

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки
Кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: Розробка та дослідження безперебійного блока живлення для
Інформаційно-керуючого телемеханічного комплексу Граніт-Мікро.

Виконав студент 2 курсу, групи АТ-28м
спеціальності 174 “Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка”

Войтенко Олексій Васильович

(прізвище та ініціали студента)

Керівник: к.т.н., доцент

Добржанський Олександр Олексійович

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

Рецензент: д.т.н., професор

Подчашинський Юрій Олександрович

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

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”
Факультет комп’ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки
Кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

Спеціальність 174 “Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та
робототехніка”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри робототехніки,
електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

к.т.н., доц. Громовий О.А.

“ _____ ” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

Студент Войтенко Олексій Васильович

1. Тема роботи: Розробка та дослідження безперебійного блока живлення для
Інформаційно-керуючого телемеханічного комплексу Граніт-Мікро

Затверджена Наказом по університету від 12» листопада 2024 р. № 646/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «20» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: виконати аналіз існуючих безперебійних блоків
живлення (ББЖ) для інформаційно-керуючих телемеханічних комплексів на базі
промислових програмованих логічних контролерів, виявити їх недоліки та
сформулювати пропозиції щодо їх подолання та покращення їх
техніко-економічних показників.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
аналіз об’єкта дослідження, розробка структурної схеми ББЖ, вибір топології
проектного ББЖ та підбір компонентів, розробка схеми та друкованої плати.

5. Перелік презентативного матеріалу (з точним визначенням обов’язкових
слайдів/креслень) структурна схема ББЖ або/та його складових,
схема електрична принципова ББЖ або/та його складових,
дизайн розміщення елементів та схема розмітки друкованої плати ББЖ
або/та його складових.

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи магістра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічна частина	Добржанський О.О.	11.09.24	11.09.24

Дата видачі завдання 11.09.24

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз об'єкта автоматизації	11.09.2024 – 15.09.2024	виконано
2	Розробка структурної схеми ББЖ.	15.09.2024 – 29.10.2024	виконано
3	Вибір топології проєктного ББЖ та підбір компонентів	29.10.2024 – 13.11.2024	виконано
4	Розробка схеми та друкованої плати	13.11.2024 – 30.11.2024	виконано
5	Оформлення проєкту	30.11.2024 – 15.12.2024	виконано

Студент

(підпис)

Войтенко О.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Добржанський О.О.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дана робота складається з анотації, вступу, 6 розділів, висновку, переліку використаних літературних джерел та 3 додатків. Робота розміщена на 118 сторінках формату А4 і надає інформацію про об'єкт дослідження та розробку безперебійного блоку живлення з гальванічною розв'язкою вихідних напруг.

Перший розділ присвячений технічному опису об'єкту автоматизації. В ньому розглядається структура та побудова АСУ ТП «Граніт-Мікро», та проблематика. У цьому розділі також формуються мета та задачі проекту.

Другий розділ присвячений пошуку підходів до рішень проблематики. Тут розробляється структурна схема майбутнього пристрою а також проводиться розрахунок майбутніх параметрів ББЖ та розподіл його на умовні блоки.

У третьому розділі представлений підбір топології для умовного ББЖ1, розрахунок його основних компонентів та описуються обрані компоненти.

Четвертий розділ розглядає топологію умовного ББЖ2, принципову електричну схему системи заряду АКБ та підбір основних компонентів. У ньому наводиться конструкція трансформаторів пристрою, та вихідні параметри отримані при випробуванні пристрою.

П'ятий розділ розглядає розробку принципової електричної схеми та трасування друкованої плати за допомогою програмного продукту Altium Designer. Також розглядається важливість Gerber-файлів для виробника друкованих плат, та приводиться приклад картки заказу.

У шостому розділі показана економічна доцільність та актуальність пристрою, розглядається ціна його елементної бази, та порівняння ціни блоку з виробами конкурентів.

АНОТАЦІЯ

У даній роботі було розроблено та досліджено безперебійний блок живлення (ББЖ) з гальванічною розв'язкою вихідних напруг, які живлять різноманітні модулі АСУ ТП «Граніт-Мікро». В ході роботи була виконана оцінка проблематики та прийняте комплексне рішення для їх усунення. Була розроблена електрична принципова схема ББЖ, та друкована плата, для подальшого промислового виробництва готового пристрою. Виконан опитний зразок пристрою, на якому проводились заміри та дослідження. Підібрана елементна база та топологія дозволили розробити не дорогий та надійний пристрій з новими характеристиками. В результаті роботи, телемеханічний комплекс «Граніт-Мікро» отримав до свого складу якісний ББЖ з опцією гальванічної розв'язки, що дозволило знизити виникаючі електричні перешкоди та збільшити конкурентоспроможність вітчизняної АСУ, запустити пристрій у виробництво та продаж як на внутрішньому ринку так і закордоном.

ABSTRACT

In this work, an uninterruptible power supply (UPS) with galvanic isolation of output voltages was developed and studied to power various modules of the "Granite-Micro" automated control system (ACS). During the project, an assessment of the challenges was conducted, and a comprehensive solution was implemented to address them. An electrical schematic diagram of the UPS and a printed circuit board (PCB) were designed for subsequent industrial production of the finished device.

A prototype of the device was created, which was used for measurements and testing. The selected component base and topology made it possible to develop an affordable and reliable device with new features. As a result of the work, the "Granite-Micro" telemechanics complex was equipped with a high-quality UPS featuring galvanic isolation, which reduced electrical interference, improved the competitiveness of domestic ACS systems, and enabled the device to be launched into production and sold both in the domestic market and abroad.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ	10
1.1 Інформаційно-керуючий телемеханічний комплекс Граніт-Мікро	10
1.2 Способи відображення інформації	13
1.3 Програмний пакет «Граніт-Мікро»	16
1.4 Відображення значень об'єктів на екрані ПК.....	17
1.5 Склад КП/ПК «Граніт Мікро».....	19
1.5.1 Модуль безперебійного живлення МБЖЗ	19
1.5.2 Контролер–накопичувач-шлюз (КНШ 4)	20
1.5.3 Модуль вводу дискретних сигналів та виводу команд управління МСУ	21
1.5.4 Модуль контролера щита МКЩ	21
1.6 Мета та задачі роботи	22
1.6 Висновки до розділу 1.....	24
2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ БЛОКУ ЖИВЛЕННЯ	25
2.1 Попередня оцінка проєктного ББЖ.....	25
2.2 Проєктування магнітних елементів ББЖ.....	27
2.3 Структурна схема проєкта.....	28
2.4 Висновки до розділу 2.....	29
3. ВИБІР ТОПОЛОГІЇ ТА КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ ББЖ1	31
3.1 Сімейство TOPSwitch-GX.....	31
3.2 Розробка зворотного перетворювача на базі TOPSwitch-GX.....	32
3.3 Розрахунок трансформатора основної напруги.	36
3.4 Конструювання та дослідження трансформатора працюючого в імпульсному режимі.	39
3.4.1 Обмотка трансформатора для більш міцної взаємодії.	39
3.4.2 Розрахунок обмежувача вибросу напруги.	41
3.4.3 Розрахунок дільника напруги.	43
3.6 Висновки до розділу 3.....	45
4. ВИБІР ТОПОЛГІЇ ТА КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ ББЖ2	46
4.1 Двотактний перетворювач push-pull.	46
4.2 Принцип роботи двотактного перетворювача.....	46
4.2 Принцип роботи перетворювача push-pull.	48
4.2. Підбір елементів для ББЖ2 перетворювача Push-Pool	57

4.2.1 Вибір ШІМ контролера перетворювача push-pull.....	57
4.2.2 Ключові транзистори	60
4.2.3 Вихідний конденсатор фільтру.....	61
4.2.4 Push-pull перетворювач - особливості.....	62
4.2.5 Алгоритм розрахунку перетворювача push-pull	64
4.2.6 Розрахунок трансформатора	67
4.2.7 Вибір діаметру проводу для обмоток.....	69
4.2.8 Розрахунок вихідного дроселя.....	70
4.3 Система живлення від акумуляторної батареї та її заряду.	75
4.4 Намотка трансформаторів та дроселей для ББЖ.....	76
4.5 Висновки до розділу 4.....	79
5.РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ТА МОНТАЖНОЇ ПЛАТИ	81
5.1 Розробка схеми ББЖ	81
5.2 Моделювання монтажною платою пристрою.	82
5.3. Створення виробничих файлів Gerber.....	84
5.4 Опис та вигляд ББЖ.....	85
5.5 Звіт попередніх випробувань модуля безперебійного живлення.....	86
5.6 Налаштування для проведення експерименту	87
5.7 Перевірка технічних характеристик.....	89
5.8 Висновки до розділу 5.....	98
6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	99
6.1 Висновки до розділу 6.....	105
ВИСНОВКИ.....	106
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ.....	109
Додаток 1. Схема електрична принципова.	111
Додаток 2. Картка замовлення друкованої плати.	112
Додаток 3. Перелік компонентів ББЖЗ.....	113

ВСТУП

Сучасний світ стає дедалі більш залежним від електронних пристроїв, таких як смартфони, ноутбуки, сервери, системи автоматизації, медичне обладнання, засоби зв'язку тощо. Кожен із цих пристроїв потребує блоку живлення, здатного забезпечити стабільну напругу і струм для роботи.

Блоки живлення є ключовим компонентом сучасних електронних і електротехнічних пристроїв, забезпечуючи стабільне та надійне живлення для роботи різноманітного обладнання. Їхня актуальність зумовлена як технологічними, так і економічними чинниками, що робить їх незамінними в багатьох галузях.

У системах автоматизованого керування технологічними процесами (АСУ ТП), медичних установах, дата-центрах і телекомунікаціях важливо забезпечити безперебійне живлення, оскільки перебої можуть призвести до серйозних наслідків. Блоки живлення з функцією резервування або автономної роботи під час збоїв відіграють ключову роль у таких випадках.

Зі зростанням щільності електронних схем, блоки живлення з якісною гальванічною розв'язкою та мінімізацією електромагнітних завад стають необхідними. Це особливо важливо в системах автоматизації, медичних приладах та засобах зв'язку.

Саме тому об'єктом магістерської роботи є розробка та дослідження безперебійного блоку живлення (надалі ББЖ) для комплексу Граніт-Мікро, який застосовується для контролю і вимірювання параметрів електричних мереж в автоматизованих системах управління (АСУ) об'єктів.

1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Інформаційно-керуючий телемеханічний комплекс Граніт-Мікро

Інформаційно керуючі телеметричні комплекси «Граніт-Мікро» (далі – ІКТК) виробництва «Промекс», призначені для керування, контролю та вимірювання параметрів електричних мереж в автоматизованих системах управління (АСУ) об'єктів:

- електропостачання,
- електропостачання електрифікованих залізниць і прилеглих житлових масивів,
- промислових підприємств,
- метрополітену,
- електрифікованого міського транспорту,
- комунальних служб міст.

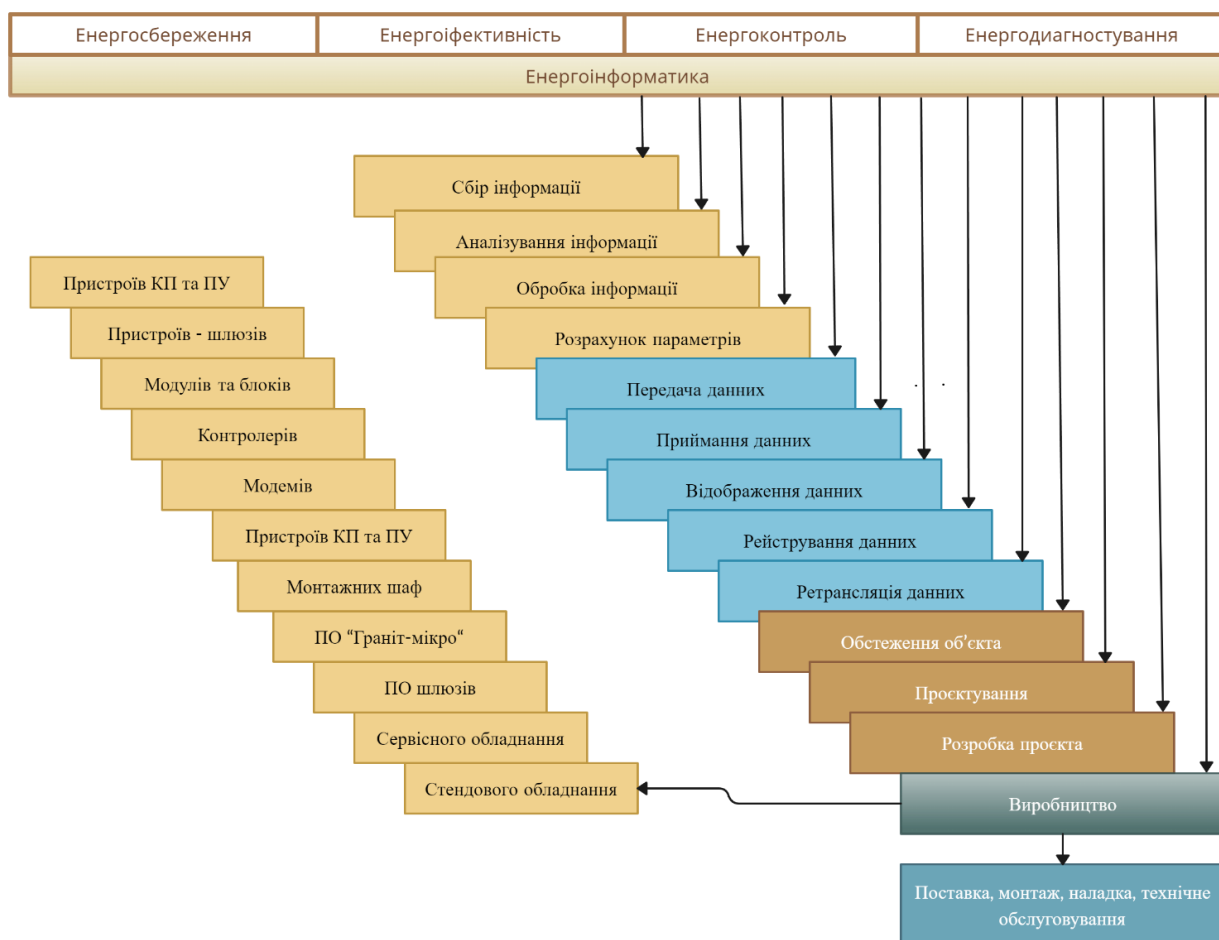


Рис.1.1 Схема технологічних процесів виробництва НПП «Промекс».

ІКТК забезпечують отримання, передачу, обробку, відображення та повторну передачу інформації. ІКТК складаються з пристроїв контролюємих пунктів (далі - КП) та пристроїв пунктів керування (далі - ПК).

До КП та ПК відносяться:

- модулі введення дискретних, аналогових, кодових сигналів і повідомлень (багатoelementної інформації), виведення команд управління,
- контролери,
- блоки проміжних реле і управління електроприводами.

ІКТК включають в себе підсистеми управління, контролю і вимірювань.

