

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних електронних систем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«УНІВЕРСАЛЬНИЙ ІМПУЛЬСНИЙ БЛОК ЖИВЛЕННЯ З
МІКРОПРОЦЕСОРНИМ КЕРУВАННЯМ»**

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-23м
спеціальності 172 – Електронні комунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Шкандала О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. ІРТС

Осадчук Я.О.

(прізвище та ініціали)

«12» 12 2024 р.

Опонент: к.т.н., доц., доцент каф. ІКСТ

Семенова О.О.

(прізвище та ініціали)

«13» 12 2024 р.

Допущено до захисту

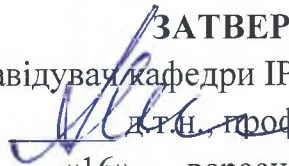
Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

«13» 12 2024 р.

Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність – 172 Електронні комунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІРТС
 д.т.н., проф. Осадчук О.В.
«16» вересня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Шкандалі Олексію Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Універсальний імпульсний блок живлення з мікропроцесорним керуванням»
керівник роботи к.т.н., доц., доцент кафедри ІРТС Осадчук Я.О.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від «17» 09.2024 р. №310.
2. Строк подання студентом роботи 13.12.2024р.
3. Вихідні дані до роботи: Живлення – мережа змінного струму 220В, 50Гц, вихідна напруга – 0...30В, вихідний струм – 0...10А, час готовності до роботи, не більше 5 с, діапазон робочих температур – -40 +80 °С.
4. Зміст текстової частини: Аналіз побудови імпульсних блоків живлення. Розробка імпульсного блоку живлення. Електричні та конструкторські розрахунки пристрою. Комп'ютерне схемотехнічне моделювання. Економічна частина. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Структурна схема універсального імпульсного блока живлення. Електрична схема включення ШІМ-контролера TL494. Електрична схема силових частини. Електрична схема блоку керування. Топологія друкованої плати блоку керування. Маркування позицій встановлення елементів на друкованій платі блоку керування. Встановлення елементів на друкованій платі блоку керування. Результати комп'ютерного схемотехнічного моделювання.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	доцент каф. ІРТС, доцент, к.т.н. Осадчук Я.О.		
Економічна частина	доцент каф. ЕПВМ, доцент, к.е.н., Кавецький В.В.		

7. Дата видачі завдання 16.09.2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приймітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2024-07.09.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2024-16.09.2024	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	17.09.2024-30.09.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	01.10.2024-20.10.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	21.10.2024-04.11.2024	
6.	Розробка ілюстративної частини МКР.	05.11.2024-15.11.2024	
7.	Економічна частина.	16.11.2024-25.11.2024	
8.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини.	26.11.2024-01.12.2024	
9.	Нормоконтроль.	02.12.2024-07.12.2024	
10.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	09.12.2024-12.12.2024	
11.	Захист МКР ЕК.	14.12.2024-17.12.2024	

Студент


(підпис)

Шкандала О.В.

Керівник роботи


(підпис)

Осадчук Я.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.396.6

Шкандала О.В. Універсальний імпульсний блок живлення з мікропроцесорним керуванням. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – електронні комунікації та радіотехніка, освітня програма - радіотехніка. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 126 с. На українській мові. Бібліогр.: 36 назв; Табл. 11; Рис. 32 .

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка універсального імпульсного блоку живлення з мікропроцесорним керуванням, який забезпечує стабільне та ефективне електроживлення для різних типів навантажень. У роботі здійснено аналіз існуючих схем блоків живлення, розглянуто можливості застосування мікропроцесорних технологій для підвищення точності регулювання та надійності роботи. Окрему увагу приділено питанням енергоефективності та реалізації захисних механізмів від нештатних ситуацій, таких як перевантаження та коротке замикання. Розглянуто структуру імпульсних блоків живлення, призначення їх основних вузлів та реалізація керування блоком живлення за допомогою мікропроцесора. Здійснено розробку імпульсного лабораторного блоку живлення з мікропроцесорним керуванням, приведено схеми електричні принципові силового блоку, блоку керування на мікропроцесорі, блок керування вентилятором. Розроблено складальні креслення плат блоків керування. Проведено комп'ютерне моделювання роботи пристрою та розраховано надійність.

Також у магістерській кваліфікаційній роботі виконані розрахунки економічної частини.

Ключові слова: універсальний блок живлення, імпульсний блок живлення, широтно-імпульсна модуляція, коефіцієнт пульсацій, блок керування, мікропроцесор.

ABSTRACT

Shkandala O.V. Universal switching power supply with microprocessor control. Master's thesis in the speciality 172 - electronic communications and radio engineering, educational programme - Radio Engineering: VNTU, 2024. 126 p. In Ukrainian. Bibliography: 36 titles; Table 11; Fig. 32.

The purpose of the master's thesis is to develop a universal switching power supply with microprocessor control that provides stable and efficient power supply for various types of loads. The work analyses existing power supply circuits and considers the possibilities of using microprocessor technologies to improve the accuracy of regulation and reliability of operation. Particular attention is paid to energy efficiency and the implementation of protective mechanisms against abnormal situations, such as overload and short circuit. The structure of switching power supplies, the purpose of their main components and the implementation of power supply control using a microprocessor are considered. The development of a switching laboratory power supply with microprocessor control is carried out, and the electrical schematics of the power unit, microprocessor control unit, and fan control unit are presented. The assembly drawings of the control unit boards were developed. Computer modelling of the device operation is carried out and reliability is calculated.

The master's thesis also includes calculations of the economic part.

Keywords: universal power supply, switching power supply, pulse width modulation, ripple coefficient, control unit, microprocessor.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ПОБУДОВИ ІМПУЛЬСНИХ БЛОКІВ ЖИВЛЕННЯ	11
1.1 Загальна характеристика універсальних блоків живлення	11
1.2 Загальні відомості про лінійні блоки живлення	15
1.3 Загальні відомості про імпульсні блоки живлення	18
1.4 Види топологій в блоках живлення	20
1.5 Характеристика існуючих джерел живлення.....	22
1.6 Попередня оцінка параметрів блоку живлення.....	25
1.7 Структурна схема.....	27
1.8 Опис структурної схеми.....	28
1.9 Висновки до розділу.....	33
2 РОЗРОБКА ІМПУЛЬСНОГО БЛОКУ ЖИВЛЕННЯ	34
2.1 Загальні відомості про плату Arduino NANO	34
2.2 Мікроконтролер ATmega328P	36
2.3 Загальні відомості про плату ADS1115 аналого-цифрового перетворювача	37
2.4 Інтерфейс I2C 20x4 РК-дисплей з Arduino Uno	41
2.5 Вибір ШІМ-контролера	44
2.6 Функціональний опис мікросхеми TL494.....	47
2.7 Розробка імпульсного блоку живлення	49
3 ЕЛЕКТРИЧНІ ТА КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ ПРИСТРОЮ.....	55
3.1 Розроблення схеми електричної принципової пристрою.....	55
3.2 Розробка блоку активного охолодження.....	57
3.3 Розрахунок друкованих плат для блоку керування на мікропроцесорі та блоку керування вентилятором.....	60
3.4 Розрахунок надійності пристрою.....	62
4 КОМП'ЮТЕРНЕ СХЕМОТЕХНІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	68
4.1 Моделювання роботи ІБЖ на основі TL494	68

	7
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	71
5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки	71
5.2 Визначення рівня конкурентоспроможності розробки	73
5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи	76
5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором.....	89
5.5 Висновок до розділу.....	94
ВИСНОВКИ.....	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	97
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	101
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (магістерської) кваліфікаційної роботи.....	111
Додаток В (довідниковий) лістинг програми мікроконтролера блоку керування.....	113

ВСТУП

Актуальність теми.

Імпульсні блоки знайшли широке використання у сучасній радіoeлектроніці, вони використовуються майже у всіх її галузях і мають ряд переваг перед звичайними блоками живлення, а саме:

- зменшення габаритних розмірів пристрою;
- підвищення ККД;
- низьке тепловиділення;
- доступна елементна база.

Все це говорить про доцільність використання саме імпульсних блоків живлення.

Унікальну роль у створенні радіoeлектроніки відіграють джерела живлення - пристрої, що виробляють електричну енергію для живлення інших електронних пристроїв. Вони виконують унікальну роль, тому жоден електронний пристрій не може нормально функціонувати без джерела живлення.

Джерела живлення мають вирішальне значення для будь-якого електронного пристрою, оскільки вони забезпечують постійне джерело живлення для компонентів системи. Сучасні технології та тенденції розвитку електроніки постійно ставлять нові вимоги до енергетичних рішень, зокрема до універсальних блоків живлення. Основним завданням є не лише забезпечення стабільного електроживлення, а й мінімізація енергетичних втрат, підвищення надійності та безпеки роботи обладнання.

Актуальність теми полягає у зростаючих вимогах до енергоефективності та стабільності живлення в умовах постійно зростаючої складності електронних систем. Використання мікропроцесорного керування в блоках живлення дозволяє значно підвищити їх функціональні можливості та точність регулювання параметрів. Це стає важливим в умовах різних експлуатаційних навантажень та вимог до адаптивності систем живлення.

Інтелектуальні блоки живлення стають важливими компонентами в багатьох сферах: від побутової електроніки до промислових та медичних застосувань.

Через велику сферу використання блоків живлення існує велика різноманітність їх видів. В основі принципу лежить те, що блоки живлення можуть бути гальванічними, електричними, тепловими, механічними, п'єзоелектричними або комбінованими.

Унікальна роль в цьому асортименті блоків живлення відводиться блокам живлення, які мають перетворення напруги. Це дає можливість споживачеві значно зменшити габарити блоку живлення, знизити частоту пульсацій вихідної напруги за рахунок збільшення кількості частот, що вводяться на випрямляч.

Виходячи з наведеної вище інформації та враховуючи відсутність достатніх досліджень щодо імпульсних блоків живлення з перетворенням, а також високу популярність їх використання, це вважається сучасною формою досліджень і розробок.

Мета, об'єкт і предмет дослідження.

Метою роботи є розробка універсального блоку живлення з мікропроцесорним керуванням, який забезпечуватиме стабільну та ефективну роботу в широкому діапазоні вхідних і вихідних параметрів, а також інтеграцію захисних функцій та можливість адаптивного налаштування під різні види навантаження.

Об'єкт дослідження – універсальний імпульсний блок живлення, призначений для перетворення та стабілізації електричної енергії.

Предмет дослідження – методи та алгоритми мікропроцесорного керування універсальним блоком живлення, що забезпечують високу стабільність вихідних параметрів та захист від нештатних режимів роботи.

Задачі дослідження

- Дослідити сучасні технології мікропроцесорного керування для блоків живлення.

- Проаналізувати типові схеми універсальних блоків живлення та їх особливості.

- Розробити структурну схему універсального блоку живлення з мікропроцесорним керуванням.

- Здійснити огляд структурної схеми пристрою.

- Виконати розрахунок елементної бази на основі типових схем імпульсних блоків живлення.

- Застосувати програмне забезпечення для розрахунку трансформатора і побудови друкованої плати.

- Розрахувати розділ економіки.

Методи дослідження

При розв'язанні поставлених задач були використані теоретичні та експериментальні дослідження. Теоретичні - засновані на перегляді літературних джерел та вибору оптимальних методів.

Новизна одержаних результатів

- Удосконалені методи керування ШІМ-контролером імпульсного живлення.

- Використано мікропроцесор для керування блоком живлення.

- Використано відображення поточних вихідних характеристик пристрою на дисплеї.

Використання блоку керування на мікропроцесорі дає змогу полегшити керування імпульсним блоком живлення, відображувати його характеристики на дисплеї, а також використати енкодер для регулювання, який не має недоліків резистивного типу регулювання.

Обсяг і структура роботи

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 11 таблиць, 32 рисунка та 36 літературних джерел.

1 АНАЛІЗ ПОБУДОВИ ІМПУЛЬСНИХ БЛОКІВ ЖИВЛЕННЯ

1.1 Загальна характеристика універсальних блоків живлення

Універсальні блоки живлення (БЖ) – це електронні пристрої, призначені для перетворення змінної напруги мережі в стабільну постійну напругу для живлення різноманітних електронних пристроїв та обладнання. Основне призначення універсальних блоків живлення полягає в забезпеченні необхідних параметрів електроживлення для стабільної та надійної роботи підключених до них споживачів [1].

Універсальні блоки живлення зазвичай здатні працювати в широкому діапазоні вхідних напруг та надавати вихідну напругу різної величини, що робить їх корисними для різних електронних пристроїв. Важливим аспектом є захист від перевантажень, коротких замикань та перегріву, що забезпечує безпеку експлуатації.

До універсальних блоків живлення висуваються наступні вимоги:

- Стабілізація напруги. Вихідна напруга блоку живлення повинна залишатися стабільною, незалежно від змін вхідної напруги або зміни навантаження.
- Діапазон вхідних напруг. Блок живлення повинен мати можливість працювати при широкому діапазоні вхідних напруг (зазвичай 100–240 В).
- Захист від перевантажень та короткого замикання. Захисні механізми повинні автоматично вимикати блок живлення в разі перевищення допустимих параметрів навантаження або виникнення короткого замикання.
- Енергоефективність. Важливою характеристикою є високий ККД (коефіцієнт корисної дії) для зменшення втрат енергії та нагрівання пристрою.
- Компактність. Блок живлення повинен бути малогабаритним, особливо у випадках застосування в портативних або мобільних пристроях.

Мікропроцесорне керування в універсальних блоках живлення відкриває нові можливості щодо підвищення точності, надійності та функціональності цих пристроїв. Основні функції, які забезпечує мікропроцесорне керування:

- Точна стабілізація вихідної напруги. Мікропроцесор аналізує вихідну напругу та швидко коригує її при відхиленнях від номінальних значень.
- Інтелектуальне керування режимами роботи. Мікропроцесор може автоматично перемикати режим роботи в залежності від рівня навантаження, зменшуючи енергоспоживання у випадку малих навантажень або простою.
- Захисні функції. Мікропроцесор контролює температуру, струм і напругу в реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на аварійні ситуації та забезпечувати безпеку.
- Моніторинг та діагностика. Завдяки мікропроцесорному керуванню можливе ведення запису стану роботи блоку живлення, що дозволяє своєчасно виявляти несправності або нештатні ситуації.

Використання мікропроцесорів у блоках живлення надає кілька важливих переваг:

- Висока точність керування. Мікропроцесор забезпечує більш точне регулювання напруги та струму, що сприяє кращій стабільності живлення.
- Автоматизація процесів. Сучасні блоки живлення можуть самостійно регулювати параметри роботи та переходити в економний режим, що знижує загальні витрати енергії.
- Гнучкість налаштувань. Можливість програмування дозволяє налаштовувати блок живлення під специфічні вимоги різних пристроїв або середовищ використання.
- Висока швидкість реакції. Мікропроцесор миттєво реагує на зміни умов роботи, забезпечуючи стабільну та безперебійну подачу живлення навіть у випадку значних змін навантаження.

У підсумку, мікропроцесорне керування дозволяє значно розширити можливості універсальних блоків живлення, забезпечуючи їх стабільну роботу в різних умовах експлуатації.

Існує декілька основних типів схем побудови універсальних блоків живлення [2]:

- Лінійні блоки живлення. Використовують трансформатор для зниження напруги мережі та стабілізатори для отримання постійної напруги. Характеризуються простотою конструкції, але мають низький ККД.
- Імпульсні блоки живлення. Використовують перетворення високочастотного сигналу для отримання стабільної вихідної напруги. Це дозволяє досягти високого ККД і компактності конструкції.

Блоки живлення можна класифікувати за різними ознаками:

- За типом вхідної напруги:
 - змінного струму (АС);
 - постійного струму (DC).
- За принципом дії:
 - лінійні (на основі трансформатора);
 - імпульсні (перетворюють напругу за допомогою високочастотних імпульсів).
- За кількістю виходів:
 - однонапружені (мають один вихід);
 - багатонапружені (мають декілька виходів із різними параметрами).
- За функціональними можливостями:
 - універсальні;
 - спеціалізовані (для конкретних пристроїв або умов роботи).

Принцип роботи блоків живлення залежить від їхньої конструкції та технології перетворення напруги. Розглянемо два основні типи блоків живлення: лінійні та імпульсні.

1. Лінійні блоки живлення працюють за принципом пониження змінної напруги за допомогою трансформатора, після чого вона випрямляється і стабілізується за допомогою стабілізатора напруги. Хоча ці блоки забезпечують простоту конструкції та високу стабільність напруги, вони мають низький коефіцієнт корисної дії (ККД) і значні втрати енергії через виділення тепла.

2. Імпульсні блоки живлення працюють за принципом височастотного перетворення напруги. Спочатку вхідна змінна напруга випрямляється, потім перетворюється на височастотні імпульси за допомогою ключових транзисторів. Після цього імпульси понижуються за допомогою трансформатора і знову випрямляються та фільтруються. Такі блоки живлення забезпечують високий ККД, компактність та можливість регулювання вихідної напруги, що робить їх оптимальними для більшості сучасних електронних пристроїв.

Основними параметрами, за якими оцінюють блоки живлення, є:

- Вихідна напруга (V). Напруга, яку блок живлення подає на навантаження.
- Вихідний струм (A). Максимальний струм, який може забезпечити блок живлення.
- Потужність (Вт). Продукт вихідної напруги та струму. Потужність блоку живлення повинна відповідати потребам навантаження.
- Коефіцієнт корисної дії (ККД). Відношення корисної потужності до споживаної енергії. Імпульсні блоки живлення зазвичай мають ККД від 80 до 95%.
- Стабільність вихідної напруги. Відображає здатність блоку живлення підтримувати постійну вихідну напругу при змінах вхідної напруги або навантаження.

Сучасні блоки живлення з мікропроцесорним керуванням дозволяють реалізувати складні алгоритми керування та захисту, забезпечуючи більш

високу ефективність і надійність роботи. Мікропроцесори використовуються для [3]:

- Точного регулювання напруги та струму. Мікропроцесор контролює параметри вихідного сигналу та автоматично коригує їх відповідно до умов роботи.
- Захисних функцій. Мікропроцесор відстежує перевантаження, перегрівання, коротке замикання та інші небезпечні ситуації, автоматично вимикаючи блок живлення або переводячи його в безпечний режим.
- Енергоефективності. За допомогою мікропроцесора можна динамічно змінювати режими роботи блоку живлення для зниження енергоспоживання при низьких навантаженнях або в режимі очікування.
- Діагностики та моніторингу. Мікропроцесор дозволяє вести моніторинг параметрів роботи блоку живлення та зберігати дані про роботу для подальшої діагностики.

Мікропроцесорне керування також дозволяє створювати гнучкі системи живлення з можливістю віддаленого контролю, програмування режимів роботи та інтеграції з іншими системами.

Таким чином, імпульсні блоки живлення з мікропроцесорним керуванням є сучасним і ефективним рішенням для широкого спектра електронних пристроїв.

1.2 Загальні відомості про лінійні блоки живлення

Лінійні джерела живлення, які регулювалися за напругою, були джерелом енергії для перетворення змінного струму в постійний для електронних пристроїв. Незважаючи на те, що ця форма джерела живлення сьогодні не використовується широко, вона все ще є найефективнішим вибором для пристроїв, які не потребують шуму чи пульсацій.

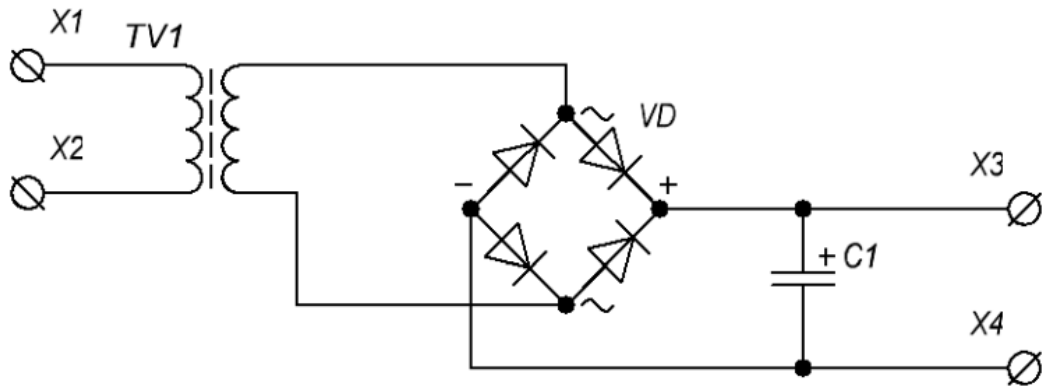


Рисунок 1.1 - Схема найпростішого трансформаторного блоку живлення

Основним компонентом лінійного регулятора є сталевий або залізний трансформатор. Цей трансформатор функціонує як бар'єр, який відокремлює вхідний сигнал змінного струму високої напруги від входу постійного струму низької напруги, він також усуває будь-які шуми, які виникають у результаті напруги. Він перетворює напругу змінного струму зі 115 В на 230 В. Приблизно з 30 В напругу можна перетворити на постійну напругу постійного струму. Змінна напруга спочатку знижується через трансформатор «ТВ1», а потім фільтрується через кілька діодів або діодний міст «ВД».

Потім вона знижується до низької напруги постійного струму парою великих електролітичних накопичувальних конденсаторів "C1". Ця низька напруга постійного струму контролюється як постійна вихідна напруга транзистором або іншою інтегральною схемою.

Контролер напруги в лінійному блоку живлення виконує функцію змінного опору. Це полегшує зміну значення вихідного опору на основі необхідної вихідної потужності. Оскільки регулятор напруги постійно протидіє струму, щоб підтримувати напругу, він також функціонує як розсіювач потужності. Це означає, що корисна потужність постійно втрачається у вигляді тепла для підтримки рівня напруги.

Трансформатор вже є значущою складовою друкованої плати. Через постійну потужність і тепловиділення для лінійного джерела живлення в

регуляторі знадобиться радіатор. Ці два компоненти самі по собі складають дуже важкий і об'ємний пристрій, який більший за малий форм-фактор перемикача джерела живлення.

Лінійні регулятори пов'язані з їх низькою ефективністю і великими розмірами, але вони видають тиху вихідну напругу. Це робить їх ідеальними для будь-яких пристроїв, які потребують високої частоти та низького рівня шуму, наприклад:

Малопотужні підсилювачі, керовані з низьким рівнем шуму;

- сигнальні процесори; - Автоматизоване та експериментальне випробувальне обладнання;

- Збір даних і зондування.

Регульовані джерела живлення, які є лінійними, мають тенденцію бути великими та неефективними, але їхній низький рівень шуму ідеально підходить для чутливих додатків. До переваг трансформаторних блоків живлення можна віднести:

- Простоту у використанні. Лінійні контролери можуть бути побудовані як повний пристрій і включені в схему лише з двома додатковими компонентами фільтра. Це полегшує їх проектування та створення з нуля для будь-якого рівня інженерії.

- Низькі витрати. Якщо вашому пристрою потрібна вихідна потужність менше 10 Вт, витрати на компоненти та виробництво будуть набагато нижчими порівняно з блоком живлення, який перемикається.

- Низьку гучність звуку та вібрації. Лінійні контролери мають низьку пульсацію напруги на низькій частоті та високу смугу пропускання. Це робить їх ідеальними для будь-якого застосування, чутливого до шуму, включаючи комунікаційні та радіотехнології.

Слід віднести до недоліків трансформаторних блоків живлення такі:

- Невеликі обмеження щодо гнучкості. Лінійні контролери ефективні лише для зниження напруги. Для джерел живлення змінного та постійного струму випрямляч і фільтруючий трансформатор повинні бути вставлені

перед лінійним джерелом живлення, щоб збільшити загальні витрати та складність.

- Мінімальний вихід. Лінійні джерела постійного живлення забезпечують лише одну вихідну напругу. Якщо ви хочете збільшити вихідну потужність, вам потрібно буде додати окремий стабілізатор напруги, лінійний до необхідної потужності.

- Низьку ефективність. Типовий пристрій, який регулюється лінійним способом, має ККД від 30% до 60% через розсіювання тепла. Це також зумовлює необхідність додавання радіатора, що збільшує об'єм і вагу пристрою. Сьогодні оцінка енергоефективних пристроїв не має великого значення, ефективність пристроїв з лінійним регулюванням низька, якщо бути більш м'яким. Типове джерело живлення, яке регулюється лінійністю, матиме ефективність 60% для вихідної напруги 24 В. Взявши вхідну потужність 100 Вт, це приблизно 40 Вт.

1.3 Загальні відомості про імпульсні блоки живлення

Блок живлення, який перемикається між рівнями напруги, використовує ШІМ для регулювання вихідної напруги. Ця процедура створює високий шум, але вона також ефективна в невеликих конструкціях. При підключенні до джерела живлення змінного струму 115 В або 230 В змінного струму струм спочатку фільтрується, а потім згладжується за допомогою серії діодів і конденсаторів, що створює постійну напругу високої напруги. Ця висока напруга постійного струму потім зменшується за допомогою невеликого трансформатора із заліза та набору транзисторів.

Процес падіння все ще має високу частоту переходу між 200 і 500 кГц. Низька напруга ланцюга постійного струму нарешті перетворюється на постійний вихід через інший набір діода, конденсатора та індуктора. Будь-які зміни, необхідні для підтримки постійної вихідної напруги, здійснюються шляхом зміни ширини височастотного імпульсу.

Ця процедура регулювання процесу залежить від механізму зворотного зв'язку, який контролює вихідну напругу та, якщо необхідно, регулює відсоток активних сигналів ШІМ.

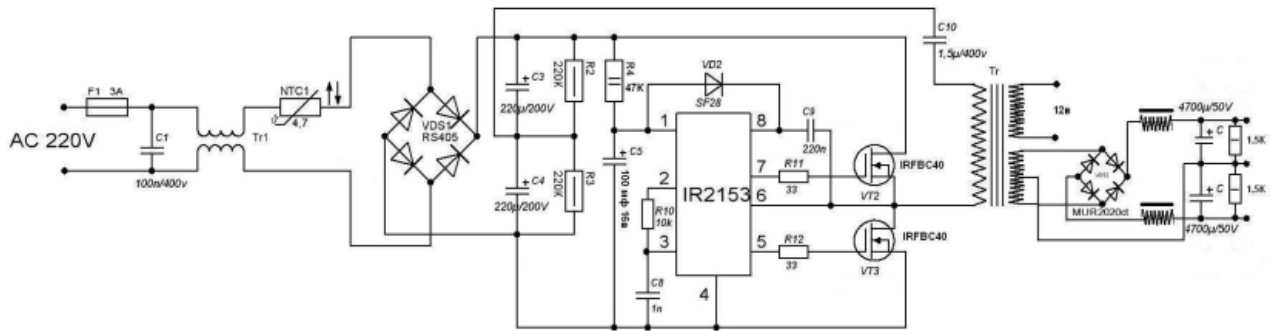


Рисунок 1.2 - Схема імпульсного блоку живлення

Найпоширеніші джерела живлення, які використовуються для вимикання або вмикання, живляться від батарейок, це важливі області:

- обробка відходів або утилізація паливних елементів;
- Джерела живлення постійного струму;
- Ігрові машини, авіаційні та морські пристрої;
- Зарядка для літій-іонних акумуляторів, які використовуються в авіації та автотранспорті;
- Методи гальванізації.

Анодування.

До основних переваг імпульсних джерел живлення можна віднести:

Невеликий розмір. Нижній трансформатор залежить від частоти, що, в свою чергу, призводить до зменшення його об'єму та ваги.

- Висока ефективність. Регулювання напруги в блоці живлення імпульсним живленням здійснюється без відведення великої кількості тепла. ККД становить від 85 до 90 відсотків.

Універсальність продукту. Додаткові обмотки можна включити в джерело живлення, яке перемикає між різними виходами. Недоліками джерел живлення з імпульсом є:

- Продуманий дизайн. У порівнянні з лінійними контролерами, планування та проектування джерела живлення, що перемикається, зазвичай делегується експертам з енергетики. Це не найпотужніше джерело живлення, якщо ви хочете створити власний без значних досліджень чи підготовки.

Частий високий шум. Рух MOSFET в джерелі живлення, який перемикає частоту, викликає високочастотний шум, який виводиться як напруга. Це часто досягається за допомогою екранування радіочастот і фільтрів електромагнітних перешкод у чутливих машинах.

