри модуля або плати, важливі для портативних пристроїв.

Принцип роботи – за допомогою ключа (MOSFET) перетворює постійну напругу у високочастотні імпульси, які трансформуються та згладжуються.

Фільтр вихідної напруги:

Призначення – фільтр вихідної напруги застосовується для згладжування пульсацій і високочастотних завад, які залишаються після роботи імпульсного перетворювача.

Основні технічні параметри фільтра вихідної напруги:

- номінальна робоча напруга – максимальна постійна напруга, при якій фільтр може безпечно функціонувати. Має бути вищою за напругу живлення навантаження;
- максимальний струм навантаження – найбільший струм, який може проходити через фільтр без перегріву або насичення індуктивності;
- індуктивність (L) – визначає здатність згладжувати зміну струму. Чим більша індуктивність, тим краще фільтрація, але більші розміри;
- ємність (C) – визначає здатність згладжувати пульсації напруги. Зазвичай використовується конденсатор з низьким внутрішнім опором;

- рівень залишкових пульсацій – величина змінної складової напруги на виході після фільтрації;
- резонансна частота фільтра – частота, на якій LC-фільтр найбільш ефективний. Вона залежить від значень L і C. Має бути нижчою за частоту перемикання перетворювача.
- еквівалентний послідовний опір – визначає втрати потужності в конденсаторі та ефективність фільтрації.
- тип фільтра – конфігурація фільтра. Впливає на ступінь згладжування і розміри.

Принцип роботи – фільтр зазвичай реалізується у вигляді LC-ланцюга, який утворює низькочастотний фільтр другого порядку. Індуктивність чинить опір швидким змінам струму, затримуючи високочастотні імпульси, а конденсатор накопичує та розряджає енергію, згладжуючи залишкові пульсації напруги. У результаті на виході отримується стабільна постійна напруга, з мінімальними пульсаціями.

1.4 Імпульсні перетворювачі постійної напруги

1.4.1 Типові типи, схеми та принцип роботи імпульсних перетворювачів постійної напруги.

Імпульсний перетворювач потужності напруги — це електронний пристрій, який перетворює постійну або змінну вхідну напругу в необхідний рівень постійної або змінної вихідної напруги за допомогою високочастотної комутації ключових елементів. Далі наведено 6 найбільш використовуваних типів ІППН.

ІППН типу Buck — це понижуючий імпульсний перетворювач постійної напруги, який перетворює вхідну напругу на меншу вихідну напругу при високій ефективності. На рисунку 1.7 наведено електричну схему ІППН типу Buck або понижуючий ІППН.

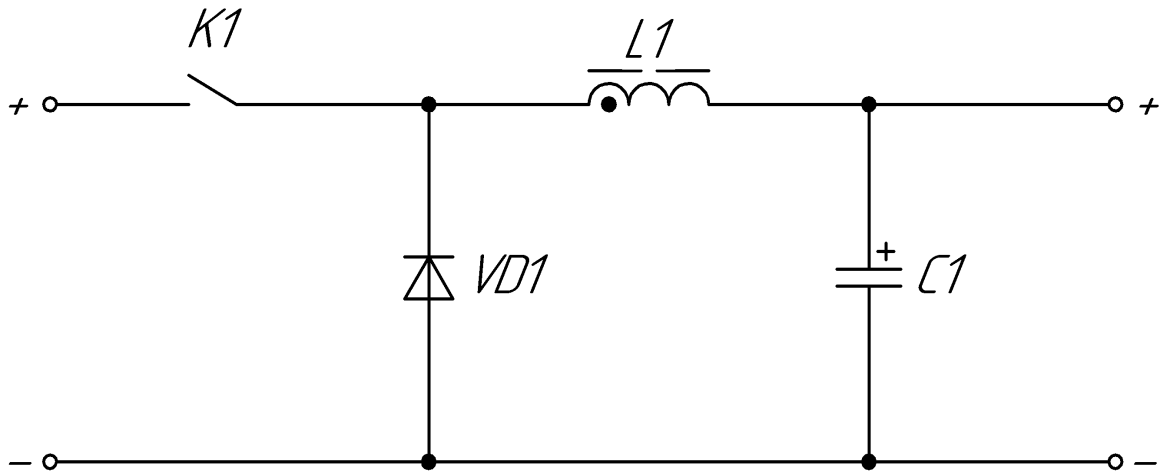


Рисунок 1.7 — Електрична схема ІППН типу Buck (понижуючий ІППН).

Перетворювачі типу Buck зазвичай містять принаймні два напівпровідники (діод і транзистор, проте у сучасних перетворювачах часто замінюють діод другим транзистором, який використовується для синхронного випрямлення) і принаймні один елемент накопичення енергії (конденсатор, котушка індуктивності або два разом). Щоб зменшити пульсації напруги, на вихід такого перетворювача.

Принцип роботи Buck:

1. Коли MOSFET увімкнений: Струм тече через дросель до навантаження. Дросель накопичує енергію в магнітному полі.

2. Коли MOSFET вимкнений: Дросель підтримує струм, "розряджаючись" через діод на навантаження.

Переваги Buck-перетворювача: дуже висока ефективність; проста реалізація; малий рівень електромагнітних перешкод у правильній схемі; підходить для живлення мікроконтролерів, світлодіодів, сенсорів.

Недоліки Buck-перетворювача: не може підвищувати напругу; потрібне точне проектування фільтра (дросель + конденсатори) для зниження пульсацій; при великій зміні навантаження можливі стрибки напруги [21].

ІППН типу Boost — це підвищуючий імпульсний перетворювач постійної напруги, який перетворює вхідну напругу на більшу вихідну напругу при високій ефективності. На рисунку 1.8 наведено електричну схему ІППН типу Boost або підвищуючий ІППН.

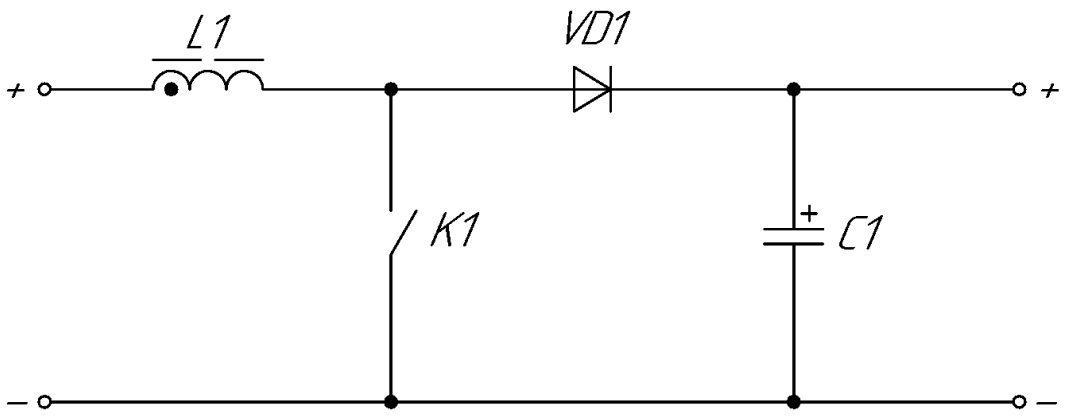


Рисунок 1.8 — Електрична схема ІППН типу Boost (підвищуючий ІППН).

Перетворювачі типу Boost зазвичай містять принаймні два напівпровідники (діод і транзистор, проте у сучасних перетворювачах часто замінюють діод другим транзистором, який використовується для синхронного випрямлення) і принаймні один елемент накопичення енергії (конденсатор, котушка індуктивності або два разом). Щоб зменшити пульсації напруги, на вихід такого перетворювача встановлюють згладжувальні конденсатори.

Принцип роботи Boost:

1. Коли MOSFET увімкнений: Струм тече через дросель та транзистор до землі. Дросель накопичує енергію у магнітному полі, а вихідне навантаження живиться за рахунок накопиченої енергії у вихідному конденсаторі.

2. Коли MOSFET вимкнений: Енергія, накопичена у дроселі, виштовхується через діод до навантаження, підвищуючи напругу на виході.

Переваги Boost-перетворювача: дозволяє отримувати вихідну напругу, більшу за вхідну; висока ефективність; проста реалізація; можливість живлення пристроїв від джерел із низькою напругою (наприклад, акумуляторів).

Недоліки Boost-перетворювача: складніше стабілізувати вихідну напругу при змінному навантаженні; на виході завжди має бути певне мінімальне навантаження для стабільної роботи; на високих вихідних напругах можливі більші електромагнітні перешкоди, що потребує ретельного проектування фільтрів [21].

ІППН типу Buck-Boost — це імпульсний перетворювач постійної напруги, який може як підвищувати, так і понижувати вхідну напругу, змінюючи її залежно від режиму роботи. При цьому вихідна напруга може бути як більшою, так і меншою за вхідну та має обернену полярність відносно вхідної. При цьому вихідна напруга може бути як більшою, так і меншою за вхідну та має обернену полярність відносно вхідної. На рисунку 1.9 наведено електричну схему ІППН типу Buck-Boost або підвищуючий-знижуючий ІППН.

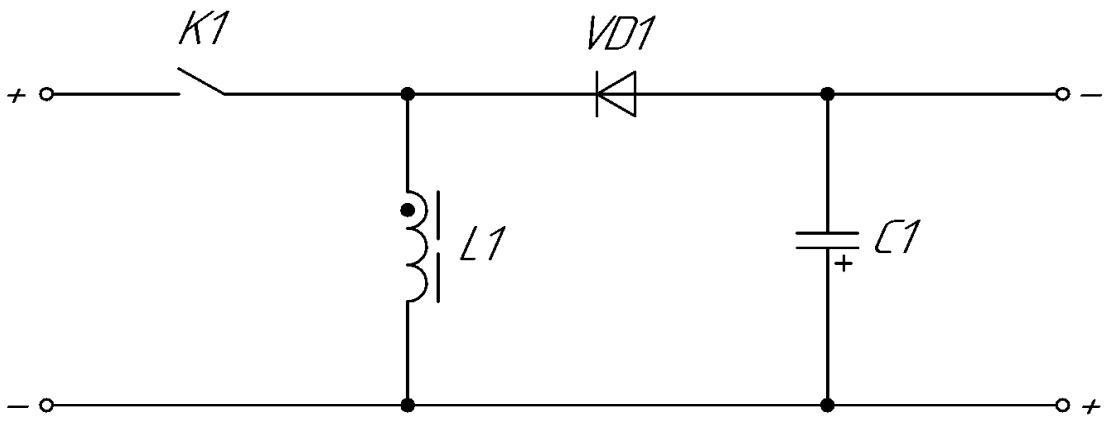


Рисунок 1.9 — Електрична схема ІППН типу Buck-Boost (підвищуючий-знижуючий ІППН).

Перетворювачі типу Buck-Boost зазвичай містять два основні напівпровідникові елементи (діод і транзистор, або транзистор із

синхронним випрямленням) і один елемент накопичення енергії (дросель). Щоб зменшити пульсації напруги на виході, встановлюють згладжувальний конденсатор.

Принцип роботи Buck-Boost:

1. Коли MOSFET увімкнений: Струм протікає через дросель, накопичуючи енергію у магнітному полі, при цьому діод заблокований і енергія не подається на вихід.

2. Коли MOSFET вимкнений: Дросель розряджається через діод на навантаження, забезпечуючи передачу накопиченої енергії.

Переваги Buck-Boost-перетворювача: здатність працювати у широкому діапазоні вхідних напруг; можливість отримувати вихідну напругу як вищу, так і нижчу за вхідну; простота схеми.

Недоліки Buck-Boost-перетворювача: інверсія полярності вихідної напруги відносно вхідної; більші пульсації струму; нижча ефективність порівняно з Buck або Boost окремо [21].

ІППН типу Cuk — це імпульсний перетворювач постійної напруги, який може як підвищувати, так і понижувати вхідну напругу, забезпечуючи стабільне живлення з вихідною напругою, меншою або більшою за вхідну. При цьому вихідна напруга завжди має обернену полярність відносно вхідної. На рисунку 1.10 наведено електричну схему ІППН типу Cuk.

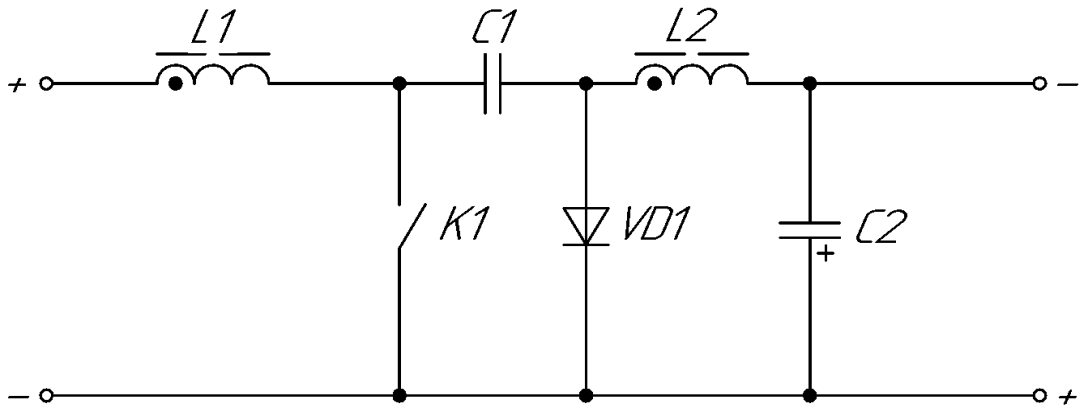


Рисунок 1.10 — Електрична схема ІППН типу Cuk.

Перетворювачі типу Cuk зазвичай містять два індуктивні елементи (на вході й виході), конденсатор зв’язку (через який передається енергія), а також два напівпровідникові елементи — транзистор (MOSFET) та діод. Щоб зменшити пульсації вихідної напруги, використовуються згладжувальні конденсатори.

Принцип роботи Cuk:

1. Коли MOSFET увімкнений: Енергія накопичується в дроселях, а конденсатор зв'язку заряджається через транзистор. Діод заблокований, і енергія не надходить до навантаження.

2. Коли MOSFET вимкнений: Енергія, накопичена в конденсаторі зв’язку, передається через діод на навантаження. У цей момент також розряджаються дроселі, забезпечуючи безперервність струму.

Переваги Cuk-перетворювача: низький рівень пульсацій струму як на вході, так і на виході завдяки використанню двох дроселів; можливість як підвищення, так і зниження напруги; гарна фільтрація та стабільність живлення.

Недоліки Cuk-перетворювача: складніша конструкція та більша кількість компонентів; втрата потужності через додаткові елементи (особливо в конденсаторі зв’язку); змінює полярність вихідної напруги відносно вхідної; більші габарити [22].

ІППН типу Zeta — це імпульсний перетворювач постійної напруги, який може як підвищувати, так і понижувати вхідну напругу, забезпечуючи вихідну напругу тієї ж полярності, що й вхідна.

Перетворювачі типу Zeta зазвичай містять два індуктивні елементи, два конденсатори, а також транзистор (MOSFET) і діод. Вихідна напруга згладжується конденсатором для зменшення пульсацій. На рисунку 1.11 наведено електричну схему ІППН типу Zeta.

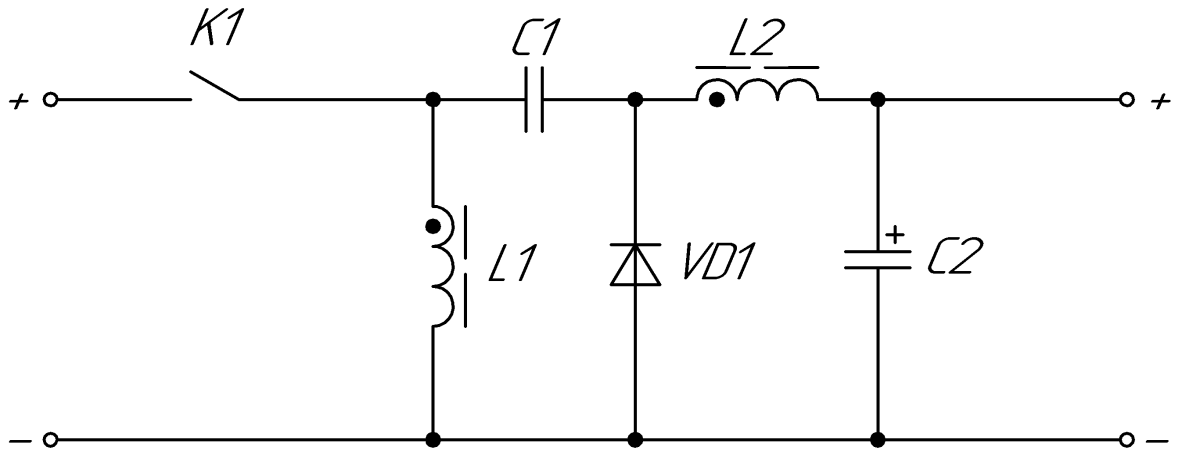


Рисунок 1.11 — Електрична схема ІППН типу Zeta.

Принцип роботи Zeta:

1. Коли MOSFET увімкнений: Вхідна енергія передається через перший дросель на зв’язуючий конденсатор, який накопичує заряд. Діод у цей момент заблокований, а вихідне навантаження живиться з вихідного конденсатора.