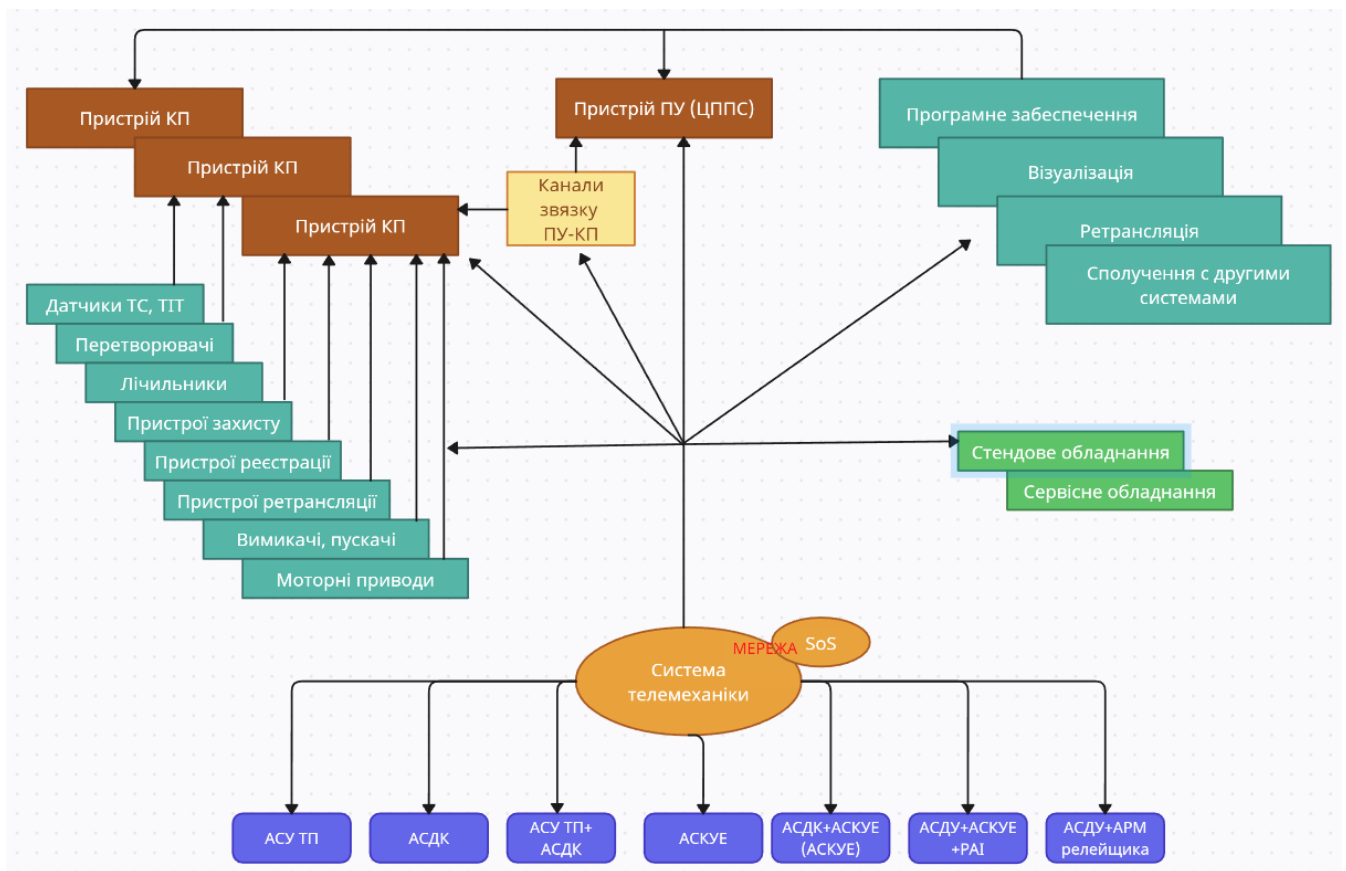


Рис.1.2 Схема підсистем управління, контролю та вимірювань.

Параметри ІКТК:

- По стійкості до впливу кліматичних факторів по ГОСТ 26.205 КП і ПУ відносяться до розрахункової групи С1 з діапазоном робочих температур від мінус 30°C до 55°C і відносною вологістю від 5% до 100%.

- Стійкий до синусоїдальної вібрації з параметрами, відповідними конструкторській групі L3 ГОСТ 12997 (5...25 Гц, робочий об'єм 0,1 мм).
- Стійкий до атмосферного тиску при експлуатації і зберіганні в діапазоні від 66 кПа до 106,7 кПа.
- Витримують одиночні механічні удари при піковому прискоренні 30 м/с² і тривалості ударного імпульсу від 0,5 мс до 30 мс.
- Зберігають свої характеристики при впливі магнітних полів напруженістю до 400 А/м згідно ДСТУ 2465-94.
- Блоки живлення стійкі до динамічних змін напруги та відповідають класу 3 ДСТУ ІЕС 61000-4-11:
 - 1) різких змін напруги джерела живлення у вигляді повторюваного крокового імпульсу значення $\pm 10\%$ від номіналу і тривалістю до 5 секунд;
 - 2) провали і короткочасні переривання напруги живлення у вигляді ступінчастого імпульсу зі значенням 100% від номінального значення при тривалості 20 мс.

В ІКТК використовуються інтегральні показники достовірності інформації, які відображаються ймовірністю непомітних спотворень інформації на всьому шляху її доставки від датчика до одержувача (від джерела до одержувача), в тому числі і в КС.

Показники достовірності інформації по ГОСТ 26.205:

- ймовірність перетворення команди ТК не перевищує 10^{-15} ,
- ймовірність відмови у виконанні відправленої (до п'яти разів) команди ТК не перевищує 10^{-10} ,
- ймовірність перетворення інформації транспортного засобу, непомітного спотворення знака релейного захисту, релейного захисту, коригувального інформаційного повідомлення, центрального процесора, лічильника ретрансльованої інформації не перевищує 10^{-12} ,
- ймовірність втрати інформації при спорадичній передачі (до п'яти разів) не перевищує 10^{-10} ,
- ймовірність спотворень, перетворених в код КТ, не перевищує 10^{-8} ,

Показники надійності підтверджуються розрахунками і випробуваннями згідно з ГОСТ 26.205. При розрахунку достовірності ймовірність спотворення будь-якого сигналу повідомлення приймалася рівною 10^{-4} .

Середнє напрацювання на відмову по кожній функції, що виконується ІКТК, відповідає вимогам групи 1 ГОСТ 26.205 і перевищує 18000 годин.

Середній термін служби ІЕТС становить понад 15 років.

1.2 Способи відображення інформації

Відображення інформації можливо за допомогою диспетчерських щитів. Диспетчерські щити з виробничою системою управління ПП "Промекс" призначені для наочного відображення поточних значень параметрів телесигналізації і телевимірювань в складі мнемосхеми об'єкта, а також можливої видачі команд управління і ручного контролю оператором значень відображуваної інформації в автоматизовані системи диспетчерського управління (АСДУ) об'єктів енергетики, залізничного транспорту, нафтогазової промисловості, комунального господарства та інших галузей економіки.

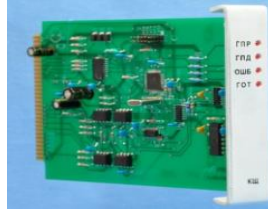


Рис1.3. Диспетчерські щит ферромагнієвий завод (Казахстан)

ПУ



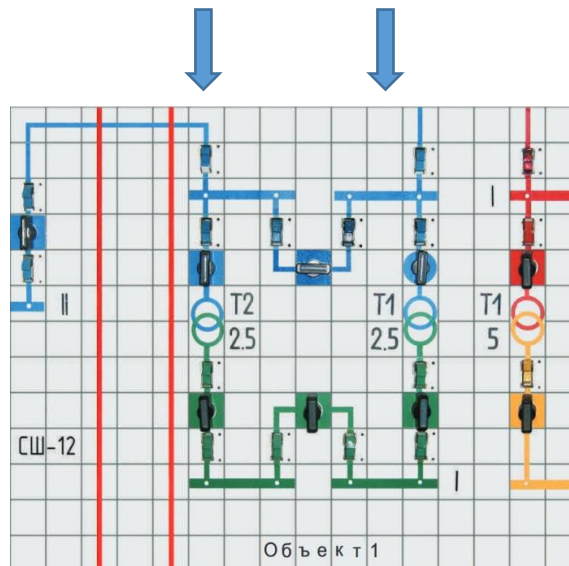
**Модуль керування
щитом**



КПЩ-С



КПЩ-Т



**Мозаїчний
диспетчерський щит**

Рис 1.4 Система керування щитами.

Також можлива взаємодія з відео щитом. Він призначений для наочного відображення поточних значень параметрів телесигналізації та телеметрії у складі мнемосхеми об'єкта, а також можливої видачі команд управління та ручного контролю оператором значень інформації, що відображається в автоматизованих системах диспетчерського управління (АСДУ) енергетики, залізничного транспорту, нафтогазової промисловості, комунального господарства та інших галузей економіки.

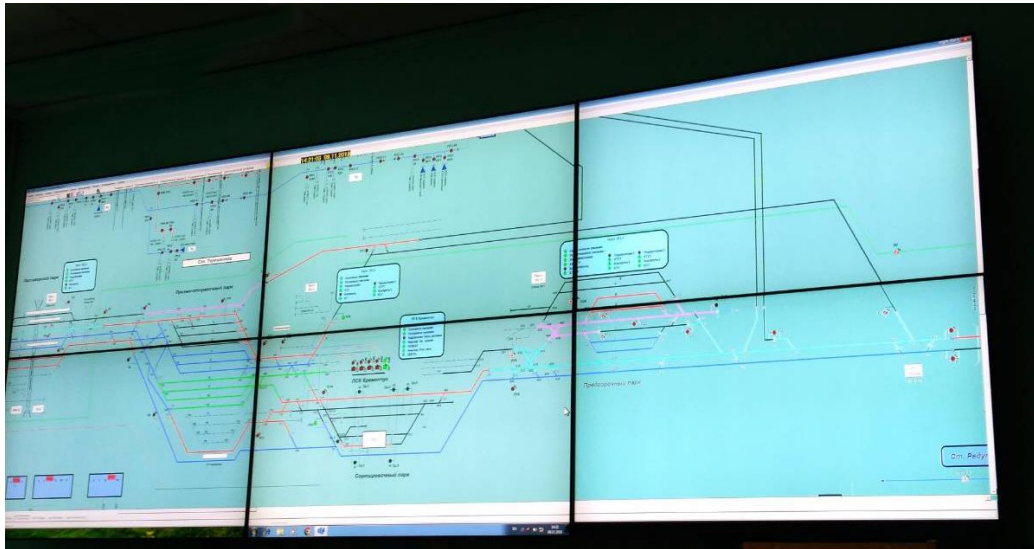


Рис.1.5 Відео щит “Південна залізниця” м.Полтава.

Для відображення є можливість побудувати вузол для кріплення лінії панелей від 23 до 50 дюймів з 3 ступенями свободи в кілька рядів. Він призначений для побудови динамічної відео панелі по радіусу робочого місця диспетчера, на підлозі зі сходинками і без горизонту.

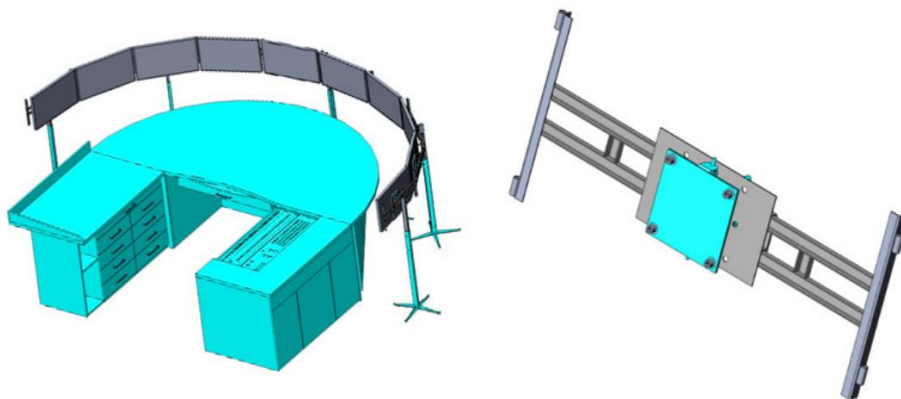


Рис.1.6 Схема побудови відео щита по радіусу робочого місця.

1.3 Програмний пакет «Граніт-Мікро»

Інформація, що відображається на відео щитах «Граніт-Мікро» виводиться за допомогою пакету програм оперативно-інформаційного комплексу(ОІК) Граніт. Пакет програм оперативно-інформаційного комплексу (ОІК) Граніт забезпечує:

- управління обміном інформацією між ПК обробного центру КП і контрольними пунктами (КП) або іншими пунктами контролю (ПК);
- оперативний контроль стану (положення) об'єктів, що входять до КП або отриманих від інших ПК;
- реєстрація зміни ТС, ТТ, ТИ ;
- реєстрація інформації, отриманої від пристроїв, підключених струмовим контуром або RS-485 до обладнання «Граніт»;
- реєстрація послідовності «подій»;
- реєстрація розбігу вимірних або розрахункових значень за встановлені межі;
- формування, передача та реєстрація команд дистанційного телеуправління (ТУ);
- активація звукової та візуальної сигналізації у разі зміни стану об'єктів спостереження;
- облік споживання електроенергії та інших видів енергоресурсів; - Відображення стану дискретних, аналогових і обчислювальних сигналів на екранах ПК та інших засобах, що використовуються в системі;
- створення, ведення та редагування поточних та ретроспективних баз даних;
- автоматизоване створення документів з текстовою (статичною) інформацією та полями для введення динамічної інформації: поточних значень вимірюваних значень, середньогодинних значень або поточних інтегральних значень споживання електроенергії (енергоресурсів);

-формування та обмін даними типу «клієнт-сервер» через відомчі або корпоративні мережі;

- генерація пакетів повідомлень для передачі даних в DSPS верхнього рівня за узгодженим протоколом, наприклад, відповідно до ГОСТ МЭК 870-5-104;

- сортування даних для формування пакетів даних, що передаються по телемеханічних каналах зв'язку;

- передача поточного стану сигналів по протоколу TCP/IP з подальшою передачею їх змін в програми сторонніх Користувачів; - автоматична маршрутизація згенерованих пакетів даних;

- вирівнювання ретроспектив при резервному копіюванні серверів телемеханіки; - облік роботи обладнання; - прив'язка оперативних даних до системного часу ПК ОІК "Граніт". Пакет включає в себе наступні програми:

- основну керуючу – Pgranit_arm.exe;

- програму, встановлену на клієнтському комп'ютері Pgranit_arm_cl.exe;

- перегляд ретроспективи змін параметрів - Pretro.exe;

- відображення даних про споживання електроенергії (енергоспоживання) - Ptur.exe;

- відображення результатів обліку роботи обладнання – Work_Stop.exe;

- створення шаблонів документів (таблиць) - ShablProj.exe;

- заповнення документів (таблиць) - XlProject.exe.

1.4 Відображення значень об'єктів на екрані ПК

Програмний комплекс ОІК "ГРАНІТ" дозволяє створити до 250 технологічних кадрів. Кожен кадр відповідає файлу. Ім'я файлу виглядає так XXX.bmp, де XXX - число від 1 до 250. Кожен кадр процесу може мати ім'я довжиною до 54 символів (диспетчер зазвичай працює з іменами кадрів, а внутрішня робота програм виконується з іменами

файлів). Вимірювані, контрольовані або контрольовані об'єкти «прив'язані» до кадру. Об'єкти і параметри відображаються у вигляді символу. При зміні стану об'єкта (значення параметру) змінюється відповідне графічне зображення. Щоб привернути увагу диспетчера, миготить графічне зображення об'єкта, що змінив свій стан. Миготіння кадру зображення ТТ свідчить про те, що відповідний вимірний параметр вийшов за встановлені межі. На рис.1.7 і 1.8 показані приклади кадрів. Кадри мають бути у форматі bmp. Малювати рамки можна в будь-якому редакторі, який записує в формат bmp.