Вищі витрати. Для потужностей, менших за 10 Вт, найбільш рентабельним підходом є блок живлення, який просто регулюється його потужністю.

1.4 Види топологій в блоках живлення

На сьогодні найпопулярнішими топологіями джерел живлення, що є імпульсними, вважаються:

1. Перетворювачі, що змінюють напрямок струму на постійний (DC-DC);
2. Перетворювачі, що змінюють напрямок струму на постійний AC-DC (DC);
3. Реверс-перетворювач;
4. Прямі перетворювачі.

Перетворювачі зі зниженою потужністю мають більшу здатність досягати ефективнішого перетворення енергії, ніж інші перетворювачі.

Використання силових MOSFET-транзисторів у чіпі дає змогу створити повністю інтегроване рішення, яке має мінімальну кількість зовнішніх компонентів.

Робота перетворювача на високій частоті сприяє використанню компактних реле і отримання мінімальних розмірів джерела живлення. Однак, порівняно з перетворювачами, які мають асинхронну схему

випрямлення, складність схеми управління вище в структурі перетворювачів для забезпечення захисту вихідних ключів у критичних ситуаціях.

Останні розробки сприяли вирішенню ряду питань щодо керування понижуючими синхронними перетворювачами, підвищили їх надійність, здешевили та спростили їх застосування, що зробило їх більш популярними та доступними для різноманітних галузей.

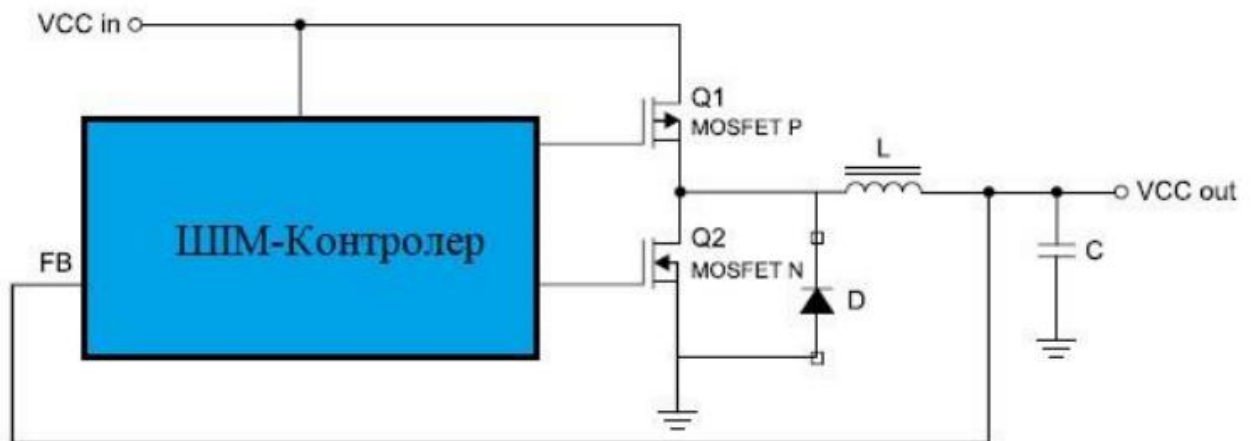


Рисунок 1.3 - Схема DC-DC конвертора понижуючого типу з синхронним випрямлячем

У синхронній схемі, порівняно з несинхронною, діод D замінено MOSFET транзисторами Q2. Перемикач живлення Q1 (верхнє плече) складається з MOSFET-транзистора р-типу, а нижній Q2, який функціонує як синхронний випрямляч, складається з транзистора n-типу. Падіння напруги на транзисторі MOSFET Q2 може бути менше, ніж падіння напруги на діоді при тих же струмах, це дозволяє знизити втрати і підвищити ефективність перетворення.

Спочатку це важливо при створенні малих вихідних напруг, наприклад 1,2/1,5 В, падіння напруги на діоді стає порівнянним з вихідною напругою. При використанні транзистора замість діода утворюється напруга до 0,6 В, забезпечується високий потік, при цьому ефективність перетворення зберігається. В результаті діапазон вихідної напруги даного типу перетворювачів становить 0,6-0,8 В, і він практично ідентичний вхідній

напрузі джерела живлення. Понижувальні перетворювачі мають можливість працювати в двох різних режимах - режимі постійного потоку та режимі періодичного потоку. У першому його початковий струм індуктивності завжди більше нуля, а в другому присутній проміжок часу, протягом якого струм дорівнює нулю.

Метод безперервних потоків використовується для направлення великих потоків, метод переривчастих потоків використовується при роботі з невеликим навантаженням. Як правило, понижуючі перетворювачі мають конструкцію, яка дозволяє підтримувати безперервний режим струму котушки в номінальному діапазоні струмів і напруг навантаження. Ефективність перетворення залежить від кількості витраченої енергії при перемиканні вихідних транзисторів.

Втрати вимірюються у відкритому стані опором клавіш, а також залежать від частоти зміни та швидкості наростання керуючих сигналів. Ефективність синхронних перетворювачів найбільша при великих рівнях струму. Чим більший струм, що подається на навантаження, і чим менша різниця між вхідною та вихідною напругою, тим ефективнішою є продуктивність синхронних понижувальних перетворювачів напруги.

1.5 Характеристика існуючих джерел живлення

1.5.1 Гальванічні елементи

Гальванічні елементи та батареї мають властивість виробляти електричну енергію за допомогою хімічного процесу, який відбувається всередині елемента. Електрична потужність компонентів і батарей залежить від хімічного складу їх активних речовин (електроліту та електродів) і не залежить від їх розміру. Температура компонентів практично не впливає на величину електрорушійної сили. Лише при точній температурі замерзання електроліту електрорушійна сила елемента значно зменшується. застигли компоненти розчиняються після розігріву. Вихідна напруга реєструється при

типовому навантаженні акумулятора. Це залежить від електрорушійної сили E , внутрішнього опору компонента $R_{\text{вн}}$. Текучий струм

$$U_{\text{вих.}} = E - I_{\text{н}} R_{\text{вн.}} [B]. \quad (1.1)$$

При звільненні елемента від батареї кінцеве значення напруги на виході залежить від властивостей елемента та умов, в яких він працює. Укажіть характеристики елементів, які представляють відношення ємності, потужності та енергії елемента чи батареї до їх об'єму чи ваги. Ці ознаки полегшують оцінку важливості та обсягу поточного джерела. Різноманітність можливостей гальванічних елементів велика: від десятих часток ампер до сотень ампер. Наприклад, ємність елемента 1,3 FMC-0,25 становить 25 А/год, а ємність акумулятора 1,5 NC-60 — 60 А/год.

Джерела електроенергії поділяються на однапівперіодичні, двонапівперіодичні, з подвоєнням вхідної напруги, однофазні, 3-фазні, з регулюванням вихідної напруги та ін.

1.5.2 Види схем випрямлення

Однапівперіодна схема випрямлення характеризується найбільшою порівняно з іншими схемами частотою обертання на частоті основної гармоніки: вона ідентична частоті струму в мережі, яка також використовується як опорна частота. Діод має зворотне зміщення та має примусове намагнічування, сердечник трансформатора намагнічений, і трансформатор не повністю використовує свою потужність.

$$(K_{\text{тр.}} \approx 0,48)$$

Двофазна схема містить трансформатор, який має вторинну кришку, приклеєну до середини, а також два випрямлених діода. Частота пульсацій цієї схеми вдвічі більша за частоту мережі і дорівнює $2 \times 50 \text{ Гц} = 100 \text{ Гц}$.

Коефіцієнт пульсацій цієї схеми на частоті 100 Гц становить 0,68 при активному навантаженні. Цей протокол зазвичай використовується з більшим навантаженням (R_n 50 Вт). Коефіцієнт використання трансформатора для навантажень ємнісних $K_{тр}$ 0,55, для активних навантажень $K_{тр}$ 0,642, для індуктивних навантажень $K_{тр}$ 0,75.

Конструкція схеми згладжуючого фільтра простіше однонапівперіодичного, частота пульсацій вища, ніж однонапівперіодичного випрямляча, а їх амплітуда менша майже в 2,5 рази. Ця схема призначена для навантажень, індуктованих або створених за допомогою конденсатора.

Мостова схема складається з однофазного трансформатора і діода.

Коефіцієнт використання трансформатора при навчальному навантаженні дорівнює 0,9, при ємнісному навантаженні $K_{тр}$ 0,66, при активному $K_{тр}$ 0,7. Зворотна напруга діода при активному та індуктивному навантаженні в 1,57 рази перевищує початкову напругу, що дорівнює 1,41 разу випрямленої напруги. Частота і напруга коливань ідентичні двонапівперіодному методу.

Мостова схема подвоєння напруги забезпечує подвоєну вхідну напругу на виході випрямляча. Цей спосіб ефективний без силового трансформатора. Тягар цього плану може бути як активним, так і пасивним. Кількість коливань збігається з частотою частоти електромережі. Зворотна напруга діода 1,5 р. Воно більше випрямленої напруги або в 2 рази менше, ніж у мостовій схемі. Відсоток використання трансформатора становить 0,64.

1.5.3 Види джерел живлення

Фотодіоди, які перетворюють світлову енергію в електричну, називають фотоелектричними джерелами струму. Джерелом енергії в даному випадку є енергія сонячного світла. У цих областях переважно використовуються кремнієві перетворювачі-напівпровідники, світло, що випромінюється в матеріал, призводить до створення кількох полярностей на межі р-п-переходу. Ефективність сонячних батарей становить 30%. Сучасні сонячні

батареї можуть переносити навантаження з електричним струмом в кілька сотень ампер і напругою навантаження в кілька сотень вольт.

Крім того, термоелектричні перетворювачі енергії мають скромний ККД. Їх можливості все ще скромні, і вони використовуються, коли навантаження потребує невеликої потужності. Причиною дії термоелектричних перетворювачів є розвиток термоелектрорушійної сили в місцях зустрічі двох провідників з низькою провідністю, при підвищенні температури пайки ці точки спаюються.

1.5.4 Принцип роботи імпульсних блоків живлення

Основна ідея того, як працювати з джерелами живлення, які мають перетворення напруги, полягає в тому, що вхідна напруга перетворюється в змінну напругу з частотою 30-60 кГц. Крім того, його переробка виконується класичними методами. Однак, оскільки частота напруги висока, індуктивність трансформатора, що перетворює потужність, і, отже, його розміри можуть бути значно меншими, ніж у звичайних джерелах живлення. Крім того, ємність буферних конденсаторів у фільтрі джерела живлення також може бути значно меншою, оскільки частота пульсацій значно вища.

У порівнянні зі звичайними джерелами живлення блоки живлення з перетворювачем напруги мають суттєву перевагу - вони менші за габаритними розмірами і мають меншу величину пульсацій, електрична схема блоку живлення з перетворювачем напруги також більш складна.

1.6 Попередня оцінка параметрів блоку живлення

Щоб визначити відповідну функцію джерела живлення, яка перемикає живлення, ви повинні знати його призначення.

Основне призначення блоку живлення, над яким я працюю, — використовувати його для наукових експериментів. У підсумку можна

констатувати, що вихідна напруга блоку живлення повинна змінюватися від 0 до 30 В з максимальним струмом навантаження 10 А.

Оскільки ККД перетворювачів напруги, які використовують Pulse, становить близько 80%, давайте оцінимо кількість електроенергії, яку джерело живлення споживатиме з мережі

$$P_{\text{сп}} = \frac{P_{\text{вих}}}{\text{ККД}} = \frac{U_{\text{вих.макс.}} \cdot I_{\text{вих.макс.}}}{\text{ККД}} [\text{Вт}], \quad (1.2)$$

$$P_{\text{сп}} = \frac{30\text{В} \cdot 10\text{А}}{0,8} = 375 (\text{Вт}).$$

Обчислимо струм, який буде споживати блок живлення від мережі

$$I_{\text{сп}} = \frac{P_{\text{сп}}}{U_{\text{ж}}} [\text{ВТ}], \quad (1.3)$$

$$I_{\text{сп}} = \frac{375\text{Вт}}{220\text{В}} = 1,7 (\text{А}).$$

1.7 Структурна схема

Багато блоків живлення, які перемикаються між різними рівнями напруги, мають однакову конструкцію. Обов'язковими компонентами, включеними до структурної схеми, повинні бути вхідний фільтр, трансформатор змінного струму в постійний, генератор, який автоматично вимикається, трансформатор і кінцевий випрямляч. Часто кілька випрямлячів можуть працювати на виході разом із контролерами напруги та струму. Іноді структурні схеми включають додаткові компоненти, які покращують початкову точку автогенератора, а також схеми, які захищають джерело живлення від перевантаження. У цьому методі ви повинні забезпечити пристрій для запобігання надмірному навантаженню джерела живлення,

пристрій (К), що перетворює напругу та контролер (ПК). Перетворювач, у свою чергу, складається з інвертора (І), який перетворює постійну вихідну напругу MV в прямокутну напругу з високою частотою (~ 60 кГц), силовий трансформатор оснащений системою гальванічної розв'язки, яка призначений для роботи на високій частоті (~ 60 кГц), і він забезпечує засіб ізоляції мережі від навантаження. Випрямляч і високочастотний LC фільтр (HF). Контролер живиться від потужних транзисторів інвертора, які мають змінну тривалість імпульсів завад, завдяки чому реалізується принцип регулювання ширини імпульсів і утримання вихідної напруги на постійному рівні U_n .

Крім того, контролер виконує функцію плавного включення і виключення блоку живлення.

Малопотужні виходи логічних компонентів ПК узгоджені з входами силових транзисторів за допомогою підсилювачів імпульсів (ПІ), що досягається за рахунок використання трансформатора Т2. Це забезпечує гальванічну розв'язку.

1.8 Опис структурної схеми

1.8.1 Вхідний фільтр

Ступінь перешкод в першу чергу залежить від швидкості роботи транзисторів і діодів силової частини, а також довжини проводів і компонентів і потужності установки. Наявність перешкод негативно позначається на функціонуванні самого джерела живлення, це проявляється у втраті стабілізуючих властивостей джерела.

При вивченні схеми імпульсних джерел живлення прийнято розрізняти синфазну та диференціальну складові перешкод. Синфазна напруга визначається відносно корпусу приладу, кожен з полюсів шини живлення в джерелі має різну напругу. Диференціальна складова, яка є різницею полюсів

шин живлення (в першу чергу, навантаження), також вважається різницею синфазних складових перешкод між шинами відповідного кола.

Найефективнішим способом зниження ступеня перешкод є їх усунення в тих місцях, де вони виникають, це призведе до чіткого визначення місця, куди вставляється фільтр, на вході в джерело живлення. При проектуванні фільтра джерела живлення найбільш пріоритетним є придушення загальнофазної та диференціальної складових перешкод у мережі.

1.8.2 Низькочастотний випрямляч, згладжувальний фільтр

Перетворювач джерела живлення живиться постійною напругою, яка створюється низькочастотним випрямлячем. Схема випрямляча низької частоти побудована за мостовою схемою і призначена для отримання високоякісної версії напруги, що випрямляється. Наступне усереднення коливань напруги здійснюється фільтром. Потенціал потужності, що надходить від мережі при напрузі 115 В, реалізується шляхом додавання компонентів випрямляча вимикача напруги живлення. Замкнутий стан перемикача вказує на низьку напругу системи живлення (115 В).

У цьому випадку випрямляч дотримується протоколу подвоєння напруги. Одним із завдань випрямляча є регулювання швидкості заряду вхідного конденсатора фільтра низьких частот, який складається з інших компонентів випрямляча джерела живлення. Попит на них обумовлений тим, що режим пуску перетворювача близький до режиму короткого замикання. Максимальний зарядний струм конденсаторів 10-100 ампер. Тут існує дві небезпеки, перша - вихід з ладу діода фільтра низьких частот, друга - знос електролітичних конденсаторів при проходженні через них великої кількості струму.

1.8.3 Перетворювач напруги

У джерелі живлення персонального комп'ютера високочастотний трансформатор побудований за схемою напівмостового двотактного

трансформатора. Компонентами схеми, які є активними, є транзисторні ключі, до яких приєднані діоди в протилежному напрямку.

Ланцюги керування базових перетворювачів транзистора підключаються до вторинної обмотки узгоджувального трансформатора, вихід перетворювача потім підключається до первинної обмотки імпульсного трансформатора. Щоб зменшити час перемикання ключових транзисторів (силових), базова схема містить форсувальну резисторно-конденсаторну схему. Діоди включені в паралель з емітерним і колекторним переходом силового транзистора. Це запобігає їх пошкодженню зворотною напругою. Транзистори, що живлять ключі, вибираються з коротким періодом часу, протягом якого поглинаються основні носії переходу база-емітер. З більш високою напругою для робочого емітера і колектора, більші струми і робочі.

1.8.4 Каскад керування

Управління транзисторами в ланцюзі управління напівмостового перетворювача делеговано каскаду управління. Крім цього, схема керування також функціонує як засіб координації та ізоляції потужних потоків потужності від ланцюгів малої потужності.

1.8.5 Кола захисту і контролю

Безпека джерел живлення продемонстрована як в критичних режимах, так і в тих випадках, коли дія зворотного зв'язку призводить до летальних режимів роботи компонентів схеми, це запобігає виходу з ладу силових або дорогих компонентів. Вони складаються з напівмостових перетворювачів і регуляторів виходу. Внаслідок дії ланцюгів захисту знімаються сигнали керування виходом, відключаються транзистори перетворювача, пропадає вторинна напруга. Крім внутрішніх схем захисту, які містяться в Shim-Controller, ми обговоримо дії зовнішніх компонентів типових схем перетворювача.

Ці кола слід розрізняти:

- внаслідок короткого замикання на шляху руху навантаження;
 - від надмірного струму в транзисторах напівмостових перетворювачів;
- захист від напруги.

1.8.6 ШІМ-контролер

ШІМ-контролер виконує наступні функції: блокування «входу» струму. Інший спосіб усунення явища «наскрізного» напівмостового перетворювача полягає в додаванні фіксованого зсуву до значення паузи компаратора 0,12 В. При пилоподібній напрузі менше 0,12 В. і потенціалі на виводі 4 на виході компаратора встановлено на нуль, цей інтервал є максимальною тривалістю інтервалу «паузи», значення якого не може перевищувати 4% від періоду пилоподібної напруги. Максимальна довжина паузи дорівнює напрузі на виводі 4 мікросхеми.

1.8.7 Режим «повільного пуску»

Крім того, за допомогою входу управління «пауза» просто структурований режим «повільний старт» перетворювача. Наявність цього режиму полегшує початковий запуск перетворювача в перший момент інтеграції в електричну систему. Важливо пам'ятати, що режим пуску є складним режимом роботи перетворювача, всі конденсатори фільтра звільнені, в результаті режим пуску практично ідентичний режиму короткого замикання. Транзистори перетворювача повинні бути активними в найбільш критичному режимі з усіх струмів до повного заряду конденсаторів випрямляча. Використання режиму «повільний старт» сприяє комфортній роботі транзисторів при первинному запуску перетворювача до закінчення заряду фільтра. Крім того, довжина вихідних каскадів збільшується до типової тривалості роботи вихідних транзисторів перетворювача.

1.8.8 Підсилювач помилки

Основна мета підсилювачів із такою похибкою — вимірювати відхилення вихідної напруги та струму навантаження, щоб підтримувати напругу на виході джерела живлення на постійному рівні. У режимі стабілізації довжина вихідних керуючих імпульсів змінюється сигналами підсилювачів помилки, вхідна напруга яких може бути від 0,5 до 3,5 В. Обидва підсилювачі можуть працювати в однаковому режимі. Входи підсилювача з'єднані з неінвертуючим входом ШІМ-компаратора. Архітектура цієї мікросхеми має контур зворотного зв'язку, який контролює напругу на виході джерела живлення. Це дозволяє підтримувати напругу на виході джерела живлення з найменшими відхиленнями. У двотактному режимі вхід управління вихідними каскадами підключається до джерела опорної напруги, це джерело створює напругу +5 В з максимальним струмом навантаження 10 мА. Метою цього джерела є живлення зовнішніх ланцюгів по відношенню до мікропроцесора.

1.8.9 Вихідний каскад

Після закінчення періоду «паузи» виробляється протиімпульс тієї ж полярності, якщо відпустити конденсатор синхронізації St. Імпульс синхронізується з входом D-Trigger і виходами компонентів АБО-НІ драйвера, ці компоненти закривають вихідні транзистори. У двотактному режимі, коли керуючий вхід вхідних каскадів дорівнює , транзистори вхідного каскаду знаходяться в протифазі з керуючим входом вихідного каскаду. У цьому випадку частота кожного транзистора, який перемикається, становить половину частоти генератора, а максимальний струм, який може пройти через кожен вихідний транзистор, становить 200 мА.

1.8.10 Імпульсний трансформатор

Трансформатор, який перетворює сигнал, приймає високочастотні хвилі. Коли під час обертання трансформатора надходять імпульси, трансформатор

наділяється енергією, коли імпульси досягають нульового потенціалу на первинній обмотці, тоді енергія передається у вторинні ланцюги.

1.8.11 Випрямлячі імпульсної напруги

Імпульсні випрямлячі напруги для вторинних джерел живлення зазвичай використовують типову схему випрямляча, яка має середню точку, що забезпечує необхідний коефіцієнт пульсацій.

1.9 Висновки до розділу

Останні роки характеризуються значним розвитком систем мікропроцесорного керування в силовій електроніці. Наукові дослідження зосереджуються на вдосконаленні алгоритмів керування, підвищенні енергоефективності та надійності імпульсних блоків живлення. Відомі фахівці у галузі електроніки досліджують питання інтеграції мікроконтролерів для більш точного регулювання напруги і струму, впровадження механізмів самодіагностики та захисту від аварійних ситуацій. Також активно розвиваються технології зменшення розмірів компонентів і підвищення ККД за рахунок нових матеріалів та інноваційних схемотехнічних рішень.

2 РОЗРОБКА ІМПУЛЬСНОГО БЛОКУ ЖИВЛЕННЯ

2.1 Загальні відомості про плату Arduino NANO

Arduino Nano V3.0 AVR ATmega328P — це комп'ютерний чіпсет від RobotDyn, який містить мікроконтролер ATmega328P. Це перероблена версія Arduino Nano, яка містить усі функції мікроконтролера Arduino, а також мікросхему перетворення USB-TTL на платформі CH340G на окремій платі.

Для кодування лінійки цих плат компанія Arduino створила для розробки Arduino IDE (мова програмування C++), ця платформа дозволяє новачкам у сфері мікроконтролерів легко почати програмувати мікроконтролери на основі цих плат. Я вибрав цю плату через її доступність для початківців, великий обсяг інформації про саму плату та можливість програмування окремих модулів на платі.

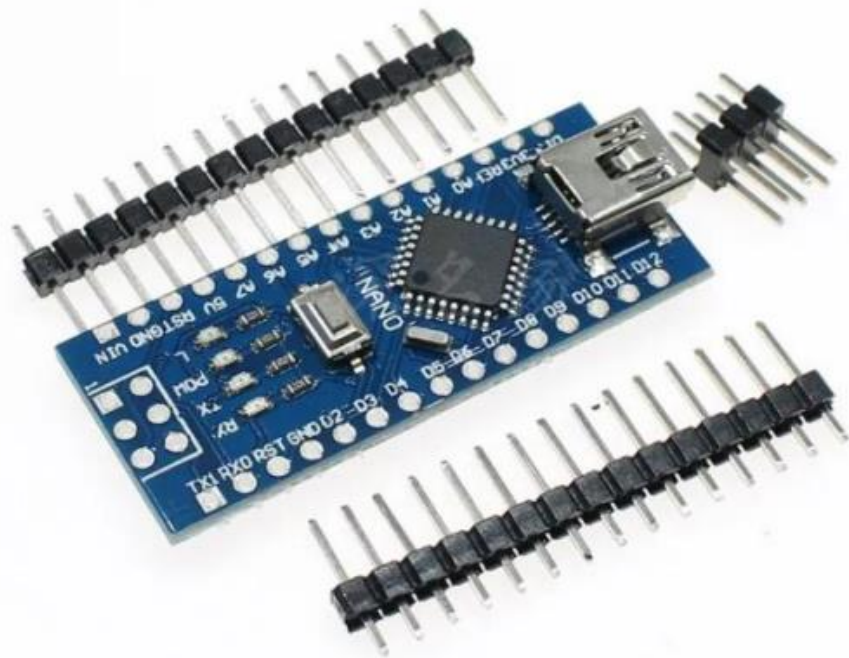


Рисунок 2.1 – Arduino Nano V3.0 AVR

Атрибути Arduino Nano V3.0 AVR перераховані нижче.

Мікроконтролер ATmega328

Менеджер Wi-Fi відсутній

Перехідник USB-TTL CH340G

Робоча напруга 5 В

Вхідна напруга 7-12 В

Вхідна напруга (рекомендована) 7-9 В

14 цифрових входів і виходів. 6 аналогових входів.

Максимальний струм, який може пройти через один контакт, становить 40 мА.

Постійна вихідна напруга 3,3 В 50 мА

Також доступна флеш-пам'ять з 32 Кб SRAM і 2 Кб EEPROM.

Тактова частота становить 16 МГц.

Бездротові мережі:

Робоча температура -40 °C / +125 °C

Powerfoams:

- VIN: Напруга від зовнішнього джерела живлення (не пов'язана з 5 В від USB чи іншої постійної напруги). Цей вихід дозволяє як забезпечувати зовнішнє живлення пристрою, так і споживати струм від самого пристрою, якщо до пристрою підключено зовнішнє джерело живлення.
- Напруга на виході стабілізатора плати 5В. Цей підсилювач надає живлення мікроконтролеру ATmega328P. Не рекомендується живити пристрій через вихід 5 В; в цьому випадку стабілізатор напруги не використовується, що може призвести до виходу з ладу плати.

Напруга 3,3 В від стабілізатора плати. Максимальна вихідна сила струму 1 А.

- GND: земля.

IOREF: Вихід надає платам розширення інформацію про напругу мікроконтролера, який працює. Залежно від напруги плата розширення може переходити на відповідне джерело живлення або перетворювач рівня, що дозволить їй працювати як з пристроями 5 В, так і з 3,3 В. Вхідні/вихідні клеми:

- Входи/_виходи: розетки 0-13. Логічний рівень 1-5 В, нуль 0 В, максимальний вихідний струм 40 мА. Підтягувальні резистори підключені до

контактів, які за замовчуванням вимкнені, але доступ до них можливий програмним забезпеченням.

- ШІМ: контакти 3, 5, 6, 9, 10, 11. Здатність створювати 8-бітні аналогові значення як ШІМ-сигнал.
- АЦП: гнізда A0 – A5. Частота АЦП 10 біт.
- TWI/I²C: розетки SDA та SCL. Для зв'язку із зовнішніми пристроями, які використовують синхронний протокол, по 2 проводах. Щоб співпрацювати з ними, ви повинні використовувати бібліотеку Wire.
- SPI: контакти 10(SS), 11(MOSI), 12(MISO), 13(SCK). Зв'язок між SPI і зовнішнім світом здійснюється через ці розетки. Щоб співпрацювати з ними, ви повинні використовувати бібліотеку SPI.
- UART: контакти 0(RX) і 1(TX). Ці виходи використовуються для зв'язку плати з комп'ютером або іншими пристроями через послідовний протокол.

2.2 Мікроконтролер ATmega328P

Мікроконтролер ATmega328P є частиною сімейства AVR і має 8-розрядний процесор, що дозволяє виконувати більшість команд за один цикл.



Рисунок 2.2 – Мікроконтролер ATmega328P

Пам'ять:

- Флеш-пам'ять 32Кб.

2 Кб SRAM.

1 Кб EEPROM. Ін'єкційні пристрої:

- Два 8-розрядних лічильника, які порівнюють і ділять за частотою.
- 16-бітний таймер/лічильник з компаратором і дільником частоти, а також опцією запису.
- Калькулятор реального часу з окремим джерелом живлення.
- Шість каналів з частотою ШІМ.
- 6-канальний ЦАП із вбудованим датчиком температури.
- Програмований послідовний порт USART.
- Послідовний інтерфейс SPI.
- Інтерфейс I2C використовується в конфігурації master-slave.
- Програмований таймер, який функціонує як сторожовий таймер з окремим внутрішнім джерелом живлення.

Внутрішній механізм порівняння напруги.

- Блок обробки переривань і пробудження при зміні напруги на виходах мікроконтролера.

Унікальні властивості мікроконтролера:

- Включено скидання живлення та розпізнавання програмним забезпеченням зниження напруги джерела живлення.
- Внутрішній таймер.
- Обробляються внутрішні та зовнішні переривання.
- 6 різних режимів сну (низьке енергоспоживання та зменшення шуму для більш точного АЦП).

2.3 Загальні відомості про плату ADS1115 аналого-цифрового перетворювача

Часто радіолюбителям потрібно буде виміряти напругу певної частини ланцюга, щоб отримати більш детальне розуміння результату. Для цього

використовуються аналого-цифрові перетворювачі, які перетворюють напругу в її числовий еквівалент, зрозумілий мікроконтролеру.

Кожен, хто коли-небудь використовував Arduino як платформу для роботи, напевно, зрозуміє, що він має 10-бітний пристрій аналого-цифрового перетворення (АЦП), підключений до контактів A0-A7 як додаткову функцію введення або виведення. Однак можливостей цього АЦП зазвичай недостатньо для вимірювання точності, швидкості та гнучкості, що важливо для конкретного проекту.

16-розрядний модуль АЦП ADS1115 не має перерахованих вище недоліків.

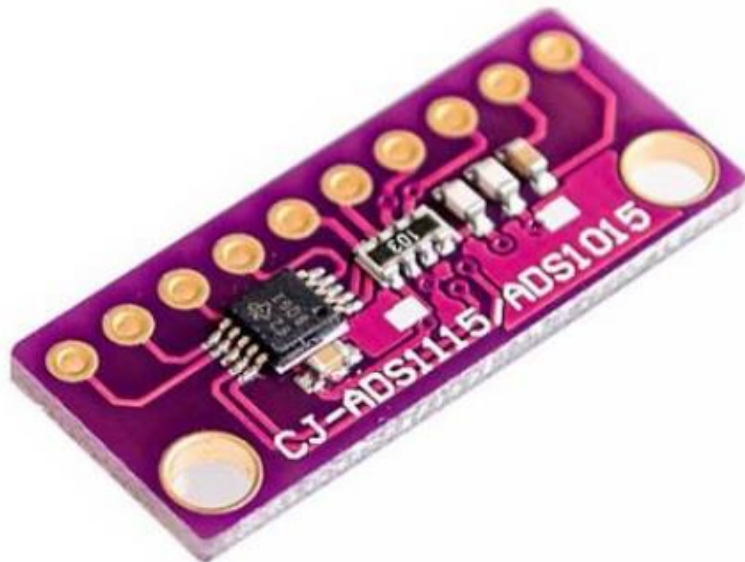


Рисунок 2.3 – Модуль АЦП ADS1115

Крім того, він має внутрішнє джерело напруги для порівняння, програмовану частоту дискретизації, регульований коефіцієнт посилення, вбудований компаратор і здатність вимірювати в 2 режимах, прямому та диференціальному. Зовнішній вигляд модуля показано на рис.2.3

Цей модуль має 10 виходів, які перераховані нижче:

- VDD і GND відповідають за живлення мікросхеми ADS1115. Модуль може працювати в діапазоні від 2 В до 5,5 В.

Наявність виходів SCL і SDA говорить про підключення модуля до головного пристрою по протоколу I2C. Немає необхідності додавати підтягуючі резистори до шини, вони вже включені в конструкцію модуля.

ARRD відповідає за встановлення однієї з 4 можливих адрес модуля. Цей атрибут корисний при використанні кількох ADS1115 на одній шині I2C.

- ALRT - вихід порівняння, корисний для сповіщення контролера.

Входи A0, A1, A2 і A3 є 4 одноканальними входами або 2 різними входами каналів.

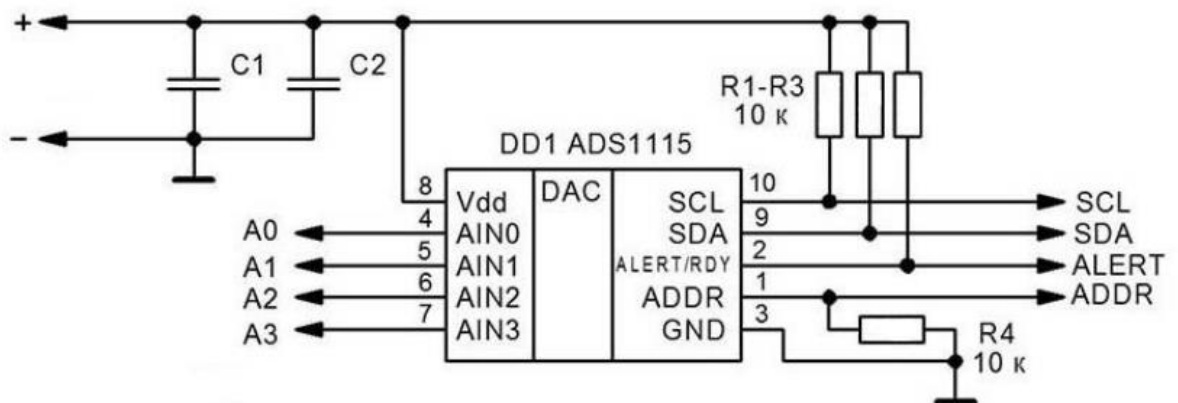


Рисунок 2.4 - Схема модулю АЦП ADS1115

Конденсатори C1 і C2 призначені для усунення перешкод в системі живлення мікропроцесора АЦП. Резистор R1 знижує вихід компаратора. У результаті сигнал обережності буде вважатися аналогом логічного поняття. Резистори R2 і R3 піднімають шину I2C до рівня потужності, що звільняє користувача від необхідності використання зовнішніх резисторів.

Модуль ADS1115 має чотири можливі адреси, які залежать від розташування контакту ADDR. З малюнка видно, що він підтягується резистором R4 до негативного джерела живлення, це джерело за замовчуванням має адресу 0x48. Щоб змінити адресу, PIN-код ADDR пов'язується з одним із варіантів. Кожна мікросхема сімейства ADS1115 має 4 аналогових входи (A0, A1, A2, A3). Залежно від конфігурації, ці входи

можна використовувати як 4 одиночних вимірювальних каналу або як 2 диференціальних. У диференціальному режимі напруга реєструється між входами A0-A1 і A2-A3.

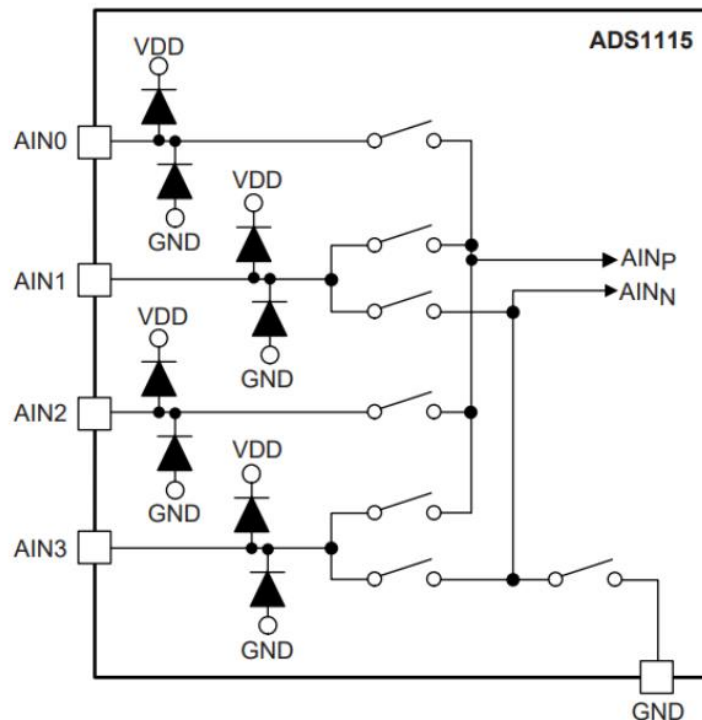


Рисунок 2.5 - Внутрішня блок-схема мікросхеми ADS1115

Схема припускає, що можна вивести необхідну конфігурацію аналогових входів із внутрішнього складу контактів, якими традиційно вважаються контакти реле. У будь-який момент для внутрішніх AIN_P і AIN_N можливе лише одне конкретне налаштування.

У разі використання диференціального режиму дотримується одне правило: якщо AIN_P більше AIN_N, то напруга вважається додатним, якщо AIN_P менше AIN_N, то напруга вважається негативним. Якщо вибрано метод одиничних (асиметричних) входів, то вимірювання будуть проводитися виключно між позитивним входним сигналом і загальним провідником ADS1115. У цьому режимі неможливо виміряти негативну напругу. Незалежно від обраного методу, після того, як входний сигнал буде прийнятий вимірювальним трактом АЦП, користувач може збільшити його

амплітуду за допомогою вбудованого апаратного підсилювача PGA з різними коефіцієнтами підсилення.

Технічні характеристики компонента ADS1115

- Напруга живлення: 2В - 5,5В;
- Мінімальна величина споживаного струму становить 150 мкА.
- Масштаб: 16 біт;

Тип інтерфейсу: I2C (адреси 0x48, 0x49, 0x4A, 0x4B);

- Кількість входів: 4 різнорідних або 2 різнорідних;
- Внутрішнє посилення PGA: до x16;
- Напруга зміщення: 100 мкВ;
- Швидкість обробки даних, яку можна змінювати: 8-860 вибірок / сек.
- Програмований компаратор;
- Діапазон робочих температур: 40о С... + 125о С;
- Корпус типів мікросхем: X2QFN-10 або VSSOP-10; 36
- Висота модуля: 16 мм.

2.4 Інтерфейс I2C 20x4 РК-дисплей з Arduino Uno

Шина I2C — це двопровідний комунікаційний інтерфейс, який спочатку був розроблений корпорацією Phillips для використання в споживчих товарах. Це двонаправлена шина, яку легко впровадити в будь-яку мікросхему процесу (NMOS, CMOS, біполярна) і полегшує простий внутрішній зв'язок між мікросхемами. З'єднання обмежені використанням лінії послідовної передачі даних (SDA), лінії послідовного синхронізації (SCL) і єдиного загального маршруту для всього зв'язку. I2C був популярний і навіть послужив прототипом шини системного керування (SMBus), яка є підмножиною I2C.

Адаптер складається з 8-розрядної мікросхеми розширення на основі PCF8574. Цей чіп перетворює дані I2C з Arduino в послідовні дані, необхідні

РК-дисплею. Плата також має невеликий тример для точного керування контрастністю дисплея.



Рисунок 2.6 - Адаптер I2C для LCD 1602 2004

На дошці є стрибок, який направляє живлення на задній ліхтар. Щоб регулювати ступінь підсвічування, можна розібрати перемичку і подати зовнішнє живлення на клеми, які позначені як «LED».

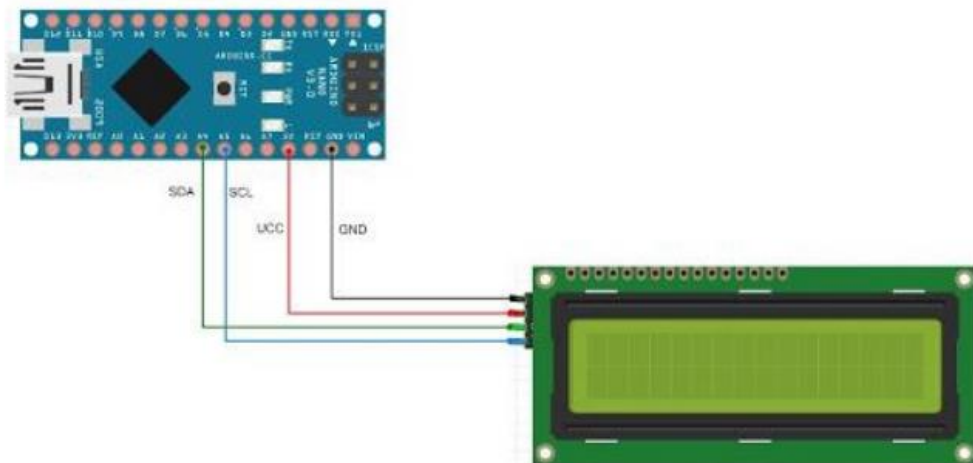


Рисунок 2.7 - Підключення адаптеру I2C до Arduino Nano

I2CAdapter має чотири основні виходи, які можна використовувати для підключення до інтерфейсу:

- Заземлення – це якір, який необхідно з'єднати із заземленням Arduino.

від них, швидше за все, буде малим, тривалість їх роботи спірною, а стабільність вихідної напруги невизначеною.

Це область, в якій пристрій регулювання потужності матиме корисність, цей пристрій використовується для встановлення бажаної вихідної напруги та струму. Крім того, у випадку ремонту радіоелектроніки, коли пошкоджено джерело живлення пристрою. Став популярним лабораторний блок живлення, який призначений для медичних установ. Спочатку це медичні заклади, які діють і мають пластиковий апарат як стабілізатор або випрямляч.

Справа в тому, що грамотний БЖ видає задану напругу за допомогою внутрішніх систем стабільності, які є вирішальними для роботи нестабільних міських електромереж. Наприклад, у нас є система штучного дихання, яка живиться від зовнішнього пристрою ВЗ, це схоже на ноутбук. У них напруга 220-240 В, і переведіть це у відсотки 24. В результаті при зниженні напруги мережі до 180-190 В вона буде давати не більше 20 Вольт.

Цей стрибок може бути фатальним для здоров'я та життя пацієнта. Лабораторний БЖ генерує потрібні 24 В при будь-якій заданій вхідній напрузі. По суті, такий самий сценарій і з ремонтом обладнання, але цього разу небезпека становить не життя пацієнта, а працездатність компонентів пристрою. Звичайні стабілізатори не використовуються, тому що лабораторний блок живлення, який коштує так само, як стабілізатор, буде мати більш універсальний характер. Навіть самий базовий БЖ має велику кількість перехідників і типів підключення, правильну полярність клем (+/-) та інші особливості, стабілізатор просто збільшить вхідну напругу до 220 В, не більше.

2.5 Вибір ШІМ-контролера

В якості ШІМ контролера для блоку живлення з імпульсною діаграмою (ІПВ) я вибрав мікросхему TL494 (вітчизняна версія 1156EU2). Це

мікросхема, яка спеціально розроблена для створення блоку живлення з імпульсним живленням, ця мікросхема надає розробнику масу можливостей для створення ІБЗ.

Мікросхема має підсилювач помилок, вбудований генератор, який можна регулювати, компаратор часу паузи (так званий мертвий час), флор керування, джерело точної напруги (DON) 5В та схему керування для вихідний каскад. Підсилювач помилки генерує синфазну напругу, яка зазвичай становить $-0,3...(V_{CC}-2)V$. Компаратор для коригування мертвого часу має постійне зміщення, яке обмежує мінімальну тривалість мертвого часу до приблизно 5%.

Синхронізація вбудованого генератора допускається підключенням виходу R до напруги загального емітера каскаду або повторювача емітера. Етап виведення мікросхеми TL494 одно- або двоцикловий, змінюється за допомогою спеціального входу. Внутрішня схема контролює кожен вихід і запобігає виходу режиму подвоєного імпульсу двома тактами.

Мікросхеми TL494L призначені для нормальної роботи в діапазоні температур $-5...85^{\circ}C$, а TL494C - в діапазоні температур $0...70^{\circ}C$.

Електричні властивості ШІМ-контролера TL494 включають:

- повний набір функцій, які використовуються для управління ШІМ;
- Струм, що протікає через кожен вихід, вважається 200 мА.
- потенціал для роботи в режимі з одним і двома стрибками;
- механізм попереджувальної багатозадачності, який запобігає необхідності очікування системою другого промивання.
- широкий варіаційний діапазон;
- Вихідна опорна напруга становить $5V \pm 0,5\%$;
- просто планувати синхронізацію.

Формальна схема ШІМ-контролера TL494 проілюстрована на рис.2.9. Конструкція та атрибути ШІМ-контролера TL494 зображені на рис.2.10.

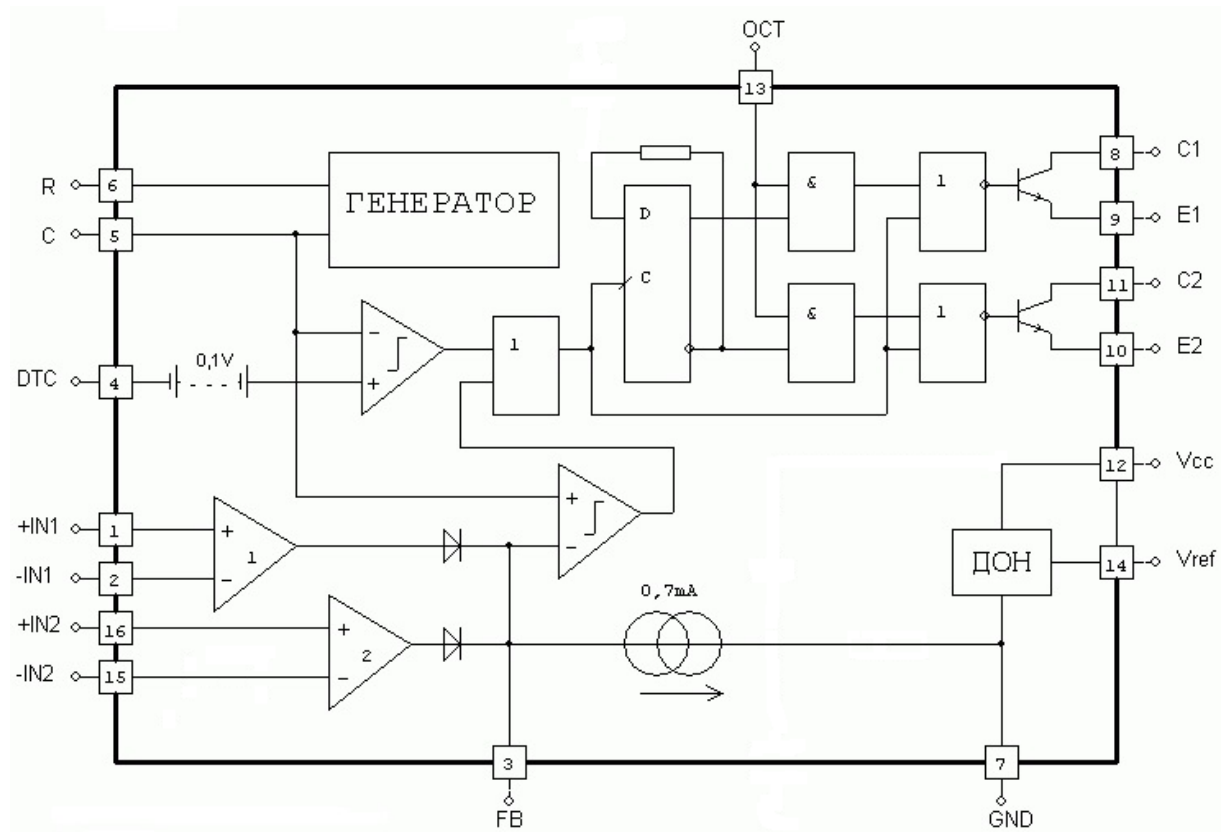


Рисунок 2.9 – Структурна схема TL494

- 1. Підсилювач помилки 1
- 2. Підсилювач помилки 2

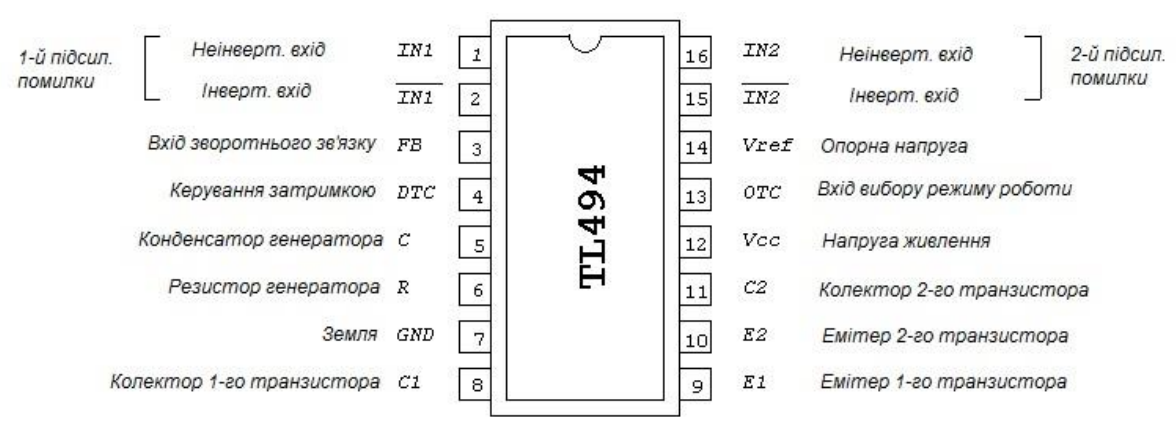


Рисунок 2.10 – Цоколівка TL494

Максимальні значення властивостей мікросхеми.

Напруга, що подається споживачам, становить.....41В;

Вхідна напруга підсилювача становить.....(Vcc+0,3)V;

Вихідна напруга колектора.....41В;
 Вихідна потужність колектора.....750мА;
 Загальна потужність, що розсіюється в безперервному режимі...
 становить 1 Вт.

2.6 Функціональний опис мікросхеми TL494

Мікросхема TL494 - це ШІМ-контролер, який контролює частоту імпульсного джерела живлення. Він включає всі необхідні компоненти. Генератор пилоподібної напруги, вбудований у систему, потребує лише двох зовнішніх компонентів, R та C, для встановлення частоти. Частота генератора розраховується за формулою

$$f_{osc} = \frac{1,1}{R \cdot C} [\text{Гц}]. \quad (2.1)$$

Ширина вихідних імпульсів змінюється шляхом порівняння позитивної напруги на конденсаторі C з двома сигналами, які керують виходом (див. рис. 2.9). Логічні компоненти АБО активують вихідні транзистори Q1 і Q2 лише тоді, коли лінія синхронізації вбудованого флопа знаходиться в стані логічного низького рівня. Це відбувається лише в той період часу, коли амплітуда напруги зубця пилки перевищує амплітуду керуючих сигналів. Таким чином, збільшення амплітуди керуючих сигналів призводить до відповідного зменшення ширини вихідних імпульсів. Керуючі сигнали – це рівні напруги, отримані від схеми керування мертвим часом (контакт 4), підсилювачів помилок (контакти 1, 2, 15, 16) і ланцюга зворотного зв'язку (контакт 3).

Ви можете збільшити тривалість мертвого часу на виході, подавши постійну напругу 0...3,3 В на вхід зміни мертвого часу (висновок 4). ШІМ-компаратор зменшує тривалість вихідних імпульсів від максимального періоду часу, визначеного вхідним часом мертвого часу, до нуля, коли

напруга зворотного зв'язку становить від 0,5 до 3,5 В. Обидва ці підсилювачі помилки мають вхідний діапазон загального режиму від -0,3 до $(V_{CC}-2.0)V$ і може бути використаний для зчитування напруги або струму з виходу джерела живлення. Виходи підсилювачів помилки активні з високим рівнем і виведені через АБО на неінвертуючому вході ШІМ-компаратора. У цій конфігурації підсилювач, якому потрібно найменше часу для активації виходу, є найбільш впливовим у вузлі керування.

Під час звільнення конденсатора С на виході компаратора мертвого часу створюється позитивний струм, який подається на флоп і запобігає звільненню вихідних транзисторів Q1 і Q2. Якщо опорна напруга вводиться в режим вибору режиму роботи (контакт 13), тригер безпосередньо керується двома вихідними транзисторами в опозиції (2-тактний режим), а вихідна частота становить половину частоти генератора. Формувач вихідного сигналу також може працювати в однотоктному режимі, коли обидва транзистори одночасно відкриваються і закриваються, і коли бажаний максимальний робочий цикл не перевищує 50%. Це вигідно, коли трансформатор має котушку з пригнічуючим діодом, який використовується для регулювання перехідних процесів. Якщо однотоктний режим потребує великих потоків, то вихідні транзистори можуть працювати послідовно. Для цього вхід вибору режиму ОТС має бути закритий, це не дозволить вихідному сигналу від тригера досягти землі. Вихідна частота в цьому випадку дорівнює частоті генератора.

Мікросхема TL494 містить вбудоване джерело напруги 5,0 В, яке може забезпечити до 10 мА додаткового струму для зміщення зовнішніх компонентів. Напруга при еталонній температурі коливається до 5% у діапазоні типових робочих температур.

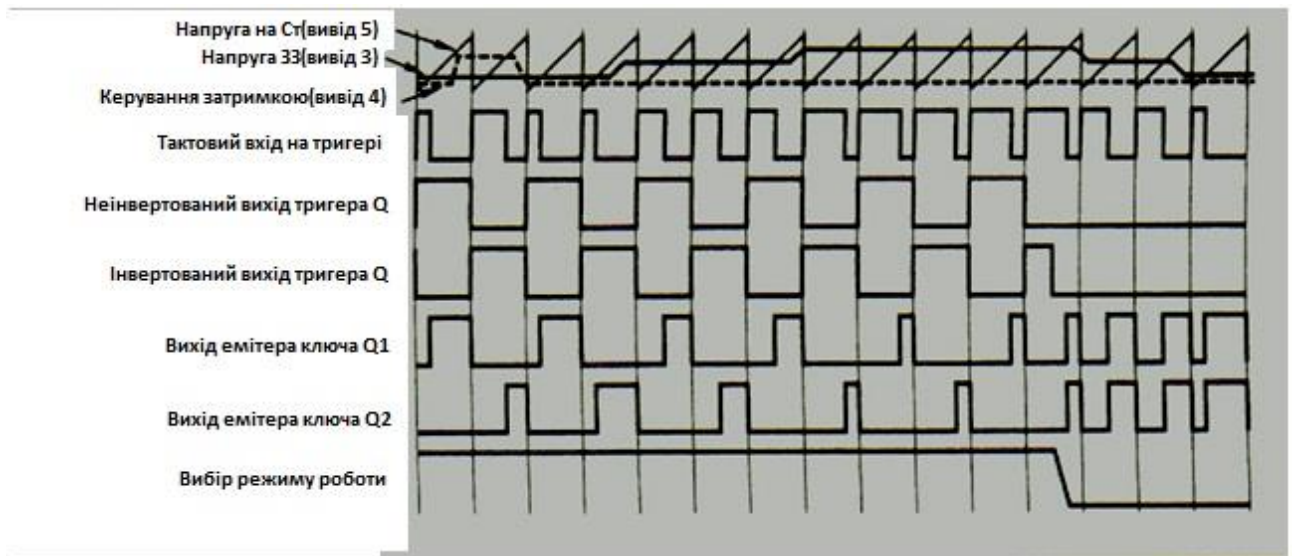


Рисунок 2.11 – Часова діаграма TL494

2.7 Розробка імпульсного блоку живлення

Означимо спочатку основні модулі, які є в будь-якому імпульсному блоці живлення. У типовому варіанті його можна умовно розділити на три основні частини [2]. Це:

1. ШІМ(PWM)-контроллер, на базі якого збирається задаючий генератор, зазвичай з частотою близько 30...60кГц.

2. Каскад силових ключів, роль яких можуть виконувати потужні біполярні або польові транзистори. Силовий каскад може включати в себе додаткову схему керування цими ключами на інтегральних драйверах чи малопотужних транзисторах. Також важливою є схема включення силових ключів: мостова, напівмостова чи з середньою точкою.

3. Імпульсний трансформатор з первинною(ими) і вторинною(ими) обмоткою(ами) і, відповідно, випрямляючими діодами, фільтрами, стабілізаторами на виході. У якості сердечника трансформатора зазвичай обирається ферит чи альсифер, тобто матеріали, які здатні працювати на високих частотах(іноді і більше 100кГц).

Виділимо ці основні блоки на схемі електричній принциповій будь-якого блоку живлення.