2. Коли MOSFET вимкнений: Енергія, накопичена у зв’язуючому конденсаторі, передається через діод і другий дросель до навантаження.

Переваги Zeta-перетворювача: можливість отримувати вихідну напругу як вище, так і нижче вхідної; не змінює полярність вихідної напруги відносно вхідної.

Недоліки Zeta-перетворювача: нижча ефективність через додаткові втрати в конденсаторі зв’язку та двох дроселях; ускладнене керування у режимах швидкої зміни навантаження; переривчастий характер вхідного струму [23].

ІППН типу SEPIC — це імпульсний перетворювач постійної напруги, який дозволяє отримувати вихідну напругу вищу або нижчу за вхідну без зміни полярності. На відміну від класичного Buck-Boost, у SEPIC-перетворювачі вихідна напруга має ту саму полярність, що й вхідна. На рисунку 1.12 наведено електричну схему ІППН типу SEPIC.

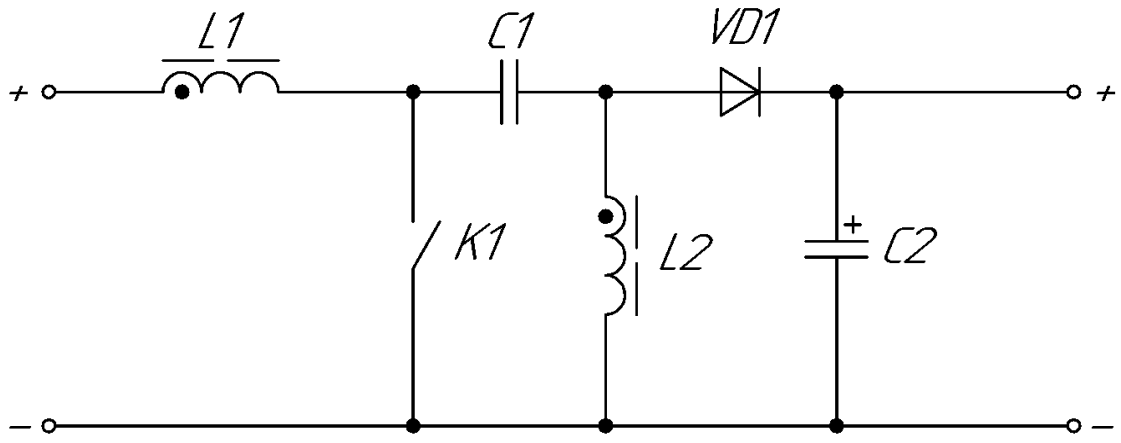


Рисунок 1.12 — Електрична схема ІППН типу SEPIC.

Перетворювачі типу SEPIC зазвичай містять два індуктивні елементи, два конденсатори та два напівпровідникові елементи (транзистор і діод, або два транзистори для синхронної роботи).

Принцип роботи SEPIC:

1. Коли MOSFET увімкнений: Енергія накопичується у двох індуктивностях; конденсатор передає заряд.

2. Коли MOSFET вимкнений: Накопичена енергія з індуктивностей подається на вихід через діод, забезпечуючи живлення навантаження.

Переваги SEPIC-перетворювача: можливість отримання вихідної напруги вище або нижче вхідної без інверсії полярності; хороша стабілізація виходу при змінній вхідній напрузі; відносно низький рівень пульсацій напруги.

Недоліки SEPIC-перетворювача: складніша схема порівняно з Buck або Boost; більша кількість компонентів; дещо нижча ефективність через втрати у додаткових елементах.

1.4.2 Системи керування джерелом живлення.

Система управління в джерелі живлення для портативного озонатора виконує функції стабілізації напруги/струму, захисту та енергетичної

ефективності. У джерелі живлення для портативного озонатора можуть застосовуватись такі методи керування [24]:

1. PWM (широтно-імпульсна модуляція) — класичний метод, при якому змінюється тривалість імпульсів комутації силового транзистора. Найпоширеніший метод регулювання.

2. Керування за струмом — управління не лише напругою, а й струмом, що покращує стабільність та швидкодію при змінному навантаженні.

3. Керування за напругою — просте управління тільки за напругою; використовується за стабільних умов.

4. Цифрова PWM — реалізується мікроконтролером, що дозволяє гнучке регулювання та програмну адаптацію під потреби озонатора.

Принцип роботи системи керування:

1. Зворотній зв’язок: сигнал із виходу (напруга або струм) порівнюється з еталонним значенням (референсом). Різниця передається на керуючий елемент (ШІМ або мікроконтролер).

2. Формування керуючого сигналу: використовується компаратор або регулятор (наприклад, ПІ-регулятор) для створення ШІМ-сигналу.

3. Регулювання потужності: керування відкриванням/закриванням силового ключа (MOSFET) із заданою частотою та тривалістю імпульсів.

4. Захист і компенсація: захист від перенапруги, перевантаження, перегріву реалізується у схемі апаратно або програмно.

Компоненти системи керування:

1. Контролер (аналоговий або цифровий): IC типу TL494, UC3843, або мікроконтролер (наприклад, STM32, ATmega). Формує ШІМ-сигнал, керує стабілізацією, виконує логіку.

2. Драйвер силового ключа: посилює сигнал контролера для відкривання MOSFET/IGBT. Може бути вбудованим у контролер або дискретним.

3. Ключовий транзистор: основний керований елемент у силовій схемі (наприклад, N-канальний MOSFET).

4. Блок зворотного зв’язку: дільник напруги, шунт або датчик струму. Забезпечує вимірювання вихідних параметрів.

5. Регулюючий каскад: оптоізолятор (у разі гальванічної розв’язки); компаратори або АЦП (у цифрових схемах).

6. Захисні вузли: сторожові таймери, температурні датчики, схеми обмеження струму.

1.5 Постановка завдання

Розробити універсальне джерело живлення для портативних озонаторів, яке зможе забезпечити їх необхідною напругою живлення в умовах широкого діапазону вхідних напруг.

Вихідні дані:

- вид напруги живлення (вид вхідного струму)	постійна
- мінімальна вхідна напруга, В	5
- максимальна вхідна напруга, В (не менше)	30
- відхилення вхідної напруги від номінального значення, %	± 10
- номінальна вихідна потужність, Вт	6
- номінальна вихідна напруга, В	12
- відхилення вихідної напруги від номінального значення, %	± 5
- номінальний вихідний струм, А	0,5
- робоча частота перетворювання, кГц	300

2. СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ ОЗОНАТОРУ

Спеціалізоване джерело живлення озонатору призначене для живлення портативного генератора озону, що використовується в системах знезараження повітря та води. Джерело забезпечує стабілізовану вихідну напругу 12В при широкому діапазоні вхідних напруг (постійна напруга від 5,0 до 30,0 В та змінна напруга 110 В або 220 В). Конструкція передбачає вбудовані засоби захисту від перенапруги, перевантаження та перегріву.

2.1 Опис електричної структурної схеми джерела живлення

На рисунку 2.1 наведена електрична структурна схема джерела живлення.

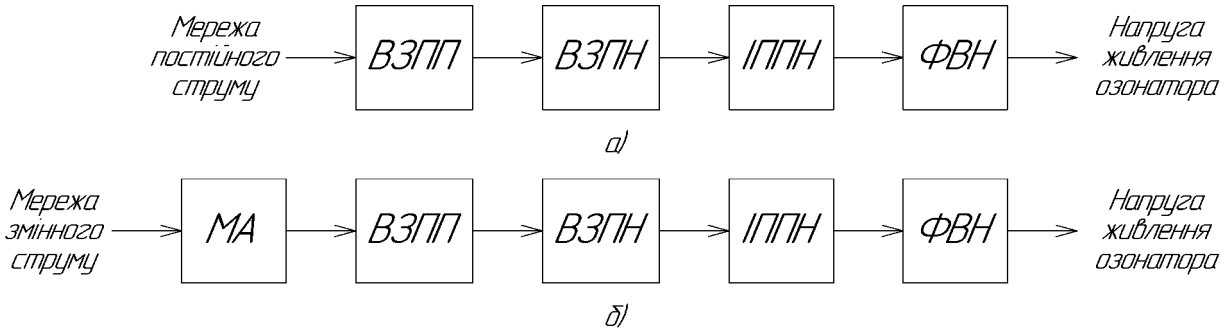


Рисунок 2.1 – Електрична структурна схема джерела живлення [25].
а) при підключенні до мережі постійного струму;
б) при підключенні до мережі змінного струму.

Відповідно до рис. 1 джерело живлення включає в себе:

- мережевий адаптер (МА);
- вузол захисту від переполюсування (ВЗПП);
- вузол захисту від перенапруги (ВЗПН);
- імпульсний перетворювач постійної напруги (ІППН);
- фільтр вихідної напруги (ФВН).

Вузли захисту від переполюсування та перенапруги забезпечують безпечну та стабільну роботу джерела живлення, а також зменшують вірогідність виходу з ладу у разі перевищення максимальних значень вхідної напруги та/або нештатного підключення до мережі живлення [25].

Імпульсний перетворювач постійної напруги забезпечує перетворення вхідної напруги (від 5,0 до 30,0 В) на стабілізовану напругу живлення портативного озонатора (12 В) [25].

Фільтр вихідної напруги використовується для згладжування пульсацій вихідної напруги ІППН [25].

Підключення портативного озонатору до мережі змінного струму здійснюється за допомогою мережевого адаптеру (МА) [25].

Рисунок 2.1 відповідає кресленню ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.Е1.

Для живлення портативного озонатора пропонується використання Universal Serial Bus (USB) кабелю з роз’ємом USB-A Male v3.0. При підключенні до мережі постійного струму (відповідно до рис. 1, а)) він забезпечить сумісність із поширеними джерелами енергії: портативними акумуляторами та бортовою мережею автомобіля. При підключенні до мережі змінного струму (відповідно до рис. 1, б)) необхідно використовувати мережевий зарядний адаптер із виходом під USB-кабель [25].

В якості ІППН, можливе використання схем імпульсного перетворення постійної напруги типу: SEPIC; Zeta; Cuk та Buck-Boost. Проте: перетворювачі типу Zeta мають переривчастий характер вхідного струму; перетворювачі типу Cuk змінюють полярність вихідної напруги відносно вхідної. Перетворювачі типу Buck-Boost мають обидва недоліки перетворювачів Zeta та Cuk одночасно. На відміну від розглянутих схем, перетворювачі типу SEPIC не змінюють полярність вихідної напруги, відносно вхідної, та мають безперервний характер вхідного струму [25].

На підставі вищесказаного – оптимальним, для спеціалізованого джерела живлення, є перетворювач типу SEPIC.

2.2 Вибір елементу керування ІППН

Оскільки на ринку не було знайдено мікросхем, здатних витримати задані параметри роботи, для управління перетворювачем пропонується використовувати контролер з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). У таблиці 2.1 наведено представників ринку ШІМ контролерів, які відповідають параметрам поставленого завдання.

Таблиця 2.1 – Представники ринку ШІМ контролерів.

№	Назва контроллеру, фірма виробник	$U_{in\ (min)} \dots U_{in\ (max)}$, В	I_{max}, А	f, кГц;	Тип корпусу	Ціна, грн
1	LM3478 (Texas instruments)	2.97…40 / 45	1,0	400 (350…440)	VSSOP-8, SOIC-8	50…62
2	LM3488 (National Semiconductor)	2.97…40 / 45	1,0	400 (370…420)	MSOP-8	-
3	LM3488 (Texas instruments)	2.97…40 / 45	1,0	400 (360…430)	VSSOP (DGK)	30…40
4	LM5155 (Texas instruments)	2.97…45 / 50	1,5	100 (85…115); 2200 (1980…2420)	12-Pin WSON DSS	635
5	TPS40210 (Texas instruments)	4,5…52	0,33 0,40	300 (260…340)	HVSSOP, VSON	33…39

Проведено аналіз ШІМ контролерів з таблиці 2.1 на можливість та доречність їх використання у розробці.

ШІМ контролер LM5155 не підходить для використання у джерелі живлення оскільки має обмежену доступність на ринку, що призводить до його високої вартості у порівнянні з іншими аналогами. Також незадовільним є тип корпусу контролера, оскільки виробництво не має технічних можливостей для його монтажу.

ШІМ контролер TPS40210 також не підходить для використання у готовому виробі, адже має занизький максимальним струм ключа.

ШІМ контролер LM3478 не підходить для використання, оскільки має більшу ціну у порівнянні з LM3488.

ШІМ контролер LM3488 від National Semiconductor не підходить для використання, оскільки на має представників на ринку.

Враховуючи всі недоліки інших представників для керування ІППН спеціалізованого джерела живлення портативного озонатору було обрано

ШІМ контролер LM3488 від Texas instruments. На рисунку 2.2 наведено зображення ШІМ контролер LM3488 від Texas instruments.

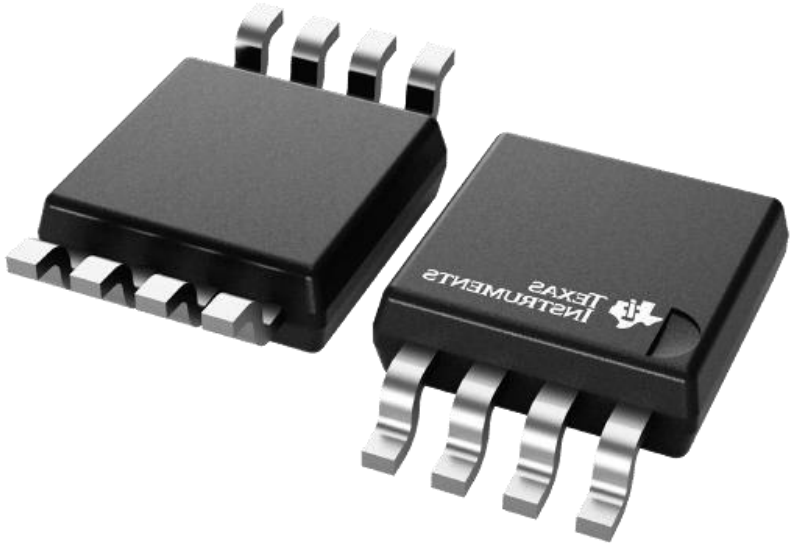


Рисунок 2.2 – LM3488 від Texas instruments [26].

2.3 Опис електричної принципової схеми джерела живлення

Схема електрична принципова джерела живлення може підключатися до мережі змінної напруги (110 або 220 В) при застосуванні зовнішнього мережевого адаптера або до мережі постійної напруги (від 5 до 30 В).

Електрична принципова схема ДЖ наведена на рисунку 2.5 і відповідає ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.Е3. Тип і кількість компонентів схеми ДЖ вказані в переліку елементів ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.ПЕ3.

Вузол захисту від переполюсування (ВЗПП) включає в себе: супресор VD1 який виконує функцію захисту від переполюсування.

Вузол захисту від перенапруги (ВЗПН) включає в себе: запобіжник FU1 40A 32V як захист від короткого замикання та варистор RU1, що виконує функцію захисту від перенапруження.

На рисунку 2.3 наведено вузли захисту від переполюсування та перенапруги.

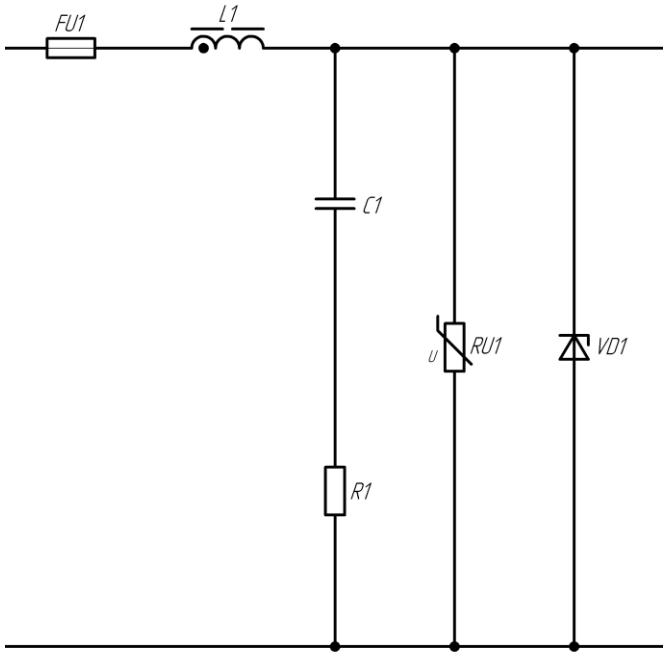


Рисунок 2.3 – Вузли захисту від переполюсування та перенапруги.

Імпульсний перетворювач постійної напруги (ІППН) включає в себе: керуючу мікросхему LM3488 виробництва Texas instruments; Вхідні конденсатори ІППН С2…С13 основна мета яких згладження струмових імпульсів та зменшення пульсацій на джерелі живлення; резистор R2 та конденсатор С14, які впливають на стабільність, шумозахищеність і надійність роботи внутрішньої логіки мікросхеми; резистор R3 і конденсатори С15 та С16, що визначють стабільність та динамічну поведінку перетворювача; резистори R7 та R8 і конденсатор С17 використовуються для програмування бажаного вихідного струму перетворювача на ШІМ контролері. Резистори R4 та R6 захищають транзистор VT1 від самовимкнення, ненавмисного включення та обмежують струм включення транзистора; транзистор VT1, який керує передачею енергії від вхідного джерела до виходу; індуктивності L2 та L3 і конденсатор С18 використовуються для акумуляції та передачі енергії. Додатково можливо використовувати індуктивності з спільним магнітопроводом, що сприяє зменшенню розмірів і ваги магнітного вузла та підвищенню ефективності (менше втрат, менше пульсацій струму через конденсатор); резистор R9 та конденсатори С19…С23 утворюють

демпфувальний ланцюг для уникнення резонансних коливань між сполучним конденсатором і індуктивностями; діод Шотткі VD2 забезпечує передавання енергії з індуктивностей на вихід та запобігає зворотному струму; резистори R10; R11 та R12, які використовуються для програмування бажаної вихідної напруги перетворювача на ШІМ контролері.

Фільтр вихідної напруги (ФВН) включає в себе: конденсатори С24 та С25, які згладжують пульсації струму та напруги на виході.

На рисунку 2.4 наведено імпульсний перетворювач постійної напруги та фільтр вихідної напруги.

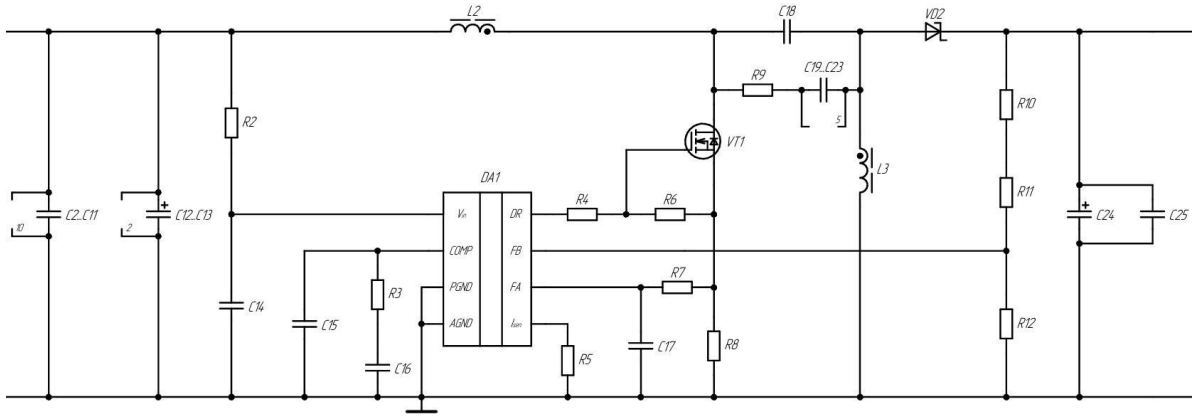


Рисунок 2.4 – Імпульсний перетворювач постійної напруги та фільтр вихідної напруги джерела живлення.

На рисунку 2.5 наведено електричну принципову схему джерела живлення.

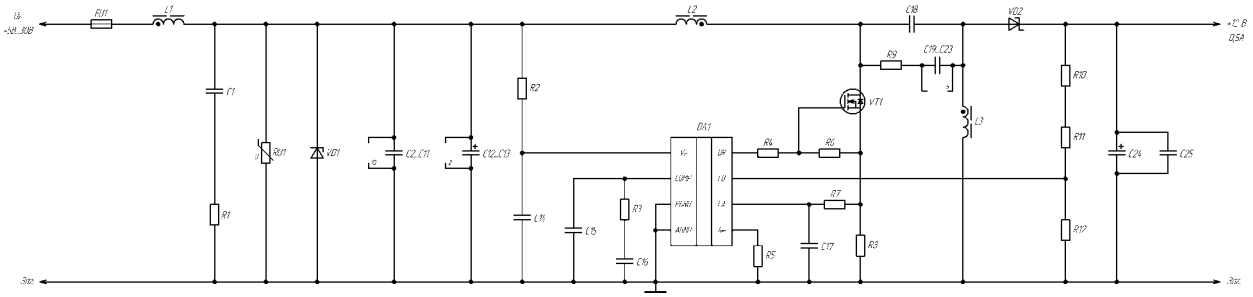


Рисунок 2.5 – Електрична принципова схема джерела живлення.

3. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ПОРТАТИВНИХ ОЗОНАТОРІВ

Вхідні дані для розрахунку:

- вид напруги живлення (вид вхідного струму)	постійна
- мінімальна вхідна напруга, В	5
- максимальна вхідна напруга, В (не менше)	30
- відхилення вхідної напруги від номінального значення, %	± 10
- номінальна вихідна потужність, Вт	6
- номінальна вихідна напруга, В	12
- відхилення вихідної напруги від номінального значення, %	± 5
- номінальний вихідний струм, А	0,5
- робоча частота перетворювання, кГц	300

3.1 Розрахунок коефіцієнту заповнення

Коефіцієнт заповнення визначає тривалість відкритого стану ключа (MOSFET або іншого транзистора) протягом одного циклу ШІМ. Він безпосередньо впливає на вихідну напругу. Розрахунок коефіцієнту заповнення наведено в формулі 3.1 [27].

$$D = \frac{V_{out} + V_{Diode}}{V_{out} + V_{in} + V_{Diode}}, \tag{3.1}$$

де: V_{out} – номінальна вихідна напруга перетворювача;

V_{in} – вхідна напруга перетворювача;

V_{Diode} – падіння напруги на діоді при прямому включенні.

D – коефіцієнт заповнення.

Коефіцієнт заповнення розраховується для максимальної та мінімальної вхідної напруги перетворювача. Розрахунки коефіцієнтів для максимальної та мінімальної вхідної напруги наведено в формулах 3.2 та 3.3 відповідно.

$$D_{max} = \frac{12 + 0.74}{12 + 5 + 0.74} = 0.718 \tag{3.2}$$

$$D_{min} = \frac{12 + 0.74}{12 + 30 + 0.74} = 0.298 \tag{3.3}$$

3.2 Розрахунок та вибір індуктивностей

Розрахунок пульсацій струму індуктивності (ripple current) — амплітуда змінної складової струму через котушку. Пульсації струму впливають на стабільність вихідної напруги. Якщо пульсації занадто великі, це може призвести до нестабільності вихідної напруги або її надмірних коливань. Розрахунок пульсацій струму індуктивності здійснюється за допомогою формули 3.4 [27].

$$\Delta I_L = I_{out} \frac{V_{out}}{V_{in(min)}} \cdot 20\%, \tag{3.4}$$

де: I_{out} – номінальний вихідний струм;

$V_{in(min)}$ – мінімальна вхідна напруга;

ΔI_L - пульсації струму індуктивності.

В формулі 3.5 наведено розрахунок теоретичних пульсацій струму через індуктивність.

$$\Delta I_L = 0.5 \frac{12}{5} \cdot 20\% = 0.24 \text{ A} \tag{3.5}$$

Розрахунок та обрання індуктивностей здійснюється за допомогою формули 3.6 [27].

$$L_1 = L_2 = L = \frac{V_{in(min)}}{\Delta I_L \cdot f_{SW}} \cdot D_{max}, \quad (3.6)$$

де: f_{SW} - робоча частота перетворювання.

Розрахунок індуктивностей наведено в формулі 3.7.

$$L_1 = L_2 = L = \frac{5}{0.24 \cdot 300 \cdot 10^3} \cdot 0.718 = 4{,}986 \cdot 10^{-5} = 49{,}86 \text{ мкГн} \quad (3.7)$$

Оскільки індуктивності розрахованої за формулою 3.7 у стандартних рядах значень не існує обирається найближчий можливий варіант. Отже нове значення індуктивності дорівнює:

$$L_1 = L_2 = L = 51 \text{ мкГн}$$

Розрахунок фактичних пульсацій струму через індуктивність здійснюється за формулою 3.8 [27].

$$\Delta I_L = \frac{V_{in(min)}}{L \cdot f_{SW}} \cdot D_{max}, \quad (3.8)$$

Розрахунок фактичних пульсацій струму через індуктивність наведено в формулі 3.9.

$$\Delta I_L = \frac{5}{51 \cdot 10^{-6} \cdot 300 \cdot 10^3} \cdot 0.718 = 0.234 \text{ А} \quad (3.9)$$

Пульсації струму через індуктивність у процентному відношенні розраховуються за формулою 3.10 [27].

$$Ripple = \frac{\Delta I_L}{I_{out}} \cdot \frac{V_{in(min)}}{V_{out}} \cdot 100 \quad (3.10)$$

Розрахунок пульсації струму через індуктивність у процентному відношенні наведено у формулі 3.11.

$$Ripple = \frac{0.234}{0.5} \cdot \frac{5}{12} \cdot 100 = 19{,}5\% \quad (3.11)$$

Розрахунок пікового струму через індуктивність 1 здійснюється за формулою 3.12 [27].

$$I_{L1\ peak} = I_{out} \frac{V_{out} + V_{Diode}}{V_{in(min)}} \cdot \left(1 + \frac{Ripple}{2}\right) \quad (3.12)$$

Розрахунок для пікового струму через індуктивність 1 наведено у формулі 3.13.

$$I_{L1\ peak} = 0.5 \frac{12 + 0.74}{5} \cdot \left(1 + \frac{19.5}{2}\right) = 13.695 \text{ A} \quad (3.13)$$

Розрахунок пікового струму через індуктивність ІППН 2 здійснюється за формулою 3.14 [27].

$$I_{L2\ peak} = I_{out} \cdot \left(1 + \frac{20}{2}\right) \quad (3.14)$$

Розрахунок для пікового струму через індуктивність 2 наведено у формулі 3.15.

$$I_{L2\ peak} = 0.5 \cdot \left(1 + \frac{20}{2}\right) = 5.375\ \text{A} \tag{3.15}$$

3.3 Розрахунок та вибір силового ключа (MOSFET)

Розрахунок пікового струпу, що протікає через MOSFET здійснюється за формулою 3.16 [27].

$$I_{Q1\ peak} = I_{L1\ peak} + I_{L2\ peak} \tag{3.16}$$

Розрахунок пікового струпу, що протікає через MOSFET наведено в формулі 3.17.

$$I_{Q1\ peak} = 14.014 + 5.5 = 19.07\ \text{A} \tag{3.17}$$

Розрахунок середньоквадратичного струму (RMS current) через MOSFET у SEPIC-перетворювачі потрібен для оцінки втрат на провідність (conduction losses) та виконується за формулою 3.18 [27].

$$I_{Q1\ rms} = \sqrt{D_{max}\left[\left(\frac{1}{1 - D_{max}} \cdot I_{out}\right)^2 + \frac{1}{3} \cdot V_{in(min)}^2 \cdot \frac{1}{L^2} \cdot \frac{D_{max}^2}{f_{SW}^2}\right]} \tag{3.18}$$

Розрахунок середньоквадратичного струму через MOSFET наведено в формулі 3.19.

$$I_{Q1\,rms} = \sqrt{0.718\left[\left(\frac{1}{1-0.718}\cdot 0.5\right)^2 + \frac{1}{3}\cdot 5^2 \cdot \frac{1}{(51\cdot 10^{-6})^2}\cdot\frac{0.718^2}{(300\cdot 10^3)^2}\right]} = \\ = 1.507\ \text{A} \qquad (3.19)$$

Напруга пробою ключа повинна бути більшою за максимально можливу напругу, що може з'явитися на стоку по відношенню до витоку. Розрахунок напруги пробою MOSFET виконується за формулою 3.20 [27].

$$V_{BDSS} > V_{in(max)} + V_{out} + V_{Diode} \qquad (3.20)$$

Розрахунок напруги пробою ключа наведено в формулі 3.21 [27].

$$V_{BDSS} > 30 + 12 + 0.74, \qquad (3.21)$$
$$V_{BDSS} > 42.74\ \text{В}$$

Розрахунок втрат потужності на провідність у MOSFET здійснюється за формулою 3.22 [27].

$$P_{cond} = I_{Q1\,rms}^2 \cdot r_{DS(ON)} \cdot D_{max}, \qquad (3.22)$$

де: $r_{DS(ON)}$ - опір між стоком і витоком відкритого MOSFET-а.

Допускається, що опір між стоком і витоком відкритого MOSFET-а складає $r_{DS(ON)} = 10 \cdot 10^{-3}$ Ом. Отже, враховуючи задане припущення втрати потужності на провідність у ключа наведено у формулі 3.23 [27].

$$P_{cond} = 1.507 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 0.718 = 1.082 \cdot 10^{-2} = 10.82\ \text{мВт} \qquad (3.23)$$

Розрахунок втрати потужності на перемикання у MOSFET здійснюється за формулою 3.24 [27].

$$P_{SW} = \frac{1}{2} \cdot \left(V_{out} + V_{Diode} + V_{in(max)}\right) \cdot I_{Q1\,peak} \cdot \left(t_{rise} + t_{fall}\right) \cdot f_{SW} \qquad (3.24)$$

де: t_{rise} – час зростання фронту сигналу;

t_{fall} – час падіння фронту сигналу.

Допускається, що часи фронтів сигналу рівні: $t_{rise} = t_{fall} = 10$ нс. Отже, враховуючи часи фронтів сигналу у 10 нс виконується розрахунок втрати потужності на перемикання у ключі, який наведено у формулі 3.25.

$$P_{SW} = \frac{1}{2} \cdot (12 + 0.74 + 30) \cdot 19.07 \cdot$$
$$\cdot (10 \cdot 10^{-9} + 10 \cdot 10^{-9}) \cdot 300 \cdot 10^{3} = \ 2.445 \text{ Вт} \qquad (3.25)$$

Розрахунок загальних втрат потужності у MOSFET, враховуючи втрати на провідність і на перемикання здійснюється за формулою 3.26 [27].

$$P_{Q1} = P_{cond} + P_{SW} = 1.082 \cdot 10^{-2} \ + 2.445 = 2.456 \text{ Вт} \qquad (3.26)$$

3.4 Розрахунок та вибір діоду

Розрахунок пікового струму через діод здійснюється за допомогою формули 3.27 [27].

$$I_{D\,peak} = I_{Q1\,peak} = I_{L1\,peak} + I_{L2\,peak} \qquad (3.27)$$

З формули 3.27 визначаємо, що піковий струм через діод рівний піковому струму через ключ та становить $I_{D\,peak} = 19.07$ А.

Розрахунок максимальної зворотної напруги, яку діод повинен витримувати у зворотному напрямку без пробою здійснюється за допомогою формули 3.28 [27].

$$V_{D\,rev} = V_{in(max)} + V_{out} \tag{3.28}$$

Розрахована напруга пробою діода наведена в формулі 3.29.

$$V_{D\,rev} = 30 + 12 = 42\ \text{В} \tag{3.29}$$

Розрахунок середнього струму через діод здійснюється за допомогою формули 3.30 [27]. У SEPIC-перетворювачі середній струм через діод майже дорівнює вихідному струму, оскільки діод проводить струм, коли MOSFET вимкнений, і цей струм йде на навантаження.

$$I_D = \frac{I_{out}}{1 - D_{min}} = \frac{0.5}{1 - 0.298} = 0.712\ \text{А} \tag{3.30}$$

3.5 Розрахунок та вибір сполучного конденсатору

Для перетворювача типу SEPIC важливо правильно вибрати конденсатор зв’язку (coupling capacitor), який з’єднує індуктивності L1 і L2. Цей конденсатор пропускає змінний струм, тому потрібно знати його RMS струм — щоб вибрати конденсатор із відповідним номіналом по струму і мінімальними втратами.

Розрахунок середньоквадратичного струму через сполучний конденсатор здійснюється за формулою 3.31 [27].

$$I_{C\,cp\,rms} = I_{out} \cdot \sqrt{\frac{V_{out} + V_{Diode}}{V_{in(min)}}} \tag{3.31}$$

В формулі 3.32 наведено розрахунок середньоквадратичного струму через сполучний конденсатора.

$$I_{C\ cp\ rms} = 0.5 \cdot \sqrt{\frac{12 + 0.74}{5}} = 0.798\ \text{A} \tag{3.32}$$

Розрахунок мінімальної ємності сполучного конденсатора, яка забезпечить не більше ніж 5% пульсацій струму здійснюється за допомогою формули 3.33 [27].

$$C_{C\ cp} \geq \frac{I_{out} \cdot D_{max}}{0.05 \cdot V_{in(min)} \cdot f_{SW}} \tag{3.33}$$

Мінімальна розрахункова ємність сполучного конденсатору наведена в формулі 3.34.

$$C_{C\ cp} \geq \frac{0.5 \cdot 0.718}{0.05 \cdot 5 \cdot 300 \cdot 10^3} = 4.787 \cdot 10^{-6} = 4.787\ \text{мкФ} \tag{3.34}$$

Оскільки конденсатора з ємністю розрахованою за формулою 3.34 у стандартних рядах значень не існує обирається можливий варіант. Отже нове значення ємність сполучного конденсатору має дорівнювати $C_{C\ cp} = 10$ мкФ.

У перетворювачі типу SEPIC для уникнення резонансних коливань між сполучним конденсатором і індуктивностями використовують демпфувальний ланцюг (зазвичай R-C фільтр), підключений паралельно до сполучного конденсатора. Ємність демпфувального конденсатора має бути в 5 разів більше ємності сполучного конденсатору. Отже ємність демпфувального конденсатора має дорівнювати $C_{damping} = 50$ мкФ, роте конденсатор такої ємності матиме велику ціну, тому обирається 5 конденсаторів $C_{damping} = 10$ мкФ встановлених паралельно.

Розрахунок оптимального демпфуючого резистора здійснюється за формулою 3.35 [27].

$$R_{damping} = \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{C_{C\ cp}}} = \sqrt{\frac{51 \cdot 10^{-6} + 51 \cdot 10^{-6}}{5.1 \cdot 10^{-6}}} = 4.472\ \text{Ом} \qquad (3.35)$$

Оскільки резистора з опором розрахованим за формулою 3.35 у стандартних рядах значень не існує обирається найближчий можливий варіант. Отже нове значення опору демпфуючого резистора має дорівнювати $R_{damping} = 4.7$ Ом.

3.6 Розрахунок та вибір вихідного конденсатору

У перетворювачі типу SEPIC вихідний конденсатор (output capacitor) має ключову роль: він згладжує пульсації струму та напруги на виході. Одним із головних параметрів для його вибору є RMS струм, який він повинен витримувати.

Розрахунок середньоквадратичного струму через вихідний конденсатор здійснюється за формулою 3.36 [27].

$$I_{C\ out\ rms} = I_{out} \cdot \sqrt{\frac{V_{out} + V_{Diode}}{V_{in(min)}}} \qquad (3.36)$$

Розрахунковий середньоквадратичний струм через вихідний конденсатор наведено в формулі 3.37.

$$I_{C\ out\ rms} = 0.5 \cdot \sqrt{\frac{12 + 0.74}{5}} = 0.798\ \text{A} \qquad (3.37)$$

Розрахунок мінімальної ємності вихідного конденсатору, яка забезпечить не більше ніж 2% пульсацій струму здійснюється за допомогою формули 3.38 [27].

$$C_{C\ out} \geq \frac{I_{out} \cdot D_{max}}{0.02 \cdot V_{out} \cdot f_{SW}} \tag{3.38}$$

Мінімальна розрахункова ємність вихідного конденсатору наведена в формулі 3.39.

$$C_{C\ out} \geq \frac{0.5 \cdot 0.718}{0.02 \cdot 12 \cdot 300 \cdot 10^3} = 4.986 \text{ мкФ} \tag{3.39}$$

Оскільки конденсатора з ємністю розрахованою за формулою 3.39 у стандартних рядах значень не існує обирається найближчий можливий варіант. Отже нове значення ємність вихідного конденсатору має дорівнювати $C_{C\ out} = 5.1$ мкФ.

Паралельно вихідному електролітичному конденсатору розміщується неполярний керамічний конденсатор який буде використовується для придушення високочастотних завад, створених процесами комутації при роботі джерела живлення.

3.7 Розрахунок та вибір вхідного конденсатору

Вибір вхідного конденсатора (Cin) для перетворювачів типу SEPIC є критично важливим, оскільки він повинен витримувати високі імпульсні струми, часті пульсації та забезпечувати стабільну роботу джерела живлення.

Розрахунок середньоквадратичного струму через вхідний конденсатор здійснюється за формулою 3.40 [27].

$$I_{C\ in\ rms} = \frac{\Delta I_L}{\sqrt{12}} \tag{3.40}$$

Розрахунковий середньоквадратичний струм через вхідний конденсатор наведено в формулі 3.41.

$$I_{C\ in\ rms} = \frac{0.234}{\sqrt{12}} = 0.067\ \text{A} \tag{3.41}$$

Приймаємо, що максимальний струм на вхідному конденсаторі буде рівний 20 А. Тоді пропонується у якості вхідного конденсатору використовувати групу конденсаторів з полярних та не полярних конденсаторів розташованих паралельно, при чому сумарна ємність не полярних складатиме 10 мкФ, а ємність полярних має бути в 10 разів більше та складатиме 100 мкФ.

3.8 Налаштування ШІМ контролера для бажаної вихідної напруги

Вихідну напругу можна запрограмувати за допомогою дільника напруги між виходом і виведенням зворотного зв'язку (FB) Резистори обираються так, щоб напруга на виведенні зворотного зв'язку була 1.26В. RF_1 і RF_2 можна вибрати, скориставшись рівнянням 3.42 [28].

$$V_{out} = 1.26 \cdot \left(1 + \frac{RF_1}{RF_2}\right), \tag{3.42}$$

де: RF_1 – опір першого резистора дільника напруги;

RF_2 – опір другого резистора дільника напруги.

Необхідно перетворити рівняння 3.42 для визначення значень резисторів RF_1 і RF_2. Новий вигляд рівняння 3.42 наведено в формулі 3.43.

$$1 + \frac{RF_1}{RF_2} = \frac{V_{out}}{1.26}$$

$$\frac{RF_1}{RF_2} = \frac{V_{out}}{1.26} - 1 \quad (3.43)$$

З формули 3.43 можливо розрахувати відношення резисторів дільника напруги. В формулі 3.44 наведено розрахунок цього відношення.

$$\frac{RF_1}{RF_2} = \frac{12}{1.26} - 1 = 8{,}52 \quad (3.44)$$

Отже, виходячи з відношення резисторів дільника напруги можливо обрати опір резисторів проте, слід зазначити, що резистор RF_1 має бути менше резистора RF_2. Пропонується використовувати резистори таких номіналів: $RF_1 = 10$ кОм та $RF_2 = 85{,}2$ кОм, які були рекомендовані виробником мікросхеми [28].

Резистор RF_2 було розбито на 2 резистори, які підключені послідовно $R10 = 82$ кОм та $R11 = 3.16$ кО з причини того, що резистору в 85,2 кОм не існує у стандартному ряді.

3.9 Налаштування ШІМ контролера для бажаного вихідного струму

Максимальна кількість струму, яка може бути подана на виході, може контролюватися резистором чутливості, R_{SEN}. Обмеження струму настає, коли напруга, яка виникає на резисторі чутливості, дорівнює пороговій напрузі чутливості струму, V_{SENSE}. Опір резистора обирається за рекомендаціями розробника мікросхеми. $R_{SEN} = 25$ мОм [28].

Також пропонується використання фільтра для I_{SEN} у LM3488, як рекомендує розробник. Основна мета фільтру, приглушення високочастотних шумів. Ємність конденсатора фільтра обирається на рівні $C_{FSEN} = 1$ нФ, а резистор фільтра $R_{FSEN} = 100$ Ом [28].

3.10 Налаштування ШІМ контролера для встановлення порогу захисту по мінімальній вхідній напрузі

Резистор R_{FA} підключений до входу Fault/Shutdown (FA/SD) мікросхеми LM3488 використовується для встановлення порогу захисту по мінімальній вхідній напрузі, або Undervoltage Lockout (UVLO). Цей захист відключає перетворювач, якщо напруга на вході занадто низька для стабільної роботи. Опір даного резистора обирається залежно від частоти за наданими технічними характеристиками від виробника. Для частоти у 300 кГц опір резистору становить $R_{FA} = 51$ кОм [28].

3.11 Розрахунок елементів компенсації зворотного зв'язку

Схема компенсації петлі зворотного зв’язку — компенсуюча мережа. Ця мережа визначає стабільність та динамічну поведінку перетворювача SEPIC, а саме наскільки швидко та стабільно він реагує на зміни навантаження або вхідної напруги. Загальна мета компенсації — сформувати частотну характеристику відкритої петлі, яка: має фазовий запас ≥ 45° (для стабільності) та має частотний запас (gain crossover frequency) достатній для швидкої реакції (але не надто високий, щоб уникнути шуму та нестабільності).

Розрахунок полюса LC-фільтра здійснюється за формулою 3.45.

$$f_{LC} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C_{out}}} \tag{3.45}$$

Розрахунок полюса LC-фільтра виконано в формулі 3.46.

$$f_{LC} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot \sqrt{51 \cdot 10^{-6} \cdot 5.1 \cdot 10^{-6}}} = 9.8 \text{ кГц} \tag{3.46}$$

Необхідно обрати частоту переходу через одиничне підсилення (gain crossover) рекомендована частота визначається за формулою 3.47.

$$f_{crossover} = \frac{f_{SW}}{10} = \frac{300000}{10} = 30000 \text{ Гц} = 30 \text{ кГц} \quad (3.47)$$

Необхідно обрати нуль компенсації $f_z = 10$ кГц, щоб компенсувати f_{LC}. Також необхідно обрати полюс компенсації $f_{p2} = 400$ кГц, він має бути вище частоти переходу, щоб прибрати ВЧ-шум. Додатково обирається резистор $R_{comp} = 2.2$ кОм з рекомендації виробника ШІМ контролеру [28].

Розрахунок ємності C_{comp} здійснюється в формулі 3.48 [28].

$$C_{comp} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{comp} \cdot f_z} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 2200 \cdot 10000} = 7.2 \text{ нФ } = 6.8 \text{ нФ} \quad (3.48)$$

Розрахунок ємності C_{comp2} здійснюється в формулі 3.49 [28].

$$C_{comp2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{comp} \cdot f_{p2}} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 2200 \cdot 400000} = 180 \text{ пФ } = 150 \text{ пФ} \quad (3.49)$$

3.12 Вибір інших елементів перетворювача

Виробник ШІМ контролера рекомендує встановлювати резистор R_{bp} і конденсатор C_{bp} на вході V_{in} мікросхеми LM3488 (біля контакту VCC/Bypass), що утворять RC-фільтр. Він не бере участі у формуванні напруги живлення SEPIC напряму, але впливає на стабільність, шумозахищеність і надійність роботи внутрішньої логіки мікросхеми. Отже обрано такі значення для RC-фільтру на вході: $R_{bp} = 20$ Ом; $C_{bp} = 100$ нФ.

Резистор R6 захищає транзистор VT1 від самовимкнення та ненавмисного включення, резистор R4 необхідний для обмеження струму включення транзистора VT1.

Для захисту від електромагнітних перешкод перехід затвор-витік VT1 шунтується резистором R4 опором 10 Ом, а щоб гарантувати повне закриття MOSFET при вимкненому драйвері обирається резистор R6 опором 47 кОм.

3.13 Моделювання перетворювача SEPIC

Пакет Simulink є доповненням до програмного середовища MATLAB. Під час моделювання в Simulink застосовується принцип візуального програмування, при якому користувач формує модель пристрою на екрані, використовуючи стандартні бібліотеки блоків, та виконує необхідні розрахунки.

Оскільки в середовищі MicroCap 12 відсутня модель контролера LM3488, що використовується в схемі перетворювача, було прийнято рішення виконати моделювання у MATLAB Simulink, де є можливість реалізувати керування за допомогою PID-регулятора та створити функціональний аналог LM3488.

На рисунку 3.1 наведено стенд для моделювання перетворювачу типу SEPIC.

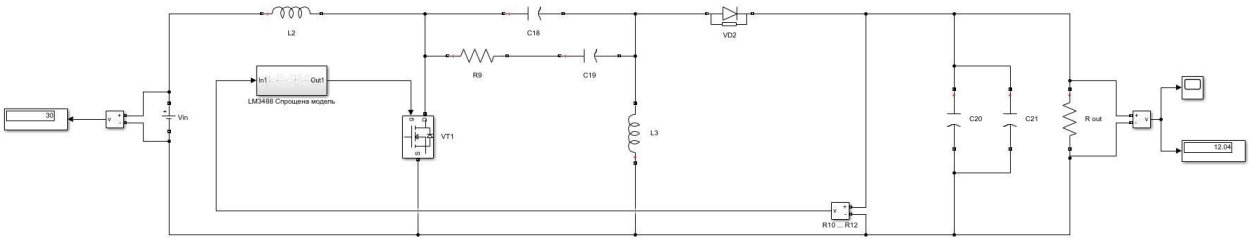


Рисунок 3.1 – Стенд для моделювання перетворювачу типу SEPIC.

Назва компонентів у моделі перетворювача відповідає їх назві у переліку елементів.

Модель перетворювача містить в собі:

- індуктивності (L2, L3) — забезпечують накопичення енергії у магнітному полі;
- конденсатор зв'язку (C18) — передає енергію між індуктивностями, вирівнюючи струм;
- ключовий елемент (MOSFET) — комутує ланцюг з частотою, заданою генератором ШІМ;
- діод Шотткі (VD2) — забезпечує односторонню провідність під час фаз перемикання;
- вихідний фільтр (конденсатори C24 і C25) — згладжує пульсації та забезпечує стабільну напругу;
- спрощена модель LM 3488 (контролер (PID) та резистори R10…R12) — регулює коефіцієнт заповнення сигналу PWM на основі зворотного зв’язку по вихідній напрузі;
- демпфувальний ланцюг (резистор R9 та конденсатори C19…C23) — використовується для уникнення резонансних коливань між сполучним конденсатором і індуктивностями;
- навантаження (резистор Rout) — симулює навантаження від підключеного озонатору.

Вхідна напруга моделі SEPIC змінюється в межах від 5 до 30 В, а вихід стабілізується на рівні 12 В при струмі навантаження 0,5 А. Частота перемикання задається в діапазоні 300 кГц. Для MOSFET і діода застосовуються параметри, наближені до реальних: IRL2505PBF та STPS20M100SG відповідно. Зворотний зв’язок реалізовано за допомогою PID-регулятора з обмеженням сигналу керування в межах [0, 1].

Результати моделювання, які показують коректність розрахунків перетворювача типу SEPIC, представлені на рисунках 3.2 та 3.3.

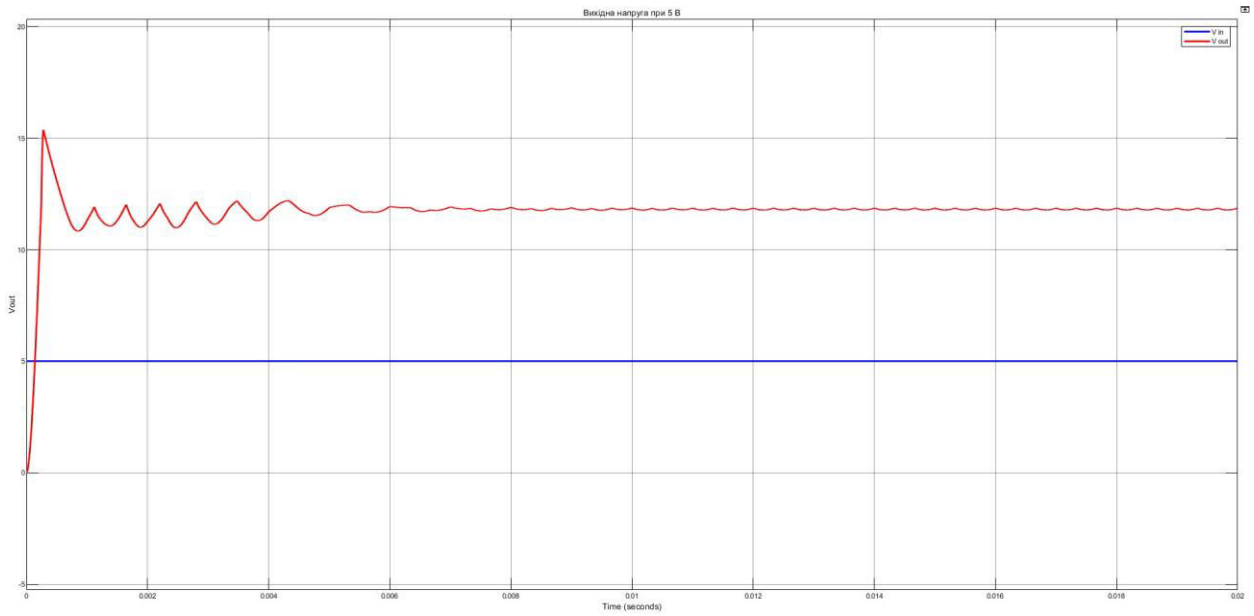


Рисунок 3.2 – Вихідна напруга перетворювачу при 5 В вхідної напруги.

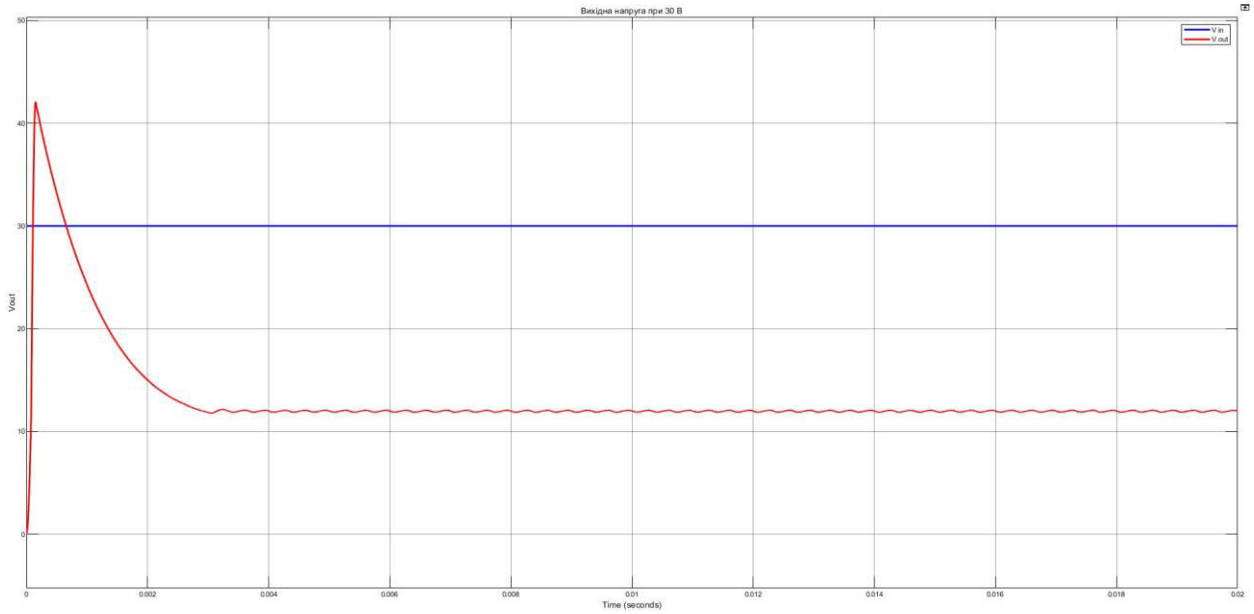


Рисунок 3.3 – Вихідна напруга перетворювачу при 30 В вхідної напруги.

4. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ І ОРГАНІЗАЦІЯ БЕЗПЕКИ

Друковані плати (ДП), або Printed Circuit Board (PCB) — це основа будь-якого електронного пристрою, що забезпечує механічне кріплення та електричне з'єднання між електронними компонентами.

4.1 Технологія виготовлення друкованих плат

4.1.1 Типи та види друкованих плат

Друковані плати класифікуються за різними ознаками, такими як кількість шарів, тип основи, гнучкість тощо.

За кількістю шарів плати подіють на 3 групи:

- одношарові (Single-layer PCB): мають один шар провідникових доріжок з одного боку плати;

На рисунку 4.1 наведено вигляд одношарової плати.

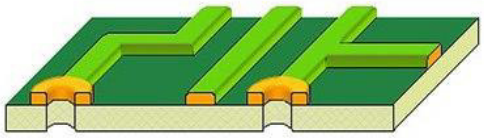


Рисунок 4.1 – Одношарова плата [29].

- двошарові (Double-layer PCB): провідні доріжки розміщені з обох боків плати. Можливе використання переходів (via) для з'єднання шарів;

На рисунку 4.2 наведено вигляд двошарової плати.



Рисунок 4.2 – Двошарова плата [29].

- багатошарові (Multilayer PCB): містять 3 і більше шарів провідників, розділених ізоляційними шарами. Використовуються у складних пристроях: комп’ютерах, смартфонах, медичному обладнанні.

На рисунку 4.3 наведено вигляд багатошарової плати.

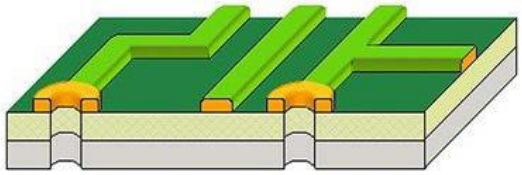


Рисунок 4.3 – Багатошарова плата [29].

За типом монтажу плати поділюють на 2 групи:

- плати з отворами: компоненти мають виводи, що вставляються в отвори й паяються з іншого боку. Надійніші в механічному плані;

На рисунку 4.4 наведено приклад плати з отворами.

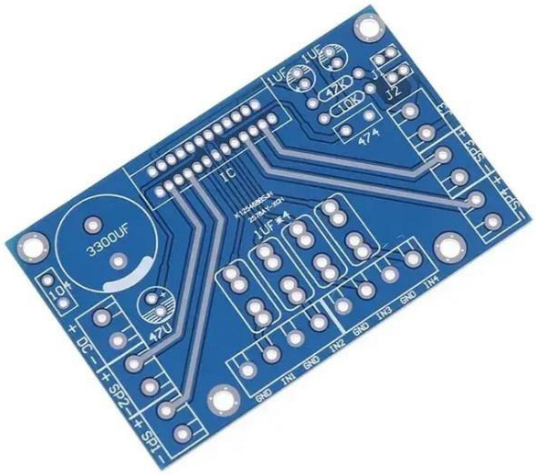


Рисунок 4.4 – Плата з отворами [30].

- плати поверхневого монтажу: компоненти монтуються прямо на поверхню плати. Підходять для високо щільного монтажу та автоматизованого виробництва.

На рисунку 4.5 наведено приклад плати поверхневого монтажу.

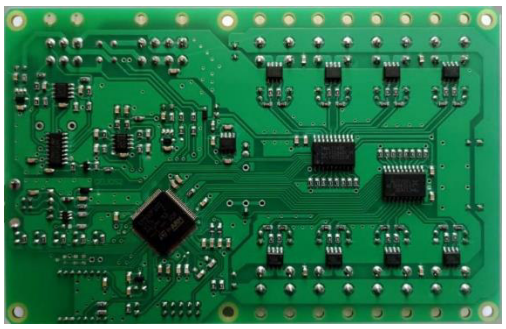


Рисунок 4.5 – Плата поверхневого монтажу.

За матеріалом основи плати поділяють на 4 групи:

- FR4 (Склотекстоліт): найпоширеніший матеріал для створення плат який є ізоляційним та термостійким;
- CEM-1 та CEM-3: плати створені на основі бавовно-епоксидно-метиловому ефірі (CEM) та є бюджетним варіантом для побутових пристроїв [31];
- поліімід: використовується для виготовлення гнучких плат:
- кераміка: використовується для високотемпературних або високочастотних застосувань.

4.1.2 Основні методи виготовлення друкованих плат

Існує шість основних методів виробництва друкованих плат. Усі методи можливо розділити на дві групи: методи одиничного виробництва та методи масового і серійного виробництва.

Методи одиничного та дрібносерійного виробництва:

- хімічне травлення (Etching) – найпоширеніший метод, за якого фольгований текстоліт покривається захисним шаром (фоторезистом), експонується через фотошаблон і травиться хімічним розчином, наприклад хлорним залізом ($FeCl_3$) [32].

Переваги: висока точність при виготовленні тонких провідників; доступність для прототипування; підходить для багатошарових плат.

Недоліки: хімічна небезпека і потреба в утилізації реагентів; відносно повільний процес для масового виробництва.

На рисунку 4.6 наведено етапи методу хімічного травлення.



Рисунок 4.6 – Етапи методу хімічного травлення [32].

- механічне фрезерування (CNC milling) – використовується числове програмне керування (ЧПК) для видалення мідного шару, формуючи доріжки без застосування хімії [33].

Переваги: безпечність (не потребує хімікатів); швидке виготовлення прототипів; автоматизація процесу.

Недоліки: низька точність у порівнянні з фотолітографією; обмеження на мінімальну ширину доріжок; зношування інструменту.

На рисунку 4.7 наведено зображення установки для механічного фрезерування плати.

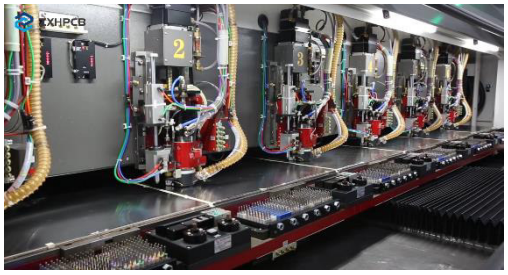


Рисунок 4.7 – Установка для механічного фрезерування плати [33].

- 3D-друк провідниками (Inkjet / Aerosol Jet Printing) – нанесення провідного чорнила (наприклад, срібного) на поверхню субстрату [34].

Переваги: швидке прототипування; безконтактний процес; мінімальна кількість відходів.

Недоліки: висока вартість чорнил; менша провідність ніж у міді; обмежений термін служби.

На рисунку 4.8 наведено зображення установки для 3D-друку провідниками.

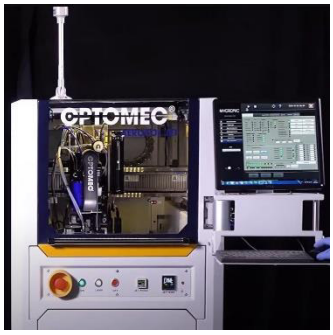


Рисунок 4.8 – Установка для 3D-друку провідниками [34].

Методи масового та серійного виробництва:

- метод шовкотрафаретного друку (Screen Printing) – переважно використовується для нанесення паяльної маски або пасти, але може застосовуватись і для формування провідників у простих платах [35].

Переваги: дешева технологія при великих тиражах; швидкість друку.

Недоліки: низька точність; обмежена складність схем.

На рисунку 4.9 наведено зображення установки для шовкотрафаретного друку плат.



Рисунок 4.9 – Установка для шовкотрафаретного друку плат [35].

- лазерне травлення або пряме лазерне експонування (Laser Direct Imaging) – високоточне нанесення зображення провідників на плату за допомогою лазера без фотошаблону.

Переваги: висока роздільна здатність; відсутність фотошаблонів; добра сумісність із масовим виробництвом.

Недоліки: висока вартість обладнання; складність обслуговування.

На рисунку 4.10 наведено зображення установки для лазерного травлення плат.

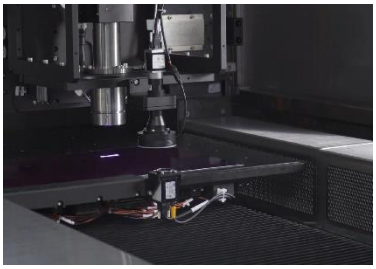


Рисунок 4.10 – Установка для лазерного травлення плат [36].

- гальванічне осадження (Electroplating) – метод нарощування мідного шару в отворах або на поверхні плати для створення міжшарових з’єднань [37].

Переваги: необхідний для багатошарових плат; забезпечує надійний електричний контакт.

Недоліки: складність обладнання; не підходить для одиничного виробництва.

На рисунку 4.11 наведено зображення установки для гальванічне осадження плат.



Рисунок 4.11 – Установка для гальванічного осадження плат [37].

4.1.3 Програми для трасування друкованих плат

Трасування плат — це ключовий етап у розробці електроніки, коли компоненти розміщуються на платі, а електричні з'єднання оптимально прокладаються між ними. Для цього використовуються спеціалізовані програми для проектування PCB. Їх можна умовно поділити на безкоштовні та платні.

Безкоштовні програми трасування плат:

- KiCad – відкрите програмне забезпечення з повним набором функцій для розробки двошарових та багатошарових плат [38].

На рисунку 4.12 наведено зображення інтерфейсу програми KiCad.

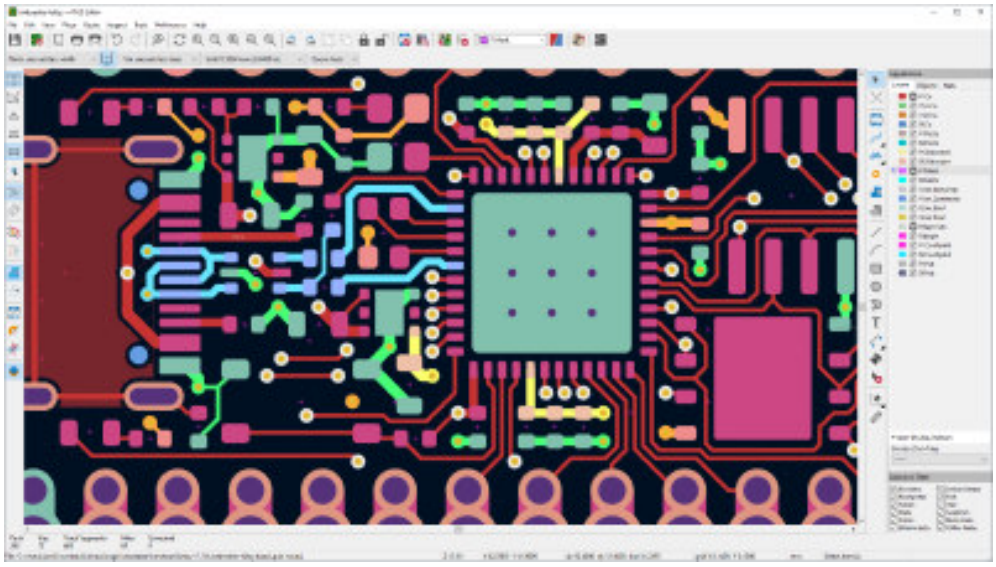


Рисунок 4.12 – Інтерфейс програми KiCad [38].

Переваги: відкрите програмне забезпечення (ПЗ) з активною спільнотою; підтримка багатошарових плат, 3D-перегляду; гнучка система правил проектування.

Недоліки: менш інтуїтивний інтерфейс для новачків; обмежені бібліотеки компонентів (проте, є можливість імпорту).

- EasyEDA – онлайн-сервіс для створення схем і плат, інтегрований з сервісами виробництва.

На рисунку 4.13 наведено зображення інтерфейсу програми EasyEDA.

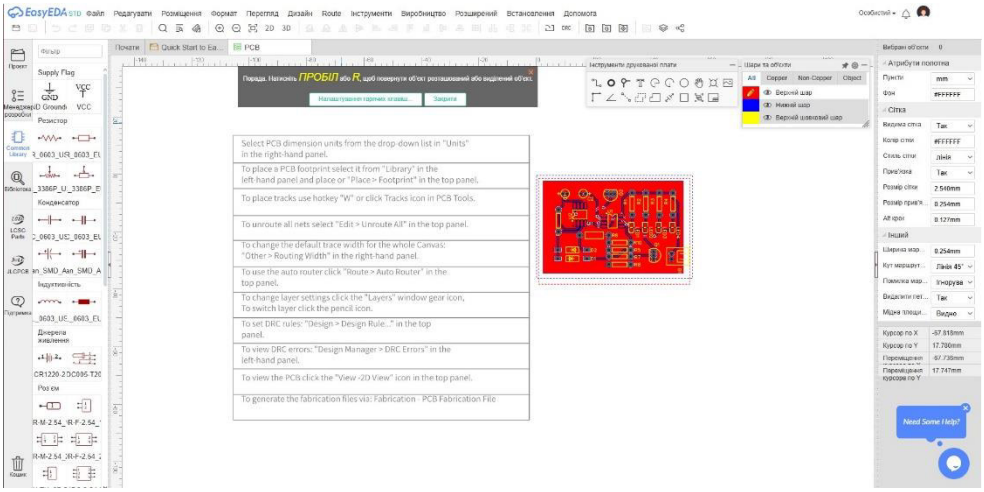


Рисунок 4.13 – Інтерфейс програми EasyEDA [39].

Переваги: простий у використанні, не потребує встановлення; вбудована база компонентів та підтримка бібліотек LCSC; автоматичне генерування Gerber-файлів для виробництва.

Недоліки: потребує інтернет-з’єднання; менше гнучкості у складних проектах порівняно з професійними інструментами.

- Fritzing – програма, орієнтована на аматорів і новачків.

На рисунку 4.14 наведено зображення інтерфейсу програми Fritzing.

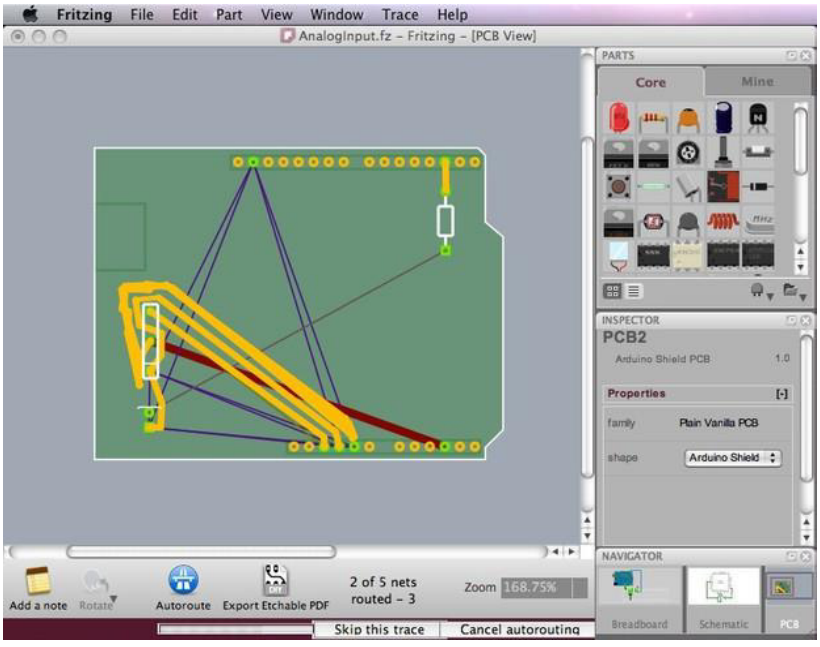


Рисунок 4.14 – Інтерфейс програми Fritzing [40].

Переваги: інтуїтивно зрозумілий інтерфейс; можливість створення макетів.

Недоліки: не підходить для складних або багатошарових плат; повільне оновлення та обмежена підтримка.

Платні програми трасування плат:

- Altium Designer – Один із найпотужніших та найпопулярніших комерційних CAD-інструментів для проектування друкованих плат.

На рисунку 4.15 наведено зображення інтерфейсу програми Altium Designer.