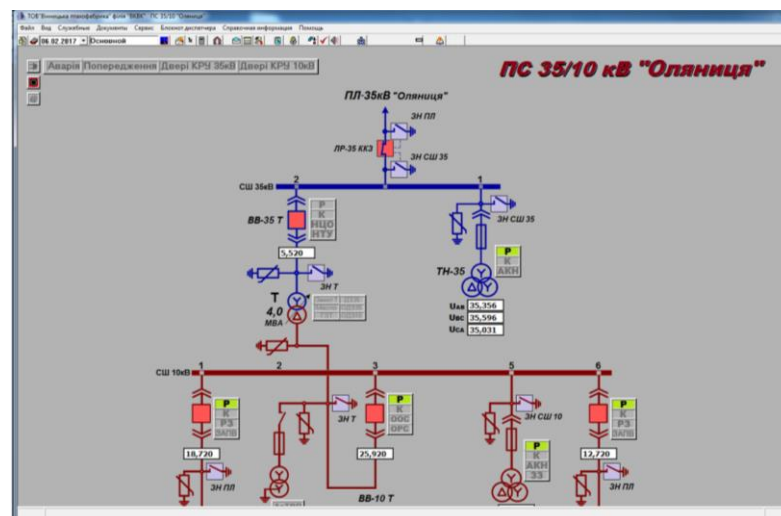


Рис 1.7 Приклад відображення кадру.

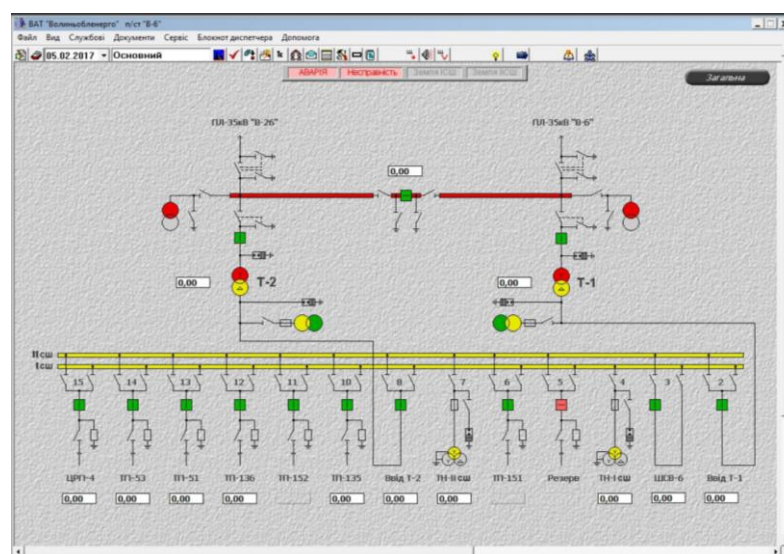


Рис 1.8 Приклад відображення кадру.

1.5 Склад КП/ПК «Граніт Мікро»

До складу КП/ПК «Граніт Мікро» (Рис1.2) входять різноманітні контролери та модулі, які забезпечують повноцінну експлуатацію та безперервну роботу модуля. Далі описані основні модулі, які застосовуються в складі КП/ПК «Граніт Мікро».



Рис 1.2 Встановлені модулі КП/ПК «Граніт-Мікро»

1.5.1 Модуль безперебійного живлення МБЖЗ

МБЖЗ є складовою частиною інформаційно-керуючого комплексу «Граніт-мікро»
Рис1.3. МБЖЗ генерує постійну напругу для живлення всіх модулів, встановлених в каркасі пристроїв КП-мікро комплексу «Граніт-мікро», і забезпечує безперебійне електроживлення при зникненні напруги мережі 220 В.



Рис1.3. Зовнішній вигляд МБЖЗ.

1.5.2 Контролер–накопичувач-шлюз (КНШ 4)

КНШ (Рис1.5) реалізує пряме сполучення пристроїв контролюемого пункту (КП) та пункту контролю (ПК) ІКТК «Граніт-мікро»:

- по каналу зв'язку з імпульсним кодом,
- з комп'ютерною мережею Ethernet по протоколах TCP/IP и UDP,
- с зовнішні (по відношенню до к КНШ4) пристроїв через два інтерфейси RS-485 (протоколам Modbus та широкий спектр інших) у вільному програмованому режимі,
- по шині RS-232 та (або) USB,
- по внутрішнім шинам SPI з контролерами пристроїв ІКТК «Граніт-мікро».

КНШ4 реалізує:

- накопичення інформації, що надходить з модулів системи управління «Граніт-мікро», а також по каналах зв'язку КП-ПК, КП-КП або ПК-ПК,
- «прив'язка» отриманої інформації до реального часу з дискретністю в 1 мс,
- узгодження працездатності наданого каналу зв'язку та інтенсивності потоку запитів на введення/виведення інформації,
- безпосередня передача накопичених даних по каналу зв'язку,
- підбір протоколу зв'язку для оптимального сполучення із зовнішніми пристроями
- обмін інформацією з КАМ для введення і виведення інформації.



Рис 1.5 Зовнішній вигляд КНШ.

1.5.3 Модуль вводу дискретних сигналів та виводу команд управління МСУ

Модуль призначений для введення дискретних сигналів від датчиків положення або стану об'єктів спостереження та виведення команд керування виконавчими механізмами (Рис1.6).



Рис 1.5 Зовнішній вигляд МСУ

1.5.4 Модуль контролера щита МКЩ

Модуль контролера щита (МКЩ) (Рис 1.7) призначений для взаємодії комплексів Граніт-мікро з контролерами панельних щитів (КПЩ), встановлюються в диспетчерських щитах. Функціонально МКЩ є перетворювачем використововуваного в "Граніт-мікро" міжмодульного інтерфейсу обміну у внутрішній блочний інтерфейс комплексу "Граніт".

Передбачена можливість передачі даних на пульт управління, а також отримання даних з ключів підтвердження контролерів панелей щита «темного», як КПЩ-Т, так і контролери панелей «світло/напівсвітло» (КПЩ-С), можуть бути підключені до одного МКЩ по загальній шині.



Рис 1.7 Зовнішній вигляд МКЩ

1.6 Мета та задачі роботи

Метою даної роботи є розробка нового безперебійного блоку живлення з гальванічною розв'язкою по живленню між виконавчими механізмами, та прецизійною електронікою (контролерами, операційними підсилювачами, т.щ.). Необхідність обумовлена тим, що АСУ ТП працює в надзвичайних ситуаціях. В цьому випадку виникає небезпека впровадження «механічно» створених інтегрованих ІКС. Спотворена інтерпретація показника ефективності системи не враховує: - ймовірність спотворення даних і, як наслідок, відмови одержувача від обробки та реєстрації отриманих даних; - затримка між початковою і повторною передачею одного і того ж повідомлення в разі спотворення раніше переданого; - можливість спотворення при введенні інформації з датчиків;- імовірність спотворення даних в лінійних адаптерах та інших пристроях, включених в тракт доставки інформації до приймача; - затримка початку передачі вже підготовленої інформації.

Ці проблеми також існують і в телемеханічному комплексі ГРАНІТ-МІКРО. Вони можуть бути викликані електричними перешкодами, які може створювати сам комплекс в процесі роботи.

Наприклад, в складі комплексу існує модуль введення дискретних сигналів і виведення керуючих команд MCU, він є невід'ємною частиною інформаційно-управлінського комплексу, він має в своєму складі реле, які живляться від постійної напруги 24 вольт. Це не єдиний модуль, який може давати перешкоди по ланці в 24 вольт.

Реле, особливо електромагнітні типи, можуть створювати електромагнітні поля, які в свою чергу можуть викликати електромагнітну інтерференцію (ЕМІ). Це може призвести до спотворення сигналів і роботи електроніки неправильно, та вплинути на інші модулі комплексу, які живляться від одного блоку живлення, хоча й від другої напруги, наприклад, 5 вольт. Також це може призвести до неправильної роботи операційних підсилювачів, які живляться від напруги +/-15 вольт.

Проблема полягає в тому, що ми не можемо використати декілька блоків живлення, а каркас комплексу ГРАНІТ-МІКРО стримує нас використовувати тільки один слот для плати блоку живлення, розмірами не більше 170x100x50 мм. На платі цих розмірів нам необхідно побудувати безперебійний блок живлення від 220 вольт змінного струму в 5 вольт, +15 вольт, -15 вольт (для живлення операційних підсилювачів) та 24 вольт, для живлення реле та виконавчих механізмів. При тому, 24 вольт повинні бути гальванічно розв'язані від інших джерел постійного струму, таких як 5 та +/-15 вольт.

Гальванічна розв'язка може допомогти уникнути передачі електромагнітних шумів та перешкод між різними частинами електричних систем. Використання гальванічної розв'язки допомагає забезпечити безпеку та надійність електричних систем, особливо у вимірах, де точність та стабільність сигналів є критичними. Безперебійний блок живлення з гальванічною ізоляцією вихідних напруг — це пристрій, який забезпечить стабільне живлення електричних пристроїв навіть у разі виникнення перерв або флуктуацій у мережі живлення. Гальванічна ізоляція у такому ББЖ забезпечує фізичну відокремленість не тільки між вхідною та вихідною стороною пристрою, але і відокремленість між вихідними напругами, що нам і необхідно.

1.6 Висновки до розділу 1

Розглядаючи об'єкт автоматизації, було прийняте рішення модернізувати систему живлення. Виходячи з аналізу виконаного у цьому пункті, технічне завдання на проектування ББЖ +5В +24В буде мати наступні вимоги:

1. Модуль повинен живитися від мережі 110 В і 230 В та від акумулятора 12 В.
2. Модуль повинен видавати напругу 5 В / 3 А, 15В / 0,1А та 24 В струмом 1 А.
3. Джерело 24 В має бути гальванічно розв'язане від джерела 5 та 15 В.
4. Відхилення напруги не повинно перевищувати 5% для 5 В і 10 % для 24 В.
6. Модуль повинен мати індикацію роботи від мережі та акумулятора.
7. Модуль повинен забезпечувати гальванічно розв'язаний телевізійний сигнал про перехід на батарею.
8. Модуль повинен бути розмірами 170 мм * 120 * 50 мм

2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ БЛОКУ ЖИВЛЕННЯ

2.1 Попередня оцінка проєктного ББЖ

На попередньому етапі етапу проєктування безперебійного блоку живлення (ББЖ) заздалегідь визначаються деякі з основних параметрів, що демонструються імпульсним джерелом живлення. Це дозволить визначити, чи правильна обрана нами топологія, і замовити компоненти для прототипування задовго до того, як вони дійсно знадобляться. Крім того, уточнюються значення деяких особливо важливих параметрів, які будуть потрібні в подальшому в процесі проєктування. Для того, щоб виконати оцінку майбутнього, ББЖ достатньо знати параметри навколишнього середовища, взяті з проєктної специфікації, а потім розглядати майбутнє джерело живлення як своєрідний об'єкт, який має тільки входні та вихідні лінії (Рис. 2.1). Так як в нас необхідно розробити безперебійний блок живлення та ще з гальванічною розв'язкою, проєкт треба розділити на 2 умовних ББЖ.



Рис 2.1 Оціночні параметри проєктного ББЖ.

Виходячи з проєктних даних вирахуємо оціночні параметри для першої та другої частини ББЖ:

Вихідна потужність ББЖ1:

$$P_{out1} = \sum_{m=1}^n (V_{out(N)} I_{out(m)}) = 14.5 * 3.5 = 50.75 \text{ W}$$

Вхідна потужність ББЖ1 при ККД 80%:

$$P_{in1} \cong \frac{P_{out1}}{\text{ККД}} \cong \frac{50.75}{0.8} \cong 63.43$$

Значення вхідного току ББЖ1:

$$I_{in1} \cong \frac{P_{in1}}{V_{in(nom)}} \cong \frac{63.43}{230} \cong 0.27 \text{ A}$$

Вихідна потужність ББЖ2:

$$P_{out2} = \sum_{m=1}^n (V_{out(N)} I_{out(m)}) = (5 * 3) + (24 * 1) + (15 * 0.1) = 40.5 \text{ W}$$

Вхідна потужність ББЖ2 при ККД 80%:

$$P_{in2} \cong \frac{P_{out2}}{\text{ККД}} \cong \frac{40.5}{0.8} \cong 50.6$$

Значення вхідного току ББЖ2:

$$I_{in1} \cong \frac{P_{in1}}{V_{in(nom)}} \cong \frac{50.6}{14.5} \cong 3.48 \text{ A}$$

Ці оціночні данні допоможуть нам визначитись з топологією, конструкцією трансформатора та підбором компонентів, використовуючи табличні данні.

2.2 Проектування магнітних елементів ББЖ

Для оцінки початкових розмірів сердечника та конструкції трансформатора в якості узагальнених підходів використовуються наступні процедури. Використовуючи табл. 2.1, визначаємо діапазон потужностей, на які потрапляє проєктований ББЖ згідно з оціночними розрахунковими даними. За специфікацією виробника сердечника знаходимо сердечник необхідної потужності вирахований за оціночними даними.

Таблиця 2.1

Вихідна потужність, Вт	Діаметр кільцевого МРР-сердечника, мм	Розміри сторін сердечників форми Ш-Ш, Ш-Г мм.
<5	16	11
<25	20	30
<50	30	30
<100	38	47
<250	51	60

Згідно з нашими оціночними даними та для зручності виробництва, оберемо сердечник фірми EPCOS на каркасі ETD-29. В табл. 2.2. представлена серія сердечників ETD від фірми EPCOS.

Таблиця 2.2

Тип	Розміри, мм	Матеріал сердечника
ETD29	30.6x32x9.8	N27, N67, N87
ETD34	30x35x11.1	N27, N67, N87
ETD39	38.9x40x12.8	N27, N67, N87
ETD44	43.8x45x16.7	N27, N67, N87
ETD49	48.5x49.8x16.7	N27, N67, N87
ETD54	54.5x55.6x19.3	N27, N67, N87
ETD59	59.8x62.4x22.1	N27, N67, N87

Каркас ETD-29 зручний для намотування дроту, бо має в своєму складі лехкозмінну катушку, та можливість обирати великий спектр сердечників Рис2.1.



Рис2.1 Склад каркасу ETD-29

2.3 Структурна схема проекта.

Так як проєкний ББЖ буде мати в своїй побудові гальванічну розв'язку та безперебійне живлення, то структурна схема (рис2.2) буде мати в своєму складі два ШІМ контролери та два трансформатори різних топологій. Силовий трансформатор, або трансформатор високої напруги буде виконано по обратноходовій топології на каркасі ETD-29. Другий трансформатор, який буде забезпечувати гальванічну розв'язку вихідних напруг, виготовимо також на каркасі ETD-29, але за топологією push-pull. В якості ШІМ контролера для першого трансформатора по обратноходовій топології планується обрати перевірену часом TOP-246YN в корпусі TO-220, яка має вбудований силовий транзистор, працює на частоті 66 та 132 кГц, та дає можливість побудувати блок живлення потужністю до 90 ват.

Для безперебійної роботи та гальванічної розв'язки вихідних напруг нам необхідно використати другий трансформатор, який буде керуватись ШІМ контролером SG3525. Цей контролер дає можливість вибирати частоту роботи від 100 до 500 мГц, та регулювати «мертвий час». Живитися цей контролер буде від трансформатора високої напруги, а при зникненні напруги, від акумулятора напругою 12 вольт.