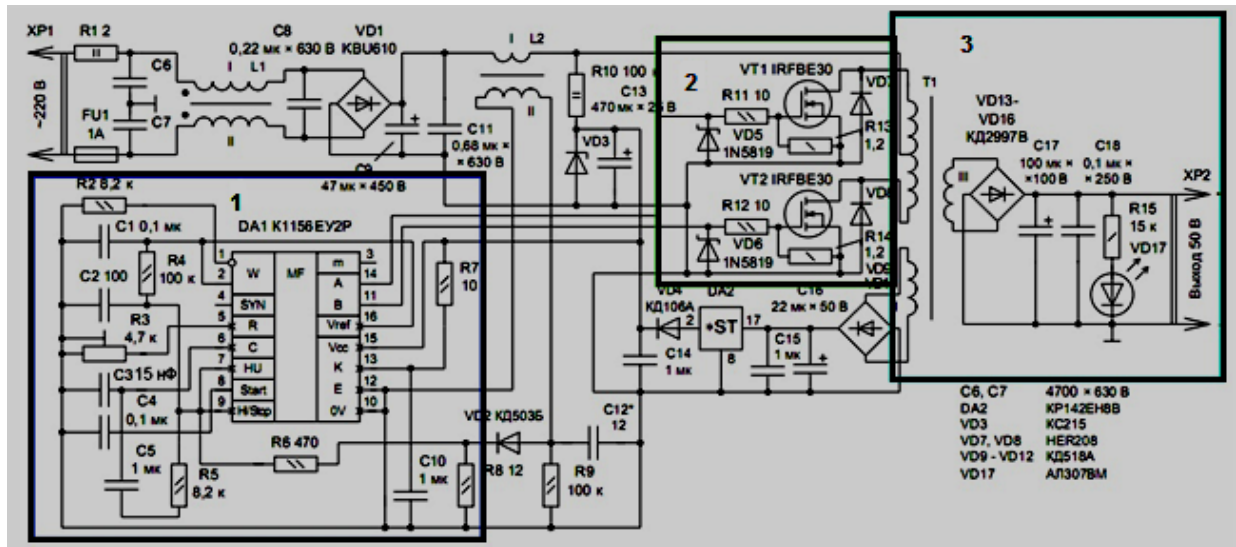


Рисунок 2.12 – Основні блоки ІБЖ

У наведеній схемі використовується включення каскаду силових ключів за схемою включення з середньою точкою.

Приведемо схему двотактного блоку ШІМ-керування на базі TL494 згідно офіційної документації (datasheet).

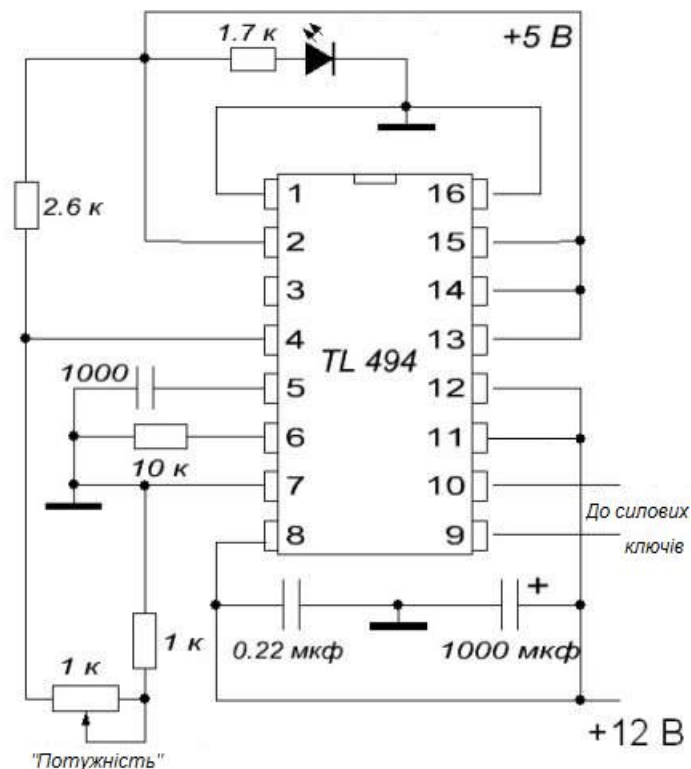


Рисунок 2.13 – Схема електрична принципова ШІМ-контролера

Контроллер TL494 призначений для використання у схемах імпульсних блоків живлення, які працюють на частоті до 1МГц. Завдяки високій швидкодії мікросхема знайшла широке застосування. Варто зауважити, що частота імпульсів залежить від номіналів резистора і конденсатора на 5 і 6 виводах мікросхеми. Причому за величину мертвого часу між імпульсами відповідає ємність конденсатора. А це прямо позначається на забезпеченні одночасного закриття вихідних ключів, щоб уникнути скрізних струмів. Опір резистора обирається з діапазону 3...100кОм, а ємність конденсатора – 0,47...100нФ. Монограми для вибору номіналів цих деталей на рисунку 2.14.

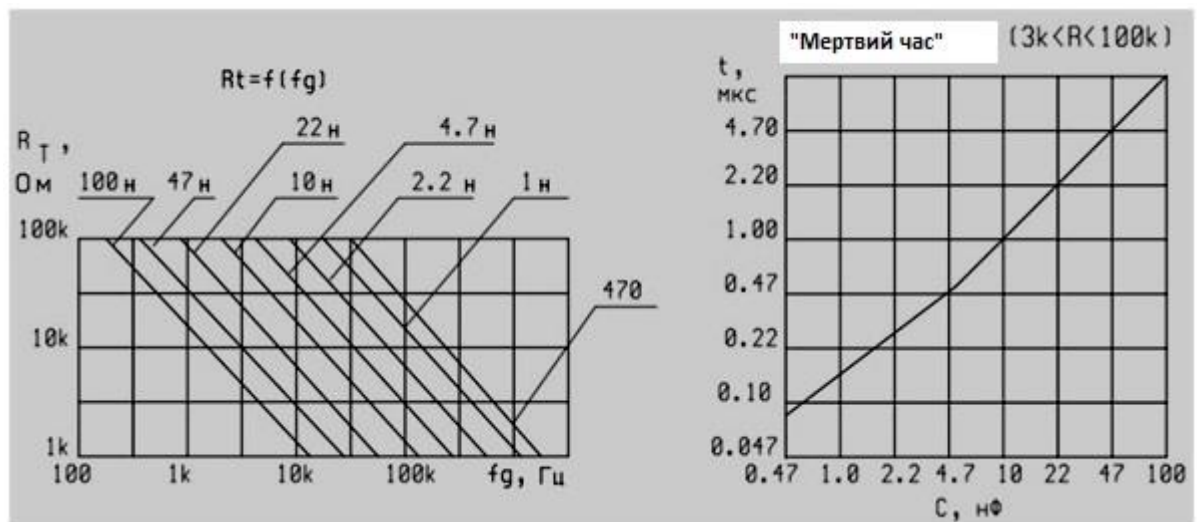


Рисунок 2.14 – Монограми вибору номіналів резистора і конденсатора для задання частоти імпульсів и тривалості мертвого часу [3]

Таким чином, задавши тривалість мертвого часу 1.5мкс(щоб знизити можливість появи скрізних струмів у силовому каскаді) буде необхідний конденсатор ємністю 15нФ. Подивимось на графік зліва і оберемо частоту імпульсів 60кГц. Тоді номінал резистора задаючого генератора становитиме 3кОм. Встановимо підстроювальний резистор на 4,7кОм для того, щоб можна було збільшувати частоту, тим самим збільшуючи потужність блоку живлення в цілому.

В якості силових ключів будемо використовувати МОН-транзистори (MOSFET), як найбільш ефективні, так як біполярні транзистори мають такі недоліки, як завищена остаточно напруга напруга колекторі у режимі насичення, велика потужність керування у базовому колі і великий час розсмоктування. Все це призводить до значного зниження ККД ключів. Визначимо границі підбору МОН-транзисторів. Згідно ТЗ нам потрібен блок живлення потужністю 300Вт від електромережі 220В. Це означає, що після випрямляючих діодів і фільтруючого конденсатора 220В змінної напруги перетворяться у 300...310В постійної напруги. Сила струму у колі номінально буде рівна

$$I = \frac{P}{U} [\text{A}], \quad (2.2)$$

$$I = \frac{300}{300(310)} \approx 1(\text{A}).$$

Імпульсний блок живлення буде двотактного типу, так як однокітні можна використовувати тільки на потужностях до 100Вт. Схему ввімкнення силового каскаду двотактного імпульсного блоку живлення оберемо із трьох існуючих. Як було сказано, це мостова, напівмостова і з середньою точкою. Хоча можна і використати останню схему, але вона найбільш ефективна з напругою на вході 100В і потужністю до 500Вт. Напівмостова і мостова схеми ефективно використовуються при більш високій напрузі на вході(нам необхідно 300...310В) з потужностями до 1кВт у першому випадку і вище 1кВт у другому. Нас задовольняє напівмостова схема включення силового каскаду.

Визначимо амплітуду номінальної напруги на первинній обмотці імпульсного трансформатора з урахуванням падіння напруги на переході транзисторів

$$U = \frac{310}{2} - u \text{ [В]}. \quad (2.3)$$

де u – падіння напруги на переході транзистора.

Оскільки транзистори ще не обрані, то візьмемо середнє значення $u=0,7\text{В}$.

Звідси

$$U = \frac{310}{2} - 0,7 = 154,3 \text{ (В)}.$$

Мінімальна амплітуда при падінні напруги у мережі до 175В становитиме не більше 123В, а максимальна при збільшенні до 250В – не менше 176В.

Для вибору МДП транзисторів виходимо з максимально допустимої сили струму

$$I = \frac{300}{123} = 2,4 \text{ (А)}.$$

і максимальної напруги, рівної 176В. Згідно розрахунків нам необхідний МОН-транзистор з напругою стік-витік від 200В максимально допустимою силою струму через перехід не нижче 3А. Даним умовам відповідають транзистори IRF630, 2SK1117, 2SK1917, IRF740, IRFP460. Для нашого блоку живлення оберемо IRFP460.

Діоди випрямляючого моста на вході імпульсного блоку живлення обираємо з урахуванням зворотної напруги від 400В і силою струму при мостовій схемі

$$I = \frac{300}{176 \cdot 2} = 0,85 \text{ (А)}.$$

Нас задовольняє діодний міст типу KBU810. Схема мережевого випрямляча буде мати наступний вигляд.

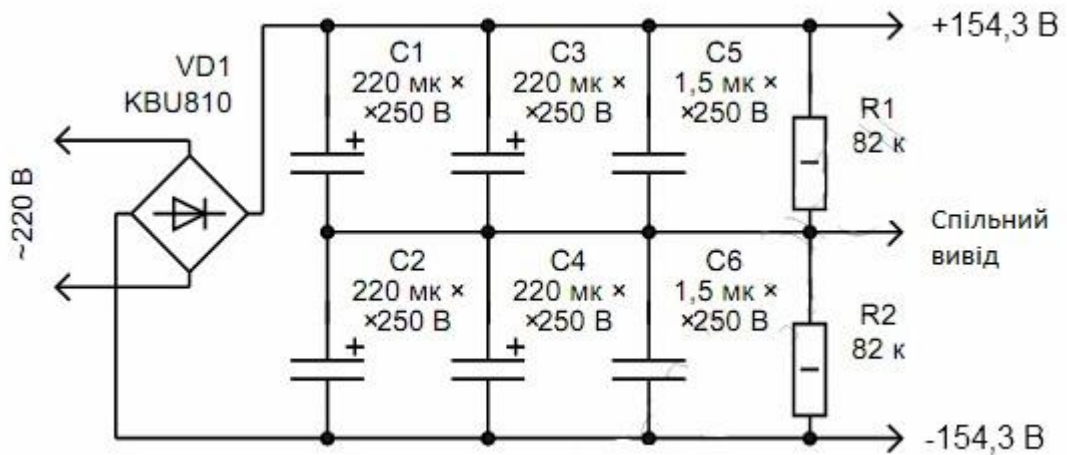


Рисунок 2.15 – Схема електрична принципова мережевого випрямляча [4]

Резистори R1 і R2 являються баластними і використані для розряду високовольтних конденсаторів у цілях безпеки.

Розрахунок трансформатора є найбільш важкою частиною розрахунку всього імпульсного блоку живлення. Для цього ефективніше користуватися комп'ютерними програмами.

У якості вихідних даних ми маємо розмах напруги живлення 247...355В(при девіації напруги у мережі 175...250В), потужність не менше 300Вт, ефективна індукція магнітопроводу 0,1...0,2Тл. Використаємо у якості сердечника феритовий сердечник типу “Ш” марки М2500НМС1 К35х15х10 з магнітною проникністю 2000. Я скористався програмою для розрахунку трансформатора.

Первинна обмотка буде мати 18 витків проводу з діаметром 0,539мм, а вторинна 10+10 витків діаметром 0,63мм по 5 жил у паралелі.

ККД трансформатора буде рівним

$$\eta = P_{\text{НОМ}} - \frac{P_{\text{РОЗС}}}{P_{\text{НОМ}}} \cdot 100\%, \quad (2.4)$$

$$\eta = 300 - \frac{1,44}{300} \cdot 100\% = 99,52\%.$$

3 ЕЛЕКТРИЧНІ ТА КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ ПРИСТРОЮ

3.1 Розроблення схеми електричної принципової пристрою

Попередньо ми визначили, що імпульсний блок живлення буде двотактним з напівмостовою схемою включення силового каскаду, який складається з двох потужних МОН-транзисторів IRFP460. В якості ШІМ-контролера обрали мікросхему TL494. Для полегшення задачі ми допрацюємо наявну типову схему вже спроектованого імпульсного блоку живлення на обраному нами контролері. Варистор TR1 захищає вхідне коло від імпульсів надмірної амплітуди. Конденсатори C1-C4 і двохобмотковий дросель L1 утворюють мережевий завадоподавляючий фільтр, який запобігає проникненню високочастотних пульсацій, створюваних перетворювачем, у мережу. Дросель L1 можна виконати на магнітопроводі типу K24x14x7 по 50 витків діаметром 0,5мм у дві жили, але ми використаємо готовий НМ1946/А. Для зменшення ЕРС самоіндукції трансформатора Т2 паралельно каналам транзисторів ввімкнені демпферні діоди D7 і D8. Діоди Шотткі D5 і D6 захищають комутуючі транзистори і виходи мікросхеми DA1 від імпульсів зворотної напруги.

В якості блоку керування я обрав стандартну схему керування ШІМ-контролером TL494, яка описана в статті [5]. Керування здійснюється за допомогою мікроконтролера фірми Atmel – АТМega8, яка змінює опорні напруги на TL494 по напрузі і струму, що в свою чергу призводить до регулювання і стабілізації напруги і струму на виході блоку живлення. Також мікроконтролер слугує для вимірювання напруги і струму, і відображення інформації на точковому дисплеї. Для керування пристроєм використовується енкодер – ручка дозволяє зменшувати чи збільшувати значення, а кнопка перемикає режим регулювання на напругу і струм.

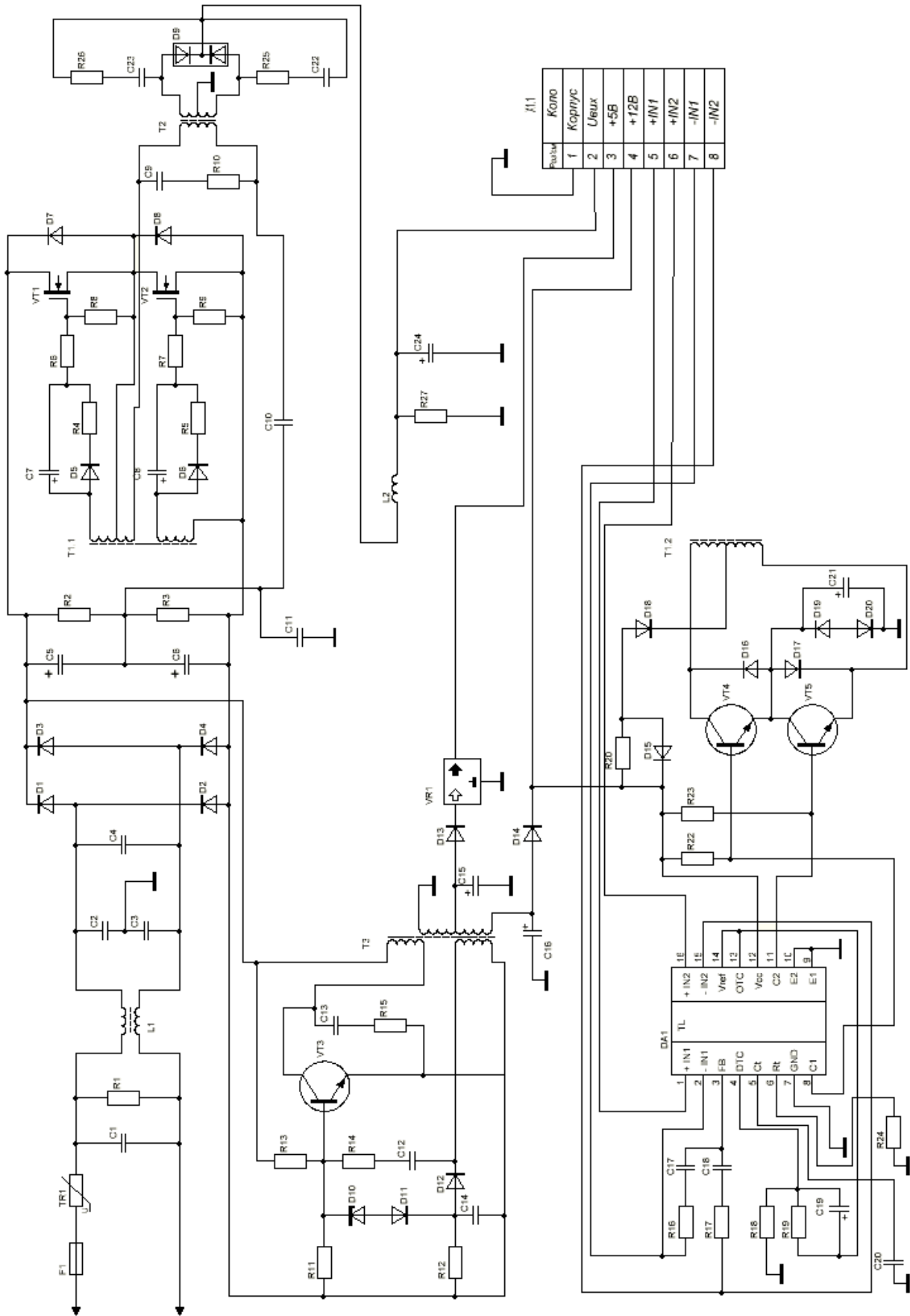


Рисунок 3.1 – Електрична схема пристрою

Так як для блоку керування необхідні напруги 5В і 12В, а блок живлення буде з регульованою напругою, то необхідно використати окремий малопотужний блок живлення. Виберемо типову схему імпульсного блоку з автогенератором на базі одного транзистора.

3.2 Розробка блоку активного охолодження

Для того, щоб зменшити габаритні розміри радіаторів силових елементів та покращити надійність вузлів блоку живлення використовується активна система охолодження – вентилятор, який буде встановлений у корпусі пристрою на видув гарячого повітря назовні. Оберемо вентилятор з напругою живлення 12В і струмом споживання 0.1А.

Використаємо схему керування вентилятором, яка буде його включати при заданій температурі радіатора силових елементів.

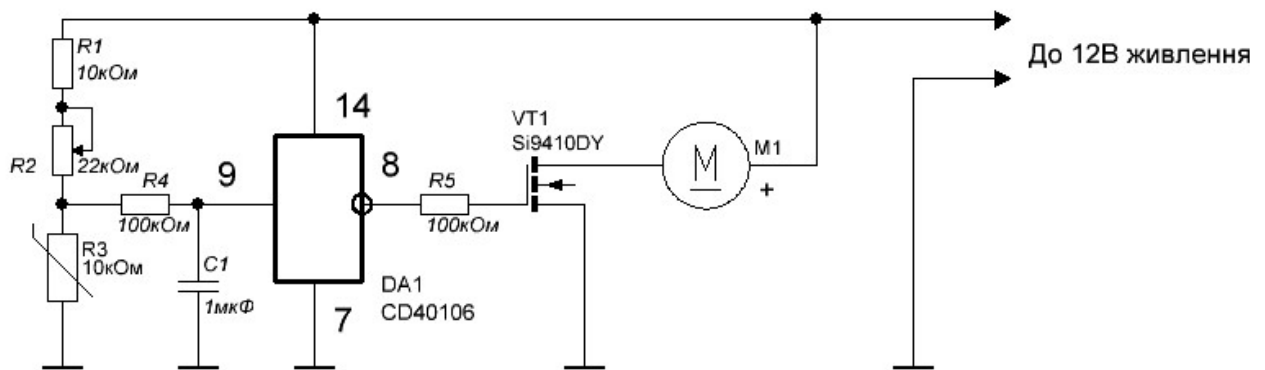


Рисунок 3.2 – Схема електрична принципова блоку керування вентилятором

Використання у схемі тригера Шмітта дозволяє ввести гістерезис по температурі. Оберемо мікросхему CD40106, яка має наступні параметри.

Електричні параметри мікросхеми CD40106:

- напруга живлення.....3-15В;
- потужність розсіювання.....500мВт;
- низький вхідний рівень перемикання:
- при напрузі живлення 5В.....1,4В;

- при напрузі живлення 10В.....3,2В;
- при напрузі живлення 15В.....5,0В;
- високий вхідний рівень перемикавання:
- при напрузі живлення 5В.....3,6В;
- при напрузі живлення 10В.....6,8В;
- при напрузі живлення 15В.....10В;
- вхідний струм..... 10^{-5} мкА.

Резистори R1, R2, R3 утворюють подільник напруги. Задамося опором подільника 42кОм. При цьому струм буде

$$I_{R1,R2,R3} = \frac{U_{\text{ж}}}{R1+R2+R3} [\text{A}]$$

$$I_{R1,R2,R3} = \frac{12}{42000} = 0,286 \text{ (мА)}.$$

Виберемо термістор R3 з ряду стандартних номіналів на 10кОм. При зростанні температури опір термістора R3 падає, напруга на вході тригера спадає, тригер перемикається до високого рівня на виході та комутує ключ на транзисторі VT1 для включення вентилятора. Підстроювальний резистор R2 настроюємо експериментально для включення вентилятора при досягненні температури 60С на термісторі R3.

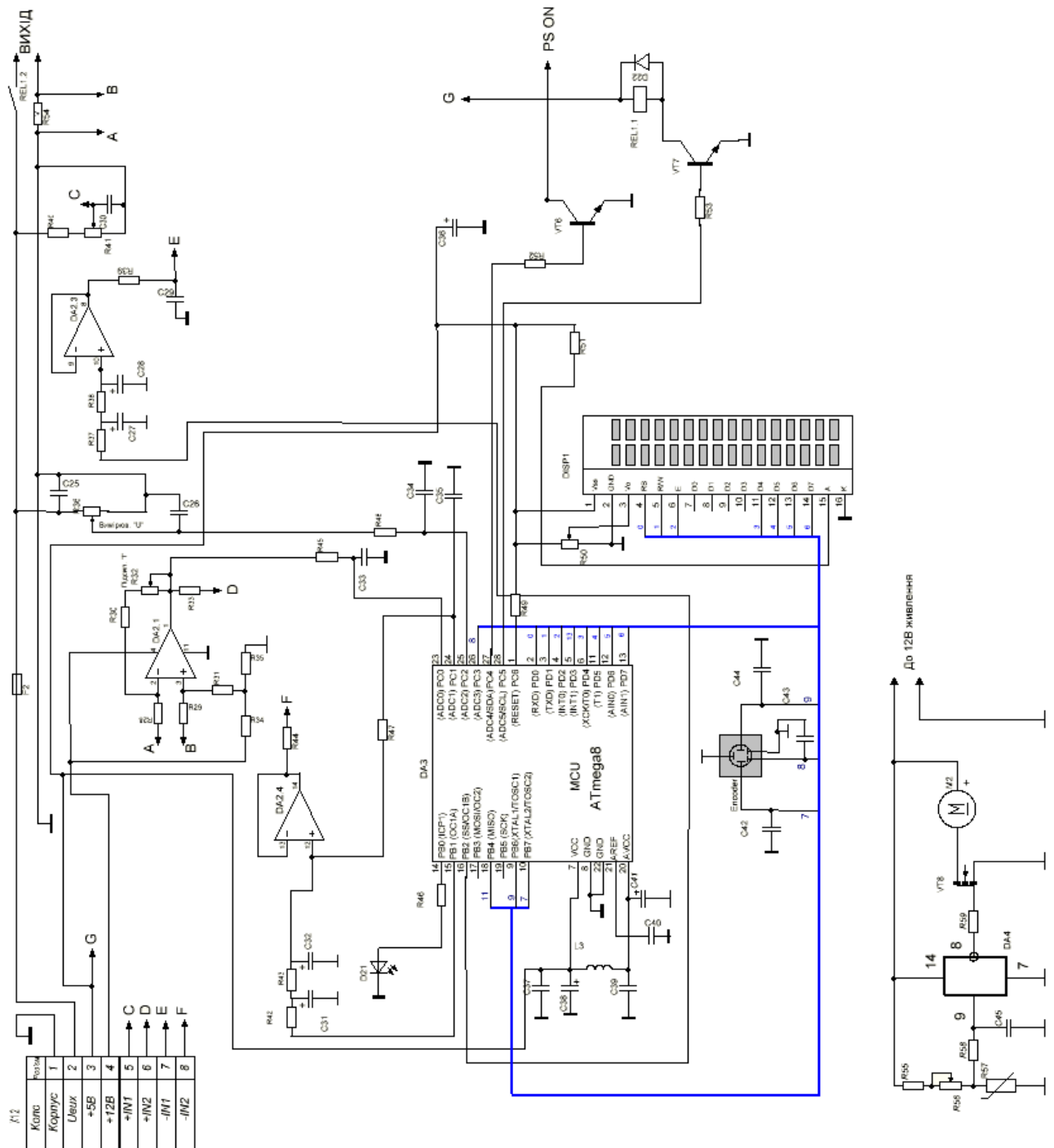


Рисунок 3.3 – Електрична схема блоку керування вентилятором охолодження

3.3 Розрахунок друкованих плат для блоку керування на мікропроцесорі та блоку керування вентилятором

Так як матеріал друкованих плат, виконує також функцію тепловідвода, можна задатись густиною струму 5А/мм^2 . Для визначення ширини провідників, необхідно визначити струм в різних точках схеми.

Користуючись документацією на мікросхеми, реле, вентилятор, та додавши всі струми отримаємо загальний струм споживання блоку керування на мікропроцесорі та блоку керування вентилятором близько 100 мА.

Товщина шару міді в більшості типів застосовуваного склотекстоліту складає 0,04 мм, густина струму 5А/мм^2 . Тоді ширину провідників можна визначити

$$l = \frac{I}{5 \cdot 0,04} = 5I. \quad (3.1)$$

Тоді визначимо ширину провідників:

$$l_{0,1} = 5 \cdot 0,1 = 0,5 \text{ (мм)}.$$

Мінімальна технологічна ширина провідників для даного пристрою складає 0,5 мм. Допустимий струм для таких провідників складає 0,1 А, тому для менших значень струму ширина провідників розраховуватись не буде.

Технологію виготовлення даних блоків слід розділити на кілька етапів:

- Виготовлення друкованої плати;
- Пайка планарних елементів;
- Монтаж навісних елементів.

Виконаємо друковану плату блоку керування на мікропроцесорі за допомогою програми Sprint Layout 6.0, яка має базу макросів для всіх необхідних елементів.

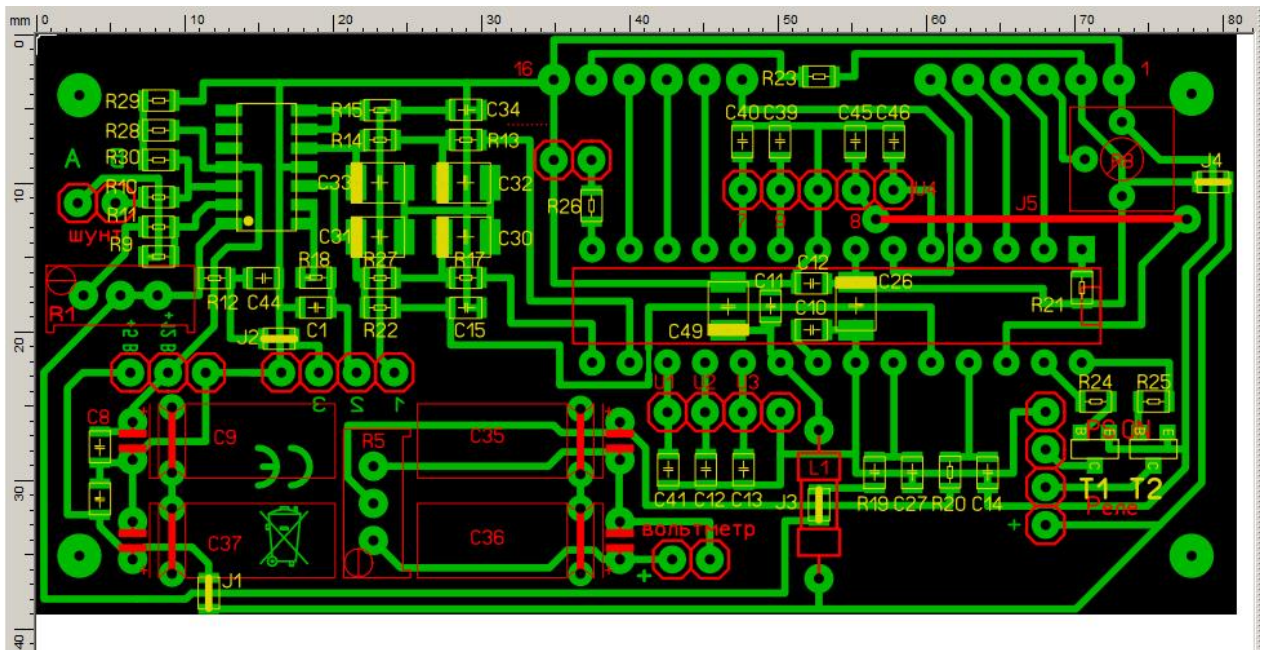


Рисунок 3.4 – Друкована плата блоку керування

З рисунку 3.4 видно, що плата буде мати розміри 39x81 мм.

Також виконаємо друковану плату блоку керування вентилятором.

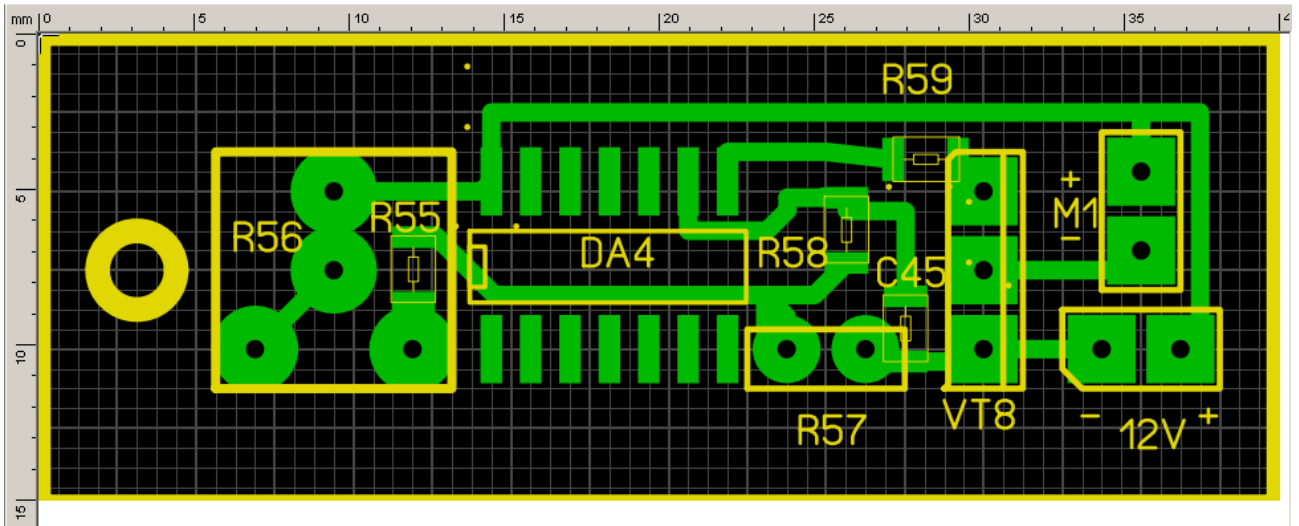


Рисунок 3.5 – Друкована плата блоку керування вентилятором

З рисунку 3.5 видно, що плата буде мати розміри 15x40 мм.

3.4 Розрахунок надійності пристрою

Інтенсивність відмов елементів в експлуатаційних умовах зручно оцінювати, вводячи коефіцієнти, що враховують вплив умов середовища на їхню працездатність. Такі коефіцієнти визначають відносну зміну інтенсивності відмов елементів від деяких вихідних значень в умовах експлуатації, які характеризуються температурою зовнішнього середовища (порядку 20-25°C), відотною вологістю (60-70%), номінальним електричним навантаженням та відсутністю механічної вібрації.

Надійність за раптовими відмовами розраховують для періоду нормальної експлуатації, коли приробіток пристрою завершено, а знові відмови ще не надійшли.

В основу розрахунку покладено принцип визначення показників, надійності комплектуючих елементів, що дозволяють вести розрахунок у процесі проектування апаратури, що складається зі стандартних елементів та вузлів [20, 21].

При визначенні надійності системи, через відомі показники надійності її елементів, вводять дві умови: відмова елементів статично незалежна; відмова будь - якого елемента призводить до відмови системи в цілому. Розрахунки проводимо з урахуванням впливу електричного режиму і температури.

Для визначення коефіцієнтів навантаження скористаємось такими формулами:

Для резисторів:

$$K_{H P} = P_{\text{РОБ}} / P_{\text{ДОП}},$$

де $P_{\text{РОБ}}$ – робоче значення потужності на резисторі;

$P_{\text{ДОП}}$ – допустиме значення потужності на резисторі.

Для конденсаторів:

$$K_{H C} = U_{\text{РОБ}} / U_{\text{ДОП}},$$

де $U_{\text{РОБ}}$ – діюча напруга на конденсаторі;

$U_{\text{ДОП}}$ – допустиме значення напруги на конденсаторі.

Для діодів:

Застосовують дві формули для визначення коефіцієнта навантаження: за струмом і за напругою.

За струмом:

$$K_{HVD} = I_{\text{ПР}} / I_{\text{ДОП}},$$

де $I_{\text{ПР}}$ – прямий струм через діод;

$I_{\text{ДОП}}$ – допустимий струм через діод.

За напругою

$$K_{HVD} = U_{\text{ЗВ}} / U_{\text{ДОП}}, \quad (3.2)$$

де $U_{\text{ЗВ}}$ – зворотня напруга, прикладена до діода;

$U_{\text{ДОП}}$ – допустима зворотня напруга, прикладена до діода.

Для активних елементів, в даному випадку для транзисторів, коефіцієнт навантаження визначається за напругою, струмом і потужністю і найбільший з них приймається.

Для транзисторів:

Коефіцієнт навантаження за напругою

$$K_{HU} = U_{\text{КЕ}} / U_{\text{КЕ ДОП}}, \quad (3.3)$$

де $U_{\text{КЕ}}$ – робоче значення напруги колектор/емітер транзистора;

$U_{\text{КЕ ДОП}}$ – допустиме робоче значення напруги колектор/емітер транзистора.

Коефіцієнт навантаження за струмом

$$K_{HI} = I_{\text{К РОБ}} / I_{\text{К ДОП}}, \quad (3.4)$$

де $I_{\text{К РОБ}}$ – робоче значення колекторного струму транзистора;

$I_{\text{К ДОП}}$ – допустиме значення колекторного струму транзистора.

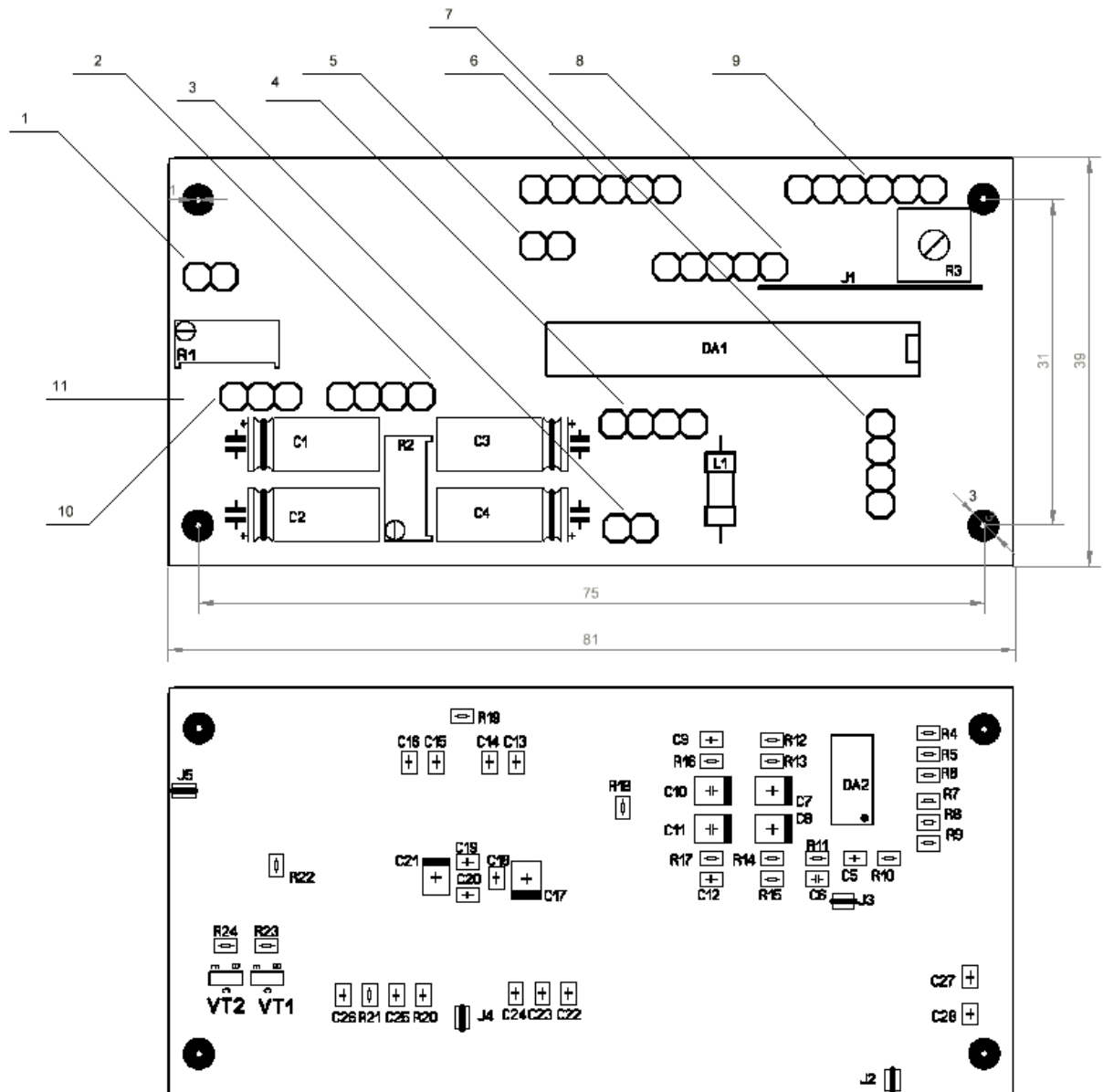


Рисунок 3.6 – Встановлення елементів на друкованій платі мікропроцесорного блоку керування

Коефіцієнт навантаження за потужністю

$$K_{HP} = P_{K ROB} / P_{K ДОП}, \quad (3.5)$$

де $P_{K ROB}$ – потужність на колекторі транзистора;

$P_{K ДОП}$ – допустиме значення потужності на колекторі транзистора.

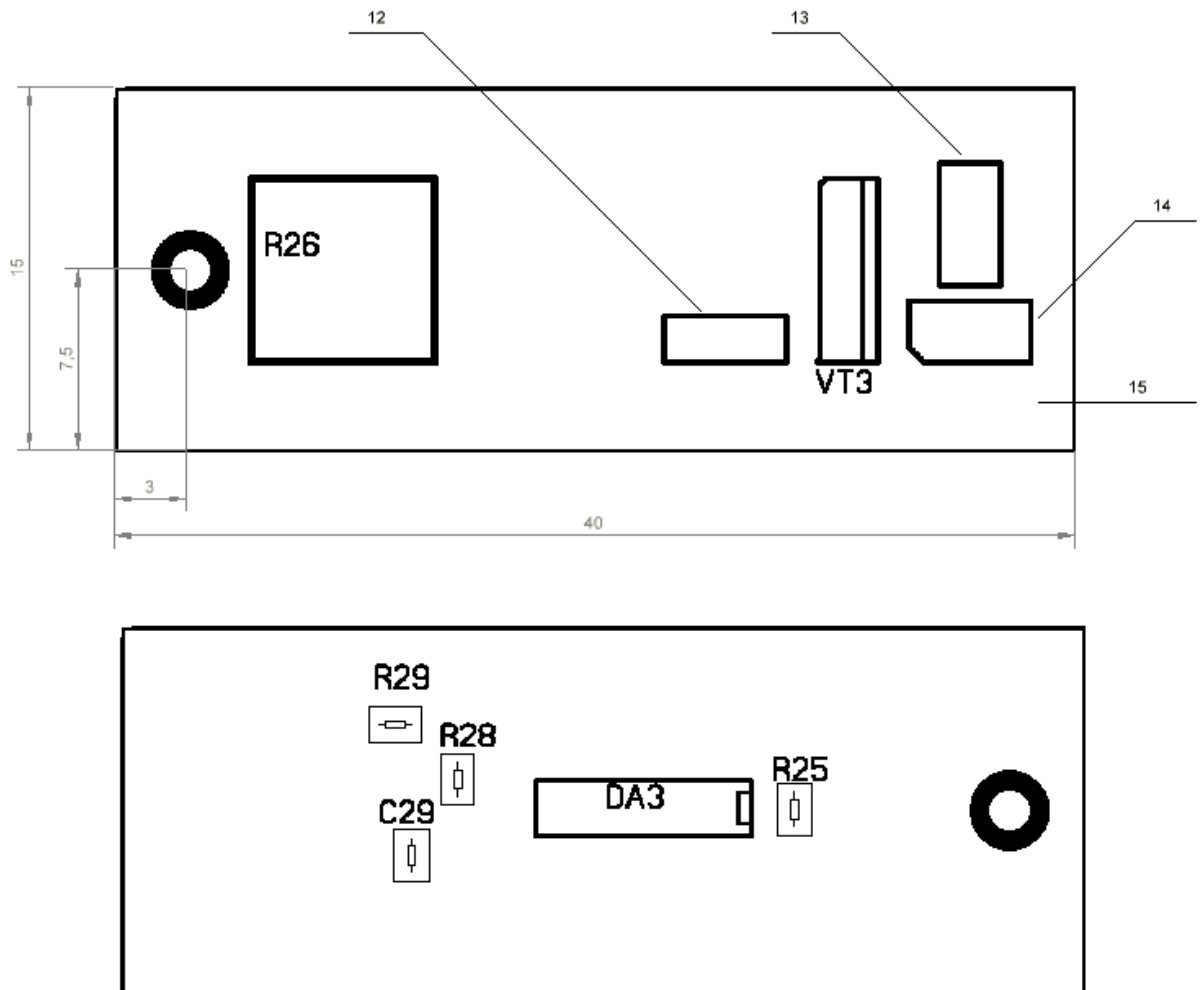


Рисунок 3.7 – Встановлення елементів на друкованій платі блоку керування вентилятором

Розрахунок надійності проводиться за допомогою інтерактивної системи основних конструкторсько-технологічних розрахунків РЕС (ІСОКТР РЕС) [22].

Для ІМС, роз'ємів коефіцієнт навантаження $K_n = 1$. За коефіцієнтами навантажень всіх елементів з довідника [20, 21] вибираються величини поправочних величин коефіцієнта впливу α та інтенсивність відмов λ_0 .

Так як в нинішній час спостерігається високий рівень розвитку ЕОМ та програмного забезпечення до них, існує багато різних програм та ВЕБ-ресурсів, оптимізованих на масивні однотипні розрахунки, що значно прискорює їх виконання та точність. Так як в підсилювачі використовується

велика кількість елементів, доцільно скористатись подібним програмним забезпеченням. Для виконання обрано ВЕБ-ресурс з програмою ІСОКТР[22], оптимізованою під розрахунок великих масивів даних.

Значення інтенсивності відмов вибираємо із таблиць [5].

Поправочні коефіцієнти, які враховують умови експлуатації, вибираємо із таблиці 3.1.

При визначенні інтенсивності відмов елементів пристрою, що знаходяться в нормальному робочому режимі L_j , з врахуванням зовнішніх дестабілізуючих факторів, інтенсивність відмов груп елементів L_0 , що знаходяться в номінальному режимі, помножують на поправочні коефіцієнти. Інтенсивність відмов j -ої групи елементів знаходять з добутку L_j на N_j , де N_j – кількість елементів j -ої групи, шт. Величини поправочних коефіцієнтів та N_j , L_0 , та L_j заносимо до таблиці 5.1.

Таблиця 3.1 – Інтенсивності відмов груп елементів

№ п/п	Групи Елементів	Кіль- кість ел-ів, шт.	L_0 в номін. режимі 10^{-6}	Попра- вочний коєфі- цієнт	Попра- вочний коєфі- цієнт	L_0 в Робоч. Режимі з врах. ЗФ 10^{-6}	L_0 j -ої групи елемен- тів 10^{-6}
1	Мікросхеми	6	0,5	1	0,1	0,05	5,5
3	Діоди	4	0,3	0,9	2,5	0,675	0,6
5	Резистори	28	0,1	0,4	0,18	0,0072	2,4
6	Конденсатори	13	1,1	0,2	0,22	0,048	11
9	Плата	2	0,1	1	1	0,1	0,1
10	Пайка	304	0,01	1	1	0,01	3,4
	Всього						23

Таким чином, інтенсивність відмов пристрою буде рівна

$$L_c = 23 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1} \quad (3.6)$$

Середній час напрацювання на відмову складає

$$T_{cp} = \frac{1}{L_c}, \quad (3.7)$$

$$T_{cp} = \frac{1}{23 \cdot 10^{-6}} = 4348 \text{ (год)}.$$

Графік залежності ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ наведений на рисунку 3.8.

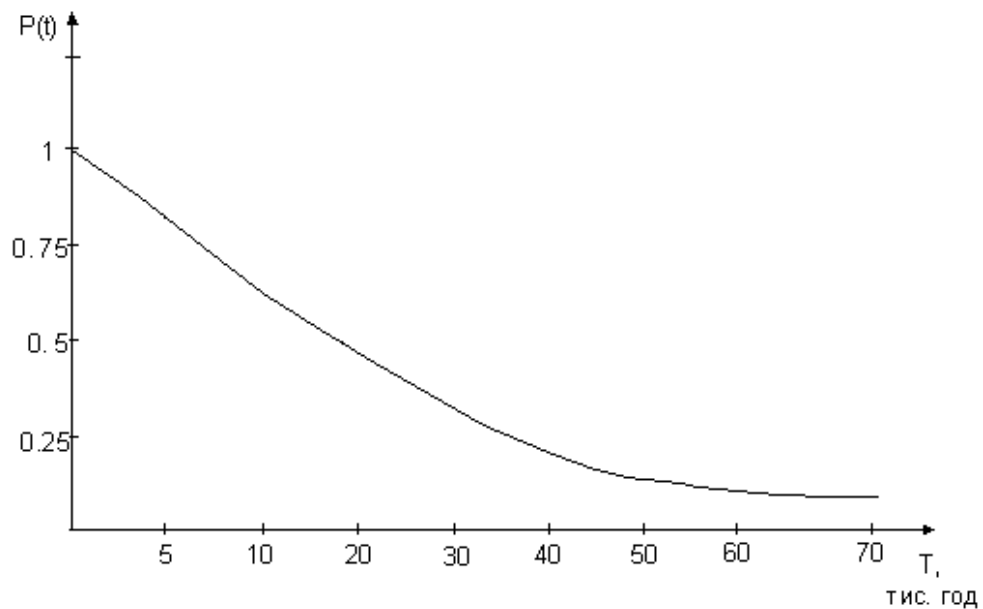


Рисунок 3.8 – Залежність ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ від часу

Розрахований середній час напрацювання на відмову 35 тис. годин, достатній для даного пристрою.

4 КОМП'ЮТЕРНЕ СХЕМОТЕХНІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

4.1 Моделювання роботи ІБЖ на основі TL494

Змоделюємо роботу імпульсного блоку живлення у програмному забезпеченні Electronics Workbench 5.12. Так як у елементній базі EWB 5.12 ШІМ-контролер TL494 відсутній, то користуючись структурною схемою мікросхеми з офіційної документації складемо модель з наявних елементів.

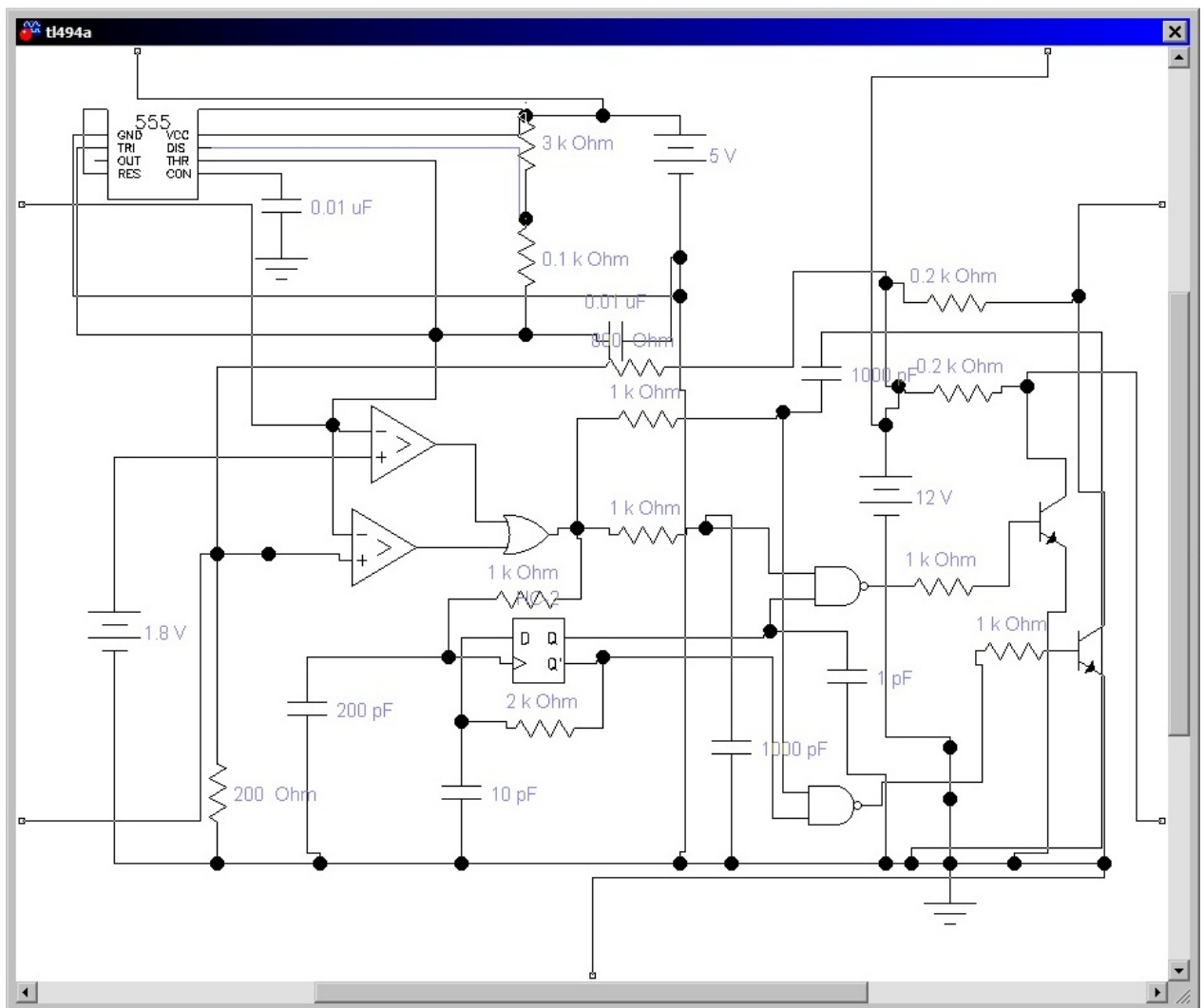


Рисунок 4.1 – Модель TL494 у EWB 5.12

Змоделюємо схему типового імпульсного блоку живлення та знімемо основні напруги, залежність вихідної напруги від опору навантаження.

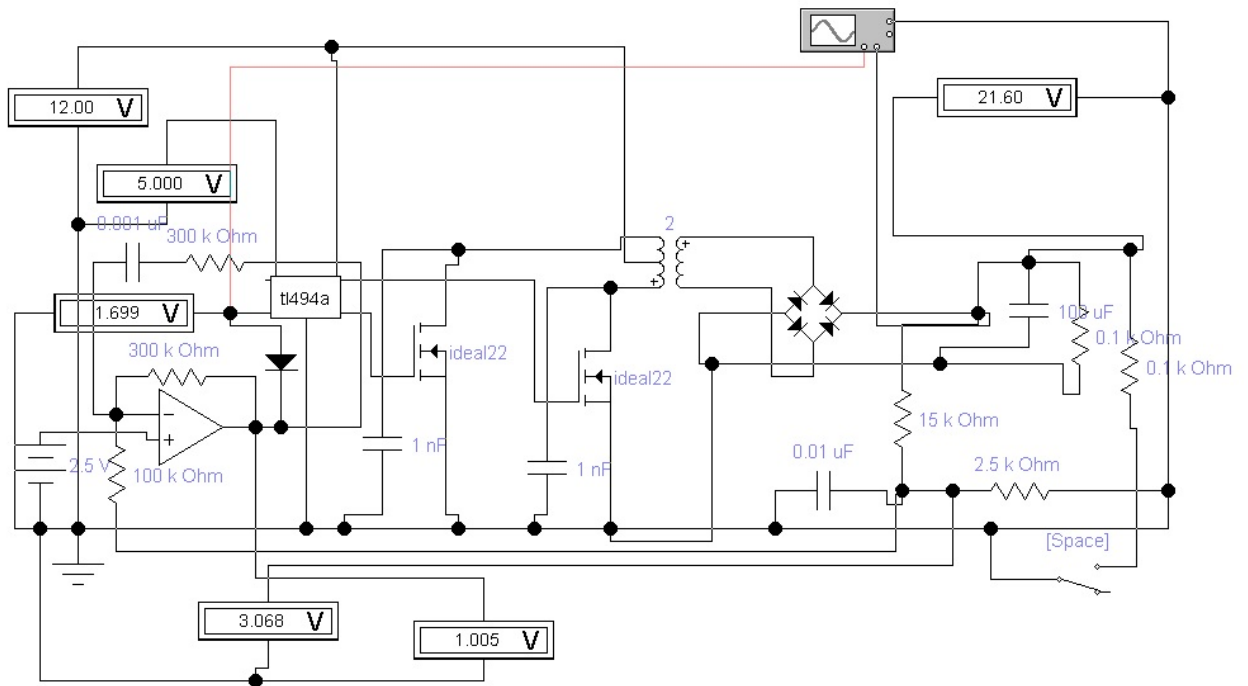


Рисунок 4.2 – Моделювання ІБЖ при опорі навантаження 100 Ом

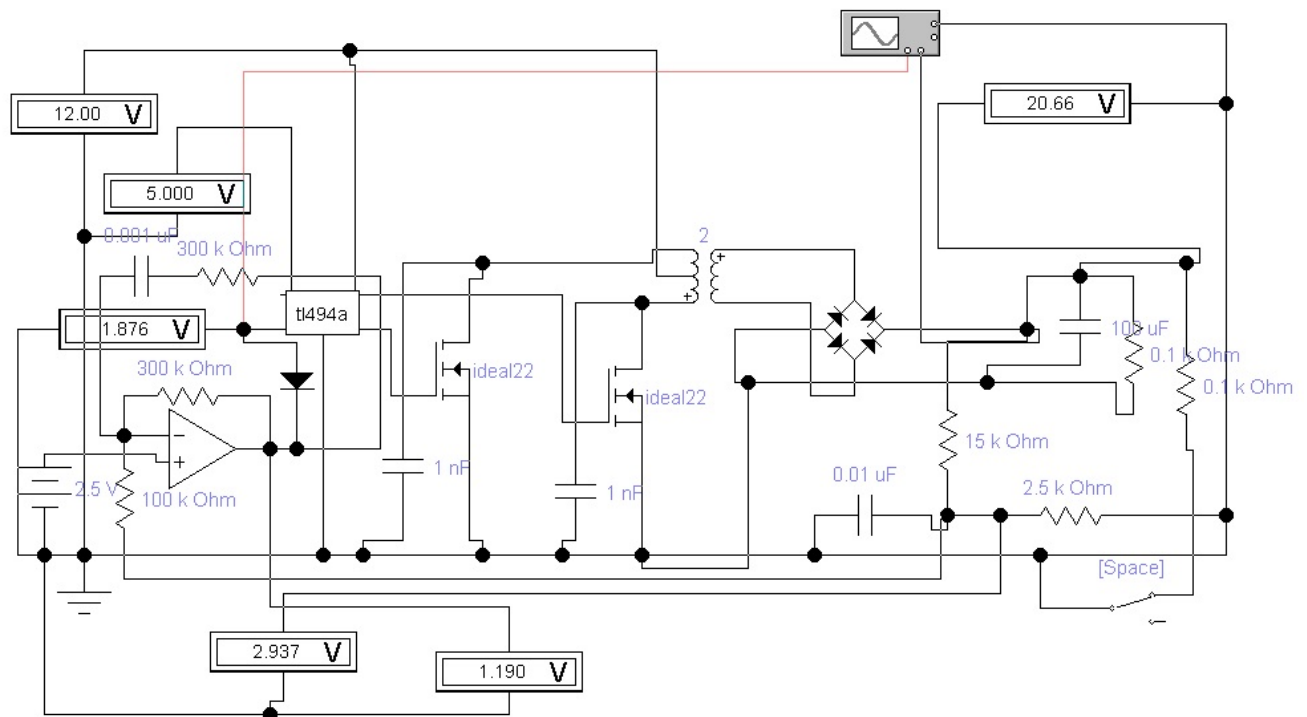


Рисунок 4.3 - Моделювання ІБЖ при опорі навантаження 50 Ом

Видно, що при збільшенні навантаження у 2 рази вихідна напруга зменшилась на 0,94В, а напруга керування TL494 збільшилась на 0,177В.

Змодельюємо залежність керуючої напруги та широтно-імпульсної модуляції блоку живлення від опору навантаження.

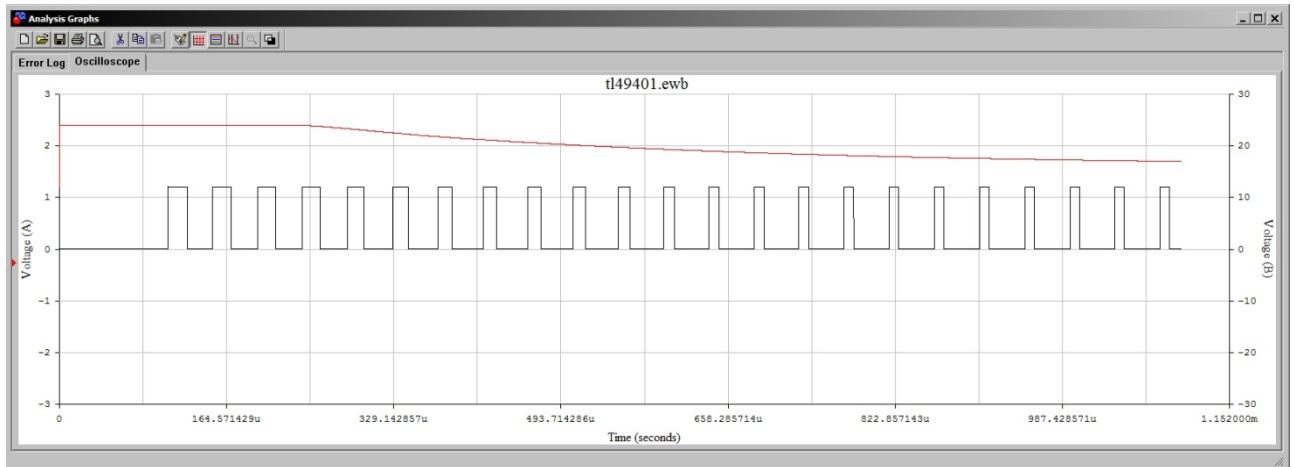


Рисунок 4.4 – Осцилограми при навантаженні 100 Ом

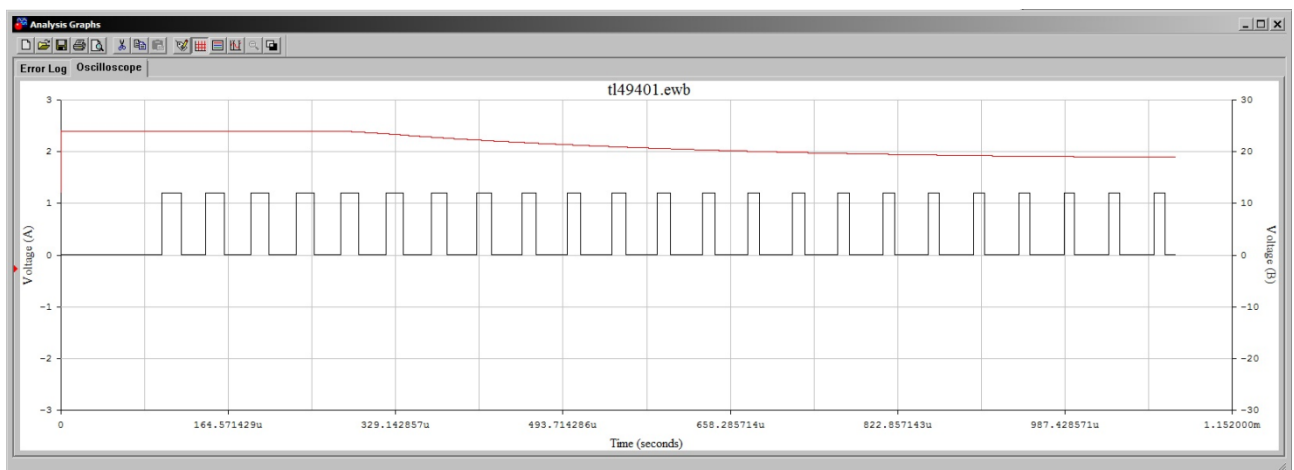


Рисунок 4.5 – Осцилограми при навантаженні 50 Ом

У верхній частині графіків зображена керуюча напруга, у нижній – вихідні ШІМ імпульси. З графіків видно, що при зменшенні керуючої напруги на вході ШІМ-контролера ширина вихідних імпульсів зменшується. Також можна помітити, що при навантаженні 50 Ом керуєча напруга та ширина вихідних імпульсів більше, ніж при 100 Ом навантаженні.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Науково-технічна розробка має право на існування та впровадження, якщо вона відповідає вимогам часу, як в напрямку науково-технічного прогресу та і в плані економіки. Тому для науково-дослідної роботи необхідно оцінювати економічну ефективність результатів виконаної роботи.

5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Універсальний імпульсний блок живлення з мікропроцесорним керуванням» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

Блоки живлення є невід'ємною частиною будь-якого електронного пристрою, оскільки вони забезпечують стабільне електроживлення для компонентів системи. Сучасні технології та тенденції розвитку електроніки постійно ставлять нові вимоги до енергетичних рішень, зокрема до універсальних блоків живлення. Основним завданням є не лише забезпечення стабільного електроживлення, а й мінімізація енергетичних втрат, підвищення надійності та безпеки роботи обладнання.

Актуальність теми полягає у зростаючих вимогах до енергоефективності та стабільності живлення в умовах постійно зростаючої складності електронних систем. Використання мікропроцесорного керування в блоках живлення дозволяє значно підвищити їх функціональні можливості та точність регулювання параметрів. Це стає важливим в умовах різних експлуатаційних навантажень та вимог до адаптивності систем живлення. Інтелектуальні блоки живлення стають важливими компонентами в багатьох сферах: від побутової електроніки до промислових та медичних застосувань.

Особливу роль в цій гамі блоків живлення відіграють блоки живлення з перетворенням напруги. Це дає можливість споживачу значно зменшити габаритні розміри блоку живлення, знизити рівень пульсації вихідної напруги із-за підвищення частоти, яка поступає на вхід випрямляча. Останні роки характеризуються значним розвитком систем мікропроцесорного керування в силовій електроніці. Наукові дослідження зосереджуються на вдосконаленні алгоритмів керування, підвищенні енергоефективності та надійності імпульсних блоків живлення. Відомі фахівці у галузі електроніки досліджують питання інтеграції мікроконтролерів для більш точного регулювання напруги і струму, впровадження механізмів самодіагностики та захисту від аварійних ситуацій. Також активно розвиваються технології зменшення розмірів компонентів і підвищення ККД за рахунок нових матеріалів та інноваційних схемотехнічних рішень.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями [35].

Таблиця 5.1 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	5	5	4
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	4	4	3
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	3	2	3
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	4	3	4
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	3	2	3
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	3	3
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	2	2	2
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	4	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	3	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	3	4	4

Продовження таблиці 5.1 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

11. Практична здійсненність (термін реалізації)	2	2	2
12. Практична здійсненність (розробка документів)	3	3	3
Сума балів	38	37	37
Середньоарифметична сума балів $СБ_c$	37,3		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 5.1, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в [35].

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Універсальний імпульсний блок живлення з мікропроцесорним керуванням» становить 37,3 бала, що, відповідно до [36], свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

5.2 Визначення рівня конкурентоспроможності розробки

В процесі визначення економічної ефективності науково-технічної розробки також доцільно провести прогноз рівня її конкурентоспроможності за сукупністю параметрів, що підлягають оцінюванню.

Загальні технічні та економічні характеристики розробки представлено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Основні техніко-економічні показники аналога та розробки, що проектується

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
ККД	%	75	80	1,06	0,3

Продовження таблиці 5.2 – Основні техніко-економічні показники аналога та розробки, що проектується

Вихідна напруга	В	< 30	< 30	1	0,15
Вихідний струм	А	< 10	< 10	1	0,2
Відхил. вих. напр.	%	0,2	0,2	1	0,1
Відхил. вих. струму	%	0,5	0,4	1,25	0,25
Експлуатаційні витрати	грн	150	30	0,2	0,5
Ціна пристрою	грн	3600	2200	0,61	0,5

Одиничний параметричний індекс розраховуємо за формулою [35]

$$q_i = \frac{P_i}{P_{базі}} \quad (5.1)$$

де q_i – одиничний параметричний індекс, розрахований за i -м параметром;

P_i – значення i -го параметра виробу;

$P_{базі}$ – аналогічний параметр аналога, з яким проводиться порівняння.

Нормативні параметри оцінюємо показником, який отримує одне з двох значень: 1 – пристрій відповідає нормам і стандартам; 0 – не відповідає.

За нормативними параметрами розроблюваний пристрій відповідає вимогам ДСТУ, тому $I_{нп} = 1$.

Значення групового параметричного індексу за технічними параметрами визначаємо з урахуванням вагомості (частки) кожного параметра [35]

$$I_{ТП} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (5.2)$$

де $I_{\text{тп}}$ – груповий параметричний індекс за технічними показниками (порівняно з виробом-аналогом);

q_i – одиничний параметричний показник i -го параметра;

α_i – вагомість i -го параметричного показника, $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$;

n – кількість технічних параметрів, за якими оцінюється конкурентоспроможність.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці 5.4.

$$I_{mn} = 1,06 \cdot 0,3 + 1 \cdot 0,15 + 1 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,1 + 1,25 \cdot 0,25 = 1,08.$$

Груповий параметричний індекс за економічними параметрами розраховуємо за формулою [35]

$$I_{\text{еп}} = \sum_{i=1}^m q_i \cdot \beta_i, \quad (5.3)$$

де $I_{\text{еп}}$ – груповий параметричний індекс за економічними показниками;

q_i – економічний параметр i -го виду;

β_i – частка i -го економічного параметра, $\sum_{i=1}^m \beta_i = 1$;

m – кількість економічних параметрів, за якими здійснюється оцінювання.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці 5.3.

$$I_{\text{еп}} = 0,2 \cdot 0,5 + 0,61 \cdot 0,5 = 0,41.$$

На основі групових параметричних індексів за нормативними, технічними та економічними показниками розрахуємо інтегральний показник конкурентоспроможності за формулою [35]

$$K_{\text{нт}} = I_{\text{нп}} \cdot \frac{I_{\text{тп}}}{I_{\text{еп}}}, \quad (5.4)$$

$$K_{\text{ИТ}} = 1 \cdot 1,08 / 0,41 = 2,67.$$

Інтегральний показник конкурентоспроможності $K_{\text{ИТ}} > 1$, отже розробка переважає відомі аналоги за своїми техніко-економічними показниками.

5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Універсальний імпульсний блок живлення з мікропроцесорним керуванням», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

5.3.1 Витрати на оплату праці

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [35]

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.5)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, (грн.);

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=23$ дні.

$$Z_o = 18450,00 \cdot 6 / 23 = 4636,38 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Науковий керівник дослідної роботи	18450,00	772,73	6	4636,38
Інженер-конструктор радіоелектронної апаратури 1-ї категорії	17950,00	750,00	23	17250,00
Технік 1-ї категорії	8070,00	681,82	9	6136,38
Всього				28022,76

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ($З_p$) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Універсальний імпульсний блок живлення з мікропроцесорним керуванням» розраховуємо за формулою

$$З_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.6)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, (грн/год.);

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.7)$$

де M_M – розмір мінімальної місячної заробітної плати, прийmemo $M_M=8000,00$ (грн.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення (табл. Б.2, додаток Б) [35];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 23$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 8000,00 \cdot 1,10 \cdot 1,15 / (23 \cdot 8) = 55,00 \text{ (грн.)}$$

$$З_{pl} = 55,00 \cdot 7,50 = 412,50 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 5.4 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника, грн
Монтаж обладнання	7,50	2	1,10	55,00	412,50
Підготовка робочого місця конструктора радіоелектронної апаратури	5,50	3	1,35	67,50	371,25
Встановлення програмного забезпечення розробки РЕА	6,20	4	1,50	75,00	465,00
Вхідний контроль компонентів та дослідних вузлів РЕА	2,50	5	1,70	85,00	212,50
Монтаж компонентів досліджуваної техніки	6,50	5	1,70	85,00	552,50
Випробування дослідних блоків	4,25	5	1,70	85,00	361,25
Налагодження блоків та вузлів	2,30	6	2,00	100,00	230,00
Технічна підтримка експерименту	10,00	3	1,35	67,50	675,00

Продовження таблиці 5.4 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Випробування системи	4,00	2	1,10	55,00	220,00
Всього					3500,00

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$Z_{\text{доп}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доп}}}{100\%}, \quad (5.8)$$

де $H_{\text{доп}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 11%.

$$Z_{\text{доп}} = (28022,76 + 3500,00) \cdot 11 / 100\% = 3467,50 \text{ (грн.)}$$

5.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{доп}}) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \quad (5.9)$$

де $H_{\text{зн}}$ – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (28022,76 + 3500,00 + 3467,50) \cdot 22 / 100\% = 7697,86 \text{ (грн.)}$$

5.3.3 Сировина та матеріали

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{\text{в}j}, \quad (5.10)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, (грн/кг.);

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

$C_{\text{в}j}$ – вартість відходів j -го найменування, (грн/кг.).

$$M_1 = 1,0 \cdot 230,00 \cdot 1,05 - 0 \cdot 0 = 241,50 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
FLASH-пам'ять BAFF 32GB	230,00	1,0	0	0	241,50
Диск оптичний COOL-CD/RW	27,00	4,0	0	0	113,40
Картридж для принтера HP-1568	1920,00	1,0	0	0	2016,00
Начиння канцелярське COOL	173,00	4,0	0	0	726,60

Продовження таблиці 5.5 – Витрати на матеріали					
Органайзер офісний COOL light	144,00	4,0	0	0	604,80
Папір для заміток COOL-B (A5)/70	97,00	2,0	0	0	203,70
Папір канцелярський офісний COOL-500 (A4)	202,00	2,0	0	0	424,20
Тека для паперів	98,00	4,0	0	0	411,60
Прозора плівка А-4	12,86	0,4950	0	0	6,68
Склотекстоліт 185x120мм	10,02	0,3850	0	0	4,05
Монтажний дріт (м)	7,80	0,3000	0	0	2,46
Флюс FBS(35мл)	135,00	0,0030	0	0	0,43
Припой S-Sn60Pb40	331,20	0,0080	0	0	2,78
Азотна кислота	180,00	0,0200	0	0	3,78
Всього					4761,98

5.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_e), які використовують при проведенні НДР на тему «Універсальний імпульсний блок живлення з мікропроцесорним керуванням», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_e = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (5.11)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, (грн.);

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_6 = 1 \cdot 120,00 \cdot 1,05 = 126,00 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Трансформатори XZYEE-16B	1	120,00	126,00
Реле (типу 5П14.6А4)	1	22,50	23,63
Енкодер (типу RE1201XE1-H01)	1	93,75	98,44
Роз'єми (типу 8-pin EPS)	2	74,50	156,45
Вентилятор (типу DF0802512XZMI)	1	125,00	131,25
Корпус металевий 140x150x85мм	1	335,00	351,75
Фоторезистор	1	8,35	8,77
РК індикатор (типу BC1602)	1	213,45	224,12
Запобіжники: 6,3А 250В	1	5,00	5,25
Резистори (типу SMD_R0805)	25	1,50	39,38
Термістор (типу SEN-00250)	1	120,00	126,00
Шунт (типу 75шсм10)	1	5,00	5,25
Резистор регульовальний (0.25W Xicon)	5	3,75	19,69
Варистор (типу 5D-9)	1	4,00	4,20
Конденсатори (типу SMD 0805)	20	0,20	4,20
Транзистори: IRFP460	2	78,50	164,85
Транзистори 2SC2655	1	10,00	10,50
Діоди FR153	1	4,50	4,73
Діоди 16C20	1	4,00	4,20
Всього			1508,64

5.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k \Pi_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (5.12)$$

де Π_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, (грн.);

$C_{\text{пр.і}}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 845,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 929,50 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Мікроконтролер STM32F429	1	845,00	929,50
MOSFET	1	560,00	616,00
Імпульсний трансформатор	1	759,00	834,90
Лабораторний блок живлення	1	2400,00	2640,00
Всього			5020,40

5.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k \Pi_{\text{прог}} \cdot C_{\text{прог.і}} \cdot K_i, \quad (5.13)$$

де $C_{инрг}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, (грн.);

$C_{прг.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{прг} = 7620,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 8382,00 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Програмне забезпечення для SPICE моделювання та проектування схем для аналогової, цифрової та силовій електроніки в освіті та дослідженнях	1	7620,00	8382,00
Пакет Visual System Simulator	1	5120,00	5632,00
Всього			14014,00

5.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою

$$A_{обл} = \frac{C_б}{T_г} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.14)$$

де $C_б$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, (грн.);

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

T_6 – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (26520,00 \cdot 1) / (2 \cdot 12) = 1105,00 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Персональний комп'ютер розробника РЕА	26520,00	2	1	1105,00
Електронно-графічна система проектування	43799,00	2	1	1824,96
Робоче місце інженера-розробника РЕА	9460,00	5	1	157,67
Монтажне обладнання	8560,00	4	1	178,33
Метрологічне обладнання	6850,00	5	1	114,17
Оргтехніка	8880,00	5	1	148,00
Приміщення лабораторії розробки інформаційно-вимірювальної техніки	400000,00	30	1	1111,11

Продовження таблиці 5.9 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

ОС Windows	6520,00	2	1	271,67
Прикладний пакет Microsoft Office	6510,00	2	1	271,25
Принтер виводу графічної інформації	8299,00	5	1	138,32
Всього				5320,47

5.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (5.15)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; прийmemo $C_e = 10,98$ (грн.);

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,26 \cdot 160,0 \cdot 10,98 \cdot 0,95 / 0,97 = 456,77 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Персональний комп'ютер розробника інформаційно-вимірювальної техніки	0,26	160,0	456,77

Продовження таблиці 5.10 – Витрати на електроенергію			
Електронно-графічна система проектування	0,42	160,0	737,86
Робоче місце інженера-розробника інформаційно-вимірювальної техніки	0,10	160,0	175,68
Монтажне обладнання	0,04	20,0	8,78
Метрологічне обладнання	0,09	40,0	39,53
Оргтехніка	0,36	1,2	4,74
Принтер виводу графічної інформації	0,25	2,5	6,86
Всього			1430,22

5.3.9 Службові відрядження

Витрати за статтею «Службові відрядження» відсутні.

5.3.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації відсутні.

5.3.11 Інші витрати

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$I_{\epsilon} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ig}}{100\%}, \quad (5.16)$$

де H_{ig} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{ib} = 50\%$.

$$I_{\epsilon} = (28022,76 + 3500,00) \cdot 50 / 100\% = 15761,38 \text{ (грн.)}.$$

5.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.17)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», приймемо $H_{нзв} = 100\%$.

$$B_{нзв} = (28022,76 + 3500,00) \cdot 100 / 100\% = 31522,76 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Універсальний імпульсний блок живлення з мікропроцесорним керуванням» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{доо} + Z_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (5.18)$$

$$\begin{aligned} B_{заг} &= 28022,76 + 3500,00 + 3467,50 + 7697,86 + 4761,98 + 1508,64 + 5020,40 + \\ &14014,00 + 5320,47 + 1430,22 + 0,00 + 0,00 + 15761,38 + 31522,76 = \\ &= 122027,97 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Загальні витрати $ЗВ$ на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (5.19)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta=0,95$.

$$3B = 122027,97 / 0,95 = 128450,50 \text{ (грн.)}.$$

5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

Результати дослідження проведені за темою «Універсальний імпульсний блок живлення з мікропроцесорним керуванням» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

Розробка чи суттєве вдосконалення машини (механізму, приладу, пристрою) для використання кінцевими споживачами.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

ΔN – збільшення кількості споживачів пристрою, у періоди часу, що аналізуються, від покращення його певних характеристик;

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	1000	1200	1300	900

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 1200 осіб;

C_o – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 3600,00 (грн.);

$\pm \Delta C_o$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo зниження на 910,20 (грн.).

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta \Pi_i$ для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних

результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою [35]

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - \frac{\vartheta}{100}), \quad (5.20)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2024 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).

Прийmemo $\rho = 40\%$;

ϑ – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2024 році $\vartheta = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (-910,20 \cdot 1200,00 + 2689,80 \cdot 1000) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 434919,73 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_2 &= (-910,20 \cdot 1200,00 + 2689,80 \cdot 2200) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = \\ &= 1313645,12 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_3 &= (-910,20 \cdot 1200,00 + 2689,80 \cdot 3500) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = \\ &= 2265597,61 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_4 &= (-910,20 \cdot 1200,00 + 2689,80 \cdot 4400) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = \\ &= 2924641,65 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків $\Pi\Pi$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t}, \quad (5.21)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, (грн.);

T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau=0,12$;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} ПП &= 434919,73/(1+0,12)^1 + 1313645,12/(1+0,12)^2 + 2265597,61/(1+0,12)^3 + \\ &+ 2924641,65/(1+0,12)^4 = 388321,19 + 1047229,84 + 1612607,63 + 1858662,64 = \\ &= 4906821,31 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (5.22)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо $k_{инв}=2$;

$3B$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 128450,50 (грн.).

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 128450,50 = 256900,99 \text{ (грн.)}.$$

Абсолютний економічний ефект $E_{абс}$ для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме

$$E_{абс} = III - PV \quad (5.23)$$

де III – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 4906821,31 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 256900,99 (грн.).

$$E_{абс} = III - PV = 4906821,31 - 256900,99 = 4649920,32 \text{ (грн.)}.$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_{ϵ} , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$E_{\epsilon} = T_{жс} \sqrt[1 + \frac{E_{абс}}{PV}]{} - 1, \quad (5.24)$$

де $E_{абс}$ – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 4649920,32 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 256900,99 (грн.);

$T_{жс}$ – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримання позитивних результатів від її впровадження, 4 роки.

$$E_{\epsilon} = \sqrt[T_{жс}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 = (1 + 4649920,32/256900,99)^{1/4} = 1,09.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій τ_{min}

$$\tau_{min} = d + f, \quad (5.25)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = 0,11$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, прийmemo 0,4.

$\tau_{min} = 0,11 + 0,4 = 0,51 < 1,09$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_{ϵ} , вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Універсальний імпульсний блок живлення з мікропроцесорним керуванням» доцільно.

Період окупності інвестицій $T_{ок}$ які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$T_{ок} = \frac{1}{E_{\epsilon}}, \quad (5.26)$$

де E_{ϵ} – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 1,09 = 0,92 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

5.5 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Універсальний імпульсний блок живлення з мікропроцесорним керуванням» становить 37,3 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

При оцінюванні рівня конкурентоспроможності, згідно узагальненого коефіцієнту конкурентоспроможності розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,67 рази.

Термін окупності становить 0,92 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Універсальний імпульсний блок живлення з мікропроцесорним керуванням».

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі було розглянуто концепцію універсального блоку живлення з мікропроцесорним керуванням, його основні характеристики та переваги. Універсальний блок живлення з мікропроцесорним керуванням є актуальним рішенням для широкого спектра електронних пристроїв завдяки його високій енергоефективності, надійності та гнучкості у налаштуванні під різні види навантажень.

У магістерській кваліфікаційній роботі було досліджено і розроблено нове схемотехнічне рішення універсального імпульсного блоку живлення з мікропроцесорним керуванням. Виконано аналіз існуючих аналогів пристрою та доцільність розробки універсального імпульсного блоку живлення.

Оглянуто історію розвитку та структуру імпульсних блоків живлення, коротко розглянуто основні їх вузли, блоки та характеристики. Також в першому розділі наведено короткі теоретичні відомості про режими роботи імпульсних блоків живлення.

Обрано ШІМ-контролер, тип схеми вихідних ключів. В якості ШІМ-контролеру обрана широко розповсюджена мікросхема TL494, схема вихідних ключів обрана двотактна напівмостова з використанням МОН-транзисторів. Проведено розрахунок елементної бази з використанням типових розрахунків і програмного забезпечення для розрахунку трансформаторів. Опрацьована схема на базі типових схем імпульсних блоків живлення. Для регулювання параметрів блоку живлення використаний блок керування. У блоці керування застосовано мікроконтролер фірми Atmel – АТМega8. Блок керування керується за допомогою енкодера і виводить інформацію на точковому дисплеї. Є можливість відображення напруги на виході, споживаного струму, а також режим обмеження струму. Переваги використання блоку керування на мікропроцесорі є очевидні:

- керування одним лише енкодером(ручка и кнопка);

- простота виконання пристрою;
- висока точність регулювання і відображення параметрів;
- захист від короткого замикання;
- зручне відображення інформації за допомогою точкового дисплею.

Також у магістерській кваліфікаційній роботі виконані розрахунки економічної частини. Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Універсальний імпульсний блок живлення з мікропроцесорним керуванням» становить 37,3 бала, що свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень.

Впровадження мікропроцесорних технологій у блоки живлення дозволяє підвищити точність регулювання вихідних параметрів, забезпечити стабільну роботу в різних умовах експлуатації та впровадити інтелектуальні системи захисту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Switch-Mode Power Supplies, Second Edition: SPICE Simulations and Practical Designs 2nd Edition by Christophe Basso. Mc-Graw-Hill Education, 2014.
2. Abu-aisheh, A., “Design and Optimization of Hybrid Solar/Wind Renewable Energy Systems,” The International Conference on Renewable Energies and Power Quality. Tenerife, Spain, 2019.
3. Abu-aisheh, A., “Design and Analysis of Solar/Wind Power Electronics Converters,” Renewable Energies and Power Quality Journal. No.17. ISSN 2172-038X, July 2019.
4. Akram Abu-aisheh, 'Designing Sustainable Hybrid High Brightness LED Illumination Systems,' The International Journal of Modern Engineering (IJME) Volume 12, Number 2, pp 35-40, spring/summer, 2012.
5. Daniel Hart, Power Electronics, Mc Graw Hill Publisher, www.mhhe.com/hart
6. Fundamentals of Power Electronics with MATLAB by R. Shaffer ISBN:9781584508526
7. Chen YM, Liu YC, Hung SC, Cheng CS. Multi-input inverter for grid-connected hybrid PV/wind power system. IEEE Transactions on Power Electronics. 2007 May; 22(3):1070–7.
8. V.G. Agelidis, D.M. Baker, W.B. Lawrance, C.V. Nayar “A Multilevel PWM Inverter Topology for Photovoltaic Applications” IEEE Catalog Number :97TH8280
9. Nasrudin A. Rahim, Jeyraj Selvaraj “Multistring Five-Level Inverter With Novel PWM Control Scheme for PV Application” IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 57, NO. 6, JUNE 2010, pp. 2111-2123
10. Masato H. Ohsato, Gunji Kimura, and Mitsuo Shioya “Five-Stepped PWM Inverter Used in Photovoltaic Systems” IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 38, NO. 5, OCTOBER 1991, pp. 393-397

11. Peterson K. Hinga, Tokuo Ohnishi, andTakayuki Suzuki “A New PWM Inverter forPhotovoltaic Power Generation System”IEEE ,1994 ,pp. 391-395
- A. M. Massoud, S. J. Finney, and B. W.Williams, “Control Techniques forMultilevel Inverters,” in Proc. 34th Annu.Power Electronics Specialist Conf. (PESC)Rec., June 2003, vol. 1, pp. 171-176.
12. Thomas Bruckner, and D. G. Holmes,“Optimal Pulse-Width Modulation forThree- Level Inverters,” IEEE Trans. PowerElectronics, vol. 20, no. 1, pp. 82-89, Jan2005.
13. R Haas “The Value of PhotovoltaicElectricity for Society” Solar Energy, Vol.54 No.1, 1995, pp 25-31.[7] Chien-Liang Chen, Jih-Sheng Lai, Yu-BinWang, Sung-Yeul Park, and Hide Miwa“Design and Control for LCL-BasedInverters with Both Grid-Tie and StandaloneParallel Operations” in 2008 IEEE.
14. Yu, Y., and J. J. Biess, Some DesignAspects Concerning Input Filters For DC-DC Converters, IEEE Power ConditioningConference - 1971 Record, pp. 66-76.
15. Sokal, N. O., System Oscillations FromNegative Input Resistance at Power InputPort of Switching-Mode Regulator,Amplifier, DC/DC Converter, or DC/ACInverter, IEEE Power Electronics SpecialistsConference - 1973 Record, pp. 138-140.
16. Maisheng Ms3010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ozon.ru/product/laboratornyy-blok-pitaniya-istochnik-pitaniya-maisheng-ms3010d-30-v-10-a-246977622/>
17. UNI-T UTP3305 [Электронный ресурс]. – Режим доступа:https://www.unitrend.com/html/product/gongye/thi/UTP3300_Series/UTP3305.html
18. MCH K305D [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.parkflyer.ru/ru/product/1565191/>
19. NPS605W [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.amazon.com/KKmoon-Switching-Precision-Adjustable-Regulated/dp/B07TLLYVFP>

20. Мікроконтролер [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Мікроконтролер>
21. Arduino Uno [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://all-arduino.ru/product/arduino-uno>
22. Модуль ADS1115 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/ru/prod2118-16-bit-4-kanala-i2c-acp>
8. Характеристики PCF8574 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://3v3.com.ua/product_7395.html
23. Arduino Nano [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano>
24. Характеристики Arduino Nano [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-nano/>
25. АЦП [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mymcu.ru/articles/kak-rabotayut-analogo-tsifrovie-preobrazovateli-chno-mozhno-uznat-iz-spetsifikatsii-na-atasp.html>
26. Т. О Терещенко. Мікропроцесорні пристрої: навч. посібник для студентів зі спец-ті «Електроніка». Київ: Кафедра, 2017. 244 с.
27. Т. О. Терещенко, Є. І. Сокол, В. Я. Жуйков, Ю. С. Петергеря. Мікропроцесорна техніка. Друге видання. Київ, 2004. 440 с.
28. О. Поджаренко, В.Ю. Кучерук, В.М. Севастьянов. Основи мікропроцесорної техніки. Вінниця: ВНТУ, 2005. 228 с.
29. А. О. Новацький. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020. 361 с.
30. А. М Гавриленко. Силова електроніка: основи теорії і практики. Київ: Либідь, 2018. 432 с.
31. Ю. В. Подкопаєв. Основи проектування імпульсних блоків живлення. Харків: Вид-во НТУ "ХПІ", 2019. 256 с.
32. І. В. Деркач, С. О. Черненко. Мікропроцесорні системи керування: навчальний посібник. Львів: Видавничий дім "Наука", 2020. 312 с.

33. М. А. Радченко Сучасні системи живлення електронних пристроїв. Дніпро: Університет електроніки, 2017. 288 с.
34. О. П. Ковальчук. Імпульсні перетворювачі електроенергії: теорія та практика. Вінниця: Універсум, 2019. 374 с.
35. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.
36. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

УНІВЕРСАЛЬНИЙ ІМПУЛЬСНИЙ БЛОК ЖИВЛЕННЯ З МІКРОПРОЦЕСОРНИМ КЕРУВАННЯМ

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-23м
спеціальності 172 – Електронні комунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Шкандала О.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. ІРТС

 Осадчук Я.О.
(прізвище та ініціали)

« 12 » 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

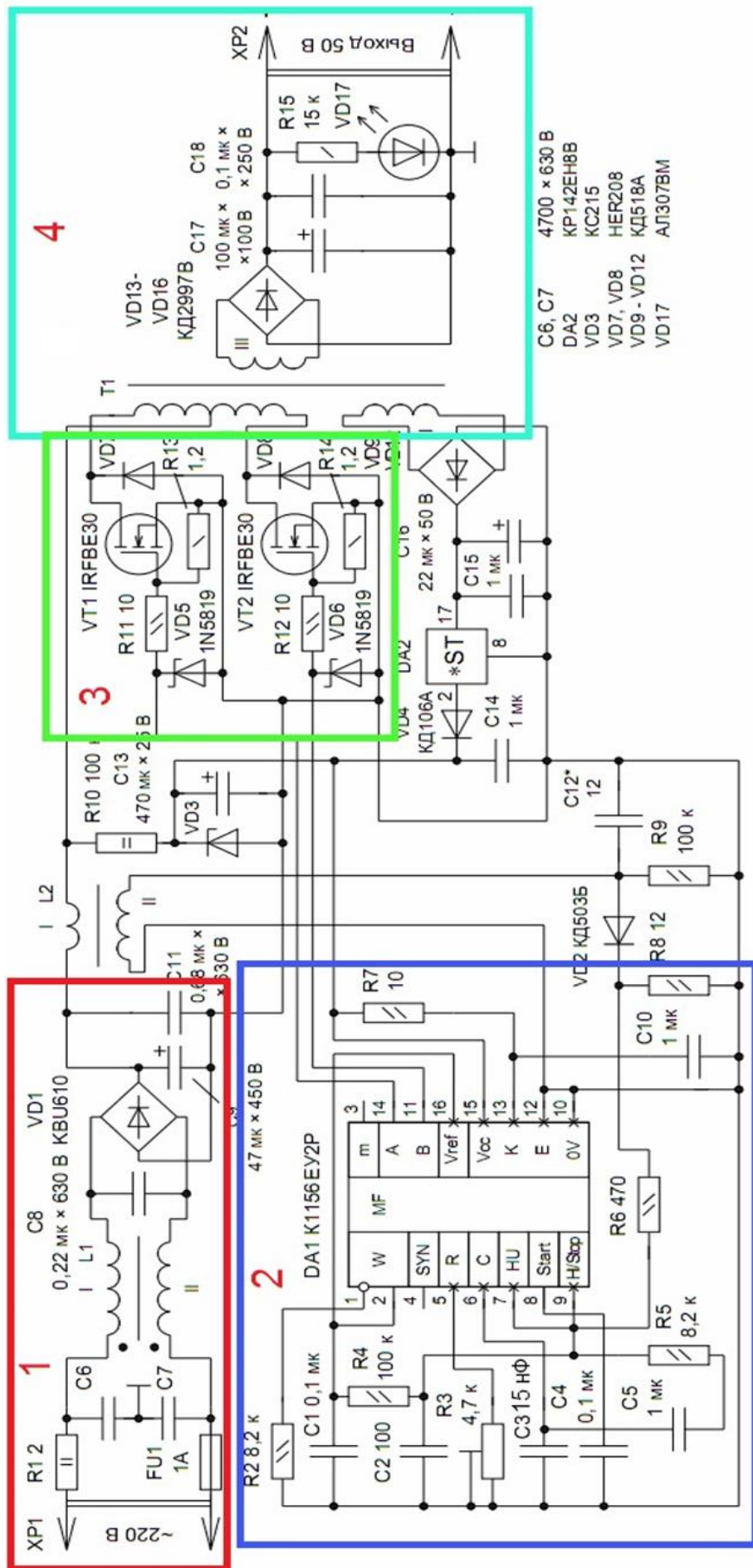


Рисунок 1 - Основні блоки імпульсного джерела живлення на прикладі типової схеми: 1) Мережевий фільтр і випрямляч змінної напруги; 2) ШІМ-контролер; 3) Каскад вихідних силових ключів; 4) Імпульсний трансформатор з вимпямлячем

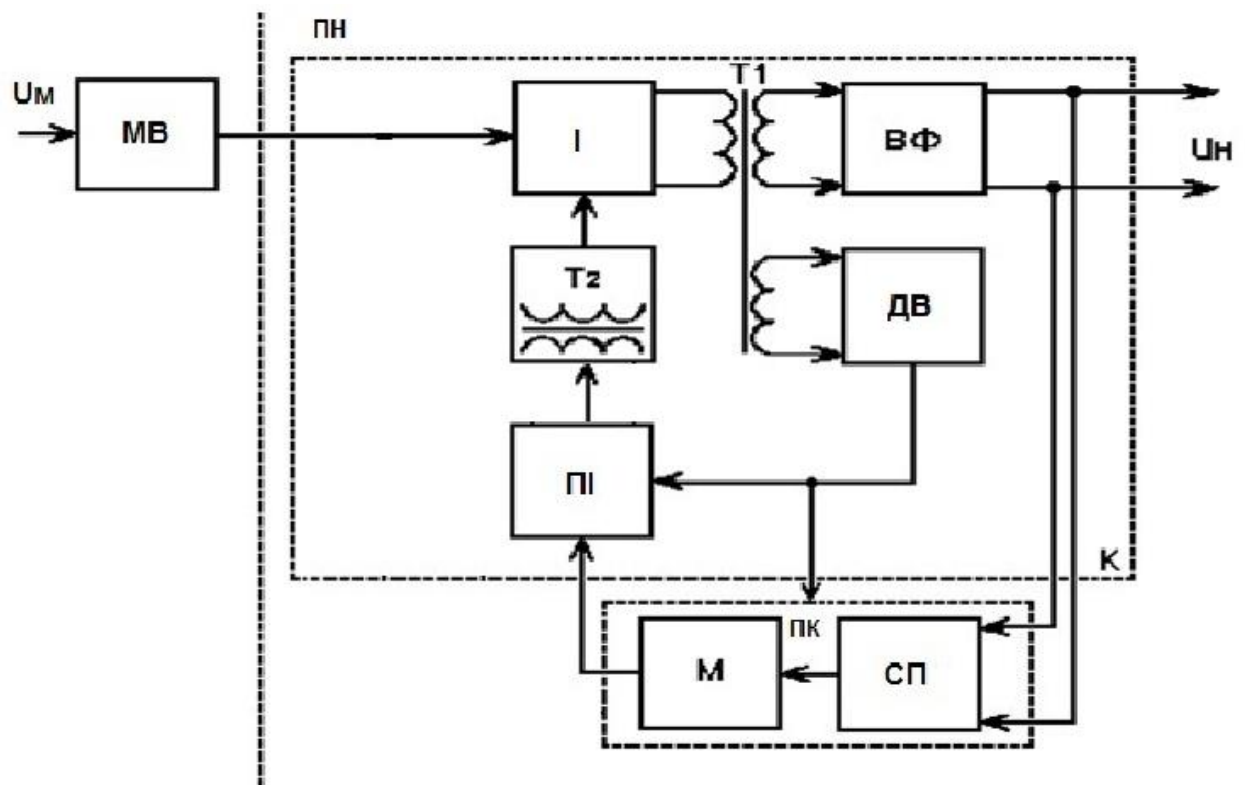


Рисунок 2 – Структурна схема універсального імпульсного блока живлення з мікропроцесорним керуванням

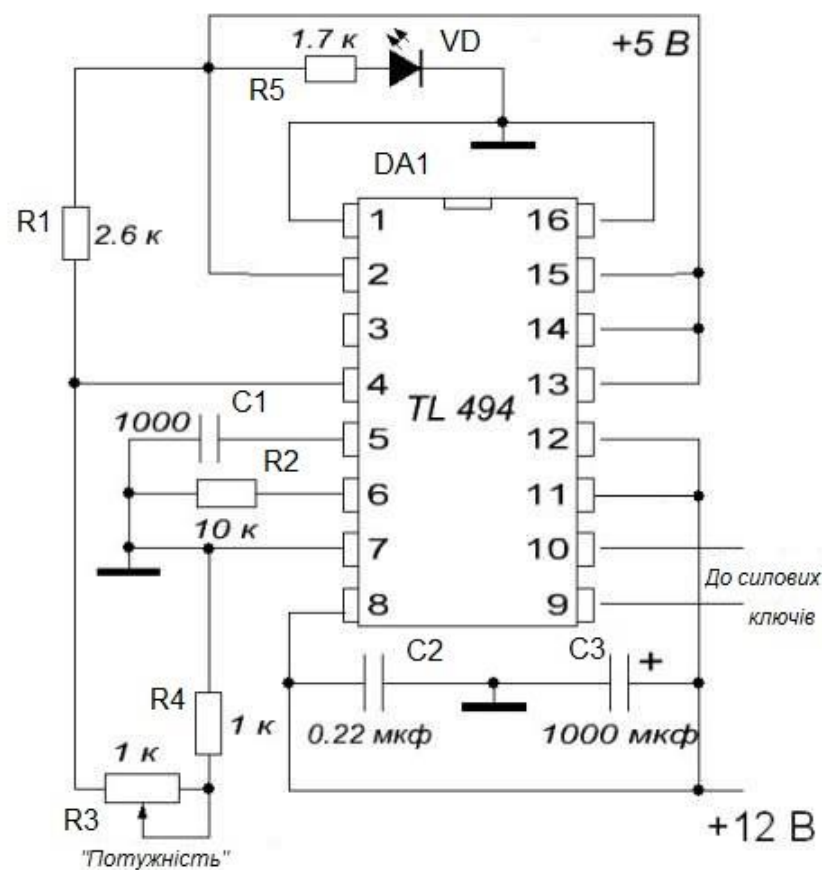


Рисунок 3 - Електрична схема включення ШІМ-контролера TL494

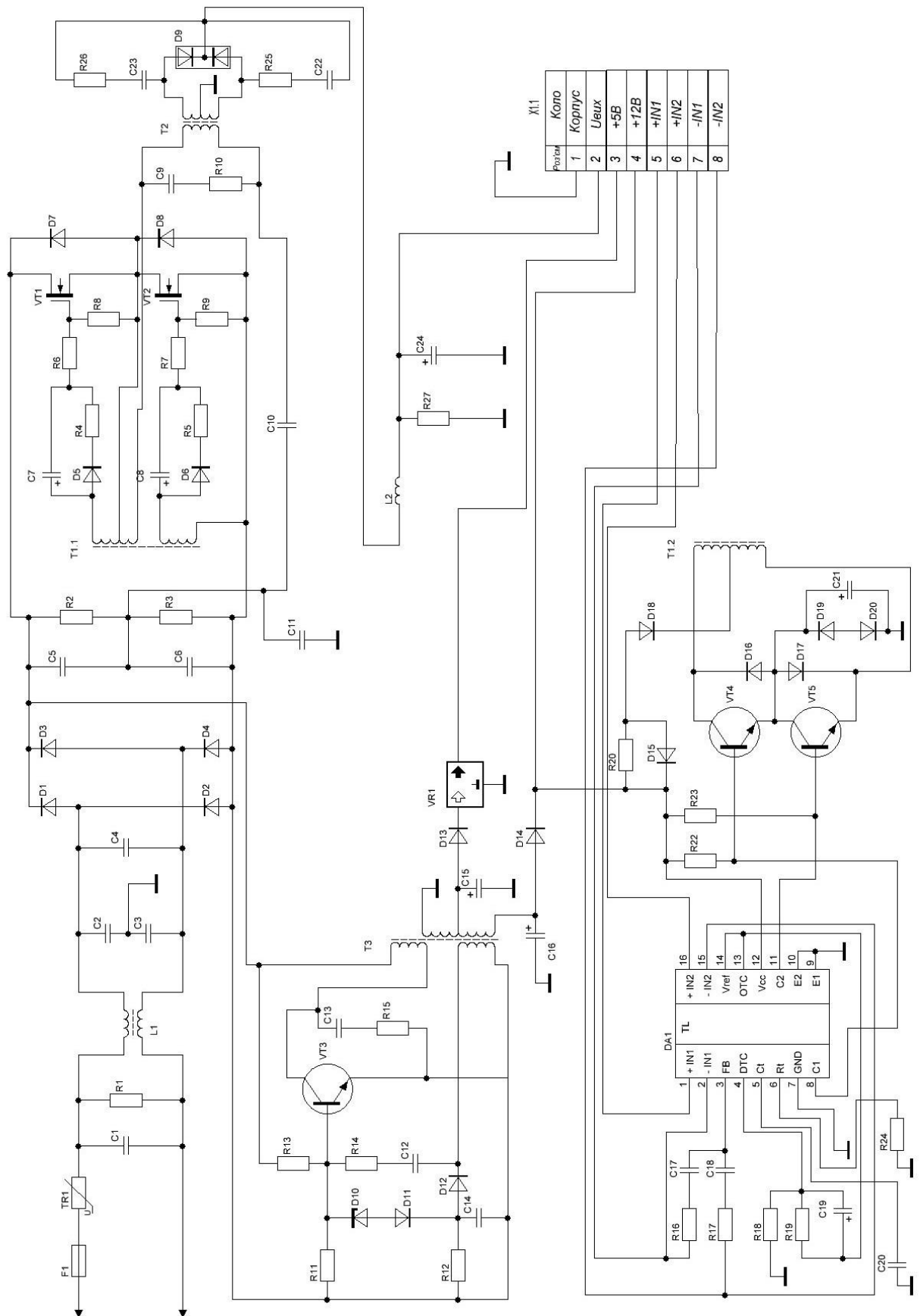


Рисунок 4 – Електрична схема силової частини універсального імпульсного блока живлення з мікропроцесорним керуванням

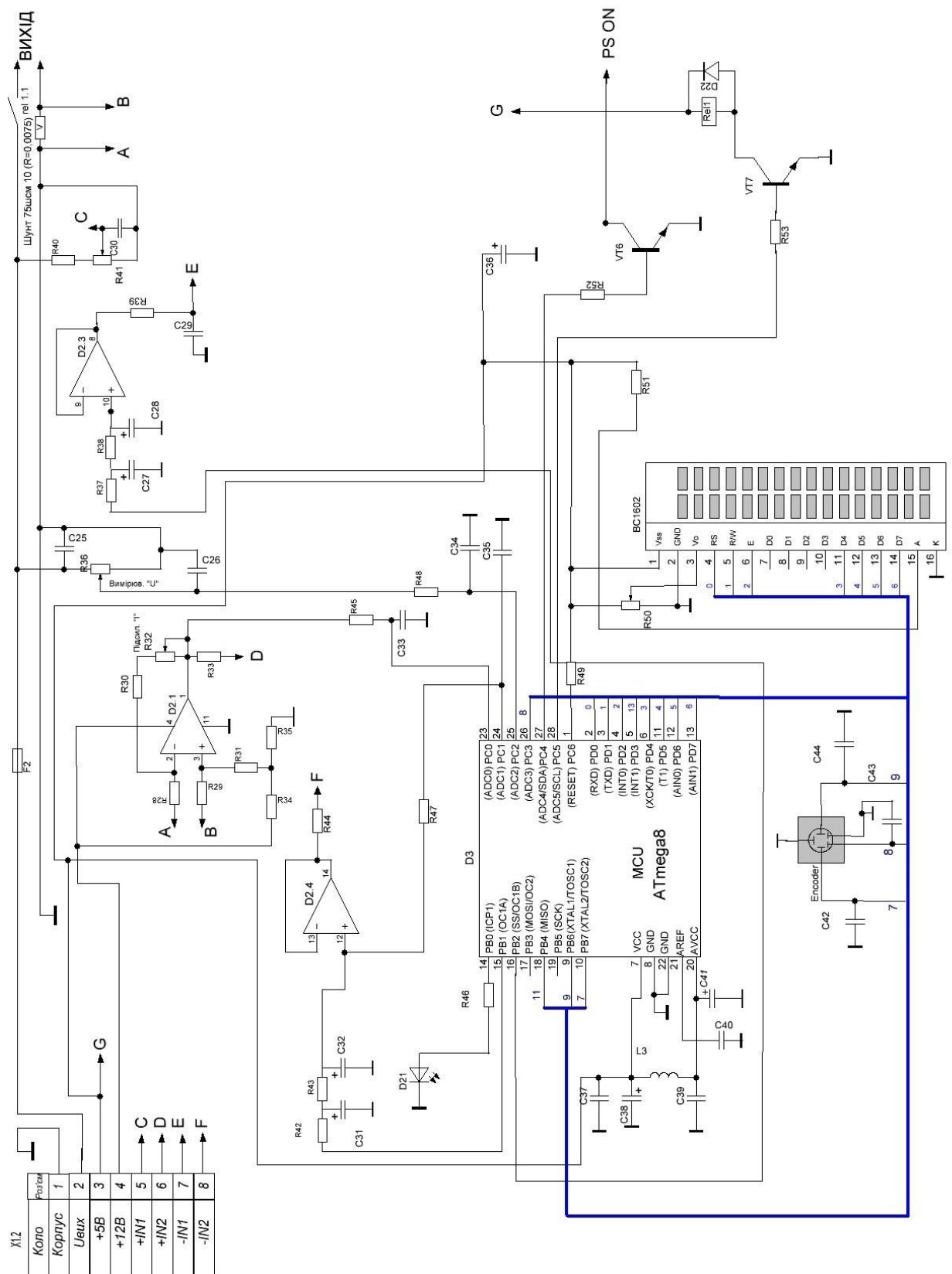


Рисунок 5 – Електрична схема блоку керування універсального імпульсного блока живлення з мікропроцесорним керуванням

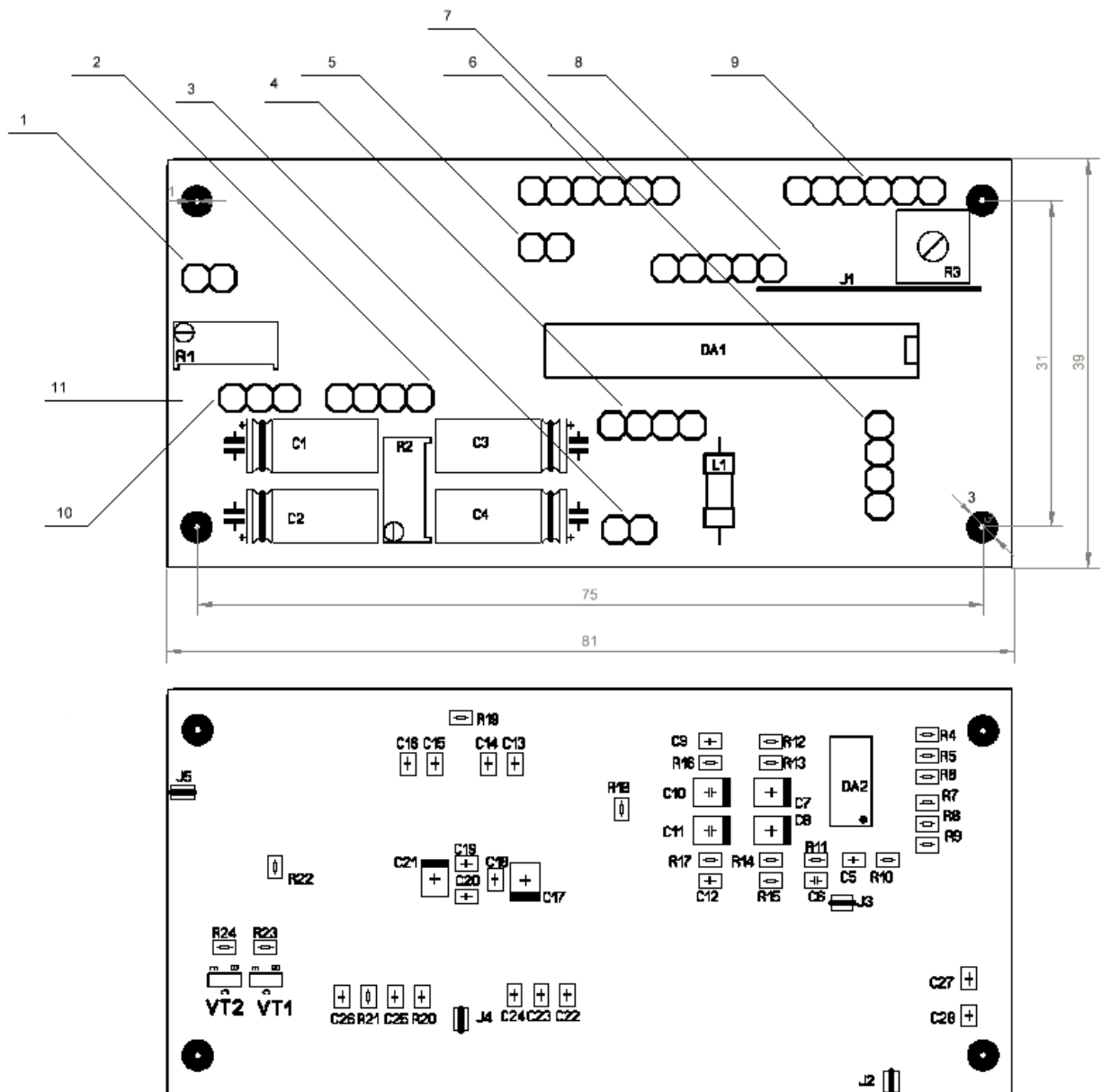


Рисунок 8 – Встановлення елементів на друкованій платі блоку керування МП

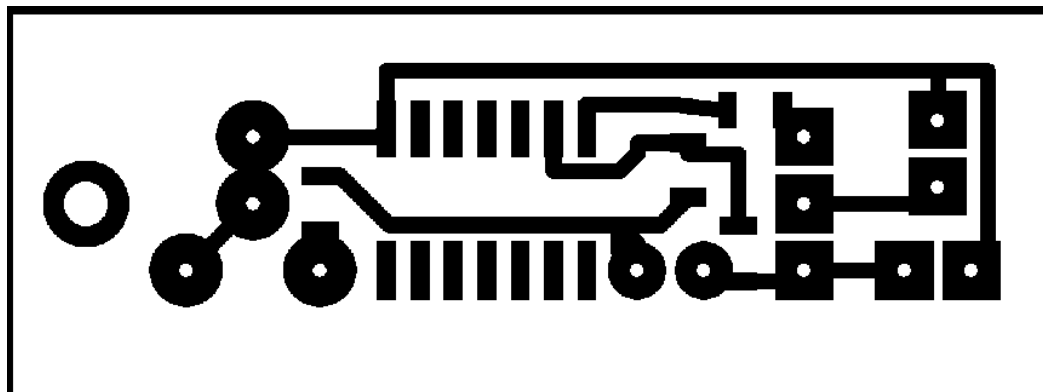


Рисунок 9 – Топологія друкованої плати блоку керування вентилятором

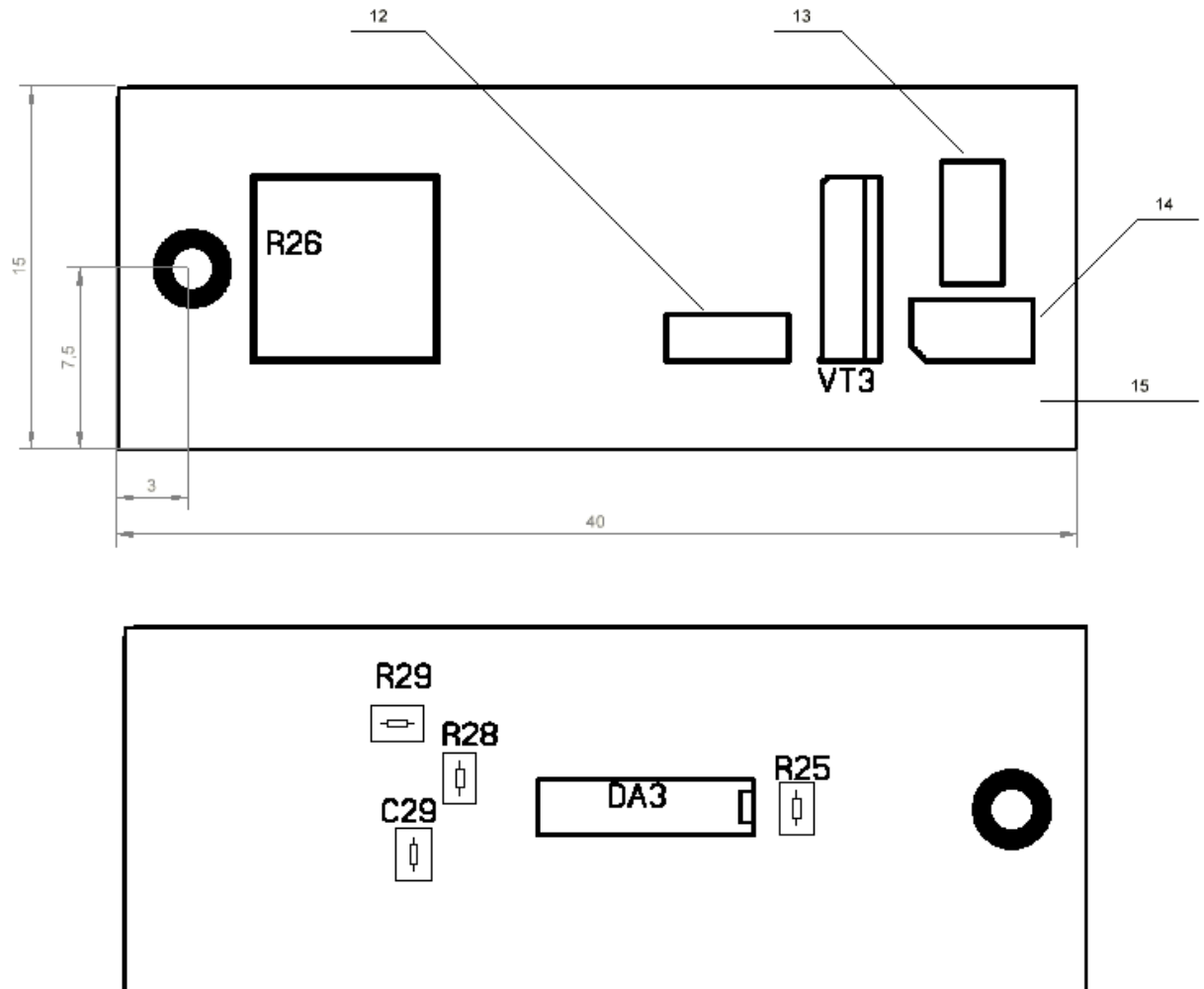


Рисунок 10 – Встановлення елементів на друкованій платі блоку керування вентилятором

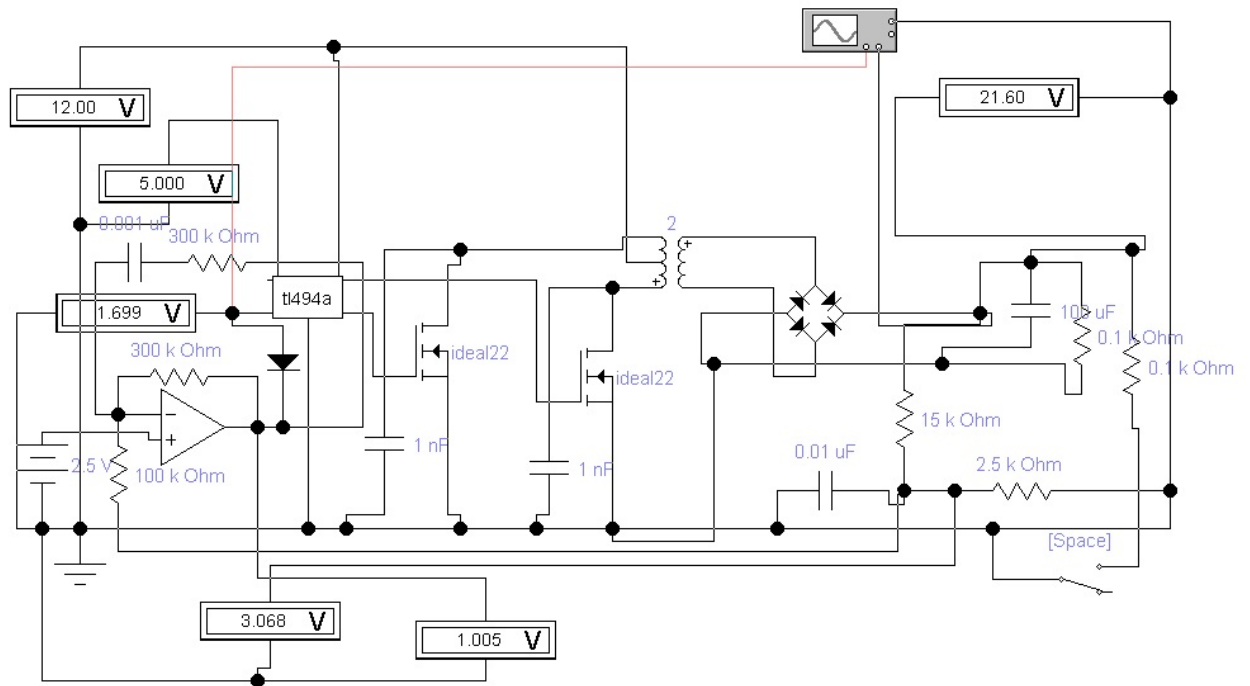


Рисунок 11 – Моделювання ІБЖ при опорі навантаження 100 Ом

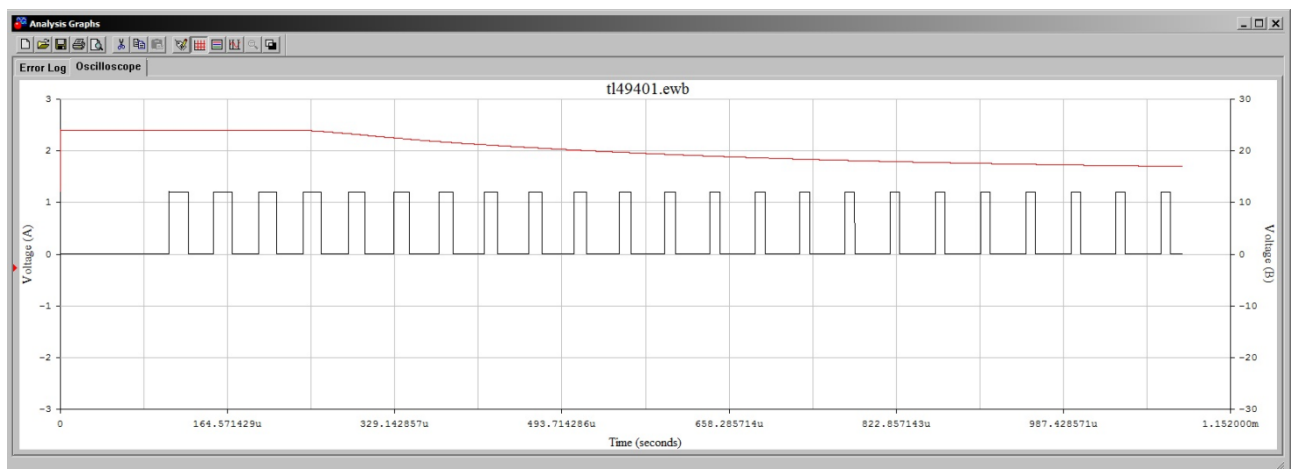


Рисунок 12 – Осцилограми при навантаженні 100 Ом

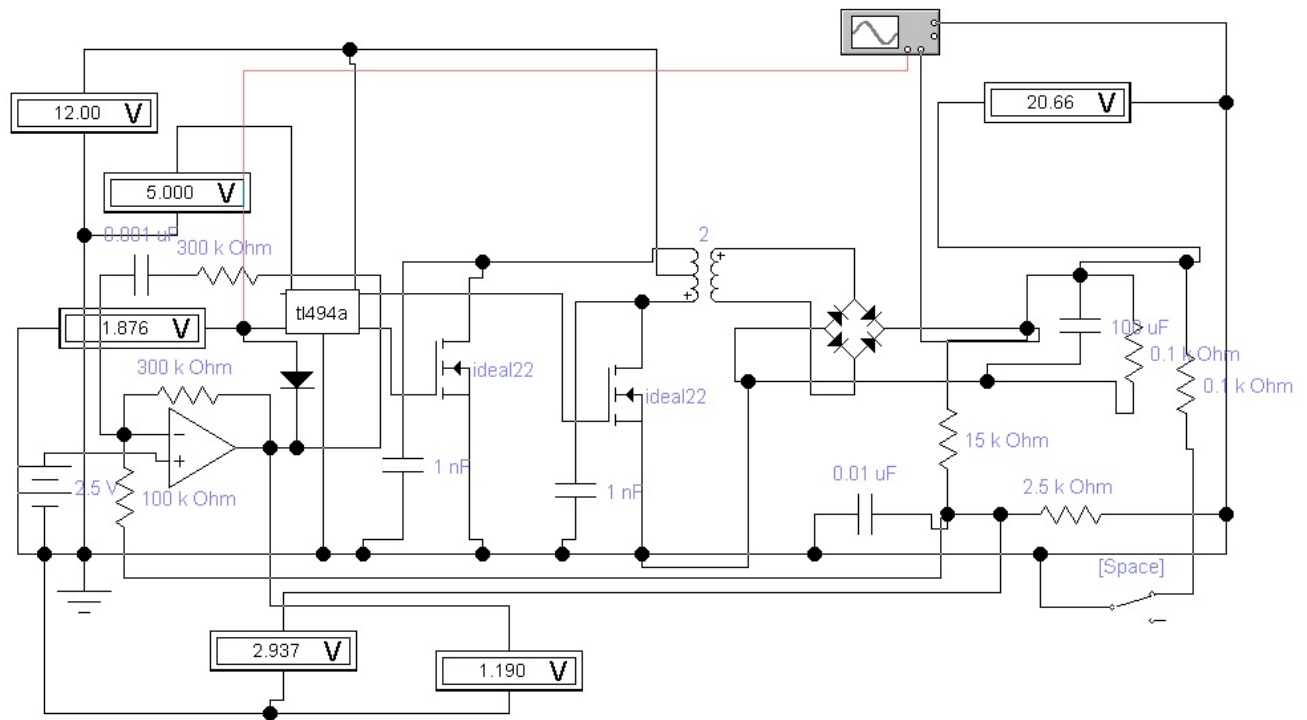


Рисунок 13 - Моделювання ІБЖ при опорі навантаження 50 Ом

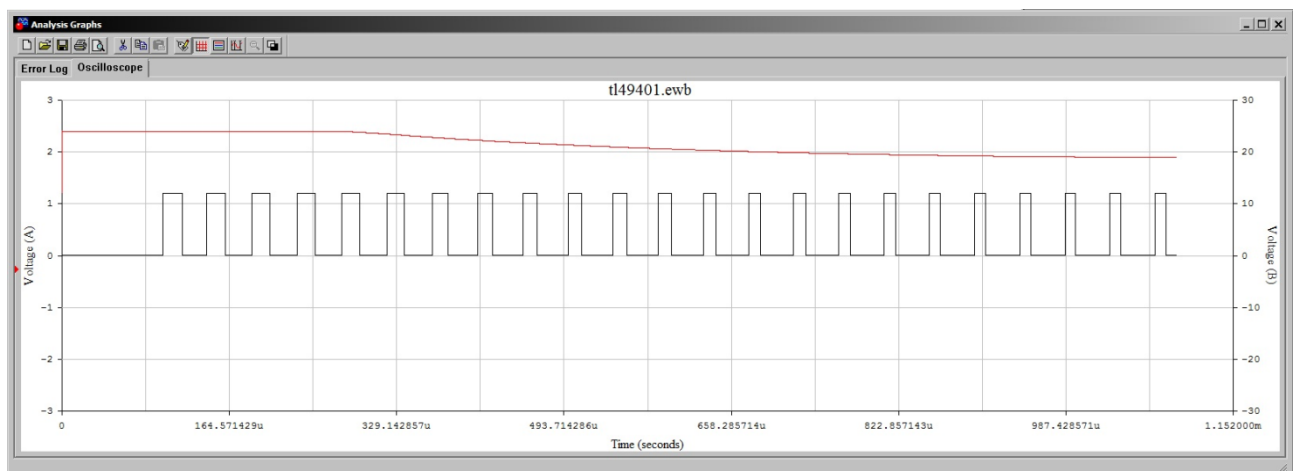


Рисунок 14 – Осцилограми при навантаженні 50 Ом

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

**УНІВЕРСАЛЬНИЙ ІМПУЛЬСНИЙ БЛОК ЖИВЛЕННЯ З
МІКРОПРОЦЕСОРНИМ КЕРУВАННЯМ**

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Універсальний імпульсний блок живлення з мікропроцесорним керуванням»

Тип роботи:

МКР

(БДР, МКР)

Підрозділ

ІРТС, ІЕС

(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність 78,0%

Схожість 22,0%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

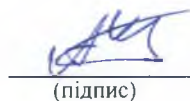
Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Андрій СЕМЕНОВ
(прізвище, ініціали)

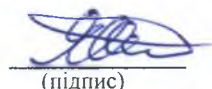
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Turnitin щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Олексій ШКАНДАЛА
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Ярослав ОСАДЧУК
(прізвище, ініціали)

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ МІКРОКОНТРОЛЕРА БЛОКУ КЕРУВАННЯ

**УНІВЕРСАЛЬНИЙ ІМПУЛЬСНИЙ БЛОК ЖИВЛЕННЯ З
МІКРОПРОЦЕСОРНИМ КЕРУВАННЯМ**

```

Chip type      : ATmega8
Program type   : Application
Clock frequency : 8,000000 MHz
Memory model   : Small
External SRAM size : 0
Data Stack size : 256

```

```

*****/

```

```

#include <mega8.h>
#include <lcd.h>
#include <delay.h>

```

```

// Alphanumeric LCD Module functions
#asm
.equ __lcd_port=0x12 ;PORTD
#endasm
#define COUNT 8
#define urov_pomex 4

```

```

eeprom unsigned int set_u=0;
eeprom unsigned int set_i=0;
eeprom unsigned int set_u1=0;
eeprom unsigned int set_u2=0;
eeprom unsigned int set_u3=0;
eeprom unsigned int e_err_set=0;
eeprom unsigned char out_on=0;
eeprom unsigned char gist_on=0;
int pwm_val_a=0,pwm_val_b=0,time_out=0,i=0;
unsigned char set_mode=0,EncState=0,cod_button=0,mode_Display=0, e=0,
out=0,m=0,p=0,g=0,fg=1;
unsigned char Dig[7];
int l_ust=0,l_izm=0,U=0,star_adc_data_U=0, err=0,err_temp=0;
char Counter=0,k=1;

```

```

//Функція антидеренчання
unsigned char incod(void)
{
unsigned char cod0=0;
unsigned char k,cod1;

```

```

for(k=0;k<200;k++)
{
cod1=PINB&0xF8;
if (cod0!=cod1)
{
k=0;
cod0=cod1;
}
}
}

```

```

    return cod1;
};
void PrepareData( int adc_result)  // Ф-ція для розложення числа
{
    unsigned int Num1=0,Num2=0, Num3=0,Num4=0;

    #asm("wdr")
    if (adc_result<0)
    {
        adc_result=0;
    };

    while (adc_result >= 1000) //тисяча
    {
        adc_result -= 1000;
        Num1++;
    }
    while (adc_result >= 100) //сотня
    {
        adc_result -= 100;
        Num2++;
    }
    while (adc_result >= 10) //десятки
    {
        adc_result -= 10;
        Num3++;
    }
    Num4 = adc_result; //остаток
    Dig[0] = Num1+0x30;
    Dig[1] = Num2+0x30;
    Dig[3] = Num3+0x30;
    Dig[4] = Num4+0x30;
    #asm("wdr")
}

void Display(void) // Ф-ція відображення
{
    int i;
    #asm("wdr")
    if ((Dig[0]-0x30)<=0)
    {
        Dig[0]=0x20;
    };
    //lcd_puts(&Dig[0]);
    for(i=0; i<6; i++)
    {
        lcd_putchar(Dig[i]);
    }
}

```

```

#define ADC_VREF_TYPE 0xC0

// Read the AD conversion result
int read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
    // Delay needed for the stabilization of the ADC input voltage
    delay_us(10);
    // Start the AD conversion
    ADCSRA|=0x40;
    // Wait for the AD conversion to complete
    while ((ADCSRA & 0x10)==0);
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCW;
}

// Timer 0 overflow interrupt service routine відображення інформації
interrupt [TIM0_OVF] void timer0_ovf_isr(void)
{
    #asm("wdr")
    TCNT0=0x7F;
    time_out+=1;
    if (Counter++ >=COUNT)
    {
        Counter = 0;
        switch (mode_Display)
        {
            case 0:
            {
                lcd_gotoxy(1,0);
                //напруга
                U=U>>3;
                if(g)
                {
                    if(fg)
                    {
                        if (star_adc_data_U!=U)
                        {
                            if((U>star_adc_data_U-urov_pomex)&&(U<star_adc_data_U+urov_pomex))
                            {U=star_adc_data_U;}
                            else
                            {
                                star_adc_data_U=U;
                            };
                        };
                    };
                };
            };
        };
    };
}

```

```

PrepareData(U); //
Dig[2] = '.';
Dig[5] = 'V';
Display();
lcd_putsf(", ");
//струм виміряний
PrepareData((I_izm>>3)-err); //
Dig[2] = '.';
Dig[5] = 'A';
Display();
lcd_gotoxy(1,1);
//струм встановлений
lcd_putsf("Set I= ");
PrepareData((I_ust>>3)-err);
Dig[2] = '.';
Dig[5] = 'A';
Display();
if (I_izm>=I_ust)
{ PORTB.0=1;
  lcd_gotoxy(0xF,1);
  lcd_putchar(0xDA);
}
else
{
  lcd_putchar(' ');
  PORTB.0=0;
};
if (set_mode==1)
{ lcd_gotoxy(0,0);
  lcd_putchar('>');
  lcd_gotoxy(0,1);
  lcd_putchar(0x20);
};
if (set_mode==2)
{ lcd_gotoxy(0,1);
  lcd_putchar('>');
  lcd_gotoxy(0,0);
  lcd_putchar(0x20);
};
if (set_mode==0)
{ lcd_gotoxy(0,1);
  lcd_putchar(0x20);
  lcd_gotoxy(0,0);
  lcd_putchar(0x20);
};
break;
}
case 1:
{

```

```

        lcd_gotoxy(0,0);
        lcd_putsf(" saving  ");
        lcd_gotoxy(0,1);
        lcd_putsf(" complete ");
        break;
    }
case 2:
    {
        lcd_clear();
        lcd_gotoxy(0,0);
        lcd_putsf(" OUT ON  ");
        break;
    }
case 3:
    {
        lcd_clear();
        lcd_gotoxy(0,0);
        lcd_putsf(" OUT OFF ");
        break;
    }
case 4:
    {
        lcd_clear();
        lcd_gotoxy(0,0);
        lcd_putsf(" FILTER ON ");
        break;
    }
case 5:
    {
        lcd_clear();
        lcd_gotoxy(0,0);
        lcd_putsf(" FILTER OFF ");
        break;
    }
};
U = 0;
I_izm = 0;
I_ust = 0;
}
else
{
    U+=read_adc(2)*3;
    I_izm+=read_adc(0);
    I_ust += read_adc(1);
}
// Place your code here
}

void EncoderScan(void) // Функція опитування енкодера

```

```

{
unsigned char New=0;
static unsigned char val_bi=0, val_bd=0, val_ai=0, val_ad=0 ;
New = incod();      // Беремо поточне значення
                   // І порівнюємо зі старим

// Дивлячись в яку сторону воно змінилось -- збільшуємо
// Або зменшуємо відповідний параметр

if (set_mode==1)
{
    switch(EncState)
    {
        case 184:
        {
            if(New == 248) val_bi++;
            if(New == 56) val_bd++;
            break;
        }
        case 56:
        {
            if(New == 184) val_bi++;
            if(New == 120) val_bd++;
            break;
        }
        case 120:
        {
            if(New == 56) val_bi++;
            if(New == 248) val_bd++;
            break;
        }
        case 248:
        {
            if(New == 120) val_bi++;
            if(New == 184) val_bd++;
            break;
        }
    };
    if (val_bi>=4)      // на 1 зміну положення 4 імпульса
    {
        if (++pwm_val_b>=1023) {pwm_val_b=1023; };
        OCR1B=pwm_val_b;
        val_bi=0;
        time_out=0;
    }
    else
    {
        if (val_bd>=4)
        {

```

```

        if (--pwm_val_b<=0) {pwm_val_b=0;};
        OCR1B=pwm_val_b;
        time_out=0;
        val_bd=0;
    };
}
else
{
    if (set_mode==2)
    {
        switch(EncState)
        {
            case 184:
            {
                if(New == 248) val_ai++;
                if(New == 56) val_ad++;
                break;
            }
            case 56:
            {
                if(New == 184) val_ai++;
                if(New == 120)val_ad++;
                break;
            }
            case 120:
            {
                if(New == 56) val_ai++;
                if(New == 248) val_ad++;
                break;
            }
            case 248:
            {
                if(New == 120) val_ai++;
                if(New == 184) val_ad++;
                break;
            }
        }
        if (val_ai>=4)
        {
            if (++pwm_val_a>=511) {pwm_val_a=511; };
            OCR1A=pwm_val_a;
            val_ai=0;
            time_out=0;
        }
        else
        {
            if (val_ad>=4)
            {

```



```

        if (--pwm_val_a<=0) {pwm_val_a=0;};
        OCR1A=pwm_val_a;
        time_out=0;
        val_ad=0;
        };
    };
};

EncState = New;          // Записуємо нове значення
                          // Попереднього стану
};
// Declare your global variables here

void main(void)
{
// Declare your local variables here
//OSCCAL=0x9F;
// Input/Output Ports initialization
// Port B initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=Out Func1=Out Func0=Out
// State7=P State6=P State5=P State4=P State3=P State2=0 State1=0 State0=0
PORTB=0xF8;
DDRB=0x07;

// Port C initialization
// Func6=In Func5=Out Func4=Out Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State6=T State5=0 State4=0 State3=P State2=T State1=T State0=T
PORTC=0x08;
DDRC=0x30;

// Port D initialization
// Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=in Func2=Out Func1=Out
Func0=Out
// State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=P State2=0 State1=0 State0=0
PORTD=0x08;
DDRD=0xF7;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 7,813 kHz
TCCR0=0x05;
TCNT0=0x7F;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 8000,000 kHz
// Mode: Ph. correct PWM top=03FFh
// OC1A output: Non-Inv.

```

```

// OC1B output: Non-Inv.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer 1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0xA3;
TCCR1B=0x01;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 2 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
MCUCR=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x01;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 1000,000 kHz
// ADC Voltage Reference: Int., cap. on AREF
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x83;

// LCD module initialization

```

```

lcd_init(16);

// Watchdog Timer initialization
// Watchdog Timer Prescaler: OSC/2048k
#pragma optsize-
WDTCSR=0x1F;
WDTCSR=0x0F;
#ifdef _OPTIMIZE_SIZE_
#pragma optsize+
#endif
pwm_val_a=set_i;
pwm_val_b=set_u;
OCR1A=pwm_val_a;
OCR1B=pwm_val_b;
err=e_err_set;
p= out_on;
  lcd_clear();
  i=0;
  lcd_gotoxy(0,0);
  lcd_putsf("scheme, firmware");
  lcd_gotoxy(4,1);
  lcd_putsf(" SONATA");
  while (i<10) {i+=1;
    delay_ms(5);};
  i=0;
  lcd_clear();
  lcd_gotoxy(2,0);
  lcd_putsf("power supply");
  lcd_gotoxy(4,1);
  lcd_putsf(" ver 2.0");
  while (i<5) {i+=1;
    delay_ms(5);};
  i=0;


// Global enable interrupts
#asm("sei")
PORTC.4=1;
if(p){ PORTC.5=1;out=1;};
g=gist_on;
while (1)
{
    if(PIND.3==0)
    {
        time_out=0;
        while (PIND.3==0)
        {
            #asm("wdr")
            if(time_out>50)

```

```

        {
            p^=1;
            out_on=p;
            m=1;
            if (p)
            {
                mode_Display=2;
            }
            else
            {
                mode_Display=3;
            };
            while(PIND.3==0){ #asm("wdr");
            };
            mode_Display=0;
            };
            if(!m)
            {
                out^=1;
                PORTC.5=out;};
            m=0;
            };
if (PINC.3==0)
{
    k=0;
    time_out=0;
    set_mode+=1;
    if(!fg){star_adc_data_U=0;};
    fg=(set_mode==1)?0:1;
    if (set_mode>2)
    {
        set_mode=0;
        k=1;
        set_i=pwm_val_a;
        set_u=pwm_val_b;
        };
    while (PINC.3==0) {   };
    };
        if (PINB.3==0&PINB.4==0)
        {
            time_out=0;
            while (PINB.3==0&PINB.4==0)
            {if (time_out>100)
            { TIMSK=0x00;
            err=0;
            err_temp=0;
            lcd_gotoxy(0,0);
            lcd_putsf(" DEFINE ERROR ");
            lcd_gotoxy(0,1);

```

```

        lcd_putsf(" COMPLETE ");
while (PINB.3==0 || PINB.4==0) { time_out=0;#asm("wdr")};
for( e=0; e<4; e++)
{
    err_temp= read_adc(0);
    if(err_temp>err){err=err_temp;};
    };
    e_err_set=err;
mode_Display=0;
TIMSK=0x01;
};
};

        };
        if(PINB.4==0&PINB.5==0)
        {
            g^=1;

            gist_on=g;
            if(g)
            {
                mode_Display=4;
                star_adc_data_U=0;
            }
            else
            {
                mode_Display=5;
            };
            while(PINB.4==0&PINB.5==0) {
                mode_Display=0;
            };
        };

if (k<1)
{ EncoderScan();
    if (time_out>200)
    { set_mode=0;
        k=1;
        if(!fg){fg=1;star_adc_data_U=0;};
        set_i=pwm_val_a;
        set_u=pwm_val_b;
        };
    if (PINB.3==0 || PINB.4==0 || PINB.5==0)
    {
        cod_button=(incod())&0x38);
        // time_out=0;
        if (cod_button==0x30)
        {
            time_out=0;
            while (PINB.3==0)
            {if (time_out>100)
                {set_u1=pwm_val_b;

```