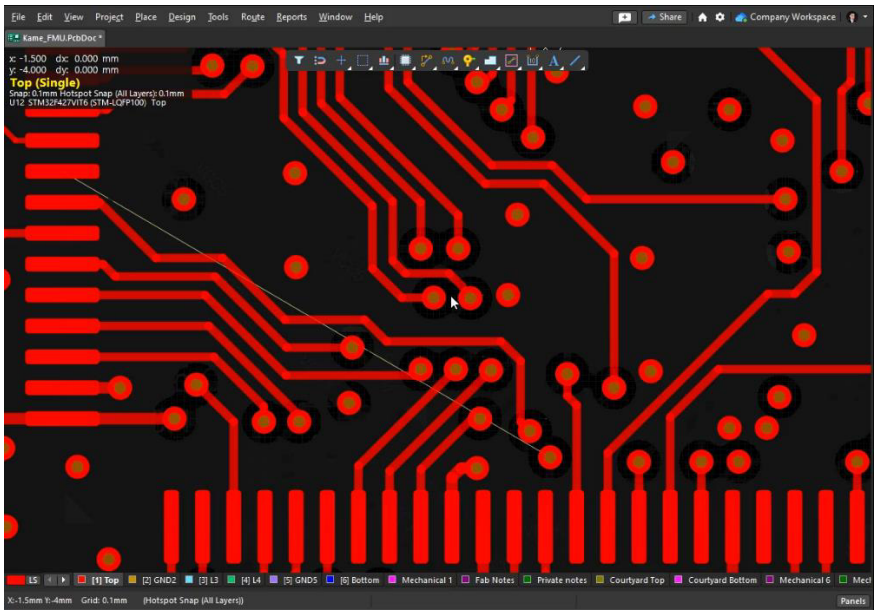


Рисунок 4.15 – Інтерфейс програми Altium Designer [41].

Переваги: інтегрована середовище для схеми, PCB, симуляцій; потужні інструменти трасування та перевірки; велика база бібліотек та підтримка співпраці в команді.

Недоліки: висока вартість ліцензії; вимогливий до ресурсів комп’ютера.

- Autodesk Eagle (нині інтегрований у Fusion 360) – Раніше окремий продукт, тепер частина екосистеми Autodesk [42].

На рисунку 4.16 наведено зображення інтерфейсу програми Autodesk Eagle.

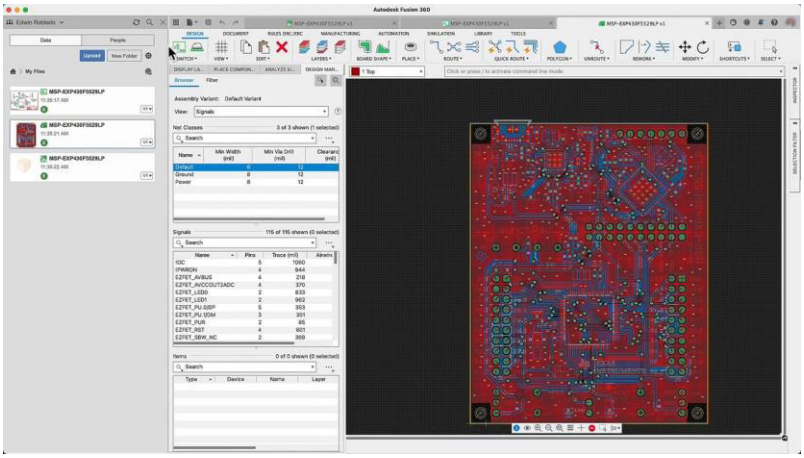


Рисунок 4.16 – Інтерфейс програми Autodesk Eagle [42].

Переваги: зручний інтерфейс та модульність; хмарне збереження, інтеграція з механічним CAD (Fusion 360).

Недоліки: платна підписка; обмеження за кількістю шарів та розміром плати в дешевших версіях.

- DipTrace – Інтуїтивно зрозумілий інструмент для трасування плат з багатим функціоналом.

На рисунку 4.17 наведено зображення інтерфейсу програми DipTrace.

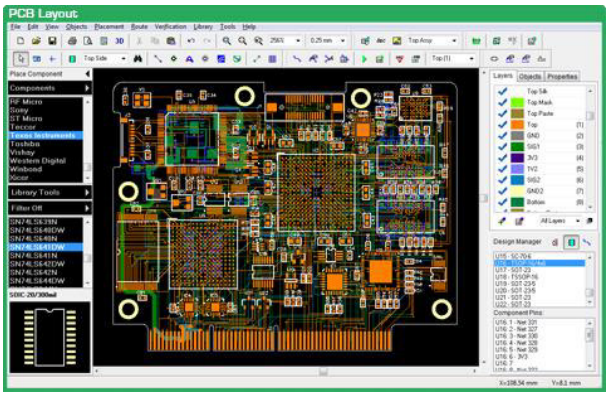


Рисунок 4.17 – Інтерфейс програми DipTrace [43].

Переваги: зручна робота зі схемами та PCB; підтримка імпорту/експорту з інших CAD-систем; порівняно нижча вартість, ніж у Altium.

Недоліки: обмежені можливості для командної роботи; менша спільнота користувачів.

4.2 Організація безпеки на підприємстві

Перелік основних нормативних документів які використовуються на підприємстві:

1. НПАОП 0.00-5.26-01 - Інструкція з охорони праці під час виконання електромонтажних робіт на висоті;

2. СНиП 3.05.06-85 – Електротехнічні пристрої;

3. НПАОП 40.1-1.01-97 - Правила безпечної експлуатації електроустановок;

4. ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007 - Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва;

5. НПАОП 45.31-1.10-83 - Правила техніки безпеки при виконанні електромонтажних робіт на об'єктах Міненерго СРСР ;

6. ДБН А.3.2-2-2009 - Охорона праці і промислова безпека в будівництві;

7. ДБН В.2.5-27-2006 - Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд;

8. ДБН А.3.1-5-2009 - Організація будівельного виробництва;

9. ПУЕ-2017 - Правила улаштування електроустановок;

10. Закон України "Про охорону праці" від 01.01.2004р. №229-1У.

Охорона праці і техніка безпеки при монтажі і експлуатації та експлуатації електрообладнання забезпечуються прийняттям проектних рішень і виконанням робіт у суворій відповідності з ПУЕ-2017, вимоги яких визначають умови безпеки праці та заходи щодо попередження травматизму, професійних захворювань, пожеж і вибухів.

При виконанні робіт необхідно забезпечити:

- правильну організацію робочого місця і прийомів праці;
- наявність керівництва й нагляду за персоналом;

- залучення кваліфікованого персоналу;
- застосування відповідного устаткування, пристосувань і інструментів;
- застосування безпечних прийомів в роботі і узгодженість у діях працюючих;
- дотримання інструкцій з техніки безпеки;
- наявність індивідуальних засобів захисту.

Монтажні роботи повинні проводитися в світлий час доби. Перед початком робіт з працівниками повинен бути проведений інструктаж на робочому місці з охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та промислової санітарії.

4.2.1 Електробезпека

Захист людей від ураження електричним струмом забезпечується:

- заземленням і занулення металевих частин електроустановки, які не знаходяться під напругою, але можуть опинитися під ним при пошкодженні ізоляції електричних провідників або електроприймачів;
- надійним і швидкодіючим автоматичним відключенням частин обладнання, які випадково опинилися під напругою;
- розміщенням устаткування, що забезпечує його вільне і безпечне обслуговування;
- застосуванням індивідуальних захисних засобів і справного інструменту, що пройшли випробування в установлені терміни.

4.2.2 Протипожежні заходи

Пожежна безпека об'єкта забезпечується:

- застосуванням автоматичних вимикачів з високою чутливістю і швидкодією;
- прокладкою живильної лінії з дотриманням вимог ПУЕ-2017;
- прокладкою проводів по негорючим підставам в самозагасаючих трубах, каналах або рукавах.

Несправності в електромережах та обладнанні, які можуть викликати іскріння, коротке замикання або перегрів повинні негайно ліквідовуватися. Пошкоджену електромережу необхідно відключити до приведення її в пожежобезпечний стан. Обслуговуючий персонал повинен пройти відповідний інструктаж і суворо дотримуватися вимог Інструкції щодо забезпечення пожежної безпеки.

4.2.3 Повітряні тривоги

Забезпечення безпеки під час повітряних тривог здійснюється шляхом:

- оперативного оповіщення населення про повітряну тривогу за допомогою сирен, радіо, телебачення та інших засобів масової інформації;
- чіткого виконання населенням інструкцій щодо переміщення в укриття та інші захищені місця;
- утримання укриттів у належному стані, забезпечення їх необхідними запасами води, продуктів харчування та медикаментів;
- регулярного проведення навчань та інструктажів для населення щодо дій під час повітряної тривоги;
- розміщення в доступних місцях схем евакуації та вказівників до найближчих укриттів;
- забезпечення належного зв'язку між службами цивільного захисту та іншими аварійними службами для координації дій під час повітряної тривоги.

4.3 Розрахунок пристрою заземлення

Заземлення є важливим елементом системи електробезпеки, призначеним для забезпечення захисту людей, електроустановок та електронного обладнання від небезпечної дії струмів замикання на землю. Правильний розрахунок і монтаж пристрою заземлення гарантує ефективне

відведення струму короткого замикання в ґрунт, знижуючи ризик ураження електричним струмом та пошкодження обладнання.

Розрахунок заземлюючого пристрою зводиться до розрахунку заземлювача, так як заземлюючі провідники в більшості випадків приймають за умовами механічної міцності і стійкості до корозії. Згідно з вимогами правил улаштування електроустановок (ПУЕ), допустиме значення опору заземлення становить 4 Ом. У якості вертикальних заземлювальних елементів використовуються сталеві електроди діаметром 16 мм та довжиною 3 метри, які заглиблюються в ґрунт. Їх верхні кінці розташовуються на глибині 0,5 м від рівня землі. До вертикальних електродів шляхом зварювання приєднуються горизонтальні заземлювачі, виготовлені з того ж матеріалу.

Вихідні дані для розрахунку заземлення наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – вихідні дані для розрахунку заземлення

Позначення	Найменування	Од. вим.	Значення
R_i	Нормований опір розтікання струму в землю	Ом	4
ρ	Питомий опір ґрунту	Ом · м	100
d	Діаметр стержня	м	0,016
$L_{\text{в}}$	Довжина вертикального заземлювача	м	3
A	Відстань між електродами	м	3
t	Відстань від поверхні землі до середини заземлювача	м	2
$t_{\text{г}}$	Глибина закладення горизонтального заземлювача	м	0,5
$k_{\text{в}}$	Кліматичний коефіцієнт для вертикальних електродів	-	1,8
$k_{\text{г}}$	Кліматичний коефіцієнт для горизонтальних електродів	-	5,65
$b_{\text{г}}$	Ширина сталевої полоси	м	0,02

Вид ґрунту - ліс; кліматична зона - 1; розташування вертикальних заземлюючих електродів - в ряд.

Розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикального електрода визначається за формулою 4.1.

$$\rho_p^{\text{в}} = \rho \cdot k_{\text{в}} = 100 \cdot 1{,}8 = 180 \ \frac{\text{Ом}}{\text{м}}. \tag{4.1}$$

Розрахунковий питомий опор ґрунту для горизонтального електрода визначається за формулою 4.2.

$$\rho_p^{\text{г}} = \rho \cdot k_{\text{г}} = 100 \cdot 5{,}65 = 565 \ \frac{\text{Ом}}{\text{м}}. \tag{4.2}$$

Опір одного вертикального електрода розраховується за допомогою формули 4.3 [44].

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho_p^{\text{в}} \cdot \left(ln \frac{2 \cdot L_{\text{в}}}{d} + \frac{1}{2} \cdot ln \frac{(4 \cdot t + 1)}{(4 \cdot t - 1)} \right)}{2\pi L_{\text{в}}}, \tag{4.3}$$

де: $L_{\text{в}}$ - довжина вертикального заземлювача;

t - відстань від поверхні землі до середини заземлювача;

d - діаметр стержня.

Розрахунок опору одного вертикального електрода виконано за формулою 4.3 та наведено в формулі 4.4.

$$R_{\text{в}} = \frac{180 \cdot \left(ln \frac{2 \cdot 3}{0{,}016} + \frac{1}{2} \cdot ln \frac{(4 \cdot 2 + 1)}{(4 \cdot 2 - 1)} \right)}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 3} = 57.8 \text{ Ом} \tag{4.4}$$

Визначення необхідної кількості вертикальних заземлювачів n здійснюється за формулою 4.5 [44].

$$\eta_{в} = \frac{R_{в}}{R_i} \cdot \eta_{вi}\ , \qquad (4.5)$$

де: $\eta_{вi}$ – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів;

R_i - Нормований опір розтікання струму в землю.

Значення $\eta_{вi}$ є табличним та визначається з таблиці 4.2. В таблиці 4.2 наведено коефіцієнти використання вертикальних електродів $\eta_{вi}$ [44].

Таблиця 4.2 – коефіцієнти використання вертикальних електродів $\eta_{вi}$.

Число заземлювачів $\eta_{в}$, шт	Відношення відстані між електродами А до їх довжини $L_{в}$					
	1	2	3	1	2	3
	Розміщення в ряд			Розміщення по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,8
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	-	-	-	0,41	0,58	0,66
60	-	-	-	0,39	0,55	0,64
100	-	-	-	0,36	0,52	0,62

Оскільки число заземлювачів невідомо, то робимо розрахунок їх кількості в ідеальних умовах (приймаємо $\eta_{вi} = 1$).

Розрахунок кількості заземлювачів при ідеальних умовах наведено в формулі 4.6 [44].

$$\eta_{в} = \frac{57,8}{4} \cdot 1 = 15 \text{ шт.} \quad (4.6)$$

Оскільки при ідеальних умовах кількість електродів рівна 15 шт, то з таблиці 4.2 приймаємо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів $\eta_{ві} = 0,53$. На основі нового коефіцієнту проводимо розрахунок кількості електродів.

Розрахунок кількості заземлювачів наведено в формулі 4.7 [44].

$$\eta_{в} = \frac{57,8}{4} \cdot 0,53 = 8 \text{ шт.} \quad (4.7)$$

Довжина горизонтальної смуги (при розташуванні вертикальних електродів в ряд) визначається за формулою 4.8 [44].

$$L_{г} = \frac{A}{L_{в}} \cdot L_{в} \cdot (\eta_{в} - 1), \quad (4.8)$$

де: A - відстань між електродами;

Розрахунок довжини горизонтальної смуги (при розташуванні вертикальних електродів в ряд) наведено в формулі 4.9.

$$L_{г} = \frac{3}{3} \cdot 3 \cdot (8 - 1) = 21 \text{ м.} \quad (4.9)$$

Опір горизонтального електрода визначається за формулою 4.10 [44].

$$R_{\text{г}} = \frac{\rho_p^{\text{г}}}{2\pi L_{\text{г}}} \cdot ln \frac{L_{\text{в}}^2}{(0{,}5 \cdot b_{\text{г}}) \cdot t}, \qquad (4.10)$$

Розрахунок опору горизонтального електрода наведено в формулі 4.11.

$$R_{\text{г}} = \frac{565}{2\pi 21} \cdot ln \frac{21^2}{(0{,}5 \cdot \ 0{,}02\ ) \cdot 2} = 42.82 \text{ Ом} \qquad (4.11)$$

Величину загального розрахункового опору заземлювального пристрою визначають за формулою 4.12 [44].

$$R_{\text{заг}} = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_i}{(R_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{г}} + R_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{ві}})}, \qquad (4.12)$$

де: $\eta_{\text{г}}$ - коефіцієнт використання горизонтального електрода

Значення $\eta_{\text{г}}$ є табличним та визначається з таблиці 4.3. В таблиці 4.3 наведено значення коефіцієнтів використання горизонтальних електродів $\eta_{\text{г}}$.

Значення коефіцієнту вибирається для 8 електродів розташованих в ряд з відношення відстані між електродами А до їх довжини $L_{\text{в}}$ рівному 1. Тому значення коефіцієнту $\eta_{\text{г}} = 0{,}67$, що є середнім між значеннями для 6 та 10 електродів.

Таблиця 4.3 – коефіцієнти використання горизонтальних електродів $\eta_{\text{г}}$.

Відношення відстані між електродами А до їх довжини $L_{\text{в}}$	Число вертикальних заземлювачів							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Розміщення в ряд								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	-	-	-
2	0,94	0,84	0,8	0,75	0,56	-	-	-
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	-	-	-

Розрахунок загального розрахункового опору заземлювального пристрою наведено в формулі 4.13.

$$R_{\text{заг}} = \frac{57{,}8 \cdot 4}{(57{,}8 \cdot 0{,}67 + 42.82 \cdot 0{,}53 \cdot 8)} = 1{,}05 \text{ Ом} \qquad (4.13)$$

Конструкція заземлювального пристрою вказано на рисунку 4.18, а монтажні параметри одиночного заземлювача на рисунку 4.19.

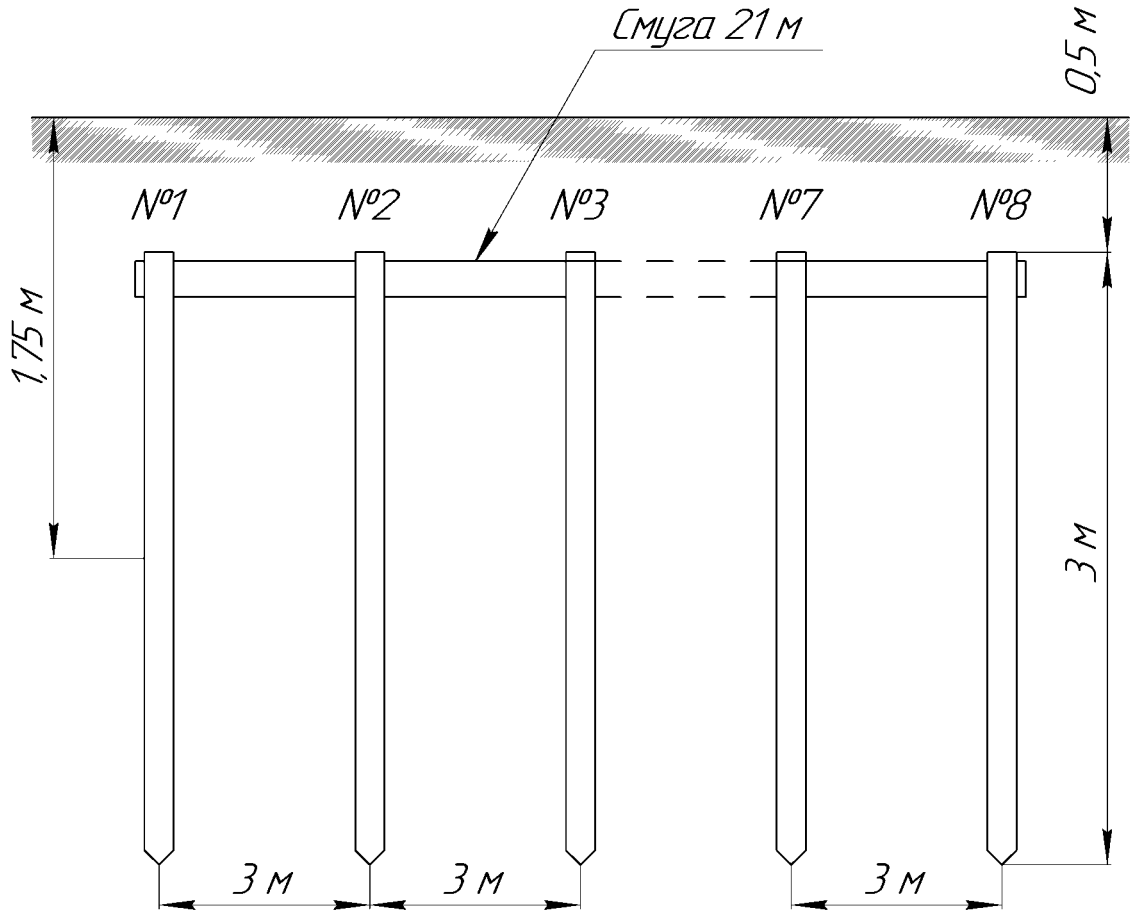


Рисунок 4.18 – Конструкція заземлювального пристрою.

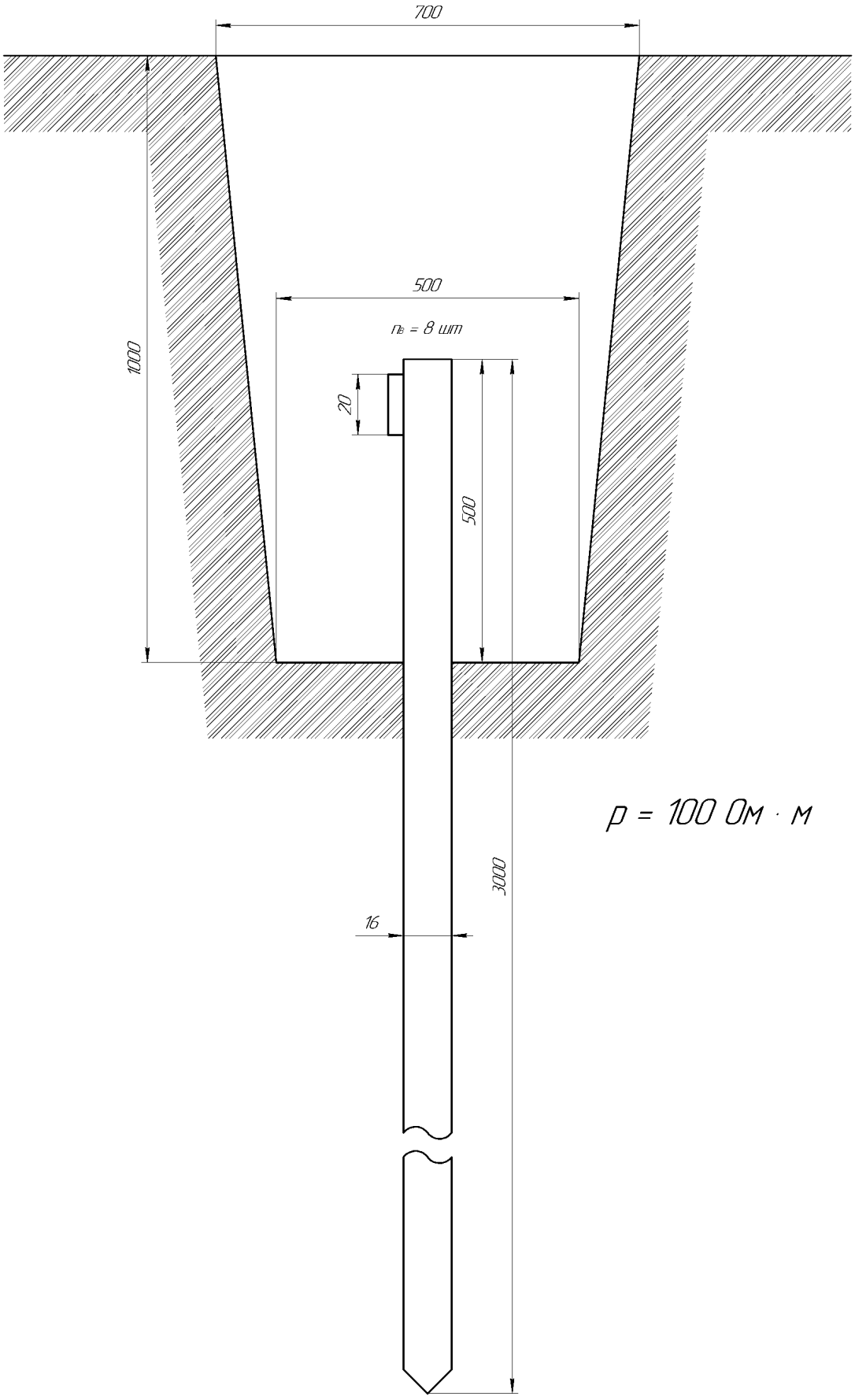


Рисунок 4.19 – Монтажні параметри одиночного заземлювача.

5 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНОЇ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ

У процесі розробки та впровадження будь-якого технічного проекту важливо не лише забезпечити його технічну доцільність, але й обґрунтувати економічну ефективність.

Одним із ключових показників, що характеризує економічну доцільність впровадження нової техніки, є обсяг капітальних інвестицій. До таких інвестицій належать витрати на проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, удосконалення дослідних зразків, а також їх випробування.

Для оцінки вартості конструкторської підготовки виробництва складається кошторис витрат, що охоплює весь етап – від отримання технічного завдання до виготовлення дослідного зразка, проведення його заводських випробувань і внесення змін до конструкторської документації за результатами цих процесів.

5.1 Суми витрат по статтям кошторису

Розрахунок заробітної плати розробників здійснюється поетапно, на основі обсягу технічної документації (схем, креслень, текстових матеріалів), яка створюється, з урахуванням нормативів базового підприємства для кожного виду документації. Заробітна плата виконавців на кожному етапі визначається як сума добутків тривалості етапу в днях на денну ставку кожного виконавця.

Тривалість етапу визначається шляхом множення кількості аркушів розробленої документації на відповідну нормативну трудомісткість у нормо-годинах, поділене на кількість залучених розробників та середню тривалість робочого дня (8 годин) [45].

Денна ставка виконавця обчислюється як частка місячного окладу та середньої кількості робочих днів у місяці (22 дні).

У таблиці 5.1 наведено приклад розрахунку заробітної плати розробників технічної документації для спеціалізованого джерела живлення портативного озонатора.

Таблиця 5.1 – Заробітна плата розробників технічної документації

№	Найменування етапу розробки	Одиниця	К-ть креслень	Норматив часу на одиницю нормо-годин	Трудомісткість етапу люд-годин	Кількість виконавців	Тривалість етапу, днів	Денна ставка виконавців	Зарплата за етап, грн.
1	Схема електрична принципова	Схема ф.А1	1	8	8	1	1	500	500
2	Схема електрична структурна	Схема ф.А1	1	8	8	1	1	500	500
3	Перелік елементів	ф.А4	2	2	4	1	0,5	500	250
4	Моделювання	ф.А1	1	4	4	1	0,5	500	250
5	Креслення заземлювального пристрою	ф.А1	1	4	4	1	0,5	500	250
6	Специфікація	ф.А4	1	2	2	1	0,25	500	125
7	Розрахунки	ф.А4	10	2	20	1	2,5	500	1250
8	Записка пояснення	ф.А4	60	2	120	1	15	500	7500
Разом									10625

Заробітна плата на виготовлення та випробування дослідного зразка за всіма етапами визначається наступним чином: дослідний зразок виготовляється та проходить випробування в лабораторних умовах. Тривалість цих робіт встановлена на основі досвіду базового підприємства і розрахована за аналогією з методикою визначення заробітної плати для розробки технічної документації (див. табл. 5.1).

Під час розрахунку заробітної плати за виготовлення дослідного зразка трудомісткість окремих видів робіт була збільшена на 100% порівняно з серійним виробом, а тарифні розряди підвищено на один рівень з урахуванням значної частки ручної праці, притаманної дослідному виробництву.

Таблиця 5.2 – Зарплата на виготовлення дослідного зразка

№	Вид робіт	Серійний розряд робіт	Трудомісткість, год	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн.
1	Складальні	5	8	60,00	480,00
2	Монтажні	6	8	60,00	480,00
3	Регулювальні	6	10	70,00	700,00
Разом:					1660,00

Накладні витрати приймаються у розміру 40…120 % від загального фонду заробітної плати розробників, з урахуванням витрат на виготовлення та випробування дослідного зразка, а також на внесення змін до документації за результатами цих випробувань.

Матеріальні витрати на виготовлення зразка включають вартість матеріалів (табл. 5.3) та комплектуючих виробів (табл. 5.4), необхідних для розроблюваної апаратури. З урахуванням можливих втрат, загальна вартість матеріалів і комплектуючих збільшена на 30 %.

Таблиця 5.3 – Вартість матеріалів

№	Найменування	Одиниця виміру	К-ть на виріб	Ціна за одиницю	Сума, грн.
1	Склотекстоліт	$м^2$	0,09	2200,00	198,00
2	Лак PVB 60	л	0,0045	3200,00	14,40
3	ПОС-61	кг	0,0095	2750,00	26,10
4	Флюс F1	л	0,005	625,00	3,10
Разом:					241,60

Таблиця 5.4 – Вартість комплектуючих вироба

№	Найменування	Кількість, шт	Ціна одиниці, грн	Сума, грн.
Конденсатори				
1	100 nF-10%-50V- X7R	2	3,50	7,00
2	1 uF-10%-50V- X7R	10	6,50	65,0
3	100 uF-20%-50V-ECR	2	3,50	7,00
4	150 pF-5%-50V- NP0	1	1,30	1,30
5	6.8 nF-10%-50V- X7R	1	3	3,00
6	1 nF-5%-50V- NP0	1	3	3,00
7	10uF-10%-50V-X7R	7	23,90	167,30
9	47 uF-20%-50V-EXR	1	2,50	2,50
Резистори				
10	24 Ohm-2W-5%-500V	1	2,50	2,50
11	20 Ohm-1W-5%-500V	1	1,60	1,60
12	2.2 kOhm-0.5W-5%-200V	1	1,20	1,20
13	10 Ohm-0.5W-5%-200V	1	1,20	1,20
14	51 kOhm-0.25W-5%-250V	1	0,70	0,70
15	47 kOhm-0.5W-5%-350V	1	0,90	0,90
16	100 Ohm-0.25W-1%-250V	1	1	1,00
17	25 mOhm-0.5W-1%-75V	1	27	27,00
18	4.7 Ohm-5W-5%-700V	1	4,50	4,50
19	82 kOhm-0.5W-5%-350V	1	0,90	0,90
20	3.16 kOhm-0.6W-1%-500V	1	1	1,00
21	10K-0.5W-5%-200V Hitano	1	1,40	1,40

Продовження таблиці 5.4

Дроселі				
22	10uH-20A-10%	1	384,50	384,50
23	50uH-15A-10%	1	305,20	305,20
24	50uH-5.6A-10%	1	283,60	283,60
Варистор				
25	S20K30 30VDC EPCOS	1	22	22,00
Транзистор				
26	IRL2505PBF 68A 60V	1	58	58,00
Діоди				
27	1.5KE36A Hornby	1	16	16,00
28	STPS20M100SG-TR 100B 20A	1	31	31,00
Мікросхема				
29	LM3488	1	103	103,00
Запобіжник				
30	2A 250VAC 3,6x10mm	1	4,50	4,50
Разом:				1507,80

Собівартість дослідного зразка визначається за формою табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Розрахунок собівартості дослідного зразка

№	Стаття витрат	Витрати на проектований виріб, грн.
1	Матеріали	241,60
2	Придбані комплектуючі вироба	1507,80
3	Транспортні витрати (5% п.1+п.2)	87,47
4	Заробітна платна виробничих працівників	1660,00
5	Нарахування на зарплату (37%)	614,20
6	Накладні витрати (120% п.4)	1992,00
Разом:		6102,87

У таблиці 5.6 наведено розрахунок кошторису витрат, пов’язаних із конструкторською підготовкою виробництва.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат на конструкторську підготовку виробництва

№	Стаття витрат	Сума, грн.
1	Зарплата розробників по всім етапам розробки	10625,00
2	Зарплата на коректування технічної документації за наслідками випробувань дослідного зразка (15% п.1)	1593,75
3	Разом ФЗП (п.1 + п.2)	12218,75
4	Нарахування на зарплату (37% п.3)	4520,94
5	Накладні витрати (120% п.3)	14662,50
6	Собівартість дослідного зразка (табл. 5.5)	6102,87
7	Інші витрати (5% п.6)	305,14
Сумарна вартість розробки:		50028,95

В таблиці 5.7 приведено розрахунок заробітної плати працівників за умови серійного виготовлення виробу.

Таблиця 5.7 – Зарплата працівників за виготовлення серійного виробу

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість нормо - год	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Складальні	4	1	60	60
2	Монтажні	5	1	60	60
3	Регулювальні	5	0.5	70	35
Разом:					155

Розрахунок планової собівартості одиниці продукції здійснюється за калькуляційними статтями з урахуванням того, що вартість комплектуючих

і матеріалів зменшена на 30% порівняно з даними таблиць 5.3 та 5.4, і узагальнені у таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Калькуляція собівартості і ціни одиниці виробу

№	Стаття витрат	Витрати на виріб, грн
1	Матеріали	241,60
2	Придбані комплектуючі вироба	1507,80
3	Транспортні витрати (5% п.1 + п.2)	87,47
4	Основна заробітна платна виробничих працівників (табл. 5.7)	155,00
5	Додаткова заробітна плата (10% п.4)	15,50
6	Нарахування на зарплату (37% п.4 + п.5)	63,08
7	Загальновиробничі витрати (100% п.4)	155,00
8	Загальна собівартість (п.1 + п.2 + … + п.7)	2225,45
9	Прибуток (30% п.8)	667,64
Ціна виробника:		2893,09

5.2 Визначення строку окупності розробки

Річний економічний ефект від впровадження нових виробів розраховується по формулі 5.1 [46].

$$\mathrm{E_р} = (\mathrm{П} - \mathrm{E_н} \cdot \mathrm{K}_V) \cdot \mathrm{A}_R, \qquad (5.1)$$

де: П – прибуток на одиницю продукції (з табл. 5.8 П=667,64);

$\mathrm{E_н}$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ($\mathrm{E_н} = 0{,}15$);

K_V – питомі капіталовкладення на одиницю річного об’єму продукції;

A_R – річний об’єм випуску продукції при серійному виробництві.

Питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції визначаються за формулою 5.2.

$$К_V = \frac{К}{А_R}, \quad (5.2)$$

де: К – капіталовкладення в розробку виробу (з табл. 5.6 К=50028,95).

Враховуючи, що річний об’єм випуску продукції при серійному виробництві складає 50 шт. / рік:

$$К_V = \frac{50028,95}{50} = 1000,58$$

Тоді передбачуваний річний економічний ефект:

$$Е_р = (667,64 - 0,15 \cdot 1000,58) \cdot 50 = 25877,65$$

Ефективність розробки визначається згідно формули 5.3.

$$Е = \frac{Е_р}{К}, \quad (5.3)$$

$$Е = \frac{25877,65}{50028,95} = 0,52$$

Термін окупності продукції дорівнює зворотному значенню величини ефективності та розраховується за формулою 5.4.

$$T = \frac{1}{E}$$

$$T = \frac{1}{0,52} = 1.9 \text{ років}$$

В таблиці 5.9 наведено основні економічні характеристики розробленого джерела живлення.

Таблиця 5.9 – Основні економічні характеристики виробу.

№	Показники	Один. виміру	Величина показника
1	Витрати на конструкторську підготовку	грн.	50028,95
2	Собівартість розробки	грн.	12218,75
3	Ціна одиниці виробу	грн.	2893,09
4	Річний обсяг виготовлення виробу	шт.	50
5	Річний економічний ефект	грн.	25877,65
6	Ефективність розробки	-	0,52
7	Термін окупності продукції	років.	1,9

Недоцільно окремо оцінювати витрати на проектування та виготовлення блоку живлення без урахування витрат на розробку портативного озонатора, оскільки блок живлення є його невід'ємною складовою.

З огляду на те, що забезпечення епідеміологічної безпеки населення є пріоритетним завданням держави, створення та серійне виробництво такого обладнання є актуальним і обґрунтованим.

Скорочення терміну окупності можливе за рахунок масштабування виробництва та закупівлі компонентів оптовими партіями та власного виробництва необхідний дроселів.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було розроблено спеціалізоване джерело живлення для портативного озонатору.

У першому розділі проаналізовано основних представників ринку озонаторів в Україні, розглянуто представників ринку джерел живлення, їх принцип роботи, системи керування та основні технічні характеристики компонентів, проведено аналіз типових типів, схем та принципів роботи імпульсних перетворювачів постійної напруги.

У другому розділі було розроблено та проаналізовано структурну схему спеціалізованого джерела живлення для портативних озонаторів. Також розроблено схему електричну принципову джерела живлення озонатору.

У третьому розділі виконано розрахунок імпульсного перетворювача постійної напруги типу SEPIC з параметрами 12В, 0,5А для джерела живлення. Відповідно до отриманих результатів було підібрано необхідні компоненти ІППН. Після виконання інженерних розрахунків була створена модель схеми в середовищі Micro-Cap 12, результати якої підтвердили близькість до теоретичних розрахунків.

У четвертому розділі розглянуто технологію виготовлення та програми для трасування друкованих плат. Також розглянуто вимоги до організації безпеки на підприємстві та виконано розрахунок пристрою заземлення.

У п’ятому розділі виконано обґрунтування технічної та економічної доцільності проектованого виробу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Глинка Н.Л. Загальна хімія. – К.: Наукова думка, 2003. – С. 455–457.

2. Стаття: Метод очищення води шляхом озонування: веб-сайт. URL: https://macoin.com.ua/metod-ochishhennya-vodi-shlyaxom-ozonuvannya-2/ (дата звернення: 28.05.2025)

3. Стаття: Цікаво про озон: веб-сайт. URL: https://dentaum.com.ua/index.php?route=product/product&path=93&product_id=344 (дата звернення: 28.05.2025)

4. Стаття: Як отримати озон у лабораторних умовах? : веб-сайт. URL: https://dts.lviv.ua/yak-otrimati-ozon-u-laboratornikh-umovakh/ (дата звернення: 28.05.2025)

5. Стаття: Кисень і озон в хімії: молекулярна формула, розходження й подібності за властивостями, фізичні, біологічні властивості і хімічна активність озону і кисню. Отримання озону з кисню та його застосування в народному господарстві : веб-сайт. URL: https://vse-cikave.com.ua/kisen-ozon-v-h-m-molekulyarna-formula-rozhodzhennya-y-pod-bnost-za-vlastivostyami-f-zichn-b-olog-chn-vlastivost-h-m-chna-aktivn-st-ozonu-kisnyu-otrimannya-ozonu-z-kisnyu-ta-yogo-zastosuvannya-v-narodn/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 28.05.2025)

6. Озонатор Doctor-101 компактний (3-в-1): веб-сайт. URL: https://rozetka.com.ua/ua/111543212/p111543212/ (дата звернення: 28.05.2025)

7. Озонатор Doctor-101 Premium: веб-сайт. URL: https://rozetka.com.ua/ua/167828942/p167828942/ (дата звернення: 28.05.2025)

8. Озонатор Majster Polska MP-0490: веб-сайт. URL: https://rozetka.com.ua/ua/419512482/p419512482/ (дата звернення: 28.05.2025)

9. Озонатор ОЗОН-25ККН: веб-сайт. URL: https://rozetka.com.ua/ua/185909228/p185909228/ (дата звернення: 28.05.2025)

10. Озонатор G.I.KRAFT: веб-сайт. URL: https://rozetka.com.ua/ua/g_i_kraft_gi03010/p249124706/ (дата звернення: 28.05.2025)

11. Модуль джерела живлення 148321: веб-сайт. URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/peretvoriuvach-dc-dc-400vt-shcho-pidvyshchuie-napruhu-z-8-5-50v-do-10-60v-12a_148321.html (дата звернення: 28.05.2025)

12. Модуль джерела живлення 109750: веб-сайт. URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/rehulovanyi-dc-dc-peretvoriuvach-na-lm2596s_109750.html (дата звернення: 28.05.2025)

13. Модуль джерела живлення 95962: веб-сайт. URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/impulsnyi-pidvyshchuvalnyi-dc-dc-modul-na-mikroskhemi-xl6009_95962.html (дата звернення: 28.05.2025)

14. Модуль джерела живлення PSD-15B-12: веб-сайт. URL: http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=PSD-15B-12 (дата звернення: 28.05.2025)

15. Модуль джерела живлення SD-15A-12: веб-сайт. URL: http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=SD-15A-12 (дата звернення: 28.05.2025)

16. Модуль джерела живлення SD-15B-12: веб-сайт. URL: http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=SD-15B-12 (дата звернення: 28.05.2025)

17. Модуль джерела живлення 033455: веб-сайт. URL: https://voron.ua/uk/catalog/033455--modul_dcdc_preobrazovatelya_5a_stab_toka_125-30v_step-down (дата звернення: 28.05.2025)

18. Модуль джерела живлення 024709: веб-сайт. URL: https://voron.ua/uk/catalog/024709--modul_dcdc_universalnyy_updown_buckboost (дата звернення: 28.05.2025)

19. Модуль джерела живлення SEPIC XL6009 2505: вебсайт. URL: https://www.mini-tech.com.ua/ua/sepic-module (дата звернення: 28.05.2025)

20. Модуль джерела живлення XY-SJV-4: вебсайт. URL: https://nado.in.ua/ua/p1739191518-povyshayuschij-ponizhayuschij-preobrazovatel.html (дата звернення: 28.05.2025)

21. Shafinaz A. Lopa, S. Hossain, M. K. Hasan, T. K. Chakraborty. Design and Simulation of DC-DC Converters. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) Vol. 03 Issue: 01, January (2016)

22. A. Karaarslan. Modeling and performance analysis of cuk converter using pi and occ method. International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering” (IJTPE) Vol. 10 Issue 36 Number 3 Pages 1-5 September (2018)

23. Jeff Falin. Designing DC/DC converters based on ZETA topology. Analog Applications Journal. High-Performance Analog Products. 2Q (2010)

24. Sujata Verma, S.K Singh and A.G. Rao. Overview of control Techniques for DC-DC converters. Research Journal of Engineering Sciences Vol. 2(8), 18-21, August (2013)

25. Білецький Д.С., Туришев К.О. Спеціалізоване джерело живлення портативного озонатора. Збірник наукових праць студентів, здобувач PhDів, докторантів і молодих вчених «МОЛОДА НАУКА-2025» Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2025. Т. V № XVIII

26. Мікросхема LM3488: вебсайт. URL: https://www.ti.com/product/LM3488/part-details/LM3488MM/NOPB (дата звернення: 28.05.2025)

27. SEPIC Converter Analysis and Design. Application note. Semiconductor Components Industries, LLC, Rev. 1, November (2021)

28. Datasheet мікросхеми LM3488/-Q1 Automotive High-Efficiency Controller for Boost, SEPIC and Fly-Back DC-DC Converters. Texas Instruments Incorporated. SNVS089O, July (2015)

29. Стаття: Виробництво друкованих плат: веб-сайт. URL: https://www.sea.com.ua/ua/service/proizvodstvo-pecatnyh-plat/ (дата звернення: 28.05.2025)

30. Друкована плата TDA7388 чотириканальний аудіо підсилювач 12В 4 канали по 41Вт: вебсайт. URL: https://prom.ua/ua/p1709094849-pechatnaya-plata-tda7388.html (дата звернення: 28.05.2025)

31. Стаття: What is CEM-1 Material in PCB Board: веб-сайт. URL: https://www.tech-sparks.com/cem-1-pcb-material/ (дата звернення: 28.05.2025)

32. Стаття: Mike Nathan. Simple PCB Etchant Made From Chemicals You Can Put In Your Mouth: веб-сайт. URL: https://hackaday.com/2011/03/03/simple-pcb-etchant-made-from-chemicals-you-can-put-in-your-mouth/ (дата звернення: 28.05.2025)

33. Стаття: виробництво плат механічним фрезуванням: веб-сайт. URL: https://www.zxhpcb.com (дата звернення: 28.05.2025)

34. Стаття: Optomec Aerosol Jet printing technology effectively produces 3D printed electronics: веб-сайт. URL: https://optomec.com/printed-electronics/aerosol-jet-technology/ (дата звернення: 28.05.2025)

35. Стаття: Screen Printing PCBs: веб-сайт. URL: https://makezine.com/article/technology/screen-printing-pcbs/ (дата звернення: 28.05.2025)

36. CE 610mmx710mm LDI Laser Direct Imaging Machine PCB: веб-сайт. URL: https://www.ldimachine.com/sale-14605467-ce-610mmx710mm-ldi-laser-direct-imaging-machine-pcb.html (дата звернення: 28.05.2025)

37. Стаття: What is PCB Electroplating?: веб-сайт. URL: https://www.raypcb.com/the-main-four-methods-of-electroplating-in-the-circuit-board/ (дата звернення: 28.05.2025)

38. Стаття: KiCad EDA A Cross Platform and Open Source Electronics Design Automation Suite: веб-сайт. URL: https://www.kicad.org (дата звернення: 28.05.2025)

39. Приклад трасування плати в easyeda: веб-сайт. URL: https://easyeda.com/editor#id=14e33b552b8b41c89883ffe32aff7eac|876b5fa846e94bd79db8506176133d5c (дата звернення: 28.05.2025)

40. Стаття: Tutorial designing-pcb: веб-сайт. URL: https://fritzing.org/learning/tutorials/designing-pcb/ (дата звернення: 28.05.2025)

41. Стаття: Altium Designer Documentation: веб-сайт. URL: https://www.altium.com/documentation/altium-designer/laying-out-your-pcb?srsltid=AfmBOoqJ3eQ6KnNp72ckr0Ug30rMLis9YSYHD4rciHFVNF_xPRIW1fR_ (дата звернення: 28.05.2025)

42. Стаття: Autodesk Eagle PCB design made easy for every engineer: веб-сайт. URL: https://www.autodesk.com/products/eagle/overview?msockid=3aa889b91c9e61a4266c9b231df56078 (дата звернення: 28.05.2025)

43. Стаття: DipTrace Schematic and PCB design Software PCB Layout: веб-сайт. URL: https://diptrace.com/diptrace-software/pcb-layout/ (дата звернення: 28.05.2025)

44. Ремешевська, І. В. Грушина О. Г. Методичні вказівки з виконання розрахунку величини опору захисного заземлення електротехнічної установки. Миколаїв: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2016

45. Стуколов П.М. Економіка електронної промисловості.-М.:Висш.шк., - 1983.

46. Пляскін И.И. Методичні вказівки до виконання курсової роботи "Організація та планування конструкторської підготовки виробництва нових виробів ".-Запоріжжя:ЗІІ, -1989.

Додаток А

Формат	Зона	Поз	Позначення	Найменування	Кіл	Примітка
				Документація		
A1			ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.Д1	Універсальне джерело живлення портативного озонатору Аналіз ринку		
A1			ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.Е1	Універсальне джерело живлення портативного озонатору Схема електрична структурна		
A1			ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.Е3	Універсальне джерело живлення портативного озонатору Схема електрична принципова		
A4			ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.ПЕ3	Універсальне джерело живлення портативного озонатору Перелік елементів		
A1			ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.Д2	Універсальне джерело живлення портативного озонатору Результати моделювання		
A1			ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.Д3	Універсальне джерело живлення портативного озонатору Заземлювальний пристрій		
A1			ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.Д4	Універсальне джерело живлення портативного озонатору Економічні показники		

Перед. застосува. | Довід. № | Підп. і дата | Інв. № дубл. | Взам. інв. № | Підп. і дата | Інв. № підл.

Ізм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Білецький		10.06
Перев.		Туришев		10.06
Нконтр.		Туришев		10.06
Затв.		Критська		10.06

ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00

Універсальне джерело живлення портативного озонатору

Літ	Аркуш	Аркушів
	1	1

ІНКІ ім Ю.М.Потебні ЗНУ
6.1711

Копіював

Додаток А

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
				Документація		
А1			ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.Д1	Спеціальзоване джерело живлення портативного озонатору Аналіз ринку		
А1			ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.Е1	Спеціальзоване джерело живлення портативного озонатору Схема електрична структурна		
А1			ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.Е3	Спеціальзоване джерело живлення портативного озонатору Схема електрична принципова		
А4			ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.ПЕ3	Спеціальзоване джерело живлення портативного озонатору Перелік елементів		
А1			ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.Д2	Спеціальзоване джерело живлення портативного озонатору Результати моделювання		
А1			ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.Д3	Спеціальзоване джерело живлення портативного озонатору Заземлювальний пристрій		
А1			ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.Д4	Спеціальзоване джерело живлення портативного озонатору Економічні показники		

Перед. застосува. | Довід. № | Підп. і дата | Інв. № дубл. | Взам. інв. № | Підп. і дата | Інв. № підл.

Ізм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Білецький		10.06
Перев.		Туришев		10.06
Н.контр.		Туришев		10.06
Затв.		Критська		10.06

ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00

Спеціалізоване джерело живлення портативного озонатору

Літ	Аркуш	Аркушів
	1	1

ІННІ ім Ю.М.Потебні ЗНУ 6.1711

Копіював

Додаток Б

Зона	Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
		Конденсатори		
	C1	100 nF-10%-50V- X7R Hitano	1	
	C2..C11	1 uF-10%-50V- X7R Hitano	10	
	C12..C13	100 uF-20%-50V-ECR Hitano	2	
	C14	100 nF-10%-50V- X7R Hitano	1	
	C15	150 pF-5%-50V- NP0 Hitano	1	
	C16	6.8 nF-10%-50V- X7R Hitano	1	
	C17	1 nF-5%-50V- NP0 Hitano	1	
	C18..C23	10 uF-10%-50V-X7R TDK Corporation	6	
	C24	4.7 uF-20%-50V-EXR Hitano	1	
	C25	10 uF-10%-50V-X7R TDK Corporation	1	
	DA1	LM3488 Texas Instruments	1	
	FU1	Запобіжник 2A 250VAC 3,6x10mm	1	
		Дроселі		
	L1	10 uH-20A-10% Vishay	1	
	L2	50 uH-15A-10% Vishay	1	
	L3	50 uH-5.6A-10% Vishay	1	
	RU1	Варистор S20K30 30VDC EPCOS	1	
		Діоди		
	VD1	15KE36A Hornby	1	
	VD2	STPS20M100SG-TR 100B 20A STMicroelectronics	1	
	VT1	IRL2505PBF 68A 60V JSMicro	1	

Перед. застосув. | Довід. № | Підп. і дата | Інв. № дубл. | Взам. інв. № | Підп. і дата | Інв. № подл.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Білецький		02.06
Перевір.		Туришев		10.06
Н.контр.		Туришев		10.06
Затверд.		Критська		10.06

ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.ПЕЗ

Універсальне джерело живлення портативного озонатору
Перелік елементів

Літ.	Аркуш	Аркушів
	1	2

ІННІ ім Ю.М. Потебні ЗНУ
6.1711

Копіював

Формат А4

Продовження Додатку Б

Зона	Поз. позна-чення	Найменування	Кіл.	Примітка
		Резистори		
	R1	24 Ohm-2W-5%-500V Hitano	1	
	R2	20 Ohm-1W-5%-500V Hitano	1	
	R3	2.2 kOhm-0.5W-5%-200V Hitano	1	
	R4	10 Ohm-0.5W-5%-200V Hitano	1	
	R5	51 kOhm-0.25W-5%-250V Hitano	1	
	R6	4.7 kOhm-0.5W-5%-350V Hitano	1	
	R7	100 Ohm-0.25W-1%-250V Hitano	1	
	R8	25 mOhm-0.5W-1%-75V Ohmite	1	
	R9	4.7 Ohm-5W-5%-700V Hitano	1	
	R10	82 kOhm-0.5W-5%-350V Hitano	1	
	R11	3.16 kOhm-0.6W-1%-500V Cinetech	1	
	R12	10 kOhm-0.5W-5%-200V Hitano	1	

Інв. № подл. | Підп. і дата | Взам. інв. № | Інв. № дубл. | Підп. і дата

Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата

ЕІСПЗ ДП.21291.00.00.00.00.ПЕЗ

Арк. 2

Копіював

Формат А4