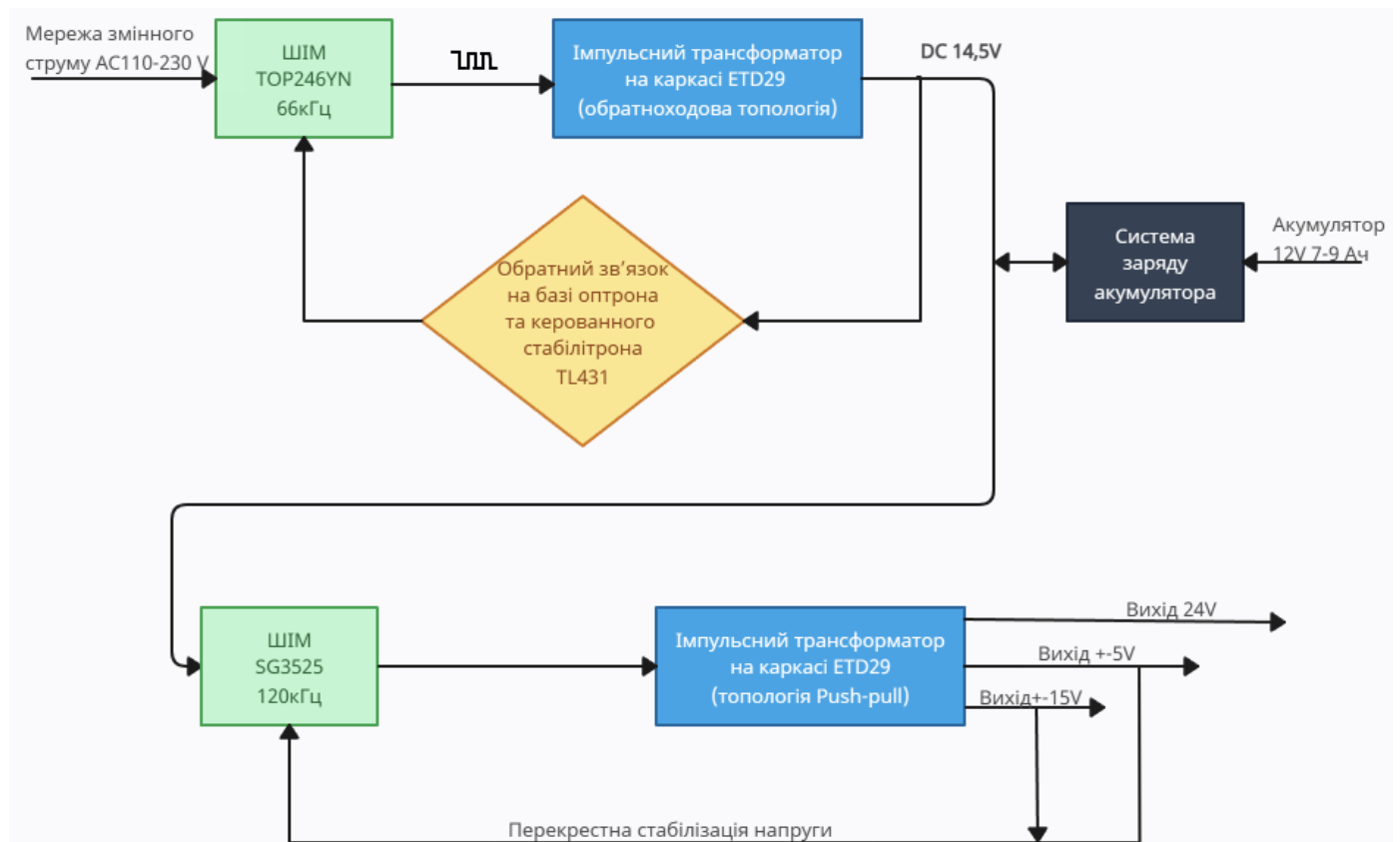


Рис 2.2 Структурна схема ББЖ

2.4 Висновки до розділу 2

При аналізі поставленої задачі ми визначились, що для побудови безперебійного блоку живлення з гальванічною розв'язкою, зручно буде використати два незалежні блоки живлення зібрані на загальній платі, та умовно поділити їх на ББЖ1(безперебійний блок живлення) та ББЖ2 . Перший блок повинен живитися від мережі змінного струму 230В, понижати напругу до 14.5В, живити другий блок зниженою напругою, та заряджати акумуляторну батарею. Це дасть нам змогу реалізувати гальванічну розв'язку на базі другого блоку живлення, та забезпечити

безперебійну роботу другого блоку живлення, при зникненні мережевої напруги та відключенні першого блоку. Також, ми визначили оціночну потужність майбутнього блоку, що дало змогу обрати магнітні елементи для побудови трансформаторів обох блоків.

3. ВИБІР ТОПОЛОГІЇ ТА КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ ББЖ1

3.1 Сімейство TOPSwitch-GX

Розвиток напівпровідникової технології MOSFET призвів до широкого використання дискретних напівпровідникових перемикачів в імпульсних джерелах живлення. Незважаючи на свою ефективність і зменшену вагу і габарити, перші імпульсні блоки живлення вимагали більшої кількості електронних компонентів, що призводило до удорожчання пристрою і зниження надійності.

Обратноходові перетворювачі використовуються в самих різних класах приладів, починаючи від комп'ютерної та побутової електроніки і закінчуючи медичним і аерокосмічним обладнанням. Завдяки розвитку напівпровідникових технологій стало можливим створення так званих «розумних вимикачів» – інтегральних схем, що поєднують в собі основні елементи перетворювача. Розумні ключі дозволяють значно спростити розробку блоку живлення, знизити ризик виходу джерела з ладу, а також дають можливість підвищити ефективність пристрою за рахунок поліпшення топології мікросхеми.

На сьогоднішній день існує кілька виробників смарт-ключів: Power Integrations, Texas Instruments, ST-Microelectronics, International Rectifier, Fairchild, серед яких Power Integrations займає лідируючі позиції.

Метою є розробка блоку живлення і методики розрахунку імпульсних трансформаторів для обратноходових перетворювачів, виконаних на базі мікросхем сімейства TOPSwitch (Рис 3.1).

Для наших задач для проєктного ББЖ1 пропонується TOPSwitch 246yn. Це перевірена часом та доступна за ціною мікросхема, з вбудованим потужним ключем, має наступні переваги:

- розширений діапазон потужності
- не потрібен радіатор при потужності до 34 Вт
- невелика кількість та вартість зовнішніх компонентів
- інтегрований плавний пуск для мінімального навантаження/перевищення

- точне обмеження струму із зовнішнім програмуванням
- окремі контакти для обмеження струму на пакетах Y/R/F
- виявлення зниженої напруги лінії (UV)
- відключення при перенапрузі лінії (OV)
- регулює нульове навантаження без фіктивного навантаження
- частота 132 кГц зменшує розмір трансформатора/блоку живлення
- опція половини частоти в пакетах Y/R/F
- температурний захист.

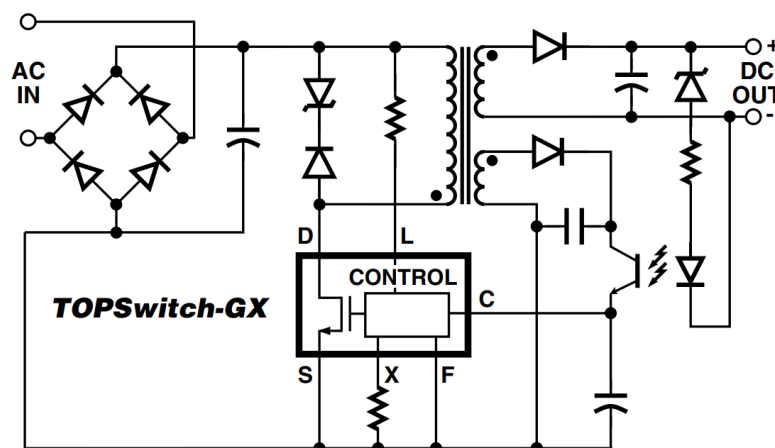


Рис 3.1 Принципова схема обратноходового перетворювача.

3.2 Розробка обратноходового перетворювача на базі TOPSwitch-GX.

Особливістю обратноходових перетворювачів є те, що в прямому циклі перемикача енергія первинної обмотки трансформатора передається на сердечник, а в циклі зворотного руху перемикача енергія з сердечника передається на вторинну обмотку трансформатора і на навантаження. Таким чином, розрахунок числа витків в обмотках визначається виходячи з необхідного значення індуктивностей обмоток. У свою чергу, індуктивність обмоток можна визначити по енергії, що передається на навантаження.

Енергія, запасена в трансформаторі в момент включення живлення в мікросхему, визначається за формулою:

$$A = \frac{P_{\text{вих}}}{\eta \cdot f}$$

де $P_{\text{вих}}$ – Вихідна потужність; η – КПД перетворювача; f – частота перетворення.

Імпульсний струм первинної обмотки трансформатора:

$$I_1 = \sqrt{\frac{A \cdot 2}{L_1}} = \sqrt{\frac{P_{\text{вих}} \cdot 2}{\eta \cdot f \cdot L_1}}$$

де L_1 – індуктивність первинної обмотки трансформатора.

Так як зміна сили струму в первинній обмотці трансформатора визначається вхідною напругою, зведеною на індуктивність первинної обмотки, то імпульсний струм можна визначити як:

$$I_1 = \frac{V_1 \cdot t_{ON}}{L_1}$$

де t_{ON} – тимчасове значення тривалості імпульсу, або час знаходження вбудованого в мікросхему перемикача живлення у включеному стані.

Трансформатор сконструйований виходячи з оптимальних умов роботи джерела живлення, при яких шпаруватість γ імпульсів становить 0,5.

Поєднуючи цю формулу з попередньою, можна отримати значення індуктивності за умови мінімальної вхідної напруги і мінімальної частоти перетворення первинної обмотки:

$$L_1 = \frac{(V_{1MIN})^2 \cdot (t_{ON})^2 \cdot \eta \cdot f_{MIN}}{2 \cdot P_{\text{вих}}}$$

де V_{1MIN} - мінімальна вхідна напруга (обирається 200 В), f_{MIN} - Мінімальне значення частоти перетворення (обирається $f - 5\%$).

Силу струму в первинній обмотці можна визначити за відомим значенням її індуктивності:

$$I_1 = \sqrt{\frac{P_{\text{вих}} \cdot 2}{\eta \cdot f \cdot L_1}}$$

Середньоквадратичне значення первинного струму:

$$I_{CK1} = I_1 \cdot \sqrt{\frac{V_{MAX}}{3}}$$

За час відключення вбудованого в мікросхему вимикача живлення, накопичена в сердечнику енергія повинна передаватися на вихідний конденсатор блоку живлення і навантаження. Так як вихідна напруга випрямлена, то враховується падіння напруги на випрямлячі. Таким чином, енергія зберігається в трансформаторі і передається в навантаження,

$$A = \frac{P_{ВИХ}}{f} = \frac{(V_2 + V_D) \cdot I_2}{f} = \frac{L_2 \cdot I_2^2}{2}$$

де V_2 - Вихідна напруга, V_D - Падіння напруги на діоді (0,2..0,6 В), L_2 – індуктивність вторинної обмотки, I_2 - струм вторинної обмотки.

За умови, що частота мінімальна, вихідну напругу можна визначити як зміну вихідного струму за час відключення вбудованого в мікросхему силового вимикача:

$$V_2 + V_D = L_2 \frac{I_2}{t_{OFF}}$$

де t_{OFF} – час вимкнення вбудованого в мікросхему силового ключа.

Поєднуючи ці формули, можна визначити індуктивність вторинної обмотки:

$$L_2 = \frac{2 \cdot (V_2 + V_D)^2 \cdot (t_{OFF})^2 \cdot f_{MIN}}{I_2}$$

Струм у вторинній обмотці:

$$I_2 = \frac{(V_2 + V_D) \cdot (t_{OFF})^2}{L_2}$$

Визначимо коефіцієнт трансформації через індуктивність обмоток:

$$k = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$$

Знаючи коефіцієнт перетворення, можна визначити напругу на вбудованому в мікросхему перемикачі (без урахування індуктивної емісії):

$$V_{DS} = V_{INMAX} + (V_2 + V_D) \cdot K ,$$

де V_{INMAX} - максимальне значення вхідної напруги (відповідає максимальному значенню напруги мережі 264В і відповідає 373В).

Згідно з паспортними даними для ІС серії TOPSwitch, напруга пробою вбудованого ключа становить 700В . У деяких випадках розрахункове значення напруги ВДС може бути занадто великим, що в свою чергу призводить до необхідності корекції індуктивностей і струмів обмоток. Для корекції допустимої напруги коефіцієнт трансформатора розраховується виходячи з максимальної індуктивності первинної трансформатора, допустимої для конкретної мікросхеми.

Після визначення індуктивності первинної і вторинної обмоток необхідно підібрати типорозмір сердечника трансформатора з урахуванням частоти перетворення і вихідної потужності. Для широкого діапазону частот магнітний матеріал N67 випускається EPCOS, або його аналог 3C90 виробництва Ferroxcube.

У рекомендаціях по розрахунках «TOPSwitch® Flyback Transformer Construction Guide» наведено перелік форм-факторів і розмірів різних жил для трансформаторів.

Як було сказано вище, сердечник повинен мати немагнітний зазор між сердечниками. Наявність зазору в сердечнику призводить до зменшення загальної магнітної проникності і, як наслідок, до зниження коефіцієнта індуктивності квадратичного індексу, що визначає індуктивність одного витка. Значення коефіцієнта індуктивності після введення немагнітного зазору A^*_E можна розрахувати наступним чином:

$$A^*_E = \frac{A_E \cdot l_E}{\mu_E \cdot g}$$

Де A_E - початкове значення коефіцієнта Індуктивності, l_E - Довжина середньої силової лінії сердечника, μ_E - Початкова магнітна проникність матеріалу, g - загальна ширина зазору немагнітного сердечника.

Сердечники різних типорозмірів, як правило, випускаються різних типів: без зазору і з зазором. Слід зазначити, що ці значення A^*_E і μ_E виходять при наявності загального немагнітного зазору. Якщо потрібно отримати інші значення A^*_E можливе об'єднання

сердечників з різними зазорами, але для цього необхідно перерахувати коефіцієнт індуктивності.

Кількість витків в первинній обмотці:

$$N_1 = 1000 \sqrt{\frac{L_1}{A^*_E}}$$

Після визначення числа витків в первинному слід перевірити, чи не перевищує розрахунковий діапазон індукції максимально можливе значення для конкретного магнітного матеріалу. Діапазон індукції при вкачуванні енергії в сердечник:

$$\Delta B = \frac{V_{1MIN} \cdot t_{ON}}{S_c \cdot N_1}$$

де S_c – площа поперечного перерізу магнітопроводу.

Кількість витків у вторинній обмотці визначається так само, як і для первинної:

$$N_2 = 1000 \sqrt{\frac{L_2}{A^*_E}}$$

Зміщена обмотка розраховується виходячи з необхідної напруги, яке, для сімейства ІС TOPSwitch становить 9 – 12В . Згідно з документацією, вихідний струм обмотки зміщення становить не більше ніж 100мА. Так як ця величина набагато менше величини вихідного струму, то вторинну обмотку можна розрахувати по її напрузі:

$$N_{CM} = \frac{(V_{CM} + V_{DCM}) \cdot N_2}{V_2 + V_D}$$

де V_{CM} -напруга зсуву, V_{DCM} - падіння напруги на діоді зміщення.

3.3 Розрахунок трансформатора основної напруги.

Вирахуємо імпульсний трансформатор, розрахований на роботу в імпульсному джерелі живлення, виготовленому на основі ІС TOP246Y. Вхідна напруга –

напруга промислової мережі 230В. Вихідна напруга 14.5В та вихідний струм 3,5А. Перетворювач працює на половинній частоті 66кГц. Обмотки намотані мідними жилами. Щільність струму в міді j дорівнює 10А/мм².

Припустимо, що трансформатор повинен знаходитися в режимі розриву струмів при перевантаженні в 20 %, і що не виникне проблем зі шлейфом зворотного зв'язку в режимі регулювання напруги, і не буде додаткових неврахованих динамічних втрат у вбудованому ключі мікросхеми при його відкриванні.

Визначимо мінімальне значення частоти перетворювача, яке відповідно становить 95 % від номінального значення:

$$f_{MIN} = f \cdot 95\% = 62,7(\text{кГц})$$

Час закачування енергії в трансформатор визначається тривалістю імпульсу і затримкою включення і виключення вбудованого в мікросхему транзистора, значення якого відводиться 4 – 7 % от загального часу вперед, тобто:

$$\tau_{ON} = \frac{T}{2} \cdot 95\%$$

Визначимо час загрузки енергії в трансформатор (час прямого ходу ключа):

$$t_{ON} = \frac{1}{2 \cdot f} \cdot 95\% = 3,9 \cdot 10^{-6}(\text{с}).$$

Визначимо індуктивність первинної обмотки:

$$L_1 = \frac{(V_{1MIN})^2 \cdot (t_{ON})^2 \cdot \eta \cdot f_{MIN}}{2 \cdot P_{ВИХ}} = 1018(\text{мкГн})$$

Визначимо час зворотнього ходу ключа:

$$t_{OFF} = (T - t_{ON}) \cdot 95\% = 3,6 \cdot 10^{-6}(\text{с}).$$

В якості випрямляча виберемо надшвидкий діод MBR1060 . Визначимо індуктивність вторинної обмотки:

$$L_2 = \frac{2 \cdot (V_2 + V_D)^2 \cdot (t_{OFF})^2 \cdot f_{MIN}}{I_2} \approx 12(\text{мкГн})$$

Сердечник з серій EI30, EDT29, EER35 може використовуватися в якості сердечника для блоку живлення потужністю до 50 Вт . Найдоступнішим для нас є сердечник ETD29. У таблиці 3.1 наведені значення A^*_E і μ_E при різних значеннях ширини немагнітного сердечника на прикладі сердечника ETD29 виробництва EPCOS.

Таблиця 3.1

$g, \text{ мм}$	$A^*_{\text{Е}}, \text{ нГн/вит}^2$	$\mu_{\text{Е}}, \text{ зН/м}$
$0,1 \pm 0,02$	621	457
$0,2 \pm 0,02$	483	281
$0,5 \pm 0,05$	201	148
$1 \pm 0,05$	124	91

В якості сердечника візьмемо 2 сердечника з зазором 0,5 мм, сумарний зазор буде становити 1 мм, звідси значення коефіцієнта індуктивності становить 124 нГн/віт^2 .
Визначимо кількість витків в обмотках:

$$N_1 = 1000 \sqrt{\frac{L_1}{A^*_{\text{Е}}}} \approx 90(\text{віт}),$$

$$N_2 = 1000 \sqrt{\frac{L_2}{A^*_{\text{Е}}}} \approx 10(\text{віт}),$$

$$N_{\text{CM}} = \frac{(V_{\text{CM}} + V_{\text{DCM}}) \cdot N_2}{V_2 + V_D} = 7(\text{віт})$$

Коефіцієнт трансформації:

$$k = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = 9,2$$

Визначимо максимальний струм первинної обмотки:

$$I_1 = \sqrt{\frac{P_{\text{ВІХ}} \cdot 2}{\eta \cdot f \cdot L_1}} \approx 0,43(\text{А})$$

Визначимо силу струму вторинної обмотки:

$$I_2 = I_1 \cdot k = 3,91(\text{А})$$

Виберемо дрiт для первинної обмотки. Ширина бухти становить 20 мм. Так як ми будимо дiлити обмотку на 2 шари то дiаметр iзольованого проводу буде

$$d_1 = \frac{S_k}{N_1} = 0,44(\text{мм})$$

Найбiльш близьким по дiаметру є дрiт дiаметром 0,4 мм (N24 за стандартом AWG) з емалевим покриттям i питомим опором 0,4 Ом/м .

Виберемо дiаметр проводу вторинної обмотки:

$$d_2 = \frac{I_2}{j} = \frac{3,91}{10} \approx 0,39(\text{мм})$$

Беручи до уваги скин-ефект, раціонально використовувати бiфiлярну або трифiлярну обмотку. Для такої глибини шару оптимальним буде намотування обмотки проводами дiаметром 0,4 мм (No28 за стандартом AWG) з питомим опором 1,2 Ом/м. За табличним значенням, такого дiаметру недостатньо для струму такої величини, таким чином, обмотка вторинної обмотки може бути виконана чотирма провiдниками дiаметром 0,4 мм.

3.4 Конструювання та дослідження трансформатора працюючого в імпульсному режимі.

3.4.1 Обмотка трансформатора для більш міцної взаємодії.

Забезпечення міцної взаємодії первинної обмотки і вторинної, а також вторинної обмотки є кінцевою метою конструктора трансформаторів. Погана взаємодія призводить до затримки електричних сигналів, перш ніж вони досягнуть вихідного випрямляча. На додаток до цієї затримки додається також період безпосереднього відновлення вихідного випрямляча. Це призводить до того, що обмотки в основному розвантажуються під час перехідних процесів перемикання, що створює дуже великі шипи на обмотках за рахунок накопиченої енергії намагніченості в сердечнику.

Сила взаємодії між вторинними обмотками визначає вихідну перехресну стабілізацію. Перехресна стабілізація (cross regulation) визначає, як зміни навантаження на одному виході впливають на інші виходи.

Його можна розглядати як ступінь, до якого всі виходи в блоці живлення з декількома виходами є «стійкими» до змін навантаження на будь-якому одному виході. Є дві області, в яких можна поліпшити перехресну стабілізацію на виході:

- внутрішня перехресна стабілізація, вбудована в трансформатор під час його проєктування;
- електрична перехресна стабілізація, (зворотний зв'язок по напрузі).

Щоб отримати відповідні характеристики джерела живлення, як правило, необхідно максимально використовувати характеристики обох методів.

Одним з методів поліпшення взаємодії первинної і вторинної обмоток є чергування (interleave) обмотки (Рис. 3.4.1). Вартість даної методики з точки зору трудовитрат вище, ніж при простій намотуванні вторинної обмотки поверх первинної, тому її рекомендується використовувати, коли коефіцієнт трансформації між первинною і вторинною обмотками перевищує 15-20:1. Це характерно, наприклад, для імпульсних блоків живлення, що працюють на напрузі 240 VAC або вище і мають вихід 5 – 15 VDC або нижче.

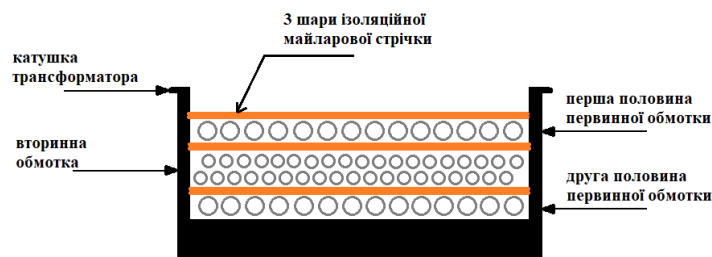


Рис 3.4.1 Схема намотки (interleave).

Первинну обмотку в 90 витків, розділимо на дві рівні частини 45+45 витків, а вторинну обмотку в 10 витків розмістимо між витками первинної обмотки. Так як зріз вторинної обмотки значно перевищує 0,4 мм, та дорівнює 0,8 мм * 2, для запобігання спін-ефекту намотаємо вторинну обмотку лакованим проводом 0,4 мм та складеним з 4 дротів діаметром 0.4 мм.

3.4.2 Розрахунок обмежувача вибросу напруги.

Для визначення принципової схеми і розрахунку обмежувача вибросу, необхідно виміряти величину індукції розсіювання первинної обмотки трансформатора. Необхідно провести коротке замикання всіх наявних обмоток, крім первинної обмотки, потім за допомогою LCR-метра (ми використовуємо MS5308 (Рис 3.5.2)) виміряти величину індуктивності розсіювання на частоті 100 кГц. Очікуване значення буде знаходитися в діапазоні від 5 до 50 мкГн, в нашому трансформаторі величина індукції розсіювання дорівнює 8.7 мкГн.



Рис 3.4.2 Замір індуктивності трансформатора ББЖ1

На (Рис3.4.3) представлена схема обмежувача перенапруг. Перша схема використовується в малопотужних ДБЖ, де потужність розсіювання всього обмежувача не перевищує 1,5 Вт. Для більш потужних джерел, де потужність розсіювання обмежувача перевищує 1,5 Вт, використовується друга схема.

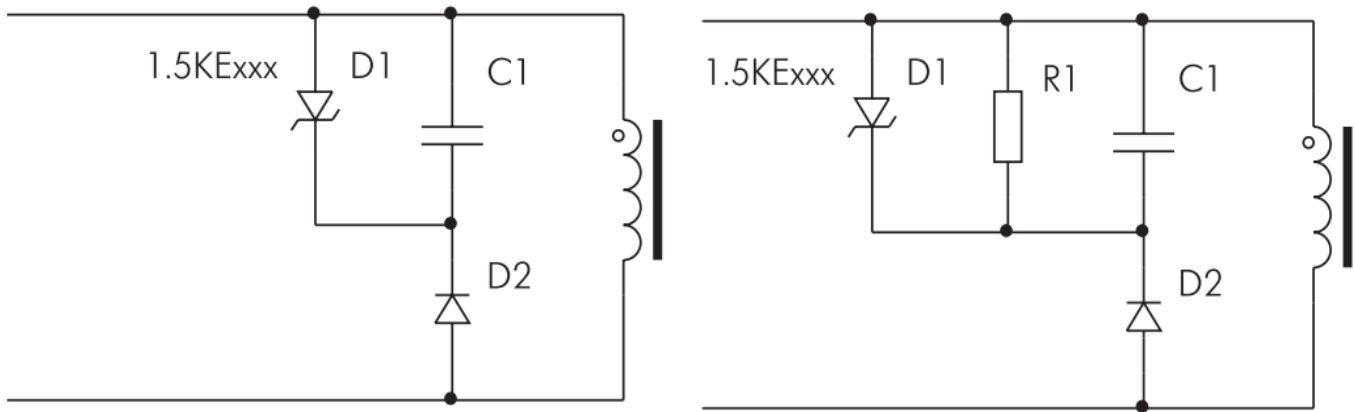


Рис 3.4.3 Схема обмежувача вибросу напруги.

Розраховуємо за такими формулами:

$$P_{\text{роз}} = 0,5 \cdot L_{\text{роз}} \cdot I_{\text{пик}}^2 \cdot F_{\text{sw}} = 0,5 \cdot 8,7 \cdot 10^{-6} \text{ ГН} \cdot 0,52 = 1,176 \times 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$P_{\text{обм}} = P_{\text{роз}} \cdot F_{\text{sw}} = 1,176 \times 10^{-6} \cdot 66 \cdot 10^3 \text{ Гц} = 0,78 \text{ Вт}$$

Ми не вийшли за обмеження 1,5 вата, тому нас задовольнить перша схема, де ми використаємо супресор 1.5 KE200

$$R_{\text{обм}} = \frac{U_{\text{zener}}^2}{P_{\text{обм}} - P_{\text{zener}}}$$

де:

$P_{\text{роз}}$ — потужність, що зберігається в індукційному розсіюванні;

$L_{\text{роз}}$ — величина індукції розсіювання;

$I_{\text{пик}}$ — піковий струм в первинній обмотці;

F_{sw} — частота перемикачів;

$P_{\text{обм}}$ — потужність розсіювання всього обмежувача;

P_{zener} — допустима потужність розсіювання захисного стабілітрона;

U_{zener} — обмежувальна напруга захисного стабілітрона;

U_{ref} — напруга зворотнього хода;

$R_{\text{обм}}$ — значення опору резистора (R1) обмежувача

3.4.3 Розрахунок дільника напруги.

Для стабілізації напруги 14.5В на виході ББЖ1 використаємо класичну схему дільник напруги, керований стабілітрон TL431 (Рис 3.4.4), та оптрон.

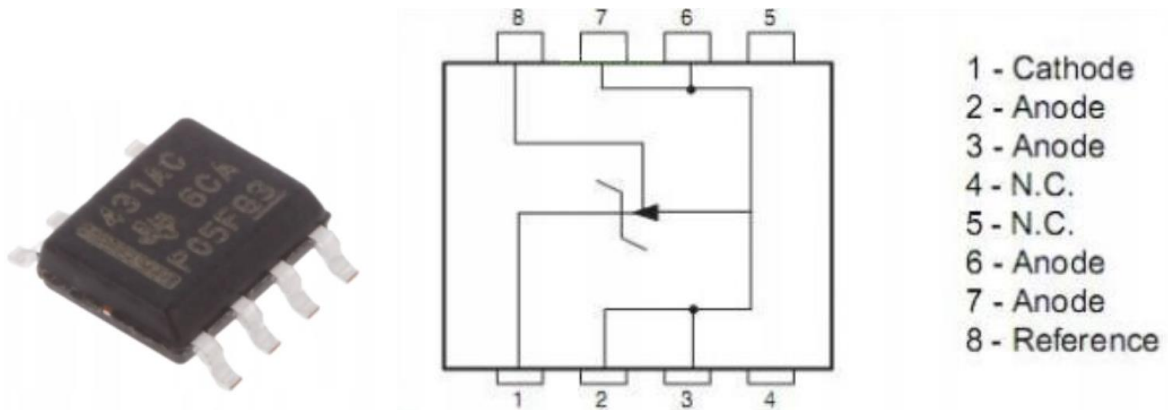


Рис.3.4.4 Керований стабілітрон TL431 в корпусі SO8

Керований стабілітрон TL431 має опорну напругу в 2.5 вольт на 8 виводі (для корпусу SO8), і якщо подати трохи більше ніж в 2.5 вольт, то стабілітрон, відкриється та увімкне оптрон, який є зворотнім зв'язком з ШІМ TOP246YN. Але для цього нам потрібно розрахувати дільник напруги з 14.5В до 2.5В за формулою:

$$V_{out} = V_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

Де:

V_{out} - вихідна напруга 14.5В;

V_{ref} - опорна напруга 2.5В;

R_1 та R_2 – необхідні резистори дільника;

Тоді для стабілізації вихідної напруги 14.5 В:

$$14,5 = 2,5 \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

Розв'яжемо рівняння для відношення $\frac{R_1}{R_2}$:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{14,5}{2,5} - 1 = 4,8$$

Обираємо значення R_2 , а потім знаходимо відповідне R_1 . Якщо ми виберемо:

$R_2 = 2.2 \text{ кОм}$ тоді R_1 буде:

$$R_1 = 4.8 \times R_2 = 4.8 \times 2200 = 10560 \text{ Ом} \approx 10.5 \text{ кОм}$$

Оскільки стандартного номіналу 10.56 кОм немає, треба використати резистор 10 кОм та 510 Ом . При цьому значенні комбінованого R_1 , напруга буде становити 14.44В , що нас влаштовує. На схемі ці резистори позначені як R_{31} R_{32} R_{65} (Рис 3.5.2).

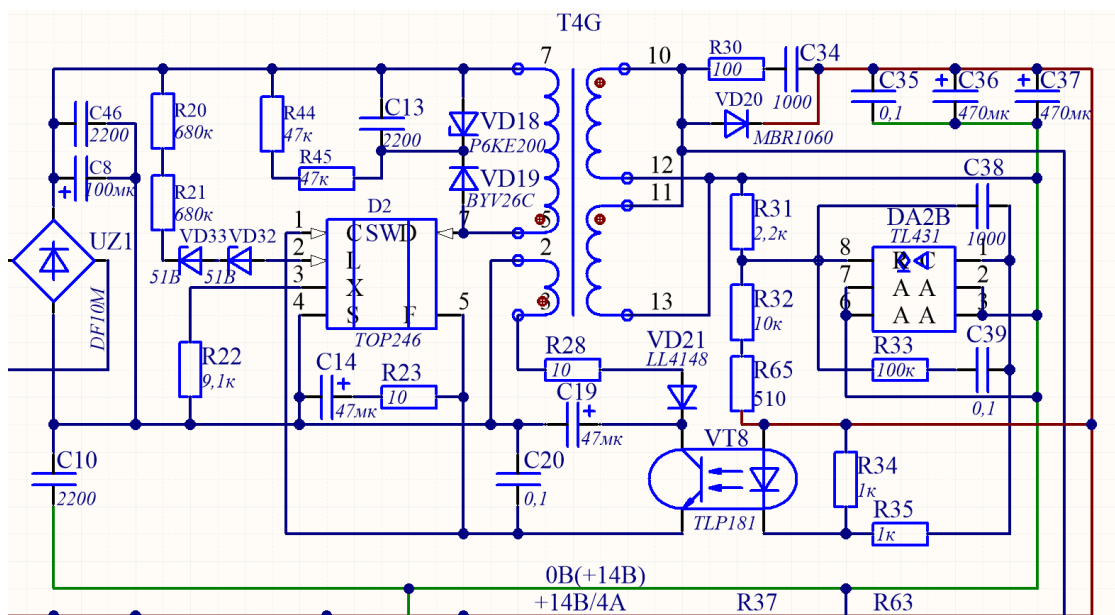


Рис 3.5.2 Схема БЖ1

3.6 Висновки до розділу 3

Представлена методика розрахунку електричних і обмоткових параметрів імпульсного трансформатора ББЖ1, призначена для роботи в мережевих джерелах живлення, та виконана на базі мікросхеми серії TOPSwitch.

При розрахунку трансформатора використовувалися параметри сучасних магнітних матеріалів, зокрема, фериту N67 виробництва EPCOS. Це має ряд переваг, головною з яких це наявність необхідних параметрів і характеристик як самого матеріалу, так і конкретних сердечників.

Досвід показує, що при виготовленні трансформаторів (особливо для великих вихідних струмів) в якості вторинного обмотувального дроту доцільно використовувати не літцендрат, а тонку стрічку. Це дозволяє «усереднити» імпеданс обмотки по всій ширині стрічки, в результаті чого на різних ділянках обмотки протікають рівні струми, що мінімізує скін-ефект; а також зменшити втрати в обмотці через сильну розбіжність магнітного поля на краях обмотки.

4. ВИБІР ТОПОЛГІЇ ТА КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ ББЖ2

4.1 Двотактний перетворювач push-pull.

Двотактний перетворювач є класичним прикладом двотактних схем. Схеми двотактних перетворювачів мають менші габарити в порівнянні з однокінцевими, менші габарити вихідного фільтра, та мають більшу потужність. Однак вони містять більшу кількість елементів в базовій схемі. Свою назву конвертер отримав від поєднання слів "push" - штовхати і "pull" - тягнути. Тобто «штовхай-тягни», що відображає поняття схеми - одна обмотка тягне, а інша штовхає. Інші назви двотактного перетворювача - push-pull, двотактний перетворювач із середнім виведенням.

При роботі перетворювача енергія передається навантаженню під час обох напівперіодів роботи. Двотактний перетворювач використовується при вхідній напрузі живлення (до 30-50 В) і вихідній потужності 50-1000 Вт, в нашому випадку вхід 14.5 В та вихідна потужність не перевищує 60 Вт.

Типовими сферами застосування є пристрої, що працюють від акумуляторів, а безперебійність живлення є вимогою для нашого проектного ББЖ, до того ж, додається перевага зменшення габаритів самого перетворювача, та зменшення габаритів вихідного фільтра.

По друге, необхідно забезпечити стабілізацію вихідних напруг таких як, 5В, 15В та 24В, а для цього більш за все підходить топологія push-pull, яка забезпечує ліпшу перехресну стабілізацію.

4.2 Принцип роботи двотактного перетворювача.

Електрична схема двотактного перетворювача показана на рис 4.1. У схемі знаходяться два ключових транзистора, що комутуються по черзі ШІМ-контролером. Первинна обмотка трансформатора містить дві напівобмотки з однаковою кількістю витків. Середня точка обмотки підключається до блоку

живлення, а пофазні виходи обмоток підключаються до ключових транзисторів. Обидва ключових транзистора підключаються до загальної шини живлення заземлення, а управління транзисторами здійснюється до рівня землі. У процесі роботи на напівобмотки подаються імпульси напруги з амплітудою, що дорівнює напрузі джерела живлення. За рахунок пофазного перемикання напівобмоток здійснюється симетричне перемagnічування магнітного сердечника трансформатора. У двотактному перетворювачі, як і в будь-якому іншому двотактному перетворювачі, необхідно використовувати двотактну схему випрямлення в вихідній частині. На малюнку рис 4.1 показаний приклад електричної схеми, що складається з трансформатора вторинної обмотки, що містить середній полюс і відповідну схему випрямлення. Таке рішення виправдано при відносно низьких вихідних напругах, зазвичай до 50 В. При більш високих рівнях вихідної напруги доцільно використовувати мостову схему. Принцип роботи перетворювача докладно описаний нижче.

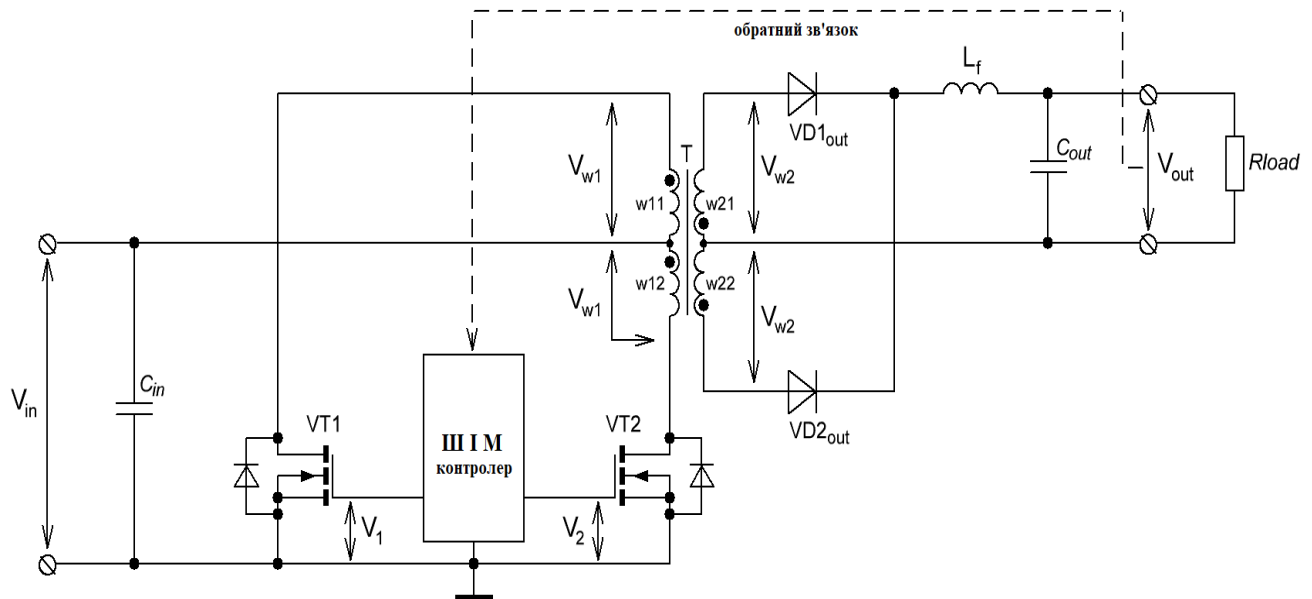


Рис 4.1 Електрична схема перетворювача push-pull

З принципової схеми перетворювача push-pull (Рис 4.1) видно, що він дуже схожий на подвійний прямохідний перетворювач. Насправді так воно і є.

Позитивні якості push-pull можна віднести до так званого перехресного регулювання (cross-regulation). Явище перехресного регулювання проявляється, коли на виході є кілька вихідних обмоток і якщо вихідна напруга однієї з обмоток просідає, наприклад, в результаті дії навантаження, то падає і вихідна напруга іншої вторинної обмотки. Це явище дозволяє ефективно стабілізувати вихідну напругу всіх вихідних обмоток.

4.2 Принцип роботи перетворювача push-pull.

Керуючі сигнали від ШІМ-контролера по черзі розмикають силові ключі VT1 і VT2 (керуючі імпульси V_{Gate_VT1} , V_{Gate_VT2} відповідно). Керуючі імпульси зміщені відносно один одного так, щоб поки один з транзисторів відкритий, інший був надійно закритий. Управління ключовими транзисторами в перетворювачі push-pull здійснюється щодо рівня землі, що значно спрощує схемотехнічну схему перетворювача. Керуючі імпульси мають однакову тривалість t_i . Це необхідно для запобігання намагніченості. Період повторення імпульсу – T . Крім того, між імпульсами вводиться так званий мертвий час $t_{deadtime}$ необхідно для того, щоб один транзистор встиг надійно закритися до включення іншого. Тобто затримка між імпульсами запобігає ситуації, коли обидва транзистора включені і кожен є навантаженням для іншого. При цьому виникають значні імпульсні струми, обмежені лише індуктивністю розсіювання напівобмоток і омичним опором ланцюга.

Первинні напівобмотки трансформатора містять однакову кількість витків:

$$N_{11} = N_{12}$$

Тут N_1 - кількість витків в кожній первинній напівобмотці.

Струми протікають в первинних напівобмотках I_{11} и I_{12} .

Вторинні напівобмотки також містять таку ж кількість витків:

$$N_{21} = N_{22}$$

Тут N_2 - кількість витків в кожній вторинній напівобмотці.

У вторинних напівобмотках протікають струми I_{21} и I_{22} .

В результаті перемикання транзисторів VT1 и VT2 імпульси напруги з амплітудою по черзі подаються на первинні напівобмотки V_{w1} фактично дорівнює напрузі живлення V_{IN} . Імпульси мають однакову тривалість t_i , що забезпечує симетричне перемагнічення магнітопроводу трансформатора. У вторинних напівобмотках також з'являються імпульси напруги з амплітудою V_{w2} визначається коефіцієнтом трансформації. Після двотактного випрямляча (з середньою точкою, як показано на Рис 4.1 або схема моста) вже однополярні імпульси згладжуються LC-фільтр і на виході перетворювача ми маємо постійну напругу.

Для перетворювача push-pull що стосується полумостового перетворювача, то проміжок між імпульсами складається з тривалостей керуючих імпульсів t_i і час затримки $t_{deadtime}$ (Рис 4.2):

$$T = 2 (t_i + t_{deadtime})$$

Тривалість «мертвого часу» $t_{deadtime}$ можна визначити як «вільний час», що залишився на напівперіоді тривалості імпульсу:

$$t_{deadtime} = \frac{T}{2} - t_i$$

Як вже говорилося раніше, наявність затримки між керуючими імпульсами є необхідним заходом для усунення струмових перевантажень, що виникають, якщо один транзистор включається швидше, ніж інший встигає закритися.

Коефіцієнт заповнення або відносна тривалість імпульсу - це відношення тривалості t_i к періоду T :

$$q = \frac{t_i}{T}$$

В перетворювачі push-pull Як і в інших двотактних перетворювачах, відносна ширина імпульсу q теоретично може змінюватися в межах 0-0,5. При цьому максимальна потужність забезпечується при максимальному значенні q . Максимальне значення коефіцієнту заповнення перетворювача q знаходиться в співвідношенні:

$$q_{max} = \frac{t_{i_max}}{2(t_{i_max} + t_{deadtime})}$$

t_{i_max} – максимальна ширина імпульсу (перемикання транзисторного перемикача));

$t_{deadtime}$ – Тривалість мертвого часу («deadtime») – Час затримки пульсу.

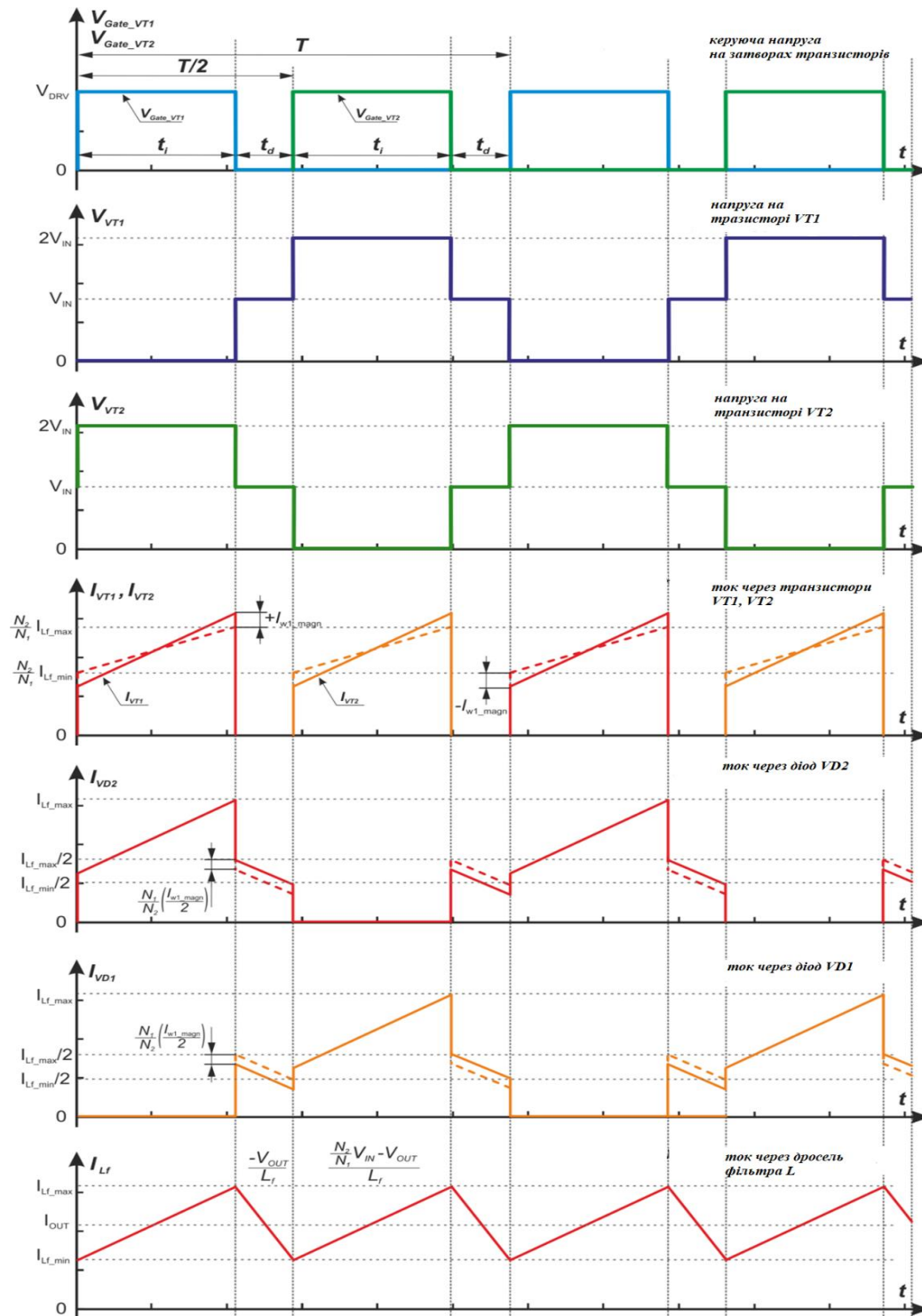


Рис 4.2 Часові діаграми керуючих імпульсів, напруги на силових вимикачах і струмів через них, струмів через випрямні діоди, струму через силовий дросель фільтра.

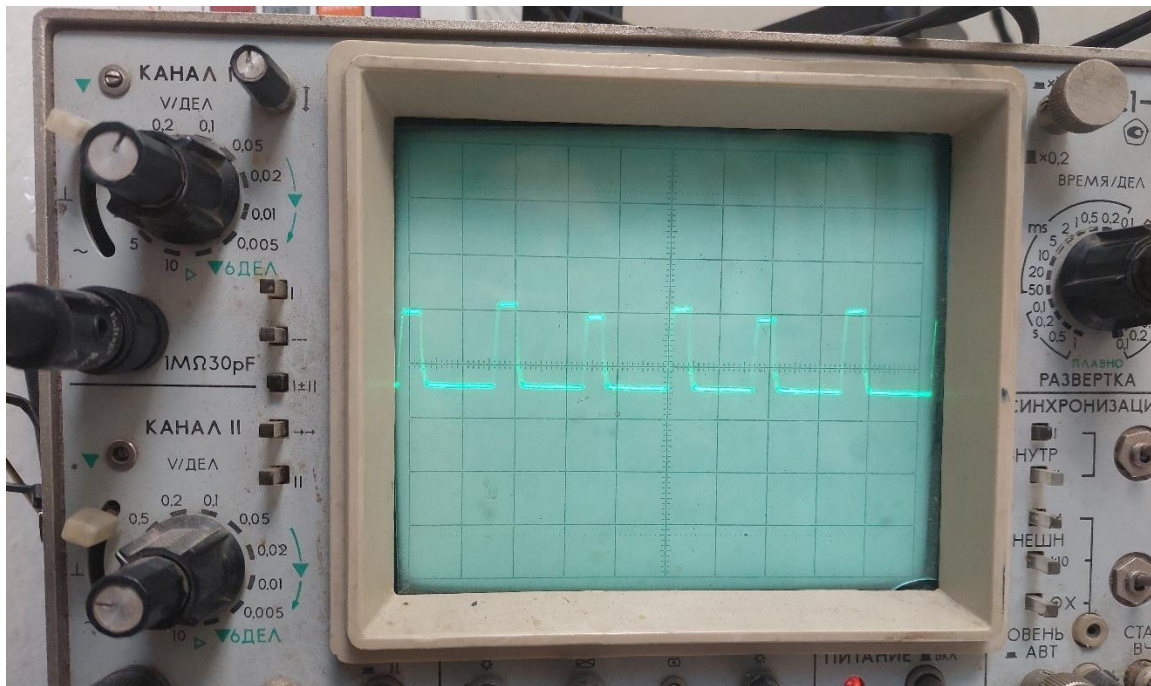


Рис 4.3 Вигляд осцилограми «мертвого часу»

Етапи циклу перетворювача

Кожен робочий цикл перетворювача push-pull має чотири етапи:

- стадія перемикання першого ключа VT1;
- стадія першої паузи (стадія «мертвого часу»);
- стадія перемикання другого ключа VT2;
- стадія другої паузи (стадія «мертвого часу»);
- стадія перемикання першого ключа VT1.

Часові діаграми напруг і струмів, що відповідають різним циклам роботи перетворювача, показані на малюнку Рис 4.2.

Для розуміння процесів і розрахунку багато-обмотувальних трансформаторів в різних режимах зручно використовувати підхід, заснований на складанні рівняння балансу для ампер кожної з обмоток, і умов безперервності ампер при моментах перемикання.

Стадія комутації першого ключа

Сигнал від ШІМ-контролера відкриває транзистор VT1, и в результаті до первинної полуобмотці N₁₁ подається напруга живлення V_{IN}. Напруга, що виникає на вторинних обмотках, визначається коефіцієнтом перетворення:

$$V_{w_2} = \frac{V_{w_1}}{k} = \frac{V_{IN}}{k}$$

На цьому інтервалі змінюється полярність напруги напівобмотки N₂₁ знаходиться безпосередньо на діоді випрямника VD1_{OUT} який відкривається і проводить струм. Полярність напруги напівобмотки N₂₂ є оберненою до діода VD2_{OUT}, який є закритим. Після появи напруги V_{w2} до індуктивності вихідного фільтра L_f прикладена різниця напруг (падінням напруги на діодах нехтуємо):

$$V_{Lf} = V_{w_2} - V_{OUT}$$

В результаті струм через L_f починає збільшуватися. До початку інтервалу через дросель протікав струм певної величини, що підтримується енергією, запасеною в дроселі. Зміна (збільшення) сили струму за інтервал описується виразом:

$$\Delta I_{Lf} = \frac{t_i(V_{w_2} - V_{OUT})}{L_f}$$

Або, маючи вираз для V_{w2}, зв'язавши вхідну напругу і вторинну напругу через коефіцієнт перетворення і вирази для шпаруватості q, цей вираз можна перевести у вигляді:

$$\Delta I_{Lf} = \frac{q(\frac{V_{IN}}{k} - V_{OUT})}{f L_f}$$

Зі схеми видно, що вторинна обмотка трансформатора і дросель фільтра з'єднані послідовно. І в цьому ланцюзі м'ячем «править дросель фільтру», обмежуючи струм вторинної обмотки I_{w2}. Таким чином, сила струму вторинної обмотки I_{w2} (а точніше, двох напівобмоток) дорівнює струму дроселя фільтру L_f :

$$I_{w_2} = I_{Lf}$$

Струм первинної обмотки I_{w1} на даному етапі складається з двох компонентів:

- віддзеркаленої компонентой струму I_{11_refl} - пов'язаною з вихідним ланцюгом навантаження;

- струмом намагнічування I_{11_magn} , зв'язаним з намагнічуванням сердечника.

Сумарний струм первинної напівобмотки дорівнює:

$$I_{11} = I_{11_refl} + I_{11_magn}$$

Тобто в сумі струм первинної обмотки має форму прямокутної трапеції рис 4.1. За схемою еквівалентного трансформатора струм намагнічування - це струм, що протікає по індуктивності намагніченості (власна індуктивність первинної обмотки). Так як він має трикутну форму, то струм намагнічування іноді називають трикутною складовою струму первинної обмотки.

Амплітуда відбитої складової первинного струму I_{11_refl} задається током вторинної обмотки. Для цього проміжку часу доречний вираз, зв'язуючий ампер-вітки первинної полуобмотки («віддзеркалена» прямокутна складова) и ампер-вітки вторинної полуобмотки:

$$N_{11}I_{11_refl} = N_{21}I_{21}$$

Звідси можна виразити очевидний факт, що струми пов'язані коефіцієнтом трансформації k :

$$I_{11_refl} = \frac{V_{21}}{N_{11}} I_{21}, \quad I_{11_refl} = \frac{1}{k} I_{21}$$

Амплітуда імпульсів струму I_{21} вторинної полуобмотки N_{21} в результаті дій дроселя фільтра дорівнює струму дроселя:

$$I_{21} = I_{Lf}$$

Враховуючи, що струм дроселя визначається струмом навантаження плюс пульсація струму дроселя z , яка йде від середнього значення, як в плюсову, так і в мінусову сторону:

$$I_{11_refl} = \frac{1}{k} I_{OUT} + \frac{1}{2} \Delta I_{Lf}$$

Амплітуда струму намагнічування первинної обмотки I_{11_magn} визначається струмом, що протікає в цьому інтервалі через індуктивність намагніченості первинної обмотки:

$$I_{11_magn} = \Delta I_{11_magn} - I_{w1}(0)$$

У цьому виразі перша складова визначається зміною власного струму індуктивності під впливом прикладеної напруги (на цьому етапі полярність прикладеної напруги позитивна). А друга складова визначає залишковий струм намагніченості $I_{w1}(0)$, успадкований від попереднього циклу. За умови симетричного перемагнічування остаточний струм $I_{w1}(0)$ дорівнює половині размаха сили струму ΔI_{w1_magn} .

Зміна сили струму через напівобмотку протягом періоду ΔI_{11_magn} визначається виразом:

$$\Delta I_{11_magn} = t_i \frac{V_{w1}}{L_0}$$

де L_0 – індуктивність намагнічування (по суті, індуктивність первинної напівобмотки). Розрахування виразу для тривалості імпульсу t_i :

$$t_i = qT = \frac{q}{f}$$

Отримуємо:

$$\Delta I_{11_magn} = q \frac{V_{IN}}{f L_0}$$

Амплітуда струму намагнічування I_{11_magn} дорівнює половині розмаху максимуму-мінімуму ΔI_{11_magn} (так як намагніченість магнітопроводу симетрична):

$$I_{11_magn} = \frac{\Delta I_{11_magn}}{2} = q \frac{V_{IN}}{2fL_0}$$

Важливо розуміти, що струм намагнічування є «властивістю» магнітного сердечника. Він створює магніторушійну силу, «збережену» в магнітному сердечнику, рівну добутку :

$$F_\mu = N_{11} I_{11_magn}$$

Сумарний струм напівобмотки дорівнює сумі «віддзеркаленого» струму навантаження і струму намагніченості:

$$I_{11_max} = I_{11_refl} + I_{11_magn} = \frac{1}{k} \left(I_{OUT} + \frac{1}{2} \Delta I_{LF} \right) + q \frac{V_1}{2fL_0}$$

У той час як ключ VT1 відкрито для іншого ключа VT2 (закритий на цьому етапі) подається сума напруг джерела живлення V_{IN} і напруга на первинній полуобмотці N_{12} практично дорівнює V_{IN} . Таким чином, до закритого ключа, по суті, VT2 подається подвоєна напруга джерела живлення:

$$V_{VT2} = V_{IN} + V_{12} \cong 2V_{IN}$$

Це погано. Але це ще не все. Є і більш негативний момент.

Після закінчення цього проміжку часу, під час замикання транзистора VT1, на ньому відбувається викид напруги, за рахунок L_{11_leak} - паразитної індуктивності розсіювання напівобмотки N_{11} . Енергія викиду визначається енергією, запасеною в індуктивності:

$$W_{L11_leak} = \frac{L_{11_leak} I_{11_max}^2}{2}$$

При значних енергіях стрибок напруги на стоку силового транзистора може привести до його поломки, тому при великій потужності встановлюються додаткові елементи захисту - демпфери, TVS-стабілітрони, обмежувальні ланцюги і т.д.

Етап першої паузи

На цьому етапі індуктивність силового дроселя L_f «тягне» струм з ланцюгів, утворених випрямними діодами і вторинними обмотками трансформатора. Тобто струм протікає через обидва діода VD_{out1} і VD_{out2} , і обидві вторинні напівобмотки. Це важливо розуміти. У той же час в законі Кірхгофа є вираз, що визначає рівновагу струмів:

$$I_{Lf} = I_{21} + I_{22}$$

Так як ланцюги напівобмоток і діодів послідовні, то струми напівобмоток дорівнюють струмам діодів:

$$I_{21} = I_{VD1}, I_{22} = I_{VD2}$$

В ідеалі струм індуктивності повинен бути рівномірно розподілений між діодними ланцюгами. Однак до початку стадії паузи в магнітопроводі «накопичена» магніторухлима сила, яка дорівнює добутку числа витків первинної напівобмотки і досягнутого значення струму намагнічування (в магнітопроводі як би

накопичуються ампер-витки, і це говорить своє слово в загальному балансі струмів):

$$F_{\mu} = N_{11} I_{11_magn}$$

В результаті дії цієї сили порушується ідеальна рівновага струмів і струми дещо перерозподіляються. В результаті ми маємо:

$$V_{out} = \eta \frac{1}{k} V_{IN}$$

В реальності завжди є падіння напруги на діодах, ключових транзисторах і омичний опір обмоток. При великих значеннях вхідної і вихідної напруги перепадами напруги можна знехтувати. Якщо одна з напруг V_{IN} досить невелика, то необхідно виконувати розрахунок за більш точними формулами, які враховують перепади напруги на елементах схеми.

Для схеми випрямлення на виході з відведенням від середньої точки (полумост) вираз для вихідної напруги має вигляд:

$$V_{OUT} = \eta 2q \left(\frac{1}{k} (V_{IN} - V_{VT}) - V_{VD} \right)$$

де:

V_{VT} – падіння напруги на ключовому транзисторі;

V_{VD} – падіння напруги на діоді випрямника;

η^* - скоригований ККД, з урахуванням всіх втрат, крім перепадів напруги на перемикачах і випрямних діодах (так як вони враховуються в формулі).

$q_{max}=0.5$ максимум коефіцієнта заповнення

На виході трансформатора push-pull перетворювача, необхідно помістити згладжуючий дросель в складі LC-фільтра. Така вимога пов'язана з тим, що без згладжуючого дроселя трансформатор фактично буде працювати на ємнісному навантаженні, утвореного конденсатором фільтра. Струм через обмотки трансформатора буде у вигляді коротких імпульсів великої амплітуди, величина яких буде обмежена тільки індуктивністю розсіювання і омичним опором обмоток. В цьому випадку можливі критичні ситуації - перегрів обмоток і вихід з ладу ключових транзисторів і вихідних діодів через перевантаження імпульсним струмом.

4.2. Підбір елементів для ББЖ2 перетворювача Push-Pool

4.2.1 Вибір ШІМ контролера перетворювача push-pull

Вихідними даними для вибору ШІМ контролера push-pull є вимоги до регулювання вихідної напруги (струму), діапазон робочих частот, швидкість, вартість, додаткові функції (плавний пуск, контроль мертвого часу, захист від короткого замикання, можливість керування синхронним випрямлячем і т.д.).

Обраний тип контролера визначає значення максимального коефіцієнта заповнення $q_{\max}$ (Maximum Duty Cycle - вказан в datasheet). Максимальний коефіцієнт навантаження контролерів двотактного перетворювача може становити до 49%. Більшість типів контролерів мають можливість контролю частоти циклу. Ця функція використовується тоді, коли необхідно збільшити «мертвий час» через низьку швидкодію ключових транзисторів та/або схем їх керування. Крім того, тип контролера визначає максимальну потужність управління затвором ключового транзистора. За цими критеріями було обрано перевірений часом ШІМ контролер SG3525 (Рис 4.4).

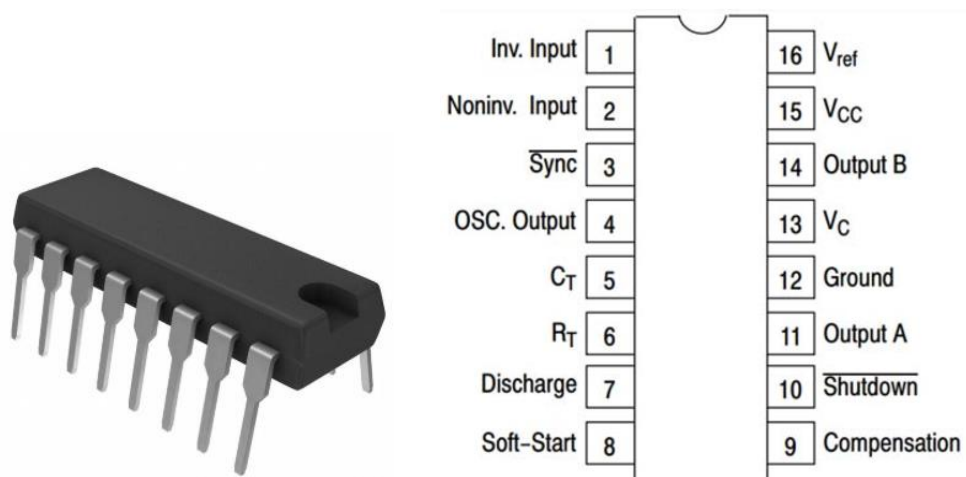


Рис 4.4 Зовнішній вигляд та розпіновка ШІМ SG3525.

SG3525 — мікросхема ШІМ-контролера, яка використовується в більшості інверторів. Має два ШІМ-виходи та вбудований ШІМ-драйвер (Рис4.5). Ця мікросхема використовується для керування напівпровідниковими приладами з діапазоном струму 50 мА. Вихідна частота мікросхеми визначається контактами 5, 6 і 7. Частоту можна розрахувати за допомогою наступного рівняння.

Частота генератора:

$$f = 1.45 / (R_T \cdot C_T) = 1.45 / (10 \times 10^3 \cdot 1 \times 10^{-9}) = 145 \text{ кГц}$$

де $C = 1000 \text{ пф}$;

Частота на виходах А і В (Push-Pull):

$$f_{\text{вих}} = 145 / 2 = 72.5 \text{ кГц}$$

Розрахунок мертвого часу:

$$t_{\text{dead}} = 100 \times 10^{-12} \cdot R_D$$

де $R_D = 10 \text{ кОм}$

$$t_{\text{dead}} = 100 \times 10^{-12} \cdot 10000 = 100 \times 10^{-8} = 1 \times 10^{-6} = 1 \text{ мкс.}$$

Мертвий час зазвичай обирається від 1 до 3 мкс.

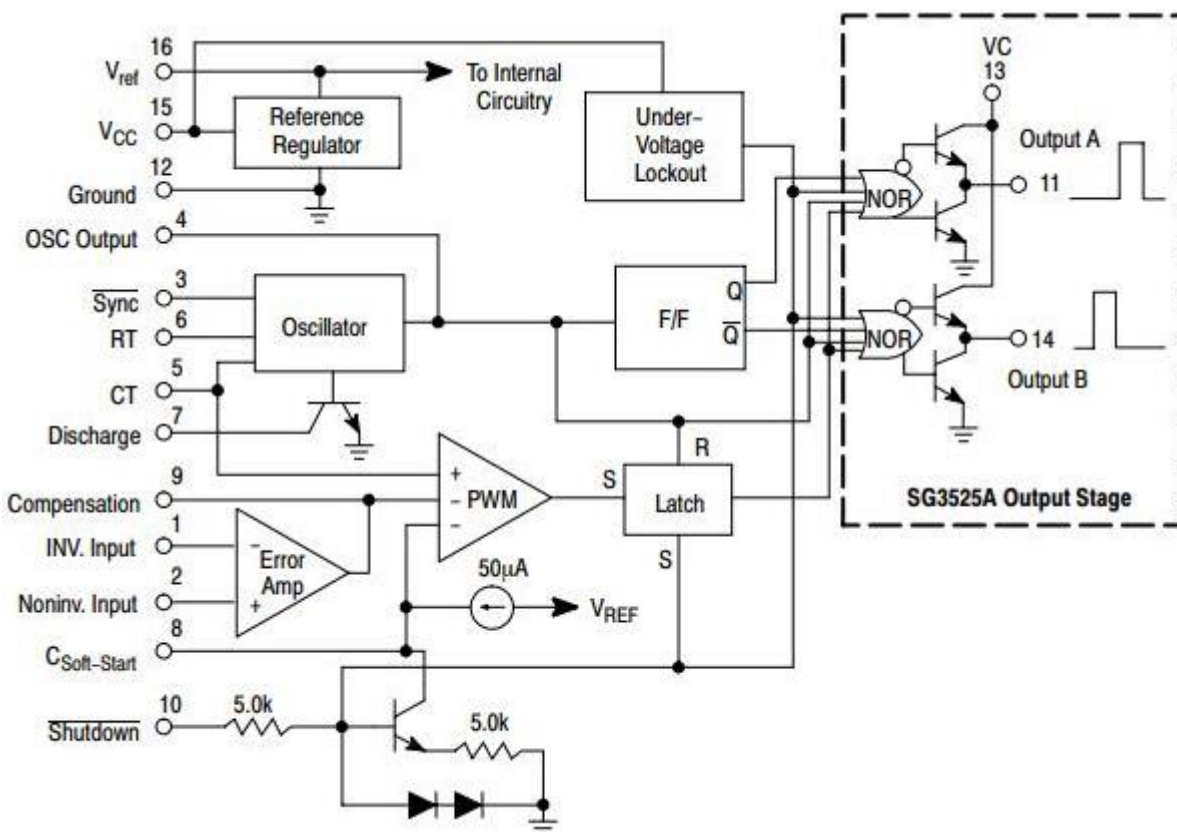


Рис 4.5 Структурна схема SG3525

Таблиця 4.1

PIN	Назва PIN	Функція Pin
1	I _{НВ}	Інвертуючий вхід
2	NINV	Неінвертуючий вхід
3	СИНХРОНІЗАЦІЯ	Синхронізація з іншими ІС
4	OSC. Вихід	Вихід генератора. Частота ІС підтверджується цим виходом.
5, 6	КТ і РТ	Ці контакти використовуються для підключення зовнішнього конденсатора та резистора відповідно для налаштування частоти генеруючого контуру.
7	Розряд (DIS)	Цей висновок використовується для визначення мертвого часу для ІС. Резистор підключений між контактами 7 і 5, визначатиме частоту ШІМ (або мертвий час).
8	Плавний старт (SS)	Конденсатор підключений до цього контакту та землі. Як випливає з назви, цей пін використовується для плавного запуску операції.
9	Компенсація (COMP)	Це компенсаційний пін. Він використовується для компенсації похибки та уникнення швидких коливань.
10	Вимкнення	Це пін відключення. Він миттєво звужується до сигналів ШІМ до максимального рівня, якщо він встановлений на високий рівень. Цей контакт використовується для вимкнення виходу мікросхеми у разі несправності або небажаних умов.
11	Вихід А	Це вихідний контакт, який використовується як вхід для зовнішніх пристроїв.
12	VSS	Це контакт заземлення.
13	VC	Це контакт живлення, який використовується для подачі вхідної напруги 5-35В. Якщо резистор підключений до джерела постійного струму. Таким чином, цей регістр визначає величину струму запуску для вихідного струму.
14	Вихід Б	Це вихідний контакт, який використовується як вхід для зовнішніх пристроїв.
15	V _В	Це вхідна напруга живлення 8-35 В.
16	V _{вих}	Це опорний контакт, який використовується для встановлення опорної напруги через контакти 1 і 2.

4.2.2 Ключові транзистори

Ключові транзистори, що використовуються в двотактному перетворювачі, повинні відповідати наступним вимогам:

- максимальна робоча напруга повинна перевищувати вдвічі напругу живлення:

$$V_{VT1_max} = 2V_{IN_max} \text{ , } V_{VT2_max} = 2V_{IN_max}$$

Виходячи з цього пропонується транзистори IRF7807, які мають 2х кратний запас по напрузі та току (Таблиця 4.2) та виконані в корпусі soic-8, що забезпечує менші габарити готового пристрою (Рис 4.2.2).

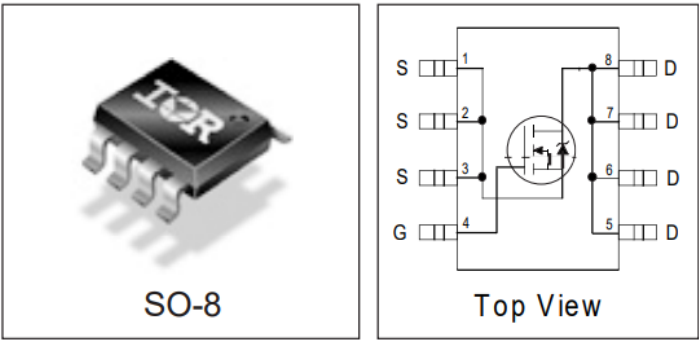


Рис 4.2.2 Зовнішній вигляд та структура IRF7807

Таблиця 4.2

Parameter		Symbol	IRF7807	IRF7807A	Units
Drain-Source Voltage		V_{DS}	30		V
Gate-Source Voltage		V_{GS}	± 12		
Continuous Drain or Source Current ($V_{GS} \geq 4.5V$)	25°C	I_D	8.3	8.3	A
	70°C		6.6	6.6	
Pulsed Drain Current①		I_{DM}	66	66	
Power Dissipation	25°C	P_D	2.5		W
	70°C		1.6		
Junction & Storage Temperature Range		T_J, T_{STG}	-55 to 150		°C
Continuous Source Current (Body Diode)①		I_S	2.5	2.5	A
Pulsed source Current		I_{SM}	66	66	

- максимальна потужність, що розсіюється з урахуванням системи охолодження, повинна перевищувати виділену потужність. Потужність, що вивільняється, визначається типом силового ключа.

Виділена в кристалі MOSFET транзистора потужність статичних втрат P_{VT_stat} Розраховується за співвідношенням:

$$P_{VT_start} = \frac{I_{w1_rms}^2}{2} R_{DS}$$

де:

I_{w1_rms} - середньквдратичне значення струму первинної обмотки;

R_{DS} – опір MOSFET транзистора у відкритому стані який становить 17мОм.

Параметри MOSFET-транзистора: вихідна ємність транзистора C_{oss} міститься в datasheet до обраного типу транзистора. Час падіння та підйому напруги транзистора t_f и t_r можна розрахувати за параметрами вихідного каскаду перетворювача ШІМ-контролера, або використовувати розрахункові значення згідно з datasheet-у транзистора.

Час включення і виключення транзистора з урахуванням можливостей схеми управління має бути менше «мертвого часу» для цієї схеми і частоти.

У переважній більшості випадків в якості силових перемикачів для двотактних перетворювачів використовуються потужні MOSFET-транзистори. Ці транзистори мають ряд переваг: мала енергія перемикання; контроль напруги, висока швидкість. Застосування біполярних і IGBT транзисторів в перетворювачах з двотактною топологією не є енергетично доцільним, так як падіння напруги між ними становить 1-2 В.

4.2.3 Вихідний конденсатор фільтру.

Вихідний конденсатор фільтра C_{out} пригнічує пульсації напруги, що виникають на виході перетворювача push-pull. Ємність конденсатора C_{out} визначає величину пульсацій за рахунок заряду-розряду конденсатора ΔV_{Cout_disch} . Другий компонент пульсацій на виході перетворювача ΔV_{Cout_ESR} обумовлено еквівалентним послідовним опором (equivalent-series resistance, ESR) Конденсатор.

Ємність конденсатора

Розглянемо процес заряду-розряду конденсатора:

$$\Delta V_{Count_disch} = \frac{V_{OUT}}{L_f C} \cdot \frac{1}{32f^2} \cdot (1 - 2q)$$

Цей вираз визначає пульсації напруги на вихідному конденсаторі внаслідок процесу заряду-розряду конденсатора. Видно, що пульсації максимальні при низьких значеннях коефіцієнта заповнення.

Нижче наведено вираз для ємності вихідного конденсатора фільтра C_{out} :

$$C_{out} = \frac{V_{OUT}}{\Delta V_{Count_disch} L_f} \cdot \frac{1}{32f^2} \cdot (1 - 2q)$$

де:

V_{OUT} – вихідна напруга;

ΔV_{Cout_disch} – величина пульсацій на конденсаторі за рахунок його заряду-розряду;

L_f – індуктивність силового дроселя;

f – робоча частота імпульсного стабілізатора;

q - коефіцієнт заповнення (0,5 для push-pull топології).

4.2.4 Push-pull перетворювач - особливості

Додатковий діод в двотактних перетворювачах

У схемотехніці двотактних перетворювачів (push-pull, полумост, мост) в деяких випадках в склад вихідного блоку «випрямляч + LC фільтр» вводиться додатковий діод VD_{add} (рис.4.2). Діод вводиться для того, щоб зменшити втрати у вторинній обмотці за рахунок струму силового дроселя. При відсутності діода струм дросельної заслінки замикається через випрямні діоди і напівобмотки, викликаючи додаткові омичні втрати. Введення додаткового діода актуально і для мостового випрямляча - це дозволяє знизити не тільки омичні втрати в обмотках, але і знизити втрати на діодах мостового випрямляча. Але необхідно розуміти, що це трохи збільшує вартість і габарити готового виробу.

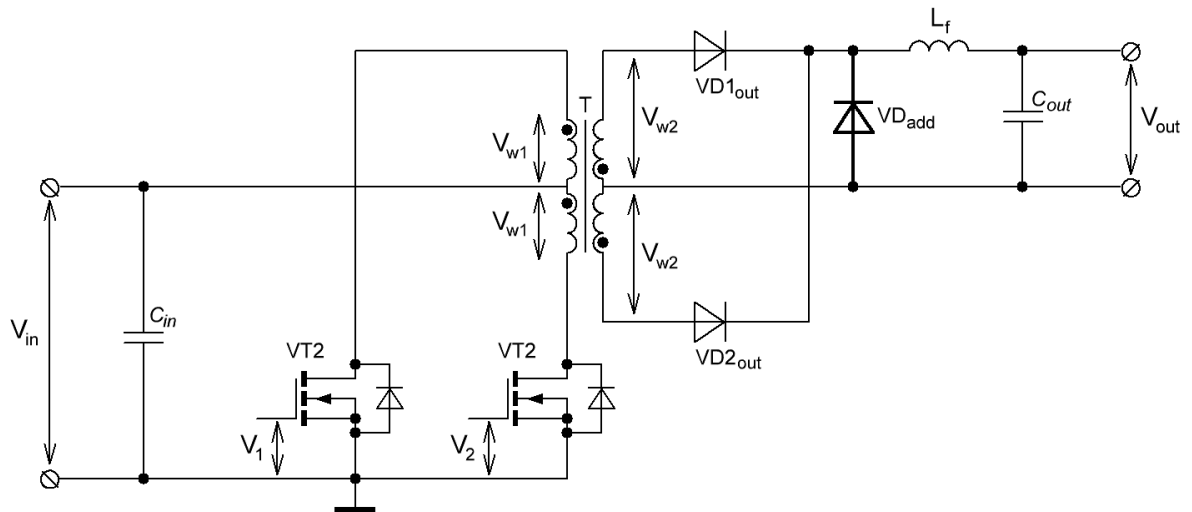


Рис.4.2.3 Додатковий діод в двотактних перетворювачах

Захист від намагнічування сердечника постійною складовою

Для двотактного перетворювача одним з основних підводних каменів є намагнічування сердечника через дисбаланс магнітних потоків, що перемагнічують трансформатор. В результаті існує ймовірність поступового наростання індукції в первинній обмотці і подальшого насичення сердечника. Дисбаланс магнітних потоків можливий внаслідок ряду причин:

- розкид часу перемикавання верхнього і нижнього транзистора – в результаті середнє значення струму, що протікає по обмотці, не буде дорівнює нулю.
- нерівномірність параметрів вхідної та вихідної напівобмоток, перепади напруги на силових транзисторах, вихідних діодах. В нашому випадку використаємо послідовно з'єднані стабілітрони на 12В VD29, VD24 та резистор 200Ом, які ще будуть стабілізувати напругу на виході 24В та захищати від різких стрибків напруги (Рис 4.2.3)

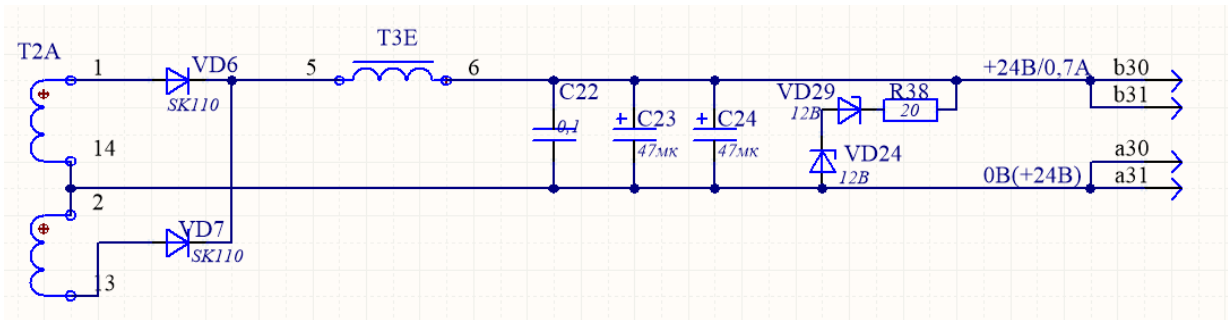


Рис 4.2.4 Вигляд ділянки схеми виходу 24В.

4.2.5 Алгоритм розрахунку перетворювача push-pull

1. Визначення вихідних параметрів розрахