

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

бакалавра

(рівень вищої освіти)

на тему розробка блоку підвищення напруги
джерела живлення бортового охолодження

Виконав: студент 4 курсу, групи Б.1719
спеціальності 171 «Електроніка»

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Електроніка

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

С.О. Пигудка

(ініціали та прізвище)

Керівник проф. каф. ЕІСПЗ Алексієвський Д.Т.

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

Рецензент заст. дир. НВКФ Екологія Шершова С.А.

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

Запоріжжя
2023

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.

“ _____ ” _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Піддубній Софії Олександрівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Розробка блоку підвищення напруги джерела живлення бортового озонатора.

керівник роботи Алексієвський Дмитро Геннадійович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом ЗНУ від “29” грудня 2022 року № 1893-с

2 Строк подання студентом роботи 13 травня 2023

3 Вихідні дані до роботи Вхідна напруга 9-30В, вихідна напруга 40В, потужність 40Вт, частота перетворення 44 кГц

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Бортові мережі електроживлення 2 Типи електричних систем 3 Модування електромагнітних процесів 4 Технічне автоматизоване навання утримання плат та охорона праці 5 Економічний розрахунок собівартості виробу.

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

1 Схеми електричних функціональних 2 Схеми електричних
принципових 3 Результати моделювання 4 Задавальний лист
5 Розрахунок економічних показників 6 Схеми електричних
структурних

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Алексієвський Д.Т. проф. кадр	13.02	13.02
2	Алексієвський Д.Т. проф. кадр	13.02	13.02
3	Алексієвський Д.Т. проф. кадр	13.02	13.02
4	Алексієвський Д.Т. проф. кадр	13.02	13.02
5	Алексієвський Д.Т. проф. кадр	13.02	13.02

7 Дата видачі завдання 13 лютого 2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз Бортівих мерс	02.03.2023	
2	Витяг електричних схем	05.04.2023	
3	Моделювання електричних процесів	28.04.2023	
4	Технічне рішення з'єднання мат	06.05.2023	
5	Економічний розрахунок	30.05.2023	
6	Формування креслової документації	07.06.2023	
7	Формування графічної частини	13.06.2023	

Студент


(підпис)

Піддубіса С.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту)


(підпис)

Алексієвський Д.Т.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер


(підпис)

Туринь В.К.О.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект містить: 88 стор., 27 рис., 15 табл., 18 джерел літератури.

БОРТОВІ МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ, АВТОМОБІЛЬНИЙ АКУМУЛЯТОР, СИЛОВИЙ КЛЮЧ, ІМПУЛЬСНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ, ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА, ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК, МОДЕЛЮВАННЯ

Ціль роботи: спроектувати та розрахувати блок підвищення напруги джерела живлення бортового озонатора.

Завдання: дослідження бортових мереж електроживлення, їх технічних параметрів, типів акумуляторів, характеристик обладнання; розробка блоку підвищення напруги джерела живлення бортового озонатора.

Економічні розрахунки показали, що виготовлення проектного виробу є доцільним.

Також у дипломному проекті були розглянуті компоненти силової частини безперебійних джерел живлення, їх основні характеристики та принцип роботи; проведено дослідження типових структурних схем імпульсних перетворювачів постійної напруги та їх принципів роботи. Крім цього, були розглянуті питання охорони праці на підприємстві і розраховано заземлювальний пристрій.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	6
1 Теоретична частина	8
1.1 Бортові мережі електроживлення	9
1.1.1 Акумуляторні батареї	10
1.1.2 Основні характеристики автомобільних акумуляторів	14
1.2 Аналіз ринку джерел живлення бортової апаратури	16
1.3 Принцип роботи та основні технічні характеристики компонентів силової частини джерел безперебійного живлення	17
1.3.1 Комутаційне обладнання	18
1.3.2 Захисне обладнання	22
1.3.3 Силові ключі	25
1.3.4 Датчики напруги і струму	30
1.3.5 Формувачі імпульсів управління силових ключів	32
1.4 Типові структурні схеми системи управління та електричні схеми функціональних блоків і вузлів джерел безперебійного живлення	34
1.4.1 Імпульсний перетворювач постійної напруги першого роду	34
1.4.2 Імпульсний перетворювач постійної напруги другого роду	36
1.4.3 Імпульсний перетворювач постійної напруги третього роду	38
2 Опис електричних схем	40
2.1 Структурна схема бортового озонатора	40
2.2 Функціональна схема блоку підвищення напруги	42
2.3 Принципова схема блоку підвищення напруги	43
3 Інженерний розрахунок	47
3.1 Моделювання електромагнітних процесів	60
4 Технологія монтажу друкованих плат та охорона праці	62
4.1 Технологія автоматизованого паяння друкованих плат	63
4.2 Охорона праці	68

4.3 Вимоги з охорони праці для працівників, що виконують монтаж, випробування і вимірювання в електроустановках	68
4.4 Розрахунок пристрою заземлення	70
4.5 Рекомендації по монтажу заземлюючого пристрою	73
5 Економічний розрахунок собівартості виробу	75
ВИСНОВКИ	84
Перелік джерел посилання	85
Додаток А	87
Додаток Б	88

ВСТУП

Озон – O_3 - трьохатомна алотропна модифікація кисню. Він присутній у дуже низьких концентраціях у атмосфері Землі (найчастіше як забрудник повітря), з найбільшою концентрацією високо в озоновому шарі стратосфери, який поглинає більшу частину ультрафіолетового випромінювання Сонця.

Озон є потужним окислювачем (набагато більшим, ніж двоокисень O_2) і має багато промислових і споживчих застосувань, пов'язаних з окисненням. Найбільше озон використовується у виробництві фармацевтичних препаратів, синтетичних мастильних матеріалів та багатьох інших комерційно корисних органічних сполук, де він використовується для розриву вуглецевих зв'язків. Його також можна використовувати для відбілювання речовин і для знищення мікроорганізмів у повітрі та воді. Багато муніципальних систем питного водопостачання знищують бактерії озоном замість більш традиційного хлору. Озон не утворює хлорорганічних сполук і не залишається у воді після очищення.

Також у промисловості озон використовується для:

- дезінфекції білизни в лікарнях, харчових фабриках, будинках для людей похилого віку тощо;
- дезодорації повітря та предметів;
- знищення бактерій на їжі або на контактних поверхнях;
- водоемні промисловості, такі як пивоварні та молочні заводи, можуть ефективно використовувати розчин озону як заміну хімічним дезінфікуючим засобам, таким як надоцтова кислота, гіпохлорит або тепло.
- знищення комах у зберіганому зерні та інших сипучих продуктах;
- очищення спор дріжджів і цвілі з повітря на підприємствах харчової промисловості;

- хімічного знешкодження забруднюючих речовин у воді (заліза, миш'яку, сірководню, нітритів тощо);
- допомоги в обробці пластику для забезпечення адгезії чорнила;
- штучного старіння зразків гуми для визначення терміну служби партії гуми;
- знищення паразитів, що переносяться водою, таких як лямблії та криптоспоридії, на очисних спорудах поверхневих вод.

Після винаходу плазмових реакторів з діелектричним бар'єрним розрядом вони деякий час широко використовувались для обробки води озоном. Однак із застосуванням дешевших альтернативних дезінфікуючих засобів, таких як хлор, застосування озонової дезактивації води було обмежено високим енергоспоживанням і громіздким обладнанням. Але завдяки дослідженням, які виявили негативний вплив звичайних дезінфікуючих засобів, таких як хлор, та їх токсичних залишків, а також їх неефективність у знищенні певних мікроорганізмів, знезараження озоном становить інтерес для сучасних доступних технологій.

Переваги очищення води озоном включають високий термодинамічний потенціал окислення, меншу чутливість до органічних матеріалів і кращу толерантність до коливань рН, зберігаючи при цьому здатність вбивати бактерії, грибки, віруси, а також спори та цисти.

Сучасні дослідження озону включають розробку більш компактних озонаторних станцій з високою ефективністю генерації озону та малим енергоспоживанням, що допоможе поширити застосування озонової дезактивації води у тому числі в тих країнах, де такий спосіб не є розповсюдженим, наприклад США.

Таким чином, розробка компактної бортової озонаторної станції, здатної працювати від автомобільних акумуляторів, є актуальним завданням сучасної електроніки.

1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Бортова озонаторна станція призначена для обробки рідин, сипучих матеріалів, ємностей та приміщень озоноповітряною сумішшю з метою їх дезінфекції та дезодорації. Відповідно до свого призначення вона повинна складатися з силової частини та системи управління.

Силова частина озонаторної станції повинна складатися з вузла узгодження і захисту, високочастотного імпульсного перетворювача, генератора озону і блоку живлення власних потреб.

Живлення озонаторної станції має здійснюватись від бортової мережі електроживлення автомобіля постійною напругою 9...30 В. Імпульсний перетворювач напруги, розробка якого є метою цього дипломного проекту, має перетворювати напругу живлення в стабілізовану напругу 40 В частотою 44 кГц.

Основними компонентами імпульсного перетворювача є:

- джерело живлення;
- ключовий комутуючий елемент;
- індуктивний накопичувач енергії (катушка індуктивності, дросель);
- блокувальний діод;
- конденсатор фільтра, включений паралельно опору навантаження.

Аналіз цих компонентів, а також дослідження принципів роботи типових схем імпульсних перетворювачів, є ключовим для розробки та інженерного розрахунку блоку підвищення напруги джерела живлення бортового озонатора.

1.1 Бортові мережі електроживлення

Бортова мережа – це мережа електроживлення транспортних засобів, що представляє собою систему каналів передачі електроенергії від джерел до споживачів і складається із електропроводки, розподільчих пристроїв, комутаційної та захисної апаратури.

На автомобілях та мотоциклах застосовують бортову мережу постійного струму. Джерелами електроенергії в бортовій мережі виступають генератор та акумуляторна батарея. Споживачами в мережах автомобілей є: акумуляторна батарея (під час зарядки), обмотка збудження генератора, система запалювання, фари, габаритні вогні, аварійна сигналізація, вентилятори, обігрів стекол і сидінь, автозвук і т.д. Комутаційні, захисні та розподільні пристрої – колодки запобіжників, комутаційні та силові блоки, кнопки, вимикачі, перемикачі, реле. Електропроводка виконана з багатожильних мідних проводів різного перерізу, із бензомаслостійкою пластиковою ізоляцією. У сучасних автомобілях використовуються пластикові хомути та кліпси, а також ізолента із ПВХ. У моторному відсіку джгути електропроводки прокладені в гофрованих або литих пластикових трубках. Вся автомобільна електропроводка відрізняється кольором ізоляції за належністю до конкретних ланцюгів та пристроїв. Колірне маркування наводиться виробником на електромонтажних схемах, що спрощує технічне обслуговування та пошук несправностей.

Номінальна напруга постійного струму автомобільних мереж, в залежності від виду автомобіля – 12 або 24 В:

12 В – використовується в даний час на всіх легкових автомобілях;

24 В – використовуються на важких вантажівках. На легких вантажівках може використовуватися напруга бортової мережі як на 12 вольт, так і 24.

У деяких автомобілях і тракторах стартер працює від мережі 24 В (від двох акумуляторів), інші споживачі від мережі 12 В [1].

На відміну від наземних транспортних засобів, бортові мережі літальних апаратів та корабельні мережі є значно складнішими, комплексними системами, та використовують перемінний струм. Для живлення бортового обладнання та систем літальних апаратів (ЛА) в даний час застосовується електроенергія постійного струму напругою 28 вольт, змінного однофазного або трифазного з нейтраллю струму з напругою 200/115 вольт, частотою 400 Гц, змінного трифазного без нейтралі струму лінійною напругою 36 вольт, 400 Гц. Сумарна потужність генераторів на борту може становити від 20 кВт для невеликих літаків або гелікоптерів до 600 і більше кВт для важких ЛА.

У країнах із розвиненим суднобудуванням бортові мережі змінного струму почали впроваджуватися у 30-ті роки, а в післявоєнний період почалось активне переведення всіх корабельних мереж на змінний струм. Відповідно до стандартів НАТО на військових кораблях країн – членів НАТО застосовуються мережі електроживлення напругою 440 В частотою 60 Гц. На судах цивільного флоту європейських країн, як правило, застосовуються мережі напругою 400 В частотою 50 Гц [2].

Основним принципом побудування електромереж літальних апаратів та кораблів є їх надійність, тому в таких мережах є резервні та аварійні джерела живлення, а найважливіші споживачі мають подвійне та потрійне живлення.

1.1.1 Акумуляторні батареї

Автомобільна батарея або автомобільний акумулятор – це акумуляторна батарея, яка використовується для запуску автомобіля. Її головне призначення полягає в тому, щоб забезпечити струмом електричний

пусковий двигун, який, у свою чергу, запускає хімічний двигун внутрішнього згорання, який фактично приводить у рух автомобіль. Після того, як двигун запрацює, живлення для електричних систем автомобіля все ще забезпечується акумулятором, а генератор змінного струму заряджає акумулятор у міру збільшення або зменшення потреб.

Електромобілі живляться від високовольтної батареї електромобіля, але зазвичай вони також мають автомобільну батарею, щоб вони могли використовувати стандартні автомобільні аксесуари, які розроблені для роботи від 12 В. Такі батареї часто називають допоміжними. На відміну від звичайних транспортних засобів із двигуном внутрішнього згорання, електромобілі не заряджають допоміжну батарею за допомогою генератора змінного струму, натомість вони використовують перетворювач типу DC-DC, щоб знизити високу напругу до необхідної напруги плаваючого заряду (зазвичай близько 14 В). На рисунку 1.1.1 зображена типова автомобільна батарея на 12 В.



Рисунок 1.1.1 – Свинцево-кислотна автомобільна батарея на 12 В

Незважаючи на те, що сьогодні існує багато хімічних типів акумуляторів, і з часом нові типи стають комерційно життєздатними,

основним типом автомобільних батарей залишається свинцево-кислотна батарея. Використання літій-іонних або літій-залізо-фосфатних акумуляторів теж можливе, але через те, що вони вимагають додаткової електронної схеми для контролю за їх станом, та високої вартості, застосовуються рідше. Технологія свинцево-кислотних акумуляторів використовується в комерційних цілях більше століття.

Конструкція свинцево-кислотного акумулятору складається з пластин свинцевого сплаву, а електроліт – із сірчаної кислоти і води. Акумулятор складається з кількох елементів, що мають напругу приблизно 2,12 В на один повністю заряджений елемент. Так, номінальний акумулятор на 6 вольт має три елемента з напругою повного заряду 6,3-6,4 В, а акумулятор на 12 В має шість елементів і напругу повного заряду 12,7 В. Високоякісні високопродуктивні свинцево-кислотні батареї можуть демонструвати вищу напругу елемента. На рисунку 1.1.2 зображена структура типового акумулятора.

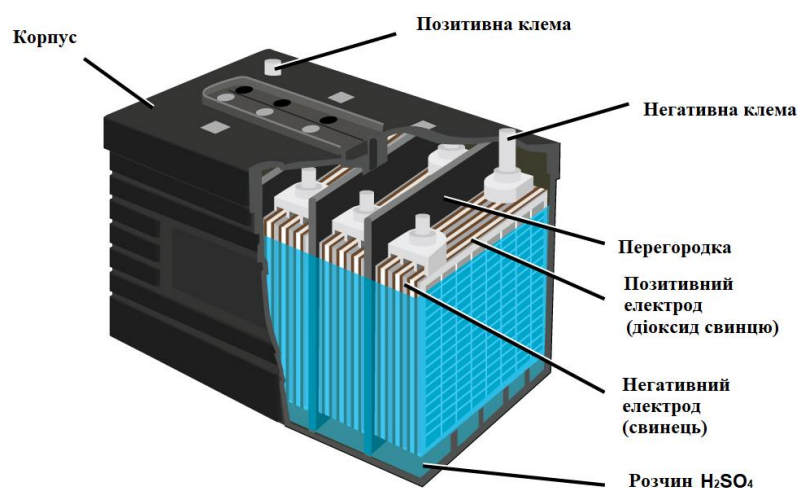


Рисунок 1.1.2 – Схематичне зображення структури автомобільного акумулятора

Елемент акумулятора має два типи пластин, одну зі свинцю та одну з діоксиду свинцю, обидві контактують з електролітом сірчаної кислоти у

вигляді рідини, абсорбованої матом, або гелю. Пластина з діоксиду свинцю (PbO_2) реагує з електролітом сірчаної кислоти (H_2SO_4), у результаті чого на пластині утворюються іони водню та іони кисню (які утворюють воду) і сульфат свинцю (PbSO_4). Свинцева пластина реагує з електролітом (сірчаною кислотою) і залишає сульфат свинцю (PbSO_4) і вільний електрон. Розряд батареї (що дозволяє електронам покинути батарею) призводить до накопичення сульфату свинцю на пластинах і розведення кислоти водою. Питома вага електроліту, виміряна ареометром у залитих батареях, вказує на його відносний заряд. Герметичні версії містять воду, водень тощо для рекомбінації та усувають необхідність перевірки рівня води та корозії навколо клем.

Зарядження батареї обертає процес, описаний вище, і передбачає піддавання батареї напрузі, вищій за існуючу. Сульфат (SO_4) залишає пластини і об'єднується з воднем (H_2), перетворюючись в сірчану кислоту (H_2SO_4). Вільний кислород (O_2) об'єднується зі свинцем (Pb) на позитивній пластині з утворенням діоксиду свинця (PbO_2). Коли батарея наближається до повного заряду, водород утворюється на негативних пластинах, а кислород — на позитивних, відбувається газоутворення. Газ, що утворюється, є вибухонебезпечним.

Існують батареї типу AGM (Absorbent Glass Mat), у яких електроліт поглинається матом із скляного волокна, а також гелеві батареї, де електроліт згущується силікагелем. Сучасні свинцево-кислотні батареї в основному розрізняються як батареї глибокого циклу/зберігання (оцінка в ампер-годинах) або стартерного типу SLI (запуск/освітлення/запалювання), розраховані в амперах запуску. Існують також комбіновані типи, розраховані на обидва режими роботи, але вони зазвичай мають нижчу потужність пускового струму, ніж пускова батарея того самого розміру [3].

1.1.2 Основні характеристики автомобільних акумуляторів

Номінальна напруга:

6 В – до кінця 40-х років ХХ століття практично всі автомобілі мали шестивольтове електроустаткування. В даний час акумулятори з напругою 6 В застосовуються лише на особливо легкій мототехніці;

12 В – на даний момент на всіх легкових автомобілях, вантажних автомобілях і автобусах з бензиновими двигунами, а також на більшості мотоциклів використовуються акумулятори тільки з таким значенням напруги;

24 В – використовуються на важких вантажних автомобілях та автобусах з дизельними двигунами, тролейбусах, трамваях та на військовій техніці з дизельними двигунами.

Напруга без навантаження (напруга при знятих клеммах) акумулятора, яку можна зв'язати з приблизним рівнем заряду. Якщо акумулятор знаходиться на транспортному засобі, напруга без навантаження вимірюється, коли двигун зупинено, а навантаження повністю вимкнено (знято клеми). В таблиці 1.1 приведено деякі значення напруги акумулятора без навантаження.

Таблиця 1.1 – Напруга без навантаження акумуляторів

Напруга без навантаження при $T = 26.7^\circ \text{C}$, В		Приблизний заряд, %	Щільність електроліту при $T = 26.7^\circ \text{C}$, г/см ³
12 В	6 В		
12.7	6.32	100	1.265
12.35	6.22	75	1.225
12.1	6.12	50	1.190
11.95	6.03	25	1.155
11.7	6	0	1.120

Напруга без навантаження також залежить від температури та від щільності електроліту при повному заряді. Слід зауважити, що щільність електроліту при тому самому рівні заряду у свою чергу також залежить від температури (зворотна залежність).

Ємність акумулятора, що вимірюється в ампер-годинах. Значення ємності показує, яким струмом буде рівномірно розряджатися автомобільна АКБ до кінцевої напруги при 20-годинному циклі розряду.

Резервна ємність – на відміну від номінальної ємності, резервна ємність показує, скільки часу здатний проїхати автомобіль при несправному генераторі взимку, коли споживання енергії найбільше. Як правило, значення резервної ємності вказується на маркуванні автомобільної АКБ у хвиликах.

Пусковий струм або **струм холодного прокручування** (англ. cold cranking amps, CCA) – максимальний струм, який здатний віддавати акумулятор без посадки напруги на клеммах нижче 9В протягом 30 секунд при температурі навколишнього середовища -18°C .

При температурі повітря -10°C зарядні характеристики акумулятора, що не має обігріву, погіршуються, а при температурі нижче -30°C заряд від штатного генератора автомобіля практично відсутній. Температура електроліту в акумуляторі, встановленому на автомобілі, на $5-7^{\circ}\text{C}$ вище температури навколишнього середовища і змінюється за нею із запізненням на 4-5 години. У режимі тривалого руху за 10—12 годин температура електроліту в акумуляторних батареях, що не обігріваються, підвищується на $2-3^{\circ}\text{C}$, а при наявності обігріву відсіку для акумуляторних батарей на $5-7^{\circ}\text{C}$. Тому для надійної експлуатації в умовах низьких температур застосовуються конструкції акумулятора з внутрішнім електропідігрівом [4].

1.2 Аналіз ринку джерел живлення бортової апаратури

Перетворювачі постійної напруги призначені для зміни значення постійної напруги. Вони слугують для живлення навантаження постійною напругою U_n , що відрізняється по величині від напруги E джерела живлення, при цьому інколи необхідно стабілізувати напругу U_n при зміні напруги джерела живлення та струму навантаження, або змінювати напругу U_n за певним законом незалежно від напруги E .

Від мобільних пристроїв до електромобілів, перетворювачі постійного струму відіграють вирішальну роль у забезпеченні необхідних рівнів напруги та струму для оптимальної продуктивності та надійності техніки. Оскільки попит на менші, більш ефективні та рентабельні рішення для живлення продовжує зростати, ринок перетворювачів постійного струму розширюється з безпрецедентною швидкістю.

На українському ринку перетворювачів постійної напруги вітчизняних виробників небагато, але існує ряд поставників із таких країн-лідерів виробництва напівпровідникових приладів, як Китай, Тайвань, США тощо. Такими поставниками є SVL, РКС-Компоненти, Космодром, GSM Комплект. Далі представлені деякі моделі перетворювачів, доступні для придбання в Україні.

Перетворювач знижуючий із стабілізацією струму LDR-v.2.4

- Вхідна напруга: 9 В – 24 В;
- Вихідна напруга: 1 В – 22 В;
- Вихідний струм – 0.7 А;
- Габаритні розміри: 25×20×6 мм;
- Вартість: 174 грн.;
- Виробник: SVL (Україна);
- Поставник: SVL.

Перетворювач підвищуючий SD-25A-24

- Вхідна напруга: 9.2 В – 18 В;
- Вихідна напруга: 24 В;
- Коефіцієнт перетворення: 0.75;
- Робоча температура: -10 °С +60 °С;
- Габаритні розміри: 99×97×36 мм;
- Вартість: 1122 грн.;
- Виробник: Mean Well (Тайвань);
- Поставник: Космодром.

Перетворювач регулюючий AM100HB-2448S-UZ

- Вхідна напруга: 36 В – 72 В;
- Вихідна напруга: 48 В;
- Коефіцієнт перетворення: 0.9;
- Робоча температура: -40 °С +85 °С;
- Габаритні розміри: 58×61×12 мм;
- Вартість: 2010 грн.;
- Виробник: Aimtec (Канада);
- Поставник: РКС-Компоненти.

Отже, ринок перетворювачів напруги в Україні представлений різноманітними моделями, які відрізняються призначенням, габаритами, потужністю, та вартістю. На жаль, функціонального аналога, параметри і характеристики якого відповідають технічному завданню дипломного проекту, не було знайдено.

1.3 Принцип роботи та основні технічні характеристики компонентів силової частини джерел безперебійного живлення

Компоненти силової частини джерел безперебійного живлення можна поділити на такі категорії: комутаційне обладнання, захисне обладнання,

силові ключі, датчики напруги і струму, та формувачі імпульсів управління силових ключів.

1.3.1 Комутаційне обладнання

Комутаційне обладнання – це пристрої, призначені для комутування (підключення) різних пристроїв один до одного.

У загальному випадку всі комутаційні апарати можна розділити на два типи:

- Контактний комутаційний апарат – здійснює комутаційну операцію шляхом переміщення його контакт-деталей щодо один одного;
- Безконтактний комутаційний апарат – здійснює комутаційну операцію без переміщення та руйнування його деталей (на основі напівпровідникових або газорозрядних приладів, магнітних підсилювачів тощо).

Основні параметри всіх комутаційних приладів:

- Впливова величина — фізична величина, на зміну якої комутаційний апарат призначений реагувати.
- Установа впливової величини — задане значення величини спрацювання або неспрацювання, на яку налаштовано апарат.
- Установа за часом — значення витримки часу, на яку налаштовано пристрій.
- Діапазон установки — межі значень уставки, на які може бути налаштовано апарат.
- Час вмикання — проміжок часу від моменту подачі сигналу на увімкнення комутаційного апарата, до моменту появи заданих умов для проходження струму його головним електричним колом.
- Власний час увімкнення — проміжки часу з миті подавання сигналу на увімкнення контактного апарата до миті замикання заданого контакту.
- Власний час вимкнення — проміжок часу з миті подавання сигналу на вимкнення до миті механічного роз'єднання останнього з контактів.

- Повний час вимкнення — проміжок часу з миті подавання сигналу на вимкнення комутаційного апарата до миті припинення струму в усіх його полюсах.
- Часострумова характеристика — залежність часу спрацьовування комутаційного апарата від струму в його головному колі.
- Струм вимкнення — прийняте значення очікуваного струму у колі, вимкненому апаратом, у задану мить часу.
- Струм увімкнення — прийняте значення очікуваного струму в колі, увімкненому апаратом, у заданий момент часу.
- Діаграма комутаційних положень — діаграма, що показує положення контактів у різних комутаційних станах комутаційного апарату і послідовність переходу з одного комутаційного положення в інше [5].

Перемикач — це електричний компонент, який може розмикати або замикати електричний ланцюг, перериваючи електричний струм або відводячи його від одного провідника до іншого.

Найвідомішою формою перемикача є електромеханічний пристрій, що керується вручну, з одним або кількома наборами електричних контактів, які підключаються до зовнішніх ланцюгів. Кожен набір контактів може перебувати в одному з двох станів: або «замкнений», що означає, що контакти торкаються, і між ними може протікати струм, або «розімкнений», що означає, що контакти розділені, а перемикач не проводить електричний струм.

Існує багато спеціалізованих форм, таких як тумблер, поворотний перемикач, ртутний перемикач, кнопковий перемикач, реверсивний перемикач, реле та автоматичний вимикач. Вимикачі в потужних ланцюгах повинні мати спеціальну конструкцію, щоб запобігти виникненню електричної дуги при їх розмиканні [6].

Контактор – двопозиційний електромагнітний апарат, призначений для частих дистанційних включень та вимкнень силових електричних кіл у нормальному режимі роботи. На відміну від реле загального призначення, контактори призначені для безпосереднього підключення до сильноточових пристроїв навантаження. Пристрої, що комутують понад 15 ампер або в ланцюгах потужністю більше кількох кіловат, зазвичай називають контакторами. Нижче приведений рисунок контактору (рис. 1.3.1)



Рисунок 1.3.1 – Контактор виробництва фірми Schneider Electric

Контактори як постійного, так і змінного струму містять: електромагнітну систему, контактну систему, що складається з рухомих і нерухомих контактів, дугогасну систему, систему блок-контактів (допоміжні контакти, що перемикають ланцюги сигналізації та управління при роботі контакторів).

При проходженні струму через електромагніт утворюється магнітне поле, яке притягує рухомий сердечник контактора. Спочатку котушка електромагніту споживає більше струму, поки її індуктивність не збільшиться, коли металевий сердечник входить у котушку. Рухомий контакт

приводиться в рух рухомим ядром; сила, що розвивається електромагнітом, утримує разом рухомий і нерухомий контакти. Коли котушка контактора знеструмлена, сила тяжіння або пружина повертає сердечник електромагніту в початкове положення і розмикає контакти.

Основні області застосування контакторів: управління потужними електродвигунами (в електровозах, тепловозах, електропоїздах, трамвайних і троллейбусних вагонах, на ліфтах), комутація ланцюгів компенсації реактивної потужності, комутація великих постійних струмів [7].

Пускач електромагнітний – електричний апарат, який призначений для пуску, зупинки, реверсування та захисту електродвигуна. Магнітний пускач складається з контактора, кнопки і теплового реле. Поряд з тепловим захистом магнітний пускач запобігає самовключенню після відновлення зниклої напруги живлення. Головним чином магнітний пускач застосовується для дистанційного пуску, зупинки та захисту трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором. Контакти магнітних пускачів, що комутують струми вище 20-25 А, постачають дугогасними пристроями.

В рамках стандартизації до пускачів відносять комбінацію всіх комутаційних пристроїв, необхідних для пуску та зупинки двигуна із захистом від перевантажень. Електромагнітним є пускач, у якого сила, необхідна замикаючого головних контактів, забезпечується електромагнітом. Окрім електромагнітних, існують напівпровідникові, реостатні, ручні, з руховим приводом, пневматичні, електропневматичні пускачі.

Крім простого включення, при управлінні електродвигуном пускач може виконувати функцію перемикаючого напрямку обертання його ротора (т.зв. реверсивна схема) шляхом зміни порядку прямування фаз, для чого в пускач вбудовується другий контактор. Для зменшення пускового струму двигуна також застосовується перемикаючого обмоток трифазного двигуна із

«зірки» на «трикутник». За такої схеми включення двигун розганяється до номінальних оборотів, будучи включеним за схемою «зірка» і перемикається на живлення за схемою «трикутник» у нормальному режимі роботи. Виконання магнітних пускачів може бути відкритим та захищеним (у корпусі); реверсивним та неревверсивним; із вбудованим тепловим захистом електродвигуна від перевантаження та без нього [8].

1.3.2 Захисне обладнання

Електричне захисне обладнання — це електричний компонент або система, призначена для захисту електричного кола від пошкодження, викликаного надмірним струмом, напругою або температурою. Ці пристрої зазвичай використовуються в різних сферах застосування, включаючи житлові, комерційні та промислові електричні системи, щоб запобігти пошкодженню або знищенню електричного обладнання через перевантаження, короткі замикання та інші типи електричних несправностей. Приклади пристроїв захисту ланцюгів включають запобіжники, автоматичні вимикачі, пристрої захисту від перенапруги та переривник замикання на землю (GFCI). Ці пристрої можуть бути скинутими або не скинутими, залежно від їх конструкції та призначення.

Запобіжник – це пристрій електробезпеки, який працює для забезпечення захисту електричного кола від надточного струму. Його основним компонентом є металевий дріт або смужка, яка плавиться, коли через неї протікає занадто великий струм, тим самим зупиняючи або перериваючи струм. Після того, як запобіжник спрацював, його необхідно замінити або цілком, або замінити згорівший дріт, залежно від його типу. На рисунку 1.3.2 зображено деякі типи запобіжників.



Рисунок 1.3.2 – Типи запобіжників

Запобіжник складається з металевої стрічки або дротяного елемента запобіжника малого поперечного перерізу порівняно з провідниками ланцюга, встановленого між парою електричних клем і (зазвичай) укладеного в негорючий корпус. Запобіжник розташований послідовно для перенесення всього заряду, що проходить через захищений ланцюг. Опір елемента виділяє тепло за рахунок протікання струму. Розмір і конструкція елемента (емпірично) визначаються таким чином, щоб тепло, вироблене для нормального струму, не викликало підвищення температури елемента. Якщо тече надто високий струм, елемент піднімається до вищої температури і або безпосередньо плавиться, або розплавляє паяні з'єднання всередині запобіжника, розмикаючи ланцюг.

Параметри, які характеризують запобіжник:

- номінальний струм;
- номінальна напруга;
- потужність;
- швидкість спрацьовування.

Швидкість спрацьовування плавких запобіжників різна в залежності від призначення. Наприклад, у напівпровідникових схемах запобіжник спрацьовує при невеликих перенапруженнях, щоб зберегти інші прилади, а в електродвигунах використовують потужні запобіжники, здатні витримати пускові струми [9].

Автоматичний вимикач – це пристрій електробезпеки, призначений для захисту електричного кола від пошкодження, спричиненого перевантаженням по струму. Його основною функцією є переривання потоку струму для захисту обладнання та запобігання ризику пожежі. На відміну від запобіжника, який спрацьовує один раз, а потім його потрібно замінити, автоматичний вимикач можна скинути (вручну або автоматично), щоб відновити нормальну роботу.

Усі системи автоматичних вимикачів мають спільні особливості в роботі, але деталі суттєво відрізняються залежно від класу напруги, номінального струму та типу автоматичного вимикача. Автоматичний вимикач повинен спочатку виявити несправність. У малих мережевих і низьковольтних автоматичних вимикачах це зазвичай робиться всередині самого пристрою. Як правило, використовується нагрів або магнітний вплив електричного струму. Автоматичні вимикачі для великих струмів або високої напруги зазвичай обладнані пілотними пристроями захисного реле для визначення стану несправності та керування механізмом розмикання.

Після виявлення несправності контакти вимикача повинні розімкнутися, щоб розірвати ланцюг; зазвичай це робиться за допомогою механічно накопиченої енергії, що міститься всередині вимикача, наприклад пружини або стисненого повітря для роз'єднання контактів. Автоматичні вимикачі також можуть використовувати надмірний струм, викликаний несправністю, для роз'єднання контактів, наприклад, викликане ним теплове розширення або магнітне поле.

Основні параметри автоматичних вимикачів:

- номінальні струми головного ланцюга та розчіплювачів;
- конструктивне виконання – повітряні, у литому корпусі, або модульні автомати;
- кількість полюсів головного ланцюга – від одного до чотирьох;
- наявність або відсутність обмежень за струмом;
- види розчіплювачів: нульовий, мінімальний, незалежний, максимальний;
- наявність або відсутність контактів для підключення вторинних кіл;
- спосіб підключення вводів/виводів: передній, задній, комбінований, універсальний;
- спосіб монтажу: стаціонарний, викочування (на DIN-рейку), на роз'ємах;
- вид відсічення: нормальний, селективний, миттєвий;
- вид приводу: ручний, пружинний, з рушієм (електромагніт, пневматика та інше) [10].


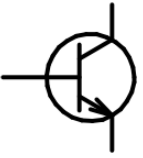

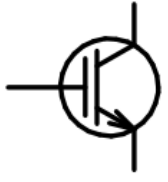




1.3.3 Силові ключі

Електронні ключі, на відміну від електричних – це статичні (немеханічні, часто твердотільні напівпровідникові) пристрої. Робота їх принципово заснована на прояві нелінійних властивостей матерії (напівпровідник, активний діелектрик, феромагнетик, іонізований газ) під впливом електричного або магнітного поля, чи випромінювання. Силові ключі призначені для імпульсного перетворення параметрів електроенергії незалежно від потужності.

В електронних ключах та ключових схемах застосовуються різні електронні прилади. У некерованих електронних ключах: діоди, диністори, і т.п. У керованих електронних ключах: електровакуумні прилади,

газорозрядні прилади, тиристори, симістори, транзистори [11]. В таблиці 1.2 зображені умовні позначення та зовнішній вигляд силових ключів.

Таблиця 1.2 – Зовнішній вигляд та умовні позначення силових ключів

	Діод	Біполярний транзистор	МОП-транзистор	IGBT
Умовне позначення				
Зовнішній вигляд				

Найбільш широко використовуваним силовим ключем у цифрових схемах є польовий транзистор типу МОП (MOSFET).

Польовий транзистор метал–оксид–напівпровідник (МОП-транзистор, англ. MOSFET) — це тип польового транзистора (FET), який найчастіше виготовляють шляхом контрольованого окислення кремнію. Він має ізольований затвор, напруга якого визначає провідність пристрою.

Типовий МОП-транзистор складається з МД/ОН-структури (метал–діелектрик/оксид–напівпровідник, наприклад n— типу), та двох р— кишень для електродів джерела та стоку. Металічний керуючий електрод називається затвором, а напівпровідниковий — підкладкою.

MOSFET на сьогоднішній день є найпоширенішим транзистором у цифрових схемах, оскільки мільярди можуть бути включені в чіп пам'яті або мікропроцесор. Оскільки МОП-транзистори можуть виготовлятися з напівпровідниками р-типу або n-типу, комплементарні пари МОП-

транзисторів можна використовувати для створення схем перемикачів з дуже низьким енергоспоживанням у формі логіки КМОП [12].

Основні параметри МОН-транзисторів:

- Максимальна напруга сток-витік;
- Опір стік-витік;
- Максимальна напруга затвор-витік;
- Максимальний струм стоку в безперервному режимі;
- Максимальний імпульсний струм стоку;
- Енергія розсіювання кристала;
- Максимальна потужність, що розсіюється;
- Діапазон робочих температур;
- Порогова напруга затвор-витік;
- Струм витоку стоку;
- Струм витоку затвора;
- Вхідна ємність;
- Вихідна ємність;
- Загальний заряд затвора;
- Заряд затвор-витік;
- Заряд затвор-стік;
- Час затримки включення та вимкнення.

IGBT (англ. insulated-gate bipolar transistor, укр. біполярний транзистор із ізольованим затвором) — триелектродний силовий напівпровідниковий прилад, що поєднує два транзистора в одній напівпровідниковій структурі: біполярний (утворює силовий канал) і польовий (утворює канал управління). Найбільшою популярністю IGBT користуються у силових ланцюгах перетворювачів частоти та електродвигунів змінного струму потужністю до 1 мегавата.

Каскадне включення транзисторів двох різних типів дозволяє поєднувати їх переваги в одному приладі: вихідні характеристики біполярного (велика допустима робоча напруга і опір відкритого каналу пропорційний струму, а не квадрату струму, як у польових) і вхідні характеристики польового (мінімальні витрати на керування). Керуючий електрод називається затвором, як у польового транзистора, два інших електрода - емітером і колектором, як у біполярного [13].

IGBT має наступні основні параметри:

- Керуюча напруга – це різниця потенціалів, здатна керувати роботою затвора;
- Найбільший допустимий струм;
- Напруга пробою між емітером та колектором;
- Струм відсічення емітер-колектор;
- Напруга насичення емітер-колектор;
- Вхідна ємність;
- Вихідна ємність;
- Паразитна індуктивність;
- Період затримки з'єднання;
- Період затримки вимкнення;
- Внутрішній опір.

Діод – електронний прилад з двома електродами, що пропускає електричний струм лише в одному напрямі. Застосовується у радіотехніці, електроніці, енергетиці та в інших галузях, переважно для випрямлення змінного електричного струму, перетворення та помноження частоти, а також для переключення електричних кіл.

Напівпровідниковий діод — це напівпровідниковий прилад з одним випрямним електричним переходом і двома зовнішніми виводами. Випрямним електричним переходом в напівпровідникових діодах може бути

електронно-дірковий перехід, гіперперехід або контакт метал-напівпровідник.

Сьогодні існує велика кількість діодів, що відрзняються конструкцією та характеристиками в залежності від застосування – світлодіоди, варикапи, стабілітрони, діоди Ганна тощо.

Основні параметри діодів:

- Постійна пряма напруга;
- Постійна зворотна напруга;
- Постійний прямий струм;
- Постійний зворотний струм;
- Середній прямий струм – середнє значення прямого струму за один період;
- Середній зворотний струм;
- Диференціальний опір діода – відношення збільшення напруги на діоді до малого приросту струму, що викликав його [14].

Біполярний транзистор — це тип транзистора, який використовує електрони та електронні дірки як носії заряду. Навпаки, уніполярний транзистор, наприклад польовий транзистор, використовує лише один вид носія заряду. Біполярні транзистори використовують два р–n-переходи між двома типами напівпровідників, n-типом і р-типом, які є областями в монокристалі матеріалу.

Біполярний транзистор складається з трьох по-різному легованих напівпровідникових областей: області емітера, області бази та області колектора. Ці області відповідно є р-типом, n-типом і р-типом у PNP-транзисторі та n-типом, р-типом і n-типом у NPN-транзисторі. Кожна напівпровідникова область з'єднана з клемою, відповідно позначеною: емітер (Е), база (Б) і колектор (С) [15].

Основні параметри біполярних транзисторів:

- Коефіцієнт передачі струму;
- Вхідний опір;
- Вихідна провідність;
- Зворотний струм колектор-емітер;
- Час увімкнення;
- Гранична частота коефіцієнта передачі струму бази;
- Зворотний струм колектора;
- Максимально допустимий струм;
- Гранична частота коефіцієнта передачі струму у схемі із загальним емітером.

1.3.4 Датчики напруги і струму

Датчики вимірювання струму та напруги – це найчисленніша група приладів, і фізичні принципи, що лежать в їх основі, повторюються у всіх інших модифікаціях. Будь-який струм, що протікає провідником, створює навколо цього провідника магнітне поле. Вимірюючи величину і напрямок цього магнітного поля, можна визначити величину, напрямок і форму струму, що протікає.

Універсальність датчиків струму полягає в тому, що одним і тим самим приладом можна вимірювати постійні, змінні та імпульсні струми. Для цього в конструкцію датчика, крім концентратора магнітного поля, входить так званий датчик Холла – мініатюрний напівпровідниковий прилад, що визначає величину і напрямок магнітного поля струму, що проходить.

Датчик напруги побудований за принципом перетворення вхідного струму, пропорційного напрузі в пропорційний вихідний струм з гальванічною розв'язкою між первинним (силовим) та вторинним (вимірювальним) ланцюгами.

Також для вимірювання струму в схемі може використовуватись токовимірювальний шунт – резистор з дуже низьким, але точно відомим опором, що розміщується паралельно вольтметру, так що практично весь струм, який потрібно виміряти, буде проходити через шунт. Напряга на шунті пропорційна струму, що протікає через нього, тому через виміряну напрягу можна розрахувати значення струму. На рисунку 3.3 зображений типовий датчик напряги та токовимірювальний шунт.

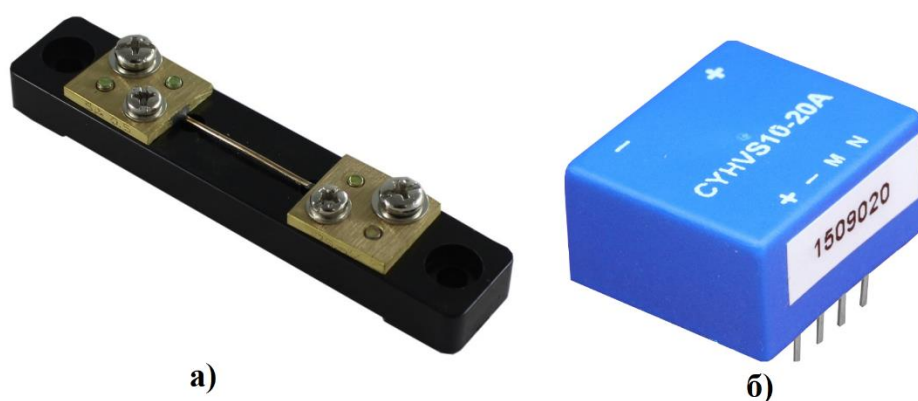


Рисунок 1.3.3 – Вимірювальні пристрої: а) – токовимірювальний шунт; б) – датчик напряги з ефектом Холла

Датчики напряги та струму використовуються для моніторингу умов напряги в одно- та трифазних двигунах, щоб виявити умови гасіння, втрати фази тощо або для захисту електронних схем у пристроях плавного пуску та подібному обладнанні від можливого пошкодження низькою напрягою. Датчики напряги також використовуються для оцінки коефіцієнта потужності.

Основні параметри датчиків струму і напряги:

- Діапазон вимірюваної напряги/струму;
- Номінальний вихідний сигнал;
- Напряга і струм живлення;
- Діапазон робочих температур;
- Допустиме перенавантаження за вимірюваною напрягою/струмом;

- Основна наведена похибка вимірювання;
- Нелінійність вихідної характеристики;
- Смуга пропускання [16].

1.3.5 Формувачі імпульсів управління силових ключів

Функції формувачів імпульсів керування виконують підсилювачі, призначені для посилення інформаційного сигналу керування сигналом з параметрами, необхідними для гарантованого включення та вимикання напівпровідникового ключа. Крім вимог до потужності сигналу управління ключем часто висувуються вимоги до форми сигналу, тому іноді ФІУ називають підсилювачами-формувачами імпульсів управління. Схема ФІУ в першу чергу залежить від типу керованого приладу та його статичних та динамічних властивостей.

Типові схеми ФІУ біполярного транзистора зображена на рисунку 1.3.4

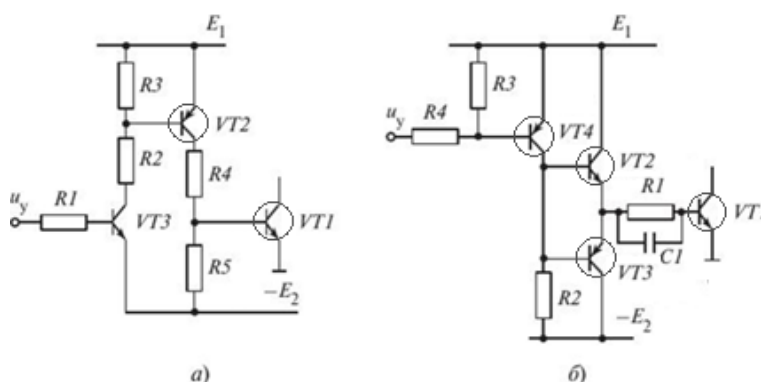


Рисунок 1.3.4 – Схеми ФІУ біполярного транзистора: а) – звичайна; б) – із комплементарними транзисторами

Схема на рисунку 1.3.4 (а) представляє собою підсилювальний каскад з двома додатковими транзисторами VT2, VT3 для збільшення сигналу мікросхеми до необхідного значення та джерелом напруги $-E_2$ для створення в моменти паузи (коли ключ вимкнений) негативної напруги на базі

транзистора, що сприяє більш надійному замиканню транзистора. Для зменшення споживаної ФІУ потужності застосовують парні (комплементарні) транзистори VT2, VT3, що працюють поперемінно, та конденсатор C1, що забезпечує базовий струм силового транзистора при вимкненні (рис. 1.3.4 б).

Управління IGBT аналогічне управлінню МОН-транзистором, оскільки ці прилади мають схожі фізичні принципи управління. Цими транзисторами можна керувати вихідним сигналом мікросхеми системи управління напругою 5-15 В і струмом менше десятка міліампер (рис. 1.3.5 а).

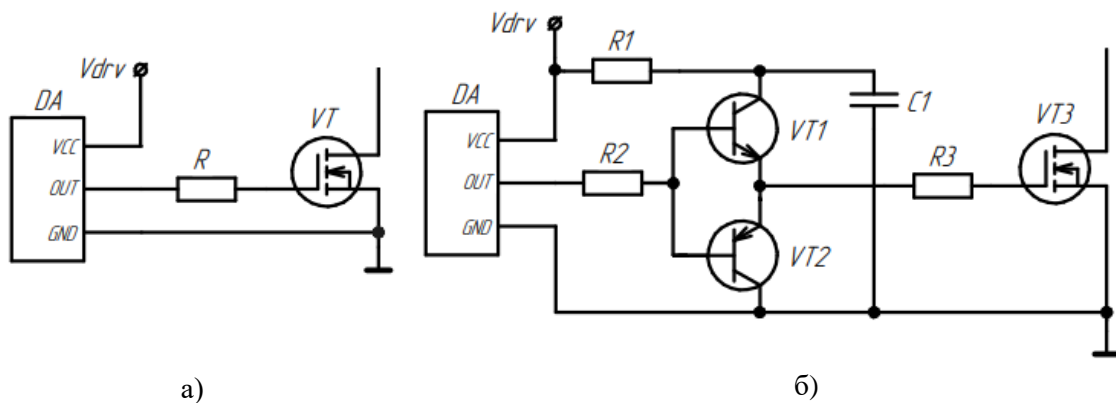


Рисунок 1.3.5 – Схеми ФІУ МДН-транзистора: а) - схема управління від ІМС; б) - схема управління з підсилювачем струму на парних транзисторах

Однак для керування потужними транзисторами застосовують підсилювачі струму, схема яких відповідає схемі двотактного емітерного повторювача на парних біполярних транзисторах (рис. 1.3.5 б). У цій схемі пара біполярних транзисторів VT1 і VT2 є джерелом струму швидше заряду власної вхідної ємності керованого транзистора VT3 [17].

1.4 Типові структурні схеми системи управління та електричні схеми функціональних блоків і вузлів джерел безперебійного живлення

Джерело безперебійного живлення — це електричний апарат, який забезпечує аварійне живлення навантаження у разі збою вхідного джерела живлення або електромережі.

Типове джерело безперебійного живлення складається із накопичувача енергії та перетворювача. Тип перетворювача, а також наявність додаткового обладнання, залежить від сфери застосування джерела. ДБЖ, розробці якого присвячений цей дипломний проект, містить імпульсний перетворювач постійної напруги підвищуючого типу (ІППН).

В основі принципу ІППН лежить ключовий режим роботи, що регулює напівпровідниковий прилад, який здійснює періодичне підключення напруги живлення E до вихідного ланцюга перетворювача. Малі падіння напруги на регульовальному приладі у відкритому стані і струм, що протікає, в закритому обумовлюють високий ККД аналізованих перетворювачів у порівнянні з компенсаційними та параметричними.

Існує три базові схеми силових ІППН: першого роду ІППН-1 (однотактний прямоходовий), другого роду ІППН-2 (однотактний зворотноходовий підвищуючий), третього роду ІППН-3 (однотактний зворотноходовий регулюючий). Всі базові ІППН містять дросель L , силовий ключ (транзистор) VT , діод VD та фільтруючу вихідну ємність C . ІППН-1 та ІППН-3 містять силовий ключ включений послідовно з ланцюгом живлення, в ІППН-2 він включається паралельно навантаженню.

1.4.1 Імпульсний перетворювач постійної напруги першого роду

У схемі такого перетворювача (рис. 1.4.1) силовий ключ VT , дросель L та навантаження включені послідовно. Вихідна напруга в цій схемі завжди

менша за вхідну. При включенні VT енергія джерела E передається в навантаження і накопичується в дроселі L і конденсаторі C. При вимкненні транзистора VT енергія L передається в навантаження через шунтуючий діод VD.

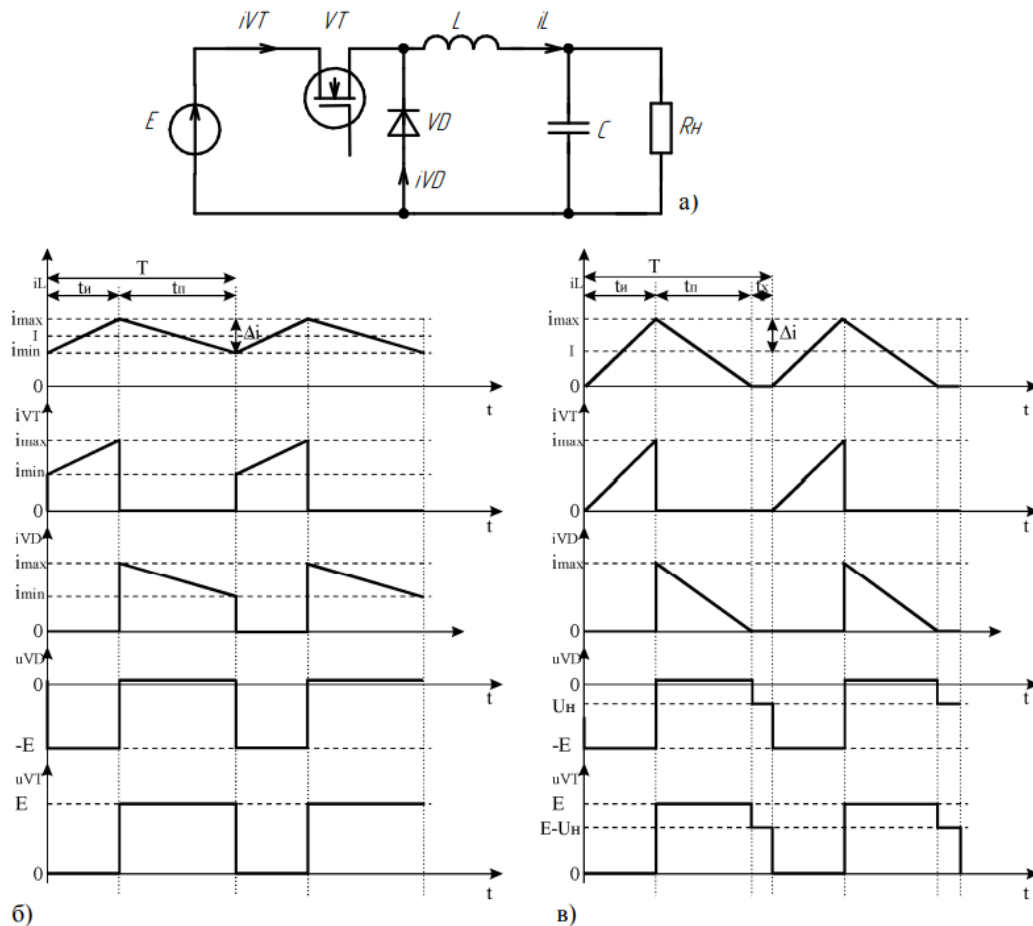


Рисунок 1.4.1 – Принципова схема ППН-1 (а) та діаграми його роботи в безперервному (б) та розривному режимі (в)

ППН працює у двох режимах: безперервному та переривчастому, по відношенню до струму дроселя. У безперервному схема працює, якщо дросель не встигає віддати всю накопичену енергію під час замкненого стану транзистора VT, тобто струм транзистора не стане рівним нулю. В іншому випадку схема працює у переривчастому режимі та в процесі роботи з'являються інтервали з нульовим струмом дроселя.

1.4.2 Імпульсний перетворювач постійної напруги другого роду

Дана схема відрізняється від ІППН-1 тим, що ключ тут розташований паралельно навантаженню. Наявність зустрічного діода з навантаженням призводить до того, що струм у навантаженні завжди переривчастий, проте при цьому вхідний струм, що споживається від джерела в залежності від величини індуктивності та режиму роботи транзистора схеми може бути як переривчастий, так і безперервний.

Робота цього перетворювача відбувається у два такти. У першому транзистор відкрито і струм, протікаючи ланцюгом $E-L-VT$, збільшується і індуктивність накопичує енергію, навантаження при цьому відключене від джерела діодом VD , оскільки він знаходиться під зворотною напругою навантаження.

У другому такті транзистор закривають і струм дроселя зменшується, протікаючи ланцюгом $E-L-VD-C(R)$, при цьому до навантаження прикладається сума напруг джерела E та протиЕРС індуктивності, звідси напруга на виході схеми більша ніж у джерела. Енергія з дроселя та джерела E у другому такті передається у навантаження. Принципова схема базового ІППН-2 та діаграми її роботи наведені на рисунку 1.4.2.

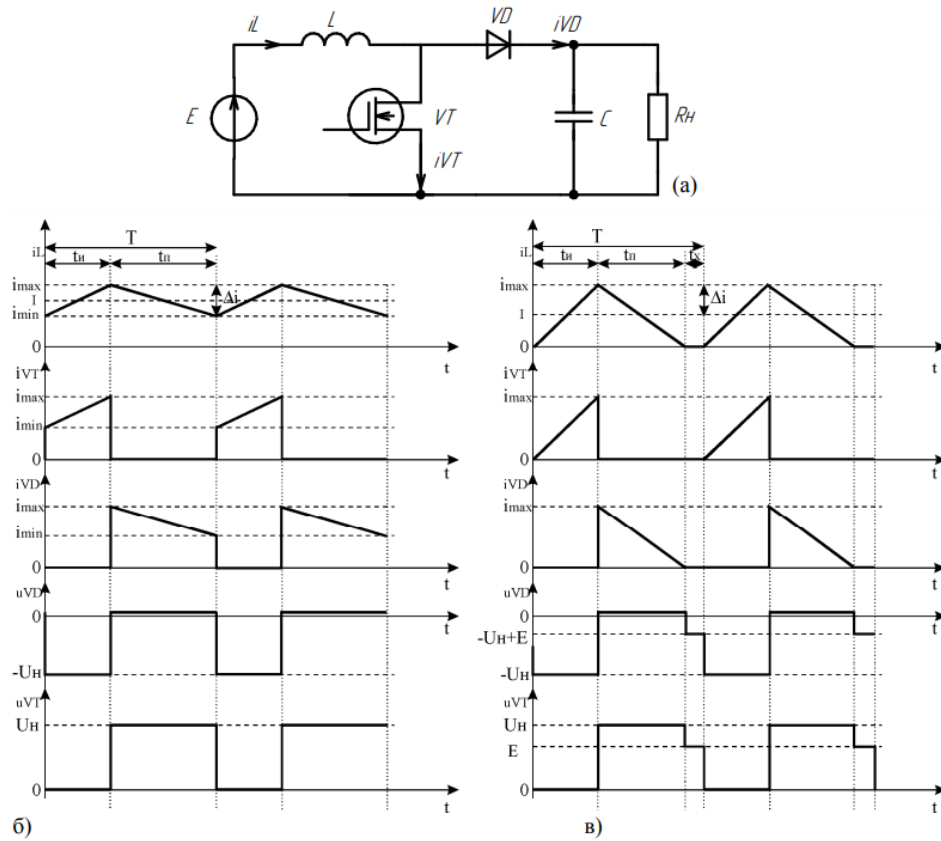


Рисунок 1.4.2 – Принципова схема ППН-2 (а) та діаграми його роботи в безперервному (б) та розривному режимі (в)

Ця схема є окремим випадком більш загальної схеми ППН-2 з індуктивно пов'язаним дроселями, принципова схема для якої наведено на рисунку 1.4.3. При значенні обмотки $w_1 = 0$, схема легко перетворюється на схему на рисунку 1.4.2.

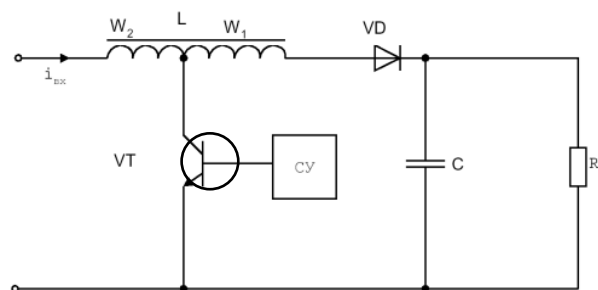


Рисунок 1.4.3 – Принципова схема ППН-2 з магнітозв'язаним дроселем

1.4.3 Імпульсний перетворювач постійної напруги третього роду

Схему ІППН-3 називають також ППН з паралельно включеним дроселем або інвертуючим зворотногоходовим ППН. Його принципова схема та діаграми роботи наведено на рисунку 1.4.4. Робота цього ІППН відбувається у два такти. На першому транзистор відкривається і струм, що збільшується, протікає по ланцюгу VT-L-E, при цьому енергія з джерела запасається в дроселі, на цьому етапі діод замкнений сумою вхідної та вихідної напруги.

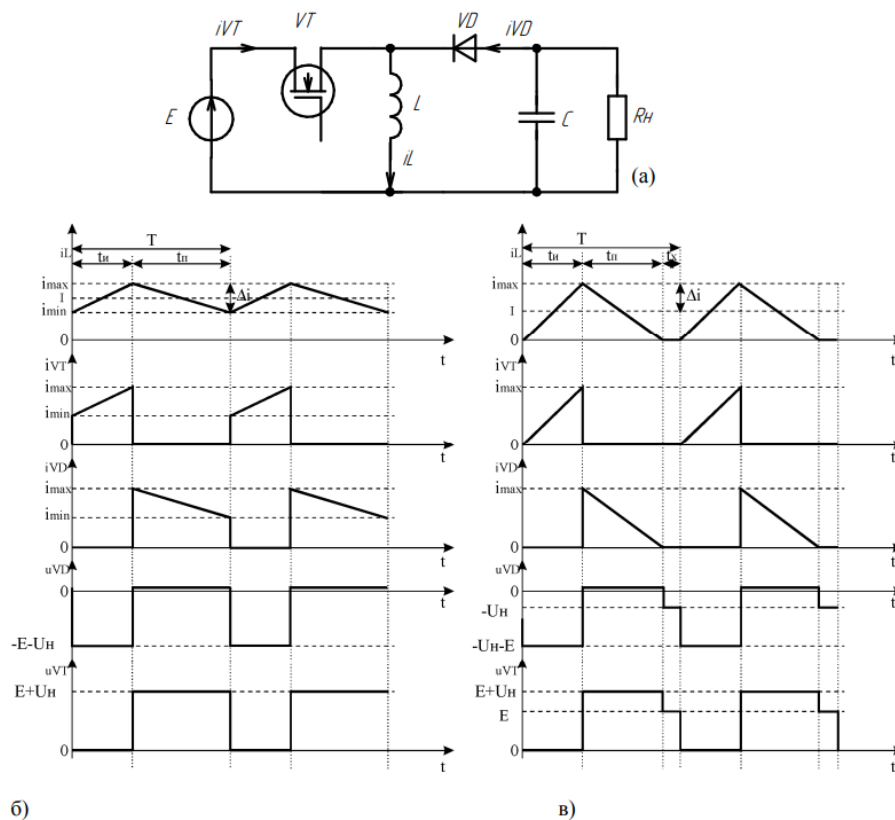


Рисунок 1.4.4 – Принципова схема ІППН-3 (а) та діаграми його роботи в безперервному (б) та розривному режимі (в)

На другому такті транзистор закривається і струм дроселя перехоплюється в ланцюг L-C(R)-VD, енергія з дроселя передається в навантаження та ємність, при цьому струм зменшується. Полярність навантаження щодо загального дроту у цій схемі негативна. Вхідний струм

цієї схеми завжди розривний, а ось вихідний залежно від параметрів управління, величини дроселя та навантаження може бути як переривчастий, так і безперервний.

Всі розглянуті схеми ІППН мають однаковий елементний склад. Для порівняння характеристик базових ІППН складено таблицю 3.

Таблиця 1.3 – Основні характеристики базових ІППН

Параметр	Тип ІППН		
	1	2	3
Вихідна напруга	E/q	$Eq/(q-1)$	$-E/(q-1)$
Полярність U_H відносно E	Та ж	Та ж	Зворотна
Характер вхідного струму	Розривний	Безперервний	Розривний
Максимальна напруга на транзисторі	E	U_H	$E+U_H$
Максимальна напруга на діоді	E	U_H	$E+U_H$
Максимальний струм на транзисторі (діоді)	$I_H + \frac{U_H}{2Lf} \left(1 - \frac{1}{q}\right)$	$I_{вх} + \frac{E}{2L} t_H$	$I_{вх} + \frac{E}{2L} t_H$
Пульсації струму навантаження (без вихідного конденсатора)	$\frac{U_H q - 1}{Lf} \frac{1}{q}$	$\frac{E}{L} t_H$	$\frac{E}{L} t_H$

Порівняльні властивості ІППН наступні:

- велика індуктивність дроселя;
- велика інерційність при відпрацюванні впливів, що обурюють;
- потужність, яка передається, обернено пропорційна опору навантаження (у режимі переривчастого струму потужність обернено пропорційна індуктивності дроселя);
- регульовальна характеристика не залежить від навантаження [18].

2 ОПИС ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

В ході роботи було розроблено три електричні схеми: структурну схему бортового озонатора, та функціональну і принципову схеми блоку підвищення напруги. Їх зображення та опис структури і принципів роботи наведено нижче.

2.1 Структурна схема бортового озонатора

Структурна схема озонаторної станції зображена на рисунку 2.1

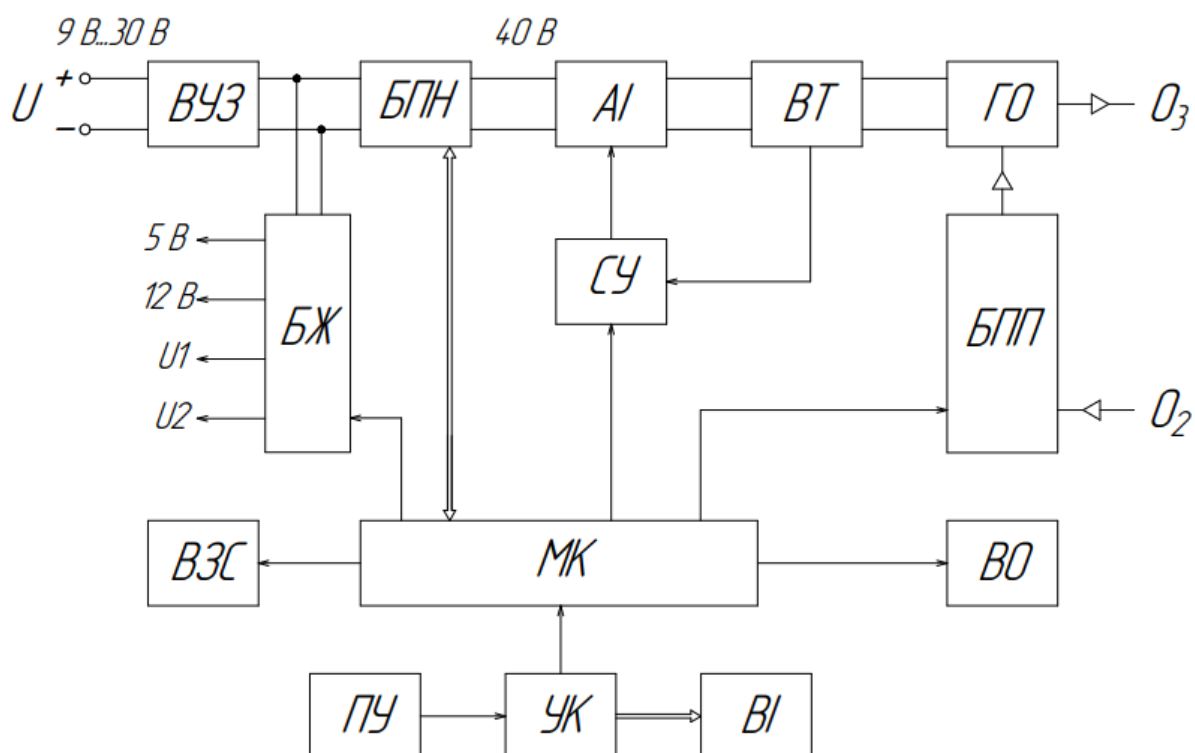


Рисунок 2.1 – Структурна схема бортового озонатора

До складу бортової озонаторної станції входять: вузол узгодження і захисту ВУЗ, блок підвищення напруги БПН, автономний інвертер АІ, система управління СУ, високовольтний трансформатор ВТ, генератор озону

ГО, блок живлення БЖ, блок підготовки повітря БПП, вузол охолодження ВО, вузол звукової сигналізації ВЗС, мікроконтролер МК, управляючий контролер УК, пульт управління ПУ та вузол індикації ВІ.

В якості джерела живлення для озонатора використовуються автомобільні акумулятори із значенням постійної напруги 9...30 В. На вході схеми стоїть вузол узгодження і захисту ВУЗ, що складається із запобіжника, дроселя, супресора, та варистора.

Далі вхідна напруга в БПН перетворюється в стабілізовану напругу величиною 40 В із струмом 1 А. Для генерації озону напруга подається на автономний інвертер АІ, і через високовольтний трансформатор ВТ живить генератор озону ГО.

Блок підготовки повітря БПП забезпечує очищення вхідного повітря від пилу та інших сторонніх частинок, а також знижує абсолютну вологість повітря для забезпечення ефективної роботи генератора.

Мікроконтролер МК забезпечує управління блоком підготовки повітря БПП, блоком живлення БЖ, системою управління інвертером СУ, вузлом охолодження ВО, та вузлом звукової індикації ВЗІ. Він також обмінюється інформацією із блоком підвищення напруги для забезпечення коректної роботи системи.

Управління озонатором здійснюється за допомогою пульта управління ПУ, вихідні дані з якого надходять до управляючого контролера УК. Від контролера також надходить інформація до вузла індикації ВІ, що слугує для візуального оповіщення оператора про введені команди управління.

Вузол звукової індикації ВЗІ необхідний для попередження користувача озонатором про його увімкнений стан, так як концентрація озону в повітрі, що виробляється, може бути шкідливою для людини.

2.2 Функціональна схема блоку підвищення напруги

Розробка блоку підвищення напруги озонатора є основною метою дипломного проекту. Його функціональна схема зображена на рисунку 2.2

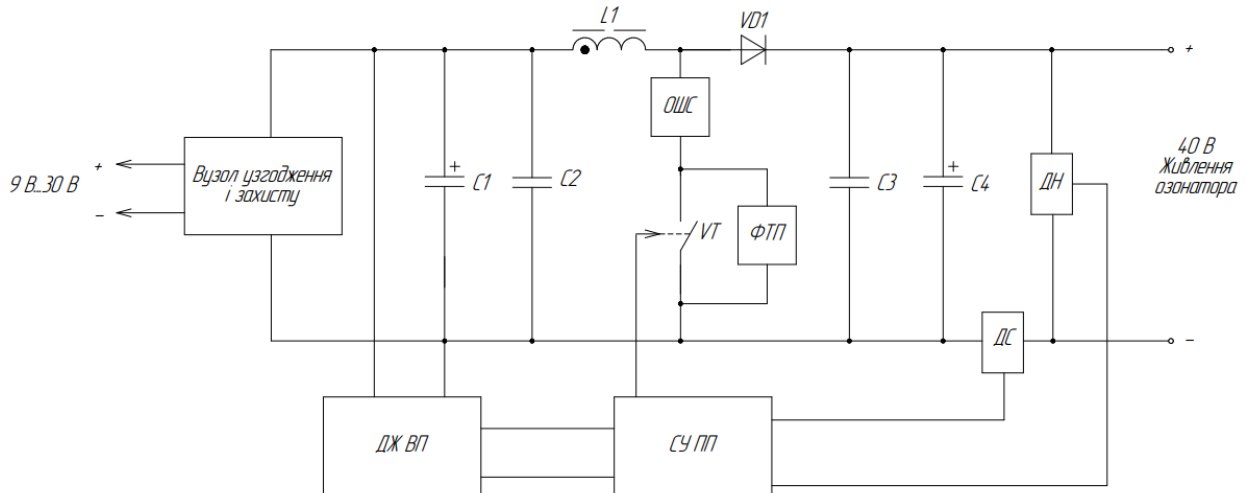


Рисунок 2.2 – Функціональна схема блоку підвищення напруги

Схема на рисунку вище включає наступні елементи:

- Вузол узгодження і захисту – слугує для захисту схеми від перенавантаження і неправильного підключення до джерела;
- Система управління перетворювача СУ ПП – забезпечує керування силовим ключем VT, відкриваючи і закриваючи його відповідно величині вхідної напруги;
- Джерело живлення власних потреб ДЖ ВП – генерує стабілізовану напругу величиною 5 В для живлення драйвера силового ключа;
- Датчик струму ДС і датчик напруги ДН – слугують для контролю вихідного струму і напруги відповідно та подають сигнал на систему управління;
- Формувач траєкторії переключення ФТП – необхідний для підсилення сигналу управління та формування такого сигналу, який може правильно та безпечно відкривати і закривати силовий ключ;

- Обмежувач швидкості струму ОШС – представляє собою силовий дросель і слугує для обмеження швидкості наростання струму, що надходить до силового ключа, з метою його захисту;
- Силовий дросель L1 та випрямляючий діод VD1 – базові компоненти перетворювача, що забезпечують його роботу. Дросель накопичує в собі енергію у першому такті роботи перетворювача, а діод у цей час тримає ланцюг L1-VT замкненим, не допускаючи енергію із дроселя в навантаження. У другому такті силовий ключ відкривається, і дросель через діод передає напругу, підвищену до необхідного значення, в навантаження.
- Електролітичні конденсатори C1 та C4 слугують ємкісними фільтрами, згладжуючи відповідно вхідний та вихідний струм. Неполарні конденсатори C2 і C3 потрібні для додаткового придушення високочастотних складових струму.

2.3 Принципова схема блоку підвищення напруги

Електрична принципова схема є найбільш важливою для опису роботи системи – вона відображує всі присутні елементи та електричні зв'язки між ними. Принципова схема БПН зображена на рисунку 2.3.

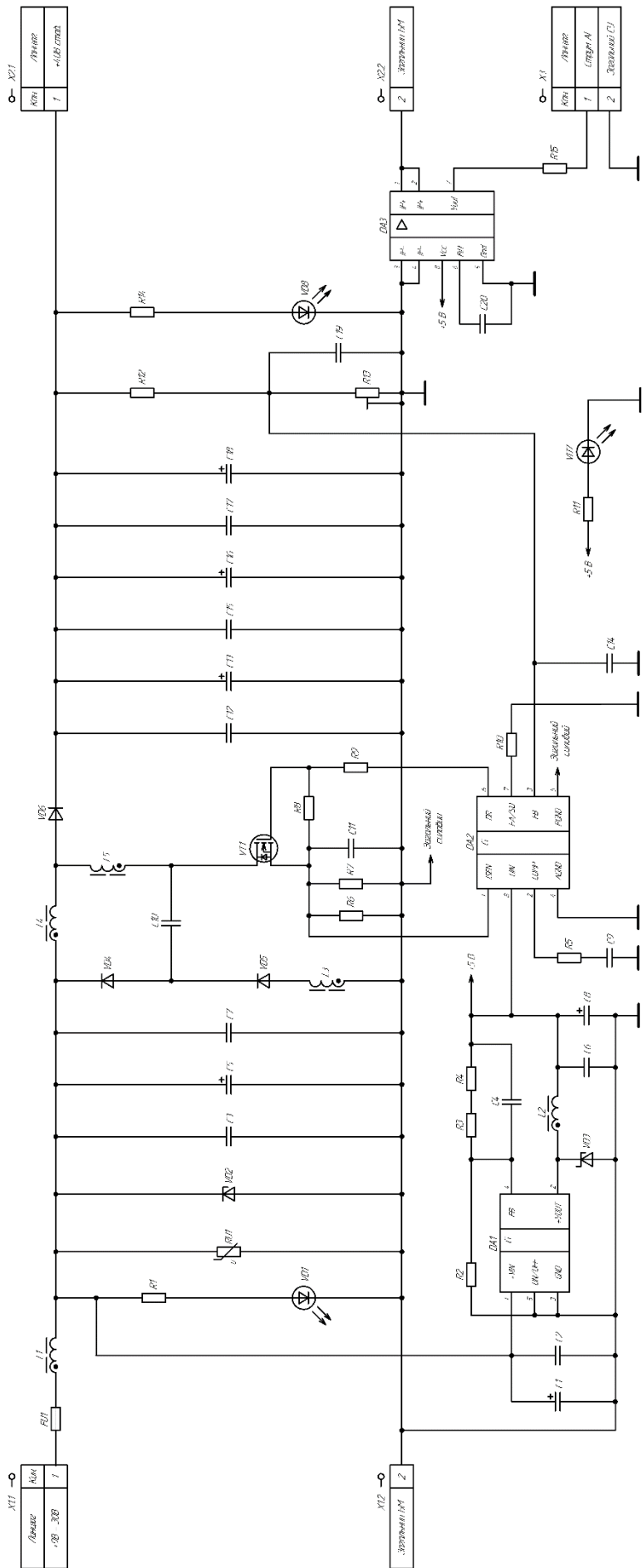


Рисунок 2.3 – Електрична принципова схема блоку підвищення напруги

Запобіжник FU1, силовий дросель L1, варистор RU1, та супресор VD2 є компонентами вузла узгодження та захисту схеми. Зокрема, L1 слугує для зниження електромагнітних перешкод, що можуть виникати в джерелі живлення. Також цей дросель утворює високочастотний фільтр із конденсаторами C3, C5, C7, відсікаючи змінну складову вхідного струму. Конденсатори C3 і C7 мають ємність 1 мкФ і призначені для подальшої фільтрації високочастотних сигналів.

RU1, FU1, та VD2 призначені для захисту схеми від перенавантаження. Вони поставлені так, щоб хоча б один елемент вчасно розімкнув вхідний ланцюг і зберіг систему від пошкоджень. VD2 також слугує захистом від неправильного підключення схеми до джерела.

На вході та виході схеми, а також на виході джерела стабілізованої напруги, присутні світлодіоди індикації – VD1, VD7, VD8. В процесі експлуатації за цими індикаторами можна швидко визначити несправності.

DA1 – мікросхема джерела стабілізованої напруги LM2594HVN-ADJ/NOPB, необхідна для забезпечення роботи драйвера силового ключа DA2. Модель ADJ із змінною вихідною напругою обрана через недоступність мікросхем із фіксованою напругою на українському ринку. Елементи C1, R2-R4, VD3, L2, C8 призначені для мікросхеми та обрані згідно її технічним характеристикам так, щоб на її виході утворювалась напруга +5 В. Також для усунення перешкод додатково поставлені конденсатори C4 та C6 у ланцюг зворотного зв'язку та вихідний ланцюг відповідно.

DA2 – високоефективний ШІМ-контроллер LM3488, призначений для перетворювачів в автомобільній та портативній техніці. Ця мікросхема має вбудований захист від перенавантаження, захист від пошкоджень низькою вхідною напругою, та захист від перегріву. Резистори R5, R10, та конденсатор C9 обрані згідно технічним характеристикам драйвера, C14 – додатковий фільтр.

Резистори R6 і R7 є резистивним датчиком струму, напруга з якого подається на вхід I_{sen} DA2. C11 – ще один додатковий фільтр.

Дросель L4 та силовий діод VD6 – базові компоненти перетворювача. Дросель вирішено створити свій, адже на ринку не було знайдено аналогів, що відповідають розрахункам.

Діоди VD4-VD5, дроселі L3, L5, та конденсатор C10 складають LCD-формував траекторії переключення (ФТП) силового ключа VT1. Призначенням ФТП є захист ключа від перенавантажень під час включення та вимкнення. Ці перенавантаження виникають при різкому припиненні протікання струму при вимкненні та просадці напруги при включенні. Крім цього, ФТП пригнічує паразитну індуктивність ключа.

Силовий ключ VT1 обрано із достатнім запасом робочої напруги і струму, щоб перешкодити його вигоранню у разі несправності. Резистор R8 слугує для захисту від електромагнітних перешкод.

Прийнято рішення скласти вихідний фільтр із трьох конденсаторів C13, C16, та C18 для більшої стійкості до імпульсних струмів та надійності. Паралельно до кожного з них поставлено додаткові високочастотні фільтри C12, C15, C17.

Резистивний датчик напруги, що складається із R12 та R13, підключений до входу зворотного зв'язку ШІМ-контролера. Було вирішено в якості R13 обрати резистор із підлаштуванням – хоча номінальний опір резисторів відповідає розрахункам, підлаштуванням можна виправити неточності вимірювання, що можуть виникнути через п'ятивідсотковий розкид їх параметрів.

Крім цього, на вихід схеми поставлено датчик струму на ефекті Холла ACS712. Він точно вимірює значення вихідної напруги та передає вихідні дані до контролеру автономного інвертера, що сприяє правильній роботі блоку інвертера та подальших блоків.

3 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК

Розрахунок імпульсного перетворювача постійної напруги з підвищенням напруги буде проводитися без врахування втрат. Вихідні дані:

- Вхідна напруга (номінальна) $E_{nom} = 15 \text{ В}$;
- Вхідна напруга (мінімальна) $E_{min} = 9 \text{ В}$;
- Вхідна напруга (максимальна) $E_{max} = 30 \text{ В}$;
- Вихідна напруга (номінальна) $U_{out} = 40 \text{ В}$;
- Робоча частота $f = 44 \text{ кГц}$;
- Струм навантаження $I_{out} = 1 \text{ А}$;
- Струм джерела (максимальний) $I_{s,max} = 6 \text{ А}$;
- Коефіцієнт запасу по струму $K_{res} = 1.5$;
- Коефіцієнт пульсації вхідного струму при максимальному вхідному струмі $K_{puls,in} = 0.1$;
- Магнітна проникність вакууму $\mu_0 = 1.25 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$;
- Допустима щільність струму $J_{max} = 4 \text{ А/мм}^2$;
- Коефіцієнт пульсації вихідної напруги при максимальному вихідному струмі $K_{puls,out} = 0.005$.

Розрахунок параметрів перетворювача приведений нижче.

Вибір силового діода:

Рекомендований середній струм силового діода VD

$$I_{vd,rec} = K_{res} \cdot I_{out} = 1.5 \cdot 1 = 1.5 \text{ А} \quad (3.1)$$

Рекомендований час виключення силового діода VD

$$t_{rr_vd_rec} = \frac{1}{f} = \frac{1}{44000} = 22.73 \text{ нс.} \quad (3.2)$$

Рекомендована зворотна напруга силового діода VD

$$U_{rr_vd_rec} = K_{res} \cdot U_{out} = 1.5 \cdot 40 = 60 \text{ В.} \quad (3.3)$$

За отриманими вище параметрами обрано діод SF23 виробництва фірми “Taiwan Semiconductor”. Його основні електричні параметри приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні електричні параметри силового діода SF23

Параметр	Позначення	Величина
Зворотна напруга, В	V_{rrm_vd}	150
Прямий струм, А	I_{f_vd}	2
Пряма напруга (при $I_{f_vd} = 2A$), В	V_{fm_vd}	0.95
Час вимикання діода, нс	t_{rr_vd}	35
Допустимий імпульсний струм, А	I_{fsm_vd}	50
Робоча температура, °С	T_{j_vd}	-65...+125

Розрахунок дроселя:

Коефіцієнт заповнення (мінімальний)

$$\gamma_{min} = 1 - \frac{E_{max}}{U_{out}} = 1 - \frac{30}{40} = 0.25. \quad (3.4)$$

Коефіцієнт заповнення (максимальний)

$$\gamma_{max} = 1 - \frac{E_{min}}{U_{out}} = 1 - \frac{9}{40} = 0.8. \quad (3.5)$$

Мінімальний час включення транзистора VT

$$t_{on_VT_min} = \frac{\gamma_{min}}{f} = \frac{0.25}{44000} = 5.68 \cdot 10^{-8} \text{ c} = 56.8 \text{ нс}. \quad (3.6)$$

Мінімальний час вимикання транзистора VT

$$t_{off_VT_min} = \frac{1 - \gamma_{max}}{f} = \frac{1 - 0.8}{44000} = 4.545 \cdot 10^{-8} \text{ c} = 45.4 \text{ нс}. \quad (3.7)$$

Потужність навантаження

$$P_{out} = I_{out} \cdot U_{out} = 1 \cdot 40 = 40 \text{ Вт}. \quad (3.8)$$

Порція енергії за період роботи перетворювача

$$W_{qvant} = \frac{P_{out}}{f} = \frac{40}{44000} = 9.091 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}. \quad (3.9)$$

Максимальний середній вхідний струм

$$I_{in_av_max} = I_{out} \cdot \left(\frac{1}{1 - \gamma_{max}} \right) = 1 \cdot \left(\frac{1}{1 - 0.8} \right) = 5 \text{ А}. \quad (3.10)$$

Мінімальний середній вхідний струм

$$I_{in_av_min} = I_{out} \cdot \left(\frac{1}{1 - \gamma_{min}} \right) = 1 \cdot \left(\frac{1}{1 - 0.25} \right) = 1.33 \text{ А}. \quad (3.11)$$

Коефіцієнт перевантаження джерела

$$K_{per_s} = \frac{I_{in_av_max}}{I_{s_max}} = \frac{5}{6} = 0.833. \quad (3.12)$$

Максимальна і мінімальне значення струму дроселя при мінімальному вхідному струмі

$$I_{L4low_max} = I_{in_av_min} \cdot (1 + K_{pulsin}) = 1.33 \cdot (1 + 0.1) = 1.46 \text{ A}. \quad (3.13)$$

$$I_{L4low_min} = I_{in_av_min} \cdot (1 - K_{pulsin}) = 1.33 \cdot (1 - 0.1) = 1.2 \text{ A}. \quad (3.14)$$

Індуктивність дроселя при критерії режимі безперервного струму

$$L4 = \frac{2 \cdot W_{qvant}}{I_{L4low_max}^2 - I_{L4low_min}^2} = \frac{2 \cdot 9.091 \cdot 10^{-4}}{1.46^2 - 1.2^2} = 2.63 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}. \quad (3.15)$$

Отже, розрахований дросель ЕІСПЗ ДП.19203.00.00.01.00 має такі параметри:

$$L = 270 \text{ мкГн};$$

$$I = 6 \text{ A}.$$

Максимальне і мінімальне значення струму дроселя при максимальному вхідному струмі

$$I_{L4hi_max} = I_{in_av_max} + \frac{E_{max} \cdot \gamma_{max}}{2 \cdot L4 \cdot f}; \quad (3.16)$$

$$I_{L4hi_max} = 5 + \frac{30 \cdot 0.8}{2 \cdot 2.63 \cdot 10^{-4} \cdot 44000} = 6.04 \text{ A}.$$

$$I_{L4hi_min} = I_{in_av_max} - \frac{E_{max} \cdot \gamma_{max}}{2 \cdot L4 \cdot f}; \quad (3.17)$$

$$I_{L4hi_min} = 5 - \frac{30 \cdot 0.8}{2 \cdot 2.63 \cdot 10^{-4} \cdot 44000} = 3.96 \text{ A.}$$

Розрахунок транзистора:

Рекомендований середній струм транзистора

$$I_{D_vt_rec} = K_{res} \cdot I_{L4hi_max} = 1.5 \cdot 6.04 = 9.056 \text{ A.} \quad (3.18)$$

Рекомендований час включення транзистора

$$t_{d_on_vt_rec} = t_{on_VT_min} = 56.8 \text{ нс.} \quad (3.19)$$

Рекомендований час вимикання транзистора

$$t_{d_off_vt_rec} = t_{off_VT_min} = 45.4 \text{ нс.} \quad (3.20)$$

Рекомендоване напруга закритого транзистора

$$V_{DSS_vt_rec} = K_{res} \cdot U_{out} = 1.5 \cdot 40 = 60 \text{ В.} \quad (3.21)$$

На основі розрахунків вибрано транзистор STP30NF10 виробництва фірми “STMicroelectronics”. Його параметри приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні електричні параметри транзистора STP30NF10

Параметр	Позначення	Величина
Максимальний середній струм, А	I_{D_vt}	35
Час затримки включення, нс	$t_{d_on_vt}$	15
Час затримки вимкнення, нс	$t_{d_off_vt}$	45
Напруга закритого транзистора, В	V_{DSS_vt}	100
Опір каналу у відкритому стані, Ом	$R_{DS_on_vt}$	0.045
Допустимий імпульсний струм, А	I_{DM_vt}	140
Напруга сигналу управління, В	V_{gs_vt}	20
Максимальна потужність, що розсіюється, Вт	P_{D_vt}	115
Робоча температура, °С	T_{j_vt}	-55...+175
Вхідна ємність, пФ	C_{iss}	1180
Швидкість наростання струму, А/мкс	di/dt_{vt}	400

Для захисту від електромагнітних перешкод перехід затвор-витік транзистора шунтується резистором R8 опором 1 кОм. Виходячи з того, що ємність затвора транзистора VT1 заряджається до величини напруги живлення від ШІМ-контролера U_{DR} :

$$I_{R8} = \frac{U_{DR}}{R7} = \frac{7.2}{1000} = 7.2 \text{ мА.} \quad (3.22)$$

Обрано резистор R8 R-1206 1,0 кОм $\pm 1\%$ muRata.

Максимальний вихідний струм ШІМ-контролера дорівнює $I_{DR} = 1 \text{ А}$, отже

$$R_9 = \frac{U_{DR}}{I_{DR}} = \frac{7.2}{1} = 7.2 \text{ Ом.} \quad (3.23)$$

Потужність, що виділяється в резисторі R9, дорівнює

$$P_{R9} = 2 \cdot \frac{C_{iss} \cdot U_{DR}^2}{2} \cdot f = 1180 \cdot 10^{-12} \cdot 7.2^2 \cdot 44000 = 0.003 \text{ Вт.} \quad (3.24)$$

Обрано резистор R9 7.5R 0.5W CFR 5%.

В якості матеріалу магнітопроводу дроселя L4 було обрано альсифер.

Проникність сердечника L4

$$\mu_1 = 125$$

Максимальна індукція сердечника L4

$$B_{m4} = 1$$

Рекомендований об'єм магнітопроводу L4

$$V_{L4_rec} = \frac{1 \cdot I_{L4hi_max}^2 \cdot L4 \cdot \mu_1 \cdot \mu_0}{B_{m4}^2}, \quad (3.25)$$

$$V_{L4_rec} = \frac{1 \cdot 3.96^2 \cdot 2.63 \cdot 10^{-4} \cdot 125 \cdot 1.25 \cdot 10^{-6}}{1^2} = 1.497 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Обраний тип магнітопроводу – тороїдальний сердечник 58 x 26 x 16.

Довжина магнітопроводу

$$l_{L4} = 131.3 \text{ мм.}$$

Площа магнітопроводу

$$S_{L4} = 234 \text{ мм}^2.$$

Обсяг магнітопроводу обраний

$$V_{L4} = 30720 \text{ мм}^3.$$

Коефіцієнт насичення магнітопроводу

$$K_{nas_L4} = \frac{V_{L4_rec}}{V_{L4}} = \frac{1497}{30720} = 0.049. \quad (3.26)$$

Рекомендована кількість витків

$$\omega_{L4_rec} = \sqrt{\frac{L4 \cdot l_{L4}}{S_{L4} \cdot \mu_0 \cdot \mu_1}} = \sqrt{\frac{2.63 \cdot 10^{-4} \cdot 0.1313}{2.34 \cdot 10^{-4} \cdot 125 \cdot 1.25 \cdot 10^{-6}}} = 30.73. \quad (3.27)$$

Обрана кількість витків

$$\omega_{L4} = 25.$$

Реальна індукція

$$BB = \frac{\mu_0 \cdot \mu_1 \cdot \omega_{L4} \cdot I_{L4hi_max}}{l_{L4}} = \frac{125 \cdot 1.25 \cdot 10^{-6} \cdot 25 \cdot 3.96}{0.1313} = 0.18. \quad (3.28)$$

Рекомендований перетин дроту

$$\sigma_{L4_rec} = \frac{I_{L4hi_max}}{J_{max}} = \frac{3.96}{4} = 1.509 \text{ мм}^2. \quad (3.29)$$

Рекомендований діаметр проводу, мм

$$D_{cu_rec} = \sqrt{\frac{4 \cdot \sigma_{L4_rec}}{3.14}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.509}{3.14}} = 0.783 \text{ мм}. \quad (3.30)$$

Обраний діаметр проводу

$$D_{cu} = 1.6 \text{ мм.}$$

Обраний перетин проводу

$$\sigma_{L4} = 3.14 \cdot \frac{D_{cu}^2}{4} = 3.14 \cdot \frac{1.6^2}{4} = 2 \text{ мм}^2. \quad (3.31)$$

Сумарний перетин мідних провідників

$$S_{cu} = \sigma_{L4} \cdot \omega_{L4} = 2 \cdot 25 = 50.24 \text{ мм}^2. \quad (3.32)$$

Перетин вікна магнітопроводу

$$S_{окн} = 201.1 \text{ мм}^2.$$

Коефіцієнт заповнення вікна

$$K_{заповкн} = \frac{S_{cu}}{S_{окн}} = \frac{50.24}{201.1} = 0.25. \quad (3.33)$$

Розрахунок формувача траєкторії переключення (ФТП):

Заряд зворотного відновлення діода

$$q_{VD} = 8.2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл} = 8200 \text{ нКл.}$$

Дросель з умови "заряду зворотного відновлення"

$$L3_{qvд} = \frac{2 \cdot q_{VD} \cdot U_{out}}{I_{D_vt}} = \frac{2 \cdot 8.2 \cdot 10^{-6} \cdot 40}{32} 4.1 \cdot 10^{-5} \text{ Гн} = 18.7 \text{ мкГн.} \quad (3.34)$$

Дросель з умови "обмеження di/dt"

$$L3_{didt} = \frac{U_{out}}{di/dt_{vt}} = \frac{40}{40 \cdot 10^7} = 1.9 \cdot 10^{-7} \text{ Гн} = 0.1 \text{ мкГн.} \quad (3.35)$$

Обрано дроселі L3, L5 SDRH129-100N 10 мкГн 6.7 А.

Задане відносне перенапруження на транзисторі

$$K_{res_VT} = 3$$

Розрахунок конденсатора ФТП

$$C_{10} = \frac{L5 \cdot I_{L4hi_max}^2}{(U_{out} \cdot K_{res_VT})^2} = \frac{10 \cdot 10^{-6} \cdot 3.96^2}{(40 \cdot 3)^2} = 2.531 \cdot 10^{-8} \text{ Ф.} \quad (3.36)$$

Обрано конденсатор CL21X mini 27nF 100V $\pm 5\%$.

Діоди формувача траєкторії переключення VD4, VD5 обрано такі ж, як і основний діод – SF23 виробництва Taiwan Semiconductor.

Ємність вихідного фільтра

$$C_{out} = \frac{I_{out}}{f \cdot K_{puls_out} \cdot U_{out}} = \frac{1}{f \cdot 0.005 \cdot 40} = 113.636 \text{ мкФ.} \quad (3.37)$$

У якості вихідного фільтра обрано три електролітичні конденсатори C13, C16, C18 – EEUEB1J470-Panasonic 47 μ F 63V, а також для придушення високочастотних складових струму паралельно до них поставлено неполярні конденсатори C12, C15, C17 1206 1 μ F 100V X7R (CL31B105KCHNNNE).

На вхід приладу поставлено запобіжник 3.6x10мм F8A, з параметрами:

- Максимальний робочий струм – 8 А;
- Максимальна робоча напруга 250 В;
- Швидкодія – Fast.

Розрахунок вхідного фільтра:

Максимальний час заряду конденсатора

$$t_{Cin_q_max} = \gamma_{max} \cdot \frac{1}{f} = 0.8 \cdot \frac{1}{44000} = 18.18 \cdot 10^{-6} \text{ с.} \quad (3.38)$$

Ємність вхідного конденсатора

$$C_{in} = \frac{I_{s_max} \cdot t_{Cin_q_max}}{E_{min}} = \frac{6 \cdot 18.18 \cdot 10^{-6}}{9} = 12.12 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.} \quad (3.39)$$

Обрано вхідний конденсатор C5 – HL 15uF 450V 13*21 105C, а також паралельно йому поставлено два неполярні конденсатори 1206 1uF 100V X7R (CL31B105KCHNNNE).

Розрахунок ШІМ-контролеру:

Для управління перетворювачем обрано ШІМ-контролер LM3488 виробництва фірми Texas Instruments, для якого потрібно розрахувати датчик напруги та струму. Так як струм зворотного зв'язку контролера $I_{FB} = 15 \text{ нА}$, струм дільника повинен бути на декілька порядків вище, аби він не впливав на вхідний сигнал зворотного зв'язку контролера.

Обраний струм дільника

$$I_{del} = 10^{-3} \text{ А.}$$

Напруга зворотного зв'язку контролера

$$U_{FB} = 1.26 \text{ В.}$$

Розрахунок опору та потужності резистора R11 для резистивного датчика напруги

$$R_{vs1} = \frac{U_{out} - U_{FB}}{I_{del}} = \frac{40 - 1.26}{10^{-3}} = 38.74 \cdot 10^3 \text{ Ом.} \quad (3.40)$$

$$P_{R_{vs1}} = (40 - 1.26) \cdot 10^{-3} = 0.039 \text{ Вт.}$$

Обрано резистор R12 для датчика напруги, 39K 0.5W CFR 5%.

Розрахунок опору та потужності резистора R12

$$R_{vs2} = \frac{U_{out}}{I_{del}} - R9 = \frac{40}{10^{-3}} - 39000 = 1 \cdot 10^3 \text{ Ом.} \quad (3.41)$$

$$P_{R_{vs2}} = U_{out} \cdot I_{del} - P_{R_{vs1}} = 40 \cdot 10^{-3} - 0.039 = 0.001 \quad (3.42)$$

Обрано підстроювальний резистор R13 1 kOhm VTR-A-3296W-102-R VTRons.

За технічними даними ШІМ-контролера на сенсорний вхідний контакт подається напруга, що генерується через зовнішній резистор і дорівнює $U_{sen} = 0.6 \text{ В}$.

Розрахунок резистора R_{is} для резистивного датчика струму

$$R_{is} = \frac{U_{sen}}{I_{in_av_max}} = \frac{0.6}{5} = 0.12 \text{ Ом.} \quad (3.43)$$

$$P_{R_{is}} = U_{sen} \cdot I_{in_av_max} = 0.6 \cdot 5 = 3 \text{ Вт.} \quad (3.44)$$

Обрано паралельні резистори R6, R7 для датчику струму: MOR300SJTB-0R15-Hitano 0,15 Ohm 5% 3W та MOR300SJTB-0R51-Hitano 0,51 Ohm 5% 3W.

В системі індикації використовуються червоні світлодіоди, які мають пряму напругу 2 В при струмі в 20 мА

$$U_{LED} = 2$$

$$I_{LED} = 20 \cdot 10^{-3}$$

Розрахунок резистора R1 для системи індикації на вході

$$R1 = \frac{E_{max} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{30 - 2}{20 \cdot 10^{-3}} = 1.4 \cdot 10^3 \text{ Ом.} \quad (3.45)$$

$$P_{R1} = (E_{max} - U_{LED}) \cdot I_{LED} = (30 - 2) \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0.56 \text{ Вт.} \quad (3.46)$$

Обрано резистор R1 – CR100JTB-1K5R-Hitano 1,5 kOhm 5% 1W.

Розрахунок резистора R14 для системи індикації на виході

$$R14 = \frac{U_{out} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{40 - 2}{20 \cdot 10^{-3}} = 1.9 \cdot 10^3 \text{ Ом.} \quad (3.47)$$

$$P_{R14} = (U_{out} - U_{LED}) \cdot I_{LED} = (40 - 2) \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0.76 \text{ Вт.} \quad (3.48)$$

Обрано резистор R14 – CR100JTB-2KR-Hitano 2 kOhm 5% 1W.

Розрахунок резистора для системи індикації на виході стабілізованого джерела +5 В

$$R11 = \frac{U_{5v} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{5 - 2}{20 \cdot 10^{-3}} = 150 \text{ Ом.} \quad (3.49)$$

$$P_{R11} = (U_{5v} - U_{LED}) \cdot I_{LED} = (5 - 2) \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0.06 \text{ Вт.} \quad (3.50)$$

Обрано резистор CR100JTB-150R-Hitano 150 Ohm 5% 1W.

Конденсатори C1, C2, C4, C6, C8, діод VD3, силовий дросель L2, та резистори R2, R3, R4 обираються згідно з технічними даними стабілізатора напруги LM2594HVN-ADJ/NOPB.

Конденсатор C9 та резистори R5, R10 обираються згідно з технічними даними ШІМ контролера LM3488.

Резистор R15 та конденсатор C20 обираються згідно з технічними даними датчика струму ACS712 Allegro MicroSystems.

3.1 Моделювання електромагнітних процесів

За розрахунками вище було створено спрощену модель перетворювача в програмі Micro Cap 12. Сама модель зображена на рисунку 3.1, а часові діаграми, отримані при її дослідженні – на рисунках 3.2 – 3.4.

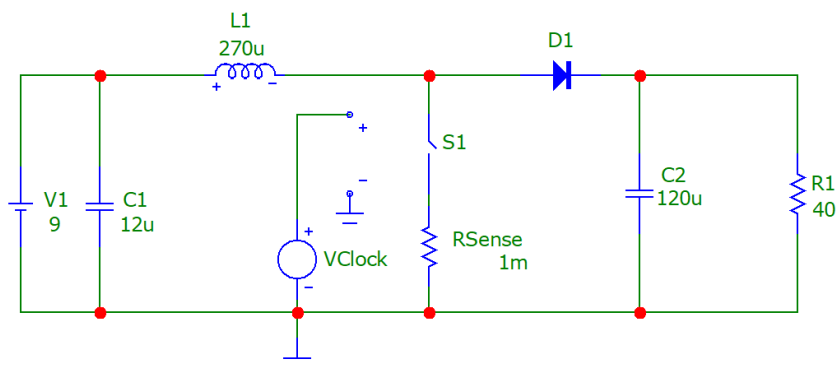


Рисунок 3.1 – Спрощена модель перетворювача

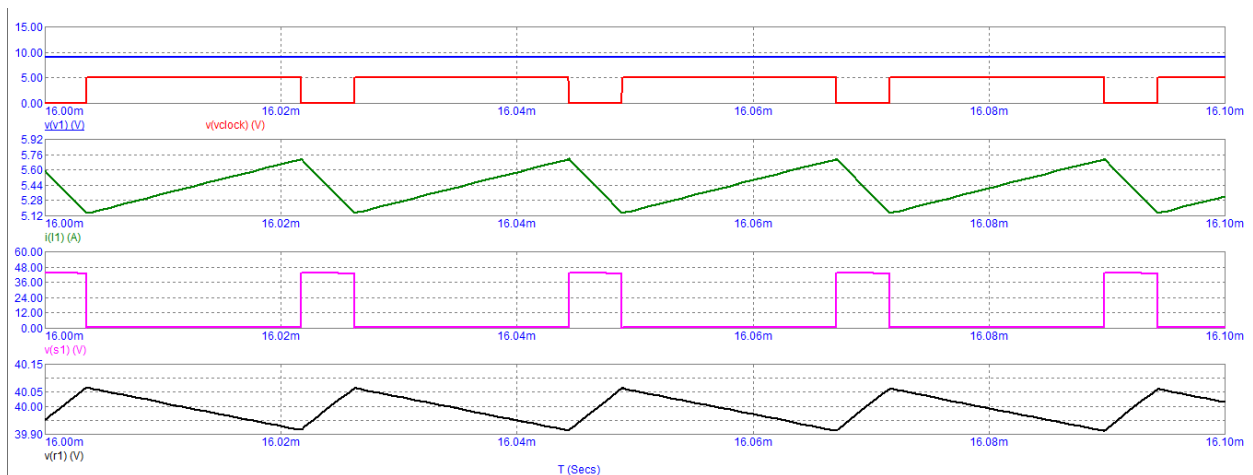


Рисунок 3.2 – Часові діаграми роботи перетворювача при E=9

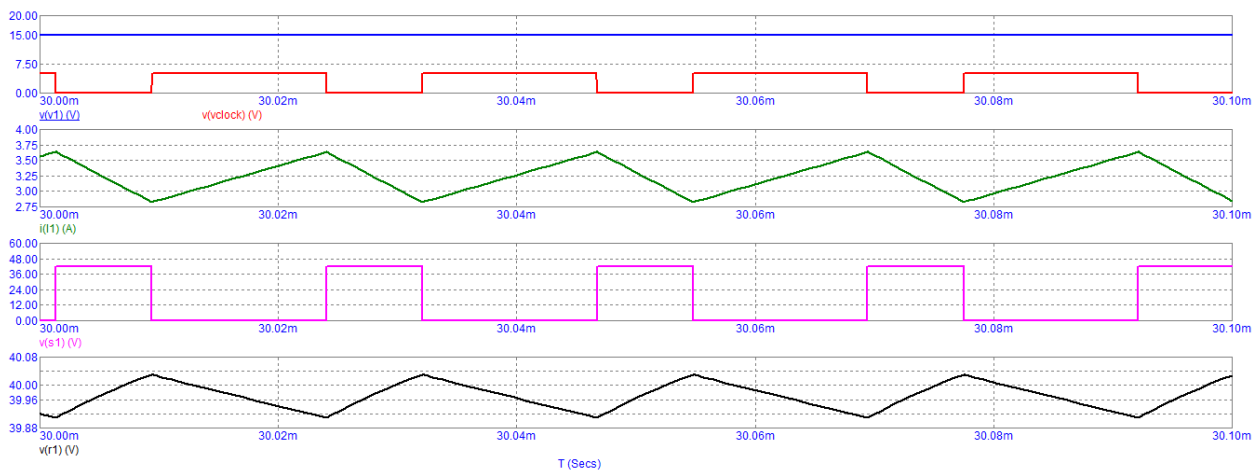


Рисунок 3.3 – Часові діаграми роботи перетворювача при $E=15\text{ В}$

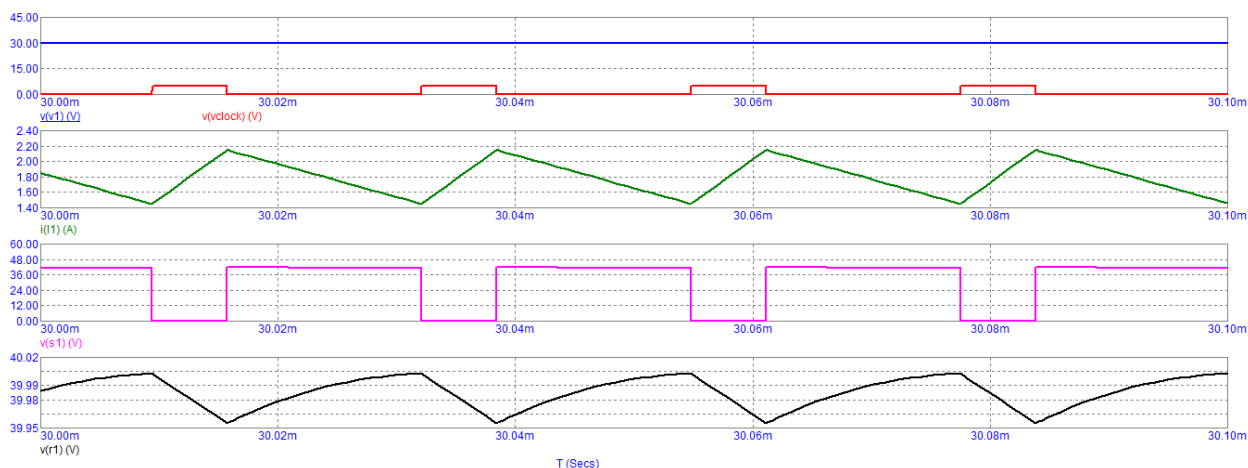


Рисунок 3.4 - Часові діаграми роботи перетворювача при $E=30\text{ В}$

Із часових діаграм видно, що при всьому заданому діапазоні вхідних напруг модель схеми працює вірно і на виході присутня стабільна напруга в 40 В. Також видно, що струм на дроселі L1 дійсно є неперервним, а його пульсації є досить невеликі.

4 ТЕХНОЛОГІЯ МОНТАЖУ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

Одним із найважливіших етапів розробки електронної схеми та її перетворення на готовий продукт є паяння компонентів на друковану плату – процес з'єднання виводів компонентів та доріжок плати за допомогою припою. Процес паяння передбачає нагрівання поверхонь, що з'єднуються, і розплавлення припою, якому потім дають охолонути й затвердіти, утворюючи міцне та довговічне з'єднання. Паяння є важливою навичкою для багатьох галузей промисловості, і воно вимагає поєднання технічних знань і практичного досвіду для досягнення хороших результатів.

При невеликих об'ємах робіт паяння часто виконується вручну, але при масовому виготовленні плат або виготовленні складних виробів перевага надається автоматизованому паянню з використанням спеціалізованого робота. Приклад паяльного робота зображений на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Паяльний робот NU-200 виробництва фірми Накко

Паяльний робот — це повністю автоматизована система, яка виконує призначене завдання, встановлене спеціальною програмою, з максимальною

точністю та повторюваністю. Для кожного з'єднання програма дозволяє створити свій профіль пайки. Такі роботи використовують джерело живлення потужністю 150-300 Вт, кероване системою управління із тепловим зворотнім зв'язком.

4.1 Технологія автоматизованого паяння друкованих плат

Технологічний процес автоматизованого паяння компонентів на друковану плату наведено нижче.

1. Установка обладнання

Типова автоматизована паяльна станція складається із паяльного робота, пристрою подачі припою, пристрою очищення паяльника, та управляючого комп'ютера. Для правильної роботи станції всі ці компоненти мають бути встановлені згідно інструкції з експлуатації та підключені до управляючого комп'ютера. Також необхідно заземлити робот і встановити зовнішній аварійний вимикач. Після того, як робот було вперше включено, потрібно встановити на вбудований комп'ютер програмне забезпечення для управління пайкою, та оновити його при необхідності.

2. Установка припою та створення програми подачі припою

На рисунку 4.2 зображено пристрій подачі припою.

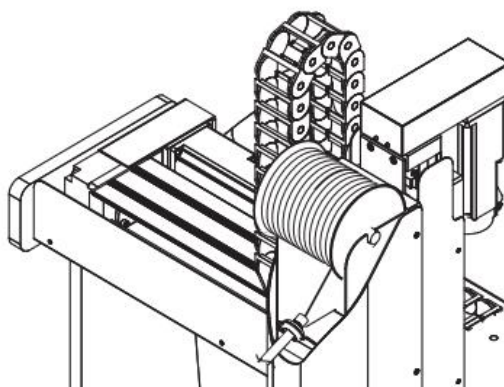


Рисунок 4.2 – Пристрій автоматизованої подачі припою

Котушку з припоєм необхідно встановити в пристрій подачі згідно з інструкцією. Далі в програмі пайки проводиться налаштування подачі припою, такі як швидкість подання, довжина поданого припою, температура і тривалість нагріву. Тут також можна створити окремі програми для різних видів припою, а також для точкової або протяжної пайки. На рисунку 4.3 зображено інтерфейс програми подачі припою.

Solder Feed Program >>	UNIT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperature setting	°C	90	200	300				350	350	350	350
Primary feed length	mm	1.0	15.0	10.0	10.0	15.0	50.0	99.9	99.9	99.9	99.9
Primary feed speed	mm/s	30.0	30.0	30.0	10.0	30.0	30.0	10.0	10.0	50.0	99.9
Primary back feed length	mm	0.6	2.0	10.0	10.0	2.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Primary back feed speed	mm/s	30.0	40.0	40.0	10.0	40.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Primary heat time	sec	1.0	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Secondary feed length	mm	0.1		5.0		18.0	50.0	50.0	99.9	99.9	99.9
Secondary feed speed	mm/s	20.0	30.0	30.0	50.0	30.0	10.0	10.0	10.0	50.0	99.9
Secondary back feed length	mm	10.0	2.0	0.0		2.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Secondary back feed speed	mm/s	40.0	40.0			40.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Secondary heat time	sec	0.5	0.1	0.1		0.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tertiary feed length	mm	10.0		10.0			50.0	50.0	99.9	99.9	99.9
Tertiary feed speed	mm/s	30.0		23.0			10.0	10.0	10.0	50.0	99.9
Tertiary back feed length	mm	1.0		10.0			2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tertiary back feed speed	mm/s	30.0		50.0			40.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tertiary heat time	sec	0.5		1.0			1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Рисунок 4.3 – Зовнішній вигляд програми подачі припою

Із рисунку вище видно, що програмним способом можна задати всі необхідні умови використання припою. Кожна вертикальна колона таблиці представляє собою окрему програму, а всього їх можна створити декілька сотень, в залежності від марки робота.

3. Створення програми пайки

Для початку паяння необхідно задати в програмі координати початкової та кінцевої позиції жала паяльника. Координати можна встановити вручну за допомогою пульта управління і зберегти їх в програмі пайки, або можна занести потрібні координати безпосередньо до комп'ютера (рис. 4.4).

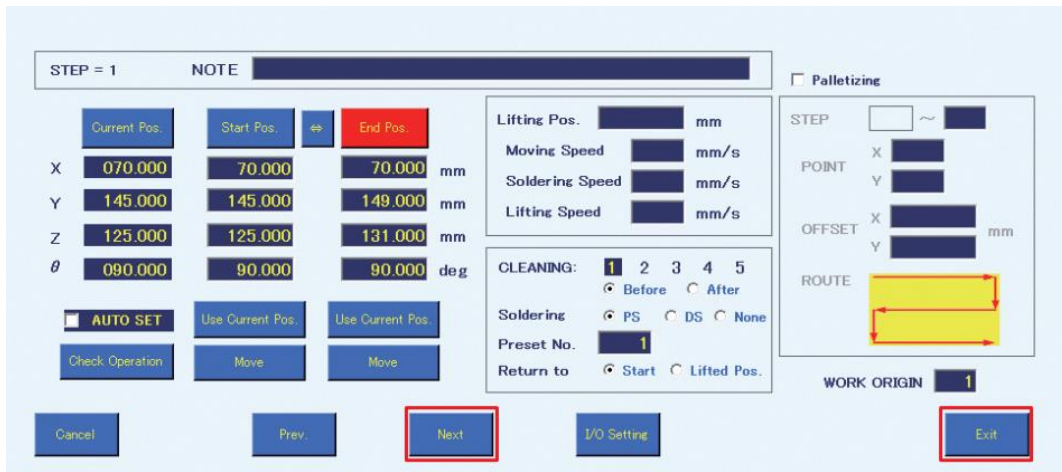


Рисунок 4.4 – Інтерфейс налаштування першого кроку програми пайки

На екрані програми вище можна побачити внесені координати початкової та кінцевої позиції жала паяльника, а також кут його повороту. Також на панелі справа присутні налаштування швидкості пайки, висоти підняття жала під час роботи, кількості очищень паяльника, що має зробити робот, типу пайки (точкова або протяжна), а також позиції паяльника, до якої він має повернутись після завершення програми.

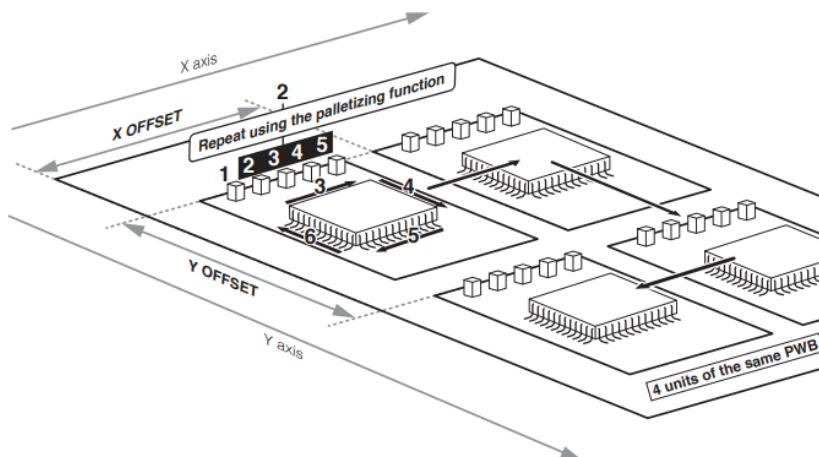
Далі програма першого кроку зберігається, та створюються окремі програми для кожного кроку процесу пайки (рис. 4.5).

STEP	X0	Y0	Z0	$\theta 0$	X1	Y1	Z1	$\theta 1$	O	Z	P	D	I/O
1	70.000	145.000	125.000	90.000	70.000	149.000	131.000	90.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	**C***
2	65.000	145.000	125.000	90.000	65.000	149.000	131.000	90.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	
3	60.000	145.000	125.000	90.000	60.000	149.000	131.000	90.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	***S*
4	55.000	145.000	125.000	90.000	55.000	149.000	131.000	90.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	***Z**
5	50.000	145.000	125.000	90.000	50.000	149.000	131.000	90.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	**C***
6	50.000	165.000	130.000	90.000	75.000	165.000	130.000	90.000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	**C*S*
7	80.000	170.000	130.000	0.000	80.000	195.000	130.000	0.000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	***S*
8	75.000	200.000	130.000	-90.000	50.000	200.000	130.000	-90.000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	***S*
9	45.000	195.000	130.000	-180.000	45.000	170.000	130.000	-180.000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	**CZS*

Рисунок 4.5 – Завершена програма пайки із 9 кроками

Окремі кроки процесу паяння можна об'єднати в одну програму – так звана функція палетування. На рисунку 4.6 зображено приклад використання

декількох “палет” для пайки чотирьох однакових друкованих плат за однією програмою.



STEP	X0	Y0	Z0	$\theta 0$	X1	Y1	Z1	$\theta 1$	O	Z	P	D	I/O
1	50 000	145 000	125 000	90 000	50 000	149 000	131 000	90 000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	##C##P
2	55 000	145 000	125 000	90 000	55 000	149 000	131 000	90 000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	####P
3	50 000	165 000	130 000	90 000	75 000	165 000	130 000	90 000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	##C*S#
4	80 000	170 000	130 000	0 000	80 000	195 000	130 000	0 000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	####S#
5	75 000	200 000	130 000	-90 000	50 000	200 000	130 000	-90 000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	####S#
6	45 000	195 000	130 000	-180 000	45 000	170 000	130 000	-180 000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	##C*S#
7									<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
8									<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	

Рисунок 4.6 – Програма пайки із 6 кроків та ілюстрація її виконання на чотирьох однакових платах

До складу програм пайки можна додати такі команди, як очистка паяльника після визначеного кроку, або виконання наступної частини програми тільки після команди оператора.

4. Виклик і запуск програми

Безпосередньо перед кожним запуском програми необхідно перевірити всі з'єднання робота. Робоче місце повинне бути чистим, а весь робочий персонал має відійти від робота на відстань, визначену інструкцією з експлуатації.

Програма паяння обирається оператором на управляючому комп'ютері, і перед запуском автоматично перевіряються всі задані налаштування на відповідність нормальним умовам роботи.

Далі друкована плата і електронні компоненти розміщуються на столі робота, і оператор здійснює так званий сухий запуск, де робот здійснює всі кроки програми із вимкненим паяльником. Це дозволяє оператору перевірити правильність позицій жала паяльника та положення плати. Інтерфейс сухого запуску зображено на рисунку 4.7.

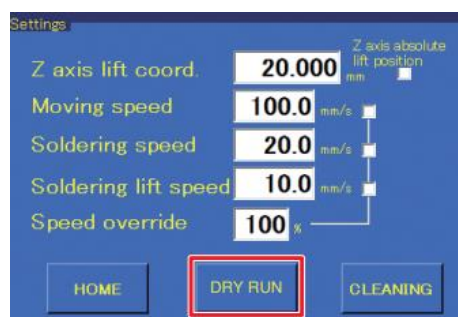


Рисунок 4.7 – Інтерфейс сухого запуску програми паяння

Після сухого запуску і перевірки правильності програми виконується запуск безпосередньо процесу паяння. На екрані комп'ютеру оператор може побачити крок, який робот виконує у певний момент, час до завершення програми, а також може здійснити аварійну зупинку робота у разі виявлення несправності.

Після завершення програми на екрані комп'ютера з'являється відповідне повідомлення, після чого оператор може забрати готову друковану плату або запустити наступну програму пайки.

4.2 Охорона праці

Заходи з охорони праці при монтажі та експлуатації електроустановок передбачаються з урахуванням вимог наступних документів:

- Закон України "Про охорону праці" від 01.01.2004р. №229-1У;
- ДСТУ 2783-94 – Монтаж електричний радіоелектронної апаратури та приладів. Загальні вимоги до монтажу виробів електронної техніки та електротехнічних на друковані плати;
- НПАОП 40.1-1.01-97 – Правила безпечної експлуатації електроустановок;
- ПУЕ-2017 – Правила улаштування електроустановок;
- СНиП 3.05.06-85 – Электротехнические устройства;
- ДБН В.2.5-27-2006 – Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд;
- НПАОП 0.00-5.26-01 – Інструкція з охорони праці під час виконання електромонтажних робіт на висоті.

4.3 Вимоги з охорони праці для працівників, що виконують монтаж, випробування і вимірювання в електроустановках

При виконанні монтажних 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. Усі працівники, які отримали завдання на виконання роботи в електроустановці, повинні чітко знати, до якої категорії щодо заходів безпеки належить дана робота, і залежно від цього застосовувати відповідні заходи безпеки.

Перед початком виконання робіт без зняття напруги далеко від струмопровідних частин необхідно вивчити робоче місце, щоб визначити, де поблизу розташовані електроустановки, що знаходяться під напругою; вжити заходів, що запобігають проникненню працівників на ці електроустановки.

У разі виникнення ситуацій, що становлять небезпеку для здоров'я та життя, (пошкодження корпусів або кожухів електроустановки, живильних кабелів і шинопроводів, обриви проводів, що живлять, або кабелів тощо) працювати в електроустановці забороняється. Слід вжити заходів, що запобігають небезпеці ураження електричним струмом.

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.

При попаданні будь-кого з працівників під електричну напругу, необхідно негайно звільнити потерпілого від дії струму, дотримуючись вимог електробезпеки. Для цього слід відповідним вимикачем або роз'єднувачем швидко відключити напругу з електроустановки, якої стосується потерпілий. Якщо відключити швидко неможливо, слід вжити заходів для відокремлення потерпілого від струмопровідних частин електроустановки. При цьому необхідно застосовувати захисні засоби, або (тільки в електроустановках до 1000В) підручні предмети з ізолюючими властивостями.

Несправності в електромережах та обладнанні, які можуть викликати іскріння, коротке замикання або перегрів повинні негайно ліквідуватися. Пошкоджену електромережу необхідно відключити до приведення її в пожежобезпечний стан. Для гасіння пожежі на електроустановках, що під напругою, застосовуються вогнегасники вуглекислотного типу ОУ2, ОУ5, ОУ8 тощо. Обслуговуючий персонал повинен пройти відповідний інструктаж і суворо дотримуватися вимог Інструкції щодо забезпечення пожежної безпеки.

4.4 Розрахунок пристрою заземлення

Розрахунок заземлюючого пристрою зводиться до розрахунку заземлювача, так як заземлюючі провідники в більшості випадків приймають за умовами механічної міцності і стійкості до корозії.

Нормований опір заземлення відповідно до ПУЕ становить 4 Ом. Контур заземлення передбачається спорудити з зовнішньої сторони з розташуванням вертикальних електродів по контуру. В якості вертикальних заземлювачів приймаються електроди з розміром 18 мм і довжиною 3 м, які занурюються в ґрунт. Верхні кінці електродів мають залягати на глибині 0.5

м від поверхні землі. До них приварюються горизонтальні електроди з тієї ж стали, що і вертикальні електроди.

Попередньо з урахуванням площі (20x15м), займаної об'єктом, приймається розташування заземлювачів по периметру довжиною 70 м.

Параметри двошарового ґрунту в місці спорудження, кліматичні коефіцієнти та інші вихідні дані для розрахунку зведені в таблиці 4 .1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку заземлювального пристрою

Позначення	Найменування	Од. вим.	Значення
R_n	Нормований опір розтікання струму в землю	Ом	4
ρ	Питомий опір ґрунту (супісок)	Ом*м	300
d	Діаметр стержня	мм	18
L	Довжина вертикального заземлювача	м	3
H	Товщина верхнього шару ґрунту	м	1
$t_{\text{смуги}}$	Глибина закладення горизонтального заземлювача	м	0.5
t	Відстань від поверхні землі до середини заземлювача	м	2
k_1	Кліматичний коефіцієнт для вертикальних електродів	–	1.9
k_2	Кліматичний коефіцієнт для горизонтальних електродів	–	5.75
b	Ширина сталевієї смуги	мм	50
l_e	Довжина горизонтального заземлювача	м	70

Опір розтіканню одного вертикального електрода визначається за формулою:

$$r_{\text{в}} = \frac{0.366 \cdot k_1 \cdot \rho}{L} \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot L}{0.95 \cdot d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} \right) \right), \quad (4.1)$$

$$r_{\text{в}} = \frac{0.366 \cdot 1.9 \cdot 300}{3} \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot 3}{0.95 \cdot 0.018} \right) + \frac{1}{2} \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} \right) \right) = 188.89 \text{ Ом.}$$

Передбачувана кількість вертикальних заземлювачів:

$$n_{\text{пр}} = \frac{r_{\text{в}}}{R_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{в}}}, \quad (4.2)$$

де $\eta_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів.

$$n_{\text{пр}} = \frac{188.89}{4 \cdot 0.66} = 71.55 = 72 \text{ шт.} \quad (4.3)$$

Таблиця 4.2. Параметри вертикальних і горизонтальних заземлювачів

Позначення	Найменування	Од. вим.	Значення
$\eta_{\text{в}}$	коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів	–	0.66
$\eta_{\text{г}}$	коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів	–	0.36
h	Відстань між заземлювачами	м	5.83

Опір горизонтального заземлювача:

$$r_{\Gamma} = \frac{0.366 \cdot k_2 \cdot \rho}{l_{\Gamma} \cdot \eta_{\Gamma}} \cdot \lg \left(\frac{2l_{\Gamma}^2}{b \cdot t_{\text{смуги}}} \right), \quad (4.4)$$

$$r_{\Gamma} = \frac{0.366 \cdot 5.75 \cdot 58.065}{70 \cdot 0.36} \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot 70^2}{0.05 \cdot 0.5} \right) = 140.132 \text{ Ом.}$$

Опір вертикальних заземлювачів R:

$$R = \frac{R_{\text{н}} \cdot r_{\Gamma}}{r_{\Gamma} - R_{\text{н}}} = \frac{4 \cdot 140.132}{140.132 - 4} = 4.118 \text{ Ом.} \quad (4.5)$$

З урахуванням повного опору вертикальних заземлювачів уточнена кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням сполучної смуги визначається за формулою:

$$n = \frac{r_{\text{в}}}{R \cdot \eta_{\text{в}}} = \frac{188.89}{4.7 \cdot 0.66} = 60.895 = 61 \text{ шт.} \quad (4.6)$$

Приймається до установки 61 вертикальний заземлювач, загальна довжина горизонтального заземлювача 70 м при середній відстані між вертикальними заземлювачами 5.83 м.

4.5 Рекомендації по монтажу заземлюючого пристрою

Монтажні параметри одиночного заземлювача в ґрунті вказані на рисунку 4.2.1, а конструкція заземлюючого пристрою на рисунку 4.2.2.

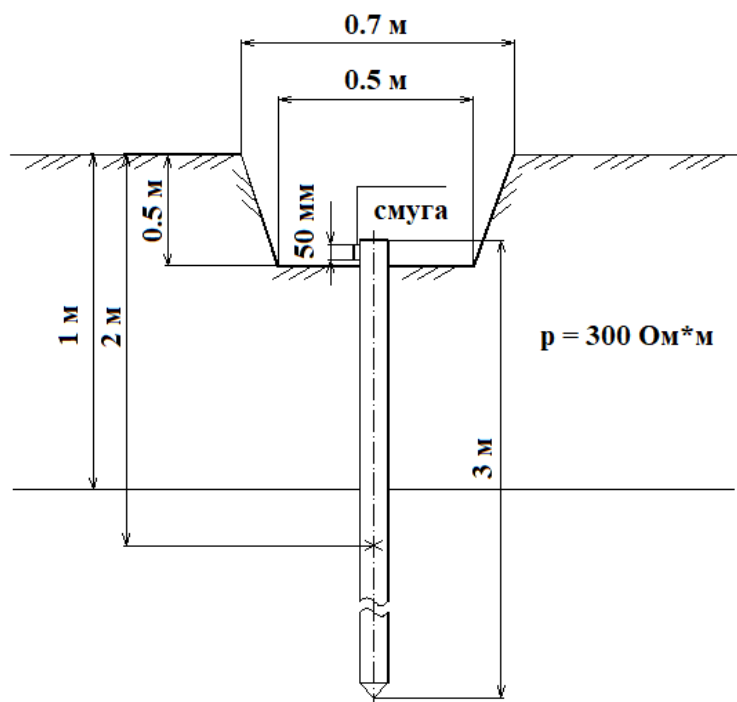


Рисунок 4.2.1 – Установка одиночного заземлювача в ґрунті

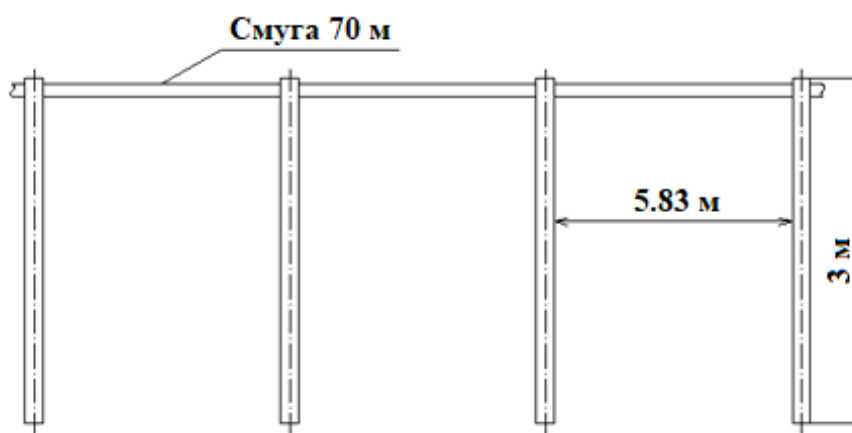


Рисунок 4.2.2 – Конструкція заземлювального пристрою

5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ ВИРОБУ

Одним з основних показників, за допомогою якого оцінюється економічна ефективність нової техніки, є величина капітальних вкладень.

До таких капітальних вкладень відносяться витрати на науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, включаючи випробування і доопрацювання дослідних зразків.

Для визначення вартості конструкторської підготовки виробництва складається кошторис витрат з моменту отримання завдання до виготовлення і заводських випробувань дослідного зразка включно і коректування документації за наслідками цих подій.

Зарплата розробників по етапам розраховується, виходячи з кількості технічної документації (схем, креслень, текстової документації), що розробляється, з використанням нормативів базового підприємства на розробку різних видів документації. Зарплата виконавців по кожному етапу є сумою добуток тривалості етапів в днях на денну ставку виконавця (по всім виконавцям).

Тривалість етапу визначається як добуток кількості листів розробленої документації на відповідну норму часу в нормо-годинах на розробку, поділене на число прийнятих розробників і середню тривалість робочого дня (8,0 годин)

Денна ставка виконавця визначається відношенням місячного окладу до середнього числа робочих днів в місяці (22 дні).

В таблиці 5.1 приведений розрахунок заробітної плати розробників технічної документації.

Таблиця 5.1. Розрахунок зарплати розробників технічної документації

№	Найменування етапу розробки	Одиниця	К-ть креслень	Норматив часу на одиницю нормо-годин	Трудомісткість етапу люд-годин	Число виконавців	Тривалість етапу, днів	Денна ставка виконавців	Зарплата за етап, грн.
1	Схема електрична принципова	ф.А1	1	18,45	18,45	1	2,3	134,5	349,35
2	Схема електрична структурна	ф.А1	1	16,50	16,50	1	2,1	118,7	269,27
3	Схема електрична функціональна	ф.А1	1	14	14	1	2	118,7	250
4	Специфікація	ф.А4	1	0,40	0,40	1	0,05	87,3	14,37
5	Розрахунки	ф.А4	12	7,30	87,6	1	10,95	103,0	751,9
6	Пояснювальна записка	ф.А4	70	1,60	95,00	1	12	120,8	1327,9
7	Програмне забезпечення	ф.А4	3	9,50	28,50	1	3,56	126,6	450,7
	Разом:								3413,5

При визначенні зарплати на виготовлення дослідного зразка трудомісткість по видам робіт збільшена на 100% проти трудомісткості серійного виробу і підвищені розряди роботи на один з урахуванням ручних робіт в дослідному виробництві.

Таблиця 5.2. Зарплата на виготовлення дослідного зразка

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Монтажні	6	30	21,6	678,5
2	Регулювальні	6	11	15,5	170,5
Разом:					848,5

Зарплата виконавців на коректування документації визначається з трудомісткості розробки відповідних документів: коректування складає 15% цій трудомісткості.

Накладні витрати беруться у розмірі 40...120% сумарної зарплати розробників з урахуванням виготовлення і випробування дослідного зразка і коректування документації за наслідками випробувань.

Матеріальні витрати на зразок складаються з вартості матеріалів і комплектуючих виробів (табл. 5.3) на проєктовану апаратуру. При цьому, виходячи з обліку втрат, вартість матеріалів та комплектуючих збільшена на 30%.

Таблиця 5.3. Витрати на куповані комплектуючі вироби

№	Найменування	Кількість	Ціна одиниці	Сума, грн
1	68uF 35V EXR680M35B	1	2	2
2	1uF 50V CT4 X7R	8	1,6	12,8
3	4.7nF 50V CT4 X7R	1	0,84	0,84
4	15uF 450V HL 13*21 105C	1	11,6	11,6

5	120uF 100V EFH121M2AB	1	8	8
6	0.1uF 50V TAP104K050SCS	1	2,55	2,55
7	27nF 100V CL21X mini	1	2,4	2,4
8	47uF 63V EEUEB1J470	3	9	27
9	1nF 50V 0805 X7R	1	0,64	0,64
10	LM2594HVN-ADJ/NOPB	1	87,2	87,2
11	LM3488	1	87,45	87,45
12	ACS712	1	110	110
13	Запобіжник 3.6x10мм F8A Fast	1	2,04	2,04
14	5uH 6.4A P1170.502NLT	1	11	11
15	100uH 1.1A DR 0912	1	12	12
16	10uH 6.7A SDRH129-100N	2	20	40
17	1,5 kOhm 5% 1W CR100JTB-1K5R	1	1,6	1,6
18	1kOhm 5% 1W CR100JTB-1KR	2	1,6	3,2
19	3 kOhm 5% 1W CR100JTB-3KR	1	1,6	1,6
20	6,8 Ohm 5% 1W CR100SJTB-6R8	1	1,5	1,5
21	4,7 kOhm 5% 1W CR100JTB-4K7R	1	0,54	0,54
22	0,15 Ohm 5% 3W MOR300SJTB-0R15	1	3	3
23	0,51 Ohm 5% 3W MOR300SJTB-0R51	1	3	3

24	7.5R 0.5W CFR 5%	1	0,36	0,36
25	39 kOhm 5% 1W CR100JTB-39KR	1	1,6	1,6
26	150 Ohm 5% 1W CR100JTB-150R	1	1,4	1,4
27	39K 0.5W CFR 5%	1	1,6	1,6
28	1 kOhm VTR-A-3296W-102-R	1	10	10
29	2 kOhm 5% 1W CR100JTB-2KR	1	1,6	1,6
30	VCR-14D180L	1	8	8
31	Світлодіод 3 мм червоний L-132XID	3	2	6
32	P6KE33A-E3/73	1	4	4
33	1N5819	1	1,5	1,5
34	SF23	3	2,5	7,5
35	STP30NF10	1	32	32
36	Роз'єм DG301-5.0-02P-12-00A	3	4	12
Разом (+30%):				658,74

Собівартість дослідного зразка визначається за формою табл. 5.4.

Таблиця 5.4. Калькуляція собівартості дослідного зразка

№	Стаття витрат	Витрати на проєктований виріб, грн.
1	Матеріали та куповані комплектуючі вироби	658,74
2	Транспортні витрати (5% п.1)	32,9

3	Заробітна платня виробничих робочих	848,5
4	Додаткова заробітна плата (10%п.3)	84,85
5	Нарахування на зарплату (37%(п.4+п.5))	345,34
6	Накладні витрати (120% п.4)	101,82
Всього собівартість:		2072,15

Розрахунок кошторису витрат на конструкторську підготовку виробництва приведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5. Кошторис витрат на конструкторську підготовку виробництва

№	Стаття витрат	Сума, грн.
1	Зарплата розробників по всіх етапах розробки	848,5
2	Зарплата на коректування технічної документації за наслідками випробувань дослідного зразка (15% п.1)	127,28
3	Разом:	1001,23
4	Нарахування на зарплату (37% п.3)	370,45
5	Накладні витрати (120% п.3)	1201,5
6	Собівартість дослідного зразка	658,74
7	Інші витрати	120
Всього вартість розробки:		4327,7

Розрахунок заробітної плати робочих в разі серійного виготовлення виробу приведено в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6. Зарплата робочих за виготовлення серійного виробу

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість нормо - год	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Монтажні	5	24	15,78	378,72
2	Регулювальні	5	8	14,50	116,0
3	Разом:				494,72

Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції проводиться на основі калькуляційних статей, враховуючи що комплектуючі та матеріали знижені на 30% по відношенню до таблиць 5.3, зведених в таблицю 5.7:

Таблиця 5.7. Калькуляція собівартості і ціни одиниці виробу

№	Стаття витрат	Витрати на виріб, грн
1	Куповані комплектуючі вироби	506,72
2	Транспортні витрати (5% п.1+п.2)	25,34
3	Основна заробітна плата виробничих робочих	494,72
4	Додаткова заробітна плата (10% п.3)	49,47
5	Нарахування на зарплату (37%(п.3+п.4))	201,35
6	Загальновиробничі витрати (1000% п.4)	494,7
7	Разом собівартість	1772,3

8	Прибуток (30% п.7)	531,7
Ціна виробника:		2304

Розрахунок терміну окупності розробки

Річний економічний ефект від впровадження нових виробів розраховується по формулі

$$E_p = (\Pi - E_n \cdot K_y) \cdot A_p, \quad (5.1)$$

де Π - прибуток на одиницю продукції (з табл. 5.7 $\Pi = 531,7$);

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ($E_n = 0,15$);

K_y - питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції;

A_p - річний об'єм випуску продукції при серійному виробництві

Питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції:

$$K_y = \frac{K}{A_p}, \quad (5.2)$$

де K - капіталовкладення в розробку виробу (з табл. 5.5 $K = 4327,7$).

Враховуючи, що річний об'єм випуску продукції при серійному виробництві складає 60 шт/рік:

$$K_y = \frac{4327,7}{60} = 72,13. \quad (5.3)$$

Тоді передбачуваний річний економічний ефект:

$$E_r = (531,7 - 0,15 \cdot 72,13) \cdot 60 = 31252,83. \quad (5.4)$$

Ефективність розробки визначається згідно:

$$E = \frac{E_p}{K} = \frac{31252,83}{4327,7} = 7.22. \quad (5.5)$$

Термін окупності продукції рівний зворотній величині ефективності:

$$T = \frac{1}{E} = \frac{1}{7.22} = 0.139 \text{ року.} \quad (5.6)$$

В таблиці 5.8 приводяться загальні економічні показники розробленого блоку підвищення напруги.

Таблиця 5.8. Економічні показники

№	Показники	Один. виміру	По проектуваному виробу
1	Витрати на комплектуючі	грн.	506,72
2	Собівартість розробки	грн.	4327,7
3	Ціна виробника	грн.	2304
4	Річний обсяг випуску	шт.	60
5	Річний економічний ефект	грн.	31252,83
6	Ефективність розробки		7,22
7	Термін окупності капітальних вкладень	років	0,139

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки блоку підвищення напруги бортового озонатора у виді, розрахованому в дипломному проекті

ВИСНОВКИ

В дипломному проекті показано, що озон має широке використання в сучасній промисловості, а завдання розробки бортової озонаторної станції є доцільним. Було проведено аналіз бортових мереж електроживлення, автомобільних батарей, розглянуто основні схеми імпульсних перетворювачів постійної напруги та їх складових компонентів. Також проведено аналіз українського ринку імпульсних перетворювачів та встановлено, що моделі, яка б відповідала завданню, немає в доступі.

Була розроблена структурна схема бортового озонатору, функціональна схема блоку підвищення напруги та його електрична принципова схема, розглянуті їх компоненти та принцип роботи.

Проведено інженерний розрахунок елементів блоку підвищення напруги, та на його основі виконано моделювання спрощеної схеми в середовищі програми Micro Cap 12. Результати моделювання при вхідній напрузі від 9 до 30 В показали, що модель схеми працює відповідно розрахункам та генерує на виході постійну напругу 40 В.

Розглянуто технологію автоматизованої пайки компонентів на друковану плату та питання охорони праці. Також спроектовано заземлювальний пристрій.

Проведено розрахунок вартості розробленого блоку підвищення напруги, і встановлено, що наведена розробка є економічно доцільною. Термін окупності виробу – 0,139 років.

Перелік джерел посилання

1. Бортовая сеть: веб-сайт. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Бортовая_сеть (дата звернення: 02.04.2023).
2. Судовые электротехнические системы: веб-сайт. URL: <https://helpiks.org/6-70265.html> (дата звернення: 02.04.2023).
3. Battery tutorial: веб-сайт. URL: <https://www.chargingchargers.com/tutorials/batteries.html> (дата звернення: 03.04.2023).
4. Автомобильный аккумулятор: веб-сайт. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Автомобильный_аккумулятор (дата звернення: 03.04.2023).
5. Клименко Б. В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: навчальний посібник. Харків, 2012. 340 с.
6. Switch: веб-сайт. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Switch> (дата звернення: 05.04.2023).
7. T. Croft, W. Summers. American Electricians' Handbook (Eleventh ed.). New York: McGraw Hill, 1987. pp. 7-124.
8. Магнитный пускатель: веб-сайт. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Магнитный_пускатель (дата звернення: 07.04.2023).
9. Fuse (electrical): веб-сайт. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fuse_\(electrical\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Fuse_(electrical)) (дата звернення: 10.04.2023).
10. Основные параметры силовых выключателей: веб-сайт. URL: <https://leg.co.ua/info/vyklyuchateli/osnovnye-parametry-silovyh-vyklyuchateley.html> (дата звернення: 11.04.2023).
11. T. R. Kuphaldt. Lessons in Electric Circuits. 2022. Vol. 4 Digital. pp. 103–116. URL: <https://www.ibiblio.org/kuphaldt/electricCircuits/Digital/DIGI.pdf> (дата звернення: 12.04.2023).

12. MOSFET: веб-сайт. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/MOSFET> (дата звернення: 17.04.2023).
13. IGBT: веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/IGBT> (дата звернення: 17.04.2023).
14. Diode: веб-сайт. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Diode> (дата звернення: 17.04.2023).
15. Bipolar junction transistor: веб-сайт. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Bipolar_junction_transistor (дата звернення: 18.04.2023).
16. Датчики тока, напряжения и мощности отечественного производства: веб-сайт. URL: <https://www.to-inform.ru/index.php/arkhiv/item/датчики-тока-напряжения-и-мощности-отечественного-производства> (дата звернення: 20.04.2023).
17. Маругин А. П. Силовая электроника: конспект лекций. Екатеринбург, 2014. 248с.
18. Бар В. И. Основы преобразовательной техники: курс лекций. Тольятти: ТГУ, 2002. 108 с.

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	кп.	Примітка
Документація						
A1			ЕІСПЗС ДП.19203.00.00.00.00.Е1	Бортова озонаторна станція		
				Схема електрична структурна		
A1			ЕІСПЗС ДП.19203.00.00.00.01.Е1	Блок підвищення напруги		
				джерела живлення		
				бортового озонатору		
				Схема електрична функціональна		
A1			ЕІСПЗС ДП.19203.00.00.00.00.Е3	Блок підвищення напруги		
				джерела живлення		
				бортового озонатору		
				Схема електрична принципова		
A1			ЕІСПЗС ДП.19203.00.00.00.00.Д1	Блок підвищення напруги		
				джерела живлення		
				бортового озонатору		
				Результати моделювання		
A1			ЕІСПЗС ДП.19203.00.00.00.00.Д2	Блок підвищення напруги		
				джерела живлення		
				бортового озонатору		
				Заземлювальний пристрій		
A1			ЕІСПЗС ДП.19203.00.00.00.00.Д3	Блок підвищення напруги		
				джерела живлення		
				бортового озонатору		
				Розрахунок економічних показників		
A4			ЕІСПЗС ДП.19203.00.00.00.00.ПЕ3	Блок підвищення напруги		
				джерела живлення		
				бортового озонатору		
				Перелік елементів		

ЕІСПЗ ДП.19203.00.00.00.00						
Зм.	Арк.	Кільк.	Підп.	Дата		
Розроб.	Піддубна			15.06	Блок підвищення напруги джерела живлення бортового озонатора	Літ. Арк. Аркушів 1
Перевір.	Алексієвський			15.06		
Н.контр.	Туришев				ІННІ ім Ю.М. Потемні ЗНУ 6.1719	
Затверд.	Критська				Формат А4	

		Позначення	Найменування	кіль.	Примітка			
Перв. застосує.	Довід.	<i>Конденсатори</i>						
		C1	68uF 35V EXR680M35B Hitano	1				
		C2,C3	1uF 50V CT4 X7R Hitano	2				
		C4	4.7nF 50V CT4 X7R Hitano	1				
		C5	15uF 450V HL 13*21 105C Hao Yin	1				
		C6,C7	1uF 50V CT4 X7R Hitano	2				
		C8	120uF 100V EFH121M2AB	1				
		C9	0.1uF 50V TAP104K050SCS Hao Yin	1				
		C10	27nF 100V CL21X mini Hao Yin	1				
		C11,C12	1uF 50V CT4 X7R Hitano	2				
		C13	4.7uF 63V EEUEB1J4 70 Panasonic	1				
		C14,C15	1uF 50V CT4 X7R Hitano	2				
		C16...C18	4.7uF 63V EEUEB1J4 70 Panasonic	2				
		C17...C19	1uF 50V CT4 X7R Hitano	2				
		C20	1nF 50V 0805 X7R Hitano	1				
		Підп. і дата	Інв. Підп. і дата	<i>Мікросхеми</i>				
				DA1	LM2594HVN-ADJ/NOPB Texas Instruments	1		
				DA2	LM3488 Texas Instruments	1		
				DA3	ACS712 Allegro MicroSystems	1		
				FU1	Запобіжник 3.6x10мм F8A Fast Littelfuse	1		
<i>Дроселі</i>								
L1	5uH 6.4A P1170.502NLT Pulse			1				
L2	100uH 1.1A DR 0912 Bochen			1				
L3..L5	10uH 6.7A SDRH129-100N Bochen			2				
L4	L = 270uH, I = 6A ЕІСПЗ ДП.19203.00.00.0100			1				
ЕІСПЗ ДП.19203.00.00.00.00.ПЕЗ								
Інв. двідл.	Інв. Підп. і дата	Зм. Арк.	докум.	Підп.	Дата			
		Розроб.	Піддубна		15.06			
		Перевір.	Алексієвський		15.06			
		Т.контр.	Туришев					
	Затверд.	Критська						
			Блок підвищення напруги джерела живлення бортового озонатора Перелік елементів		Літ. Арк. Аркушів 1 2			
					ІННІ ім Ю.М. Потемні ЗНУ 6.1719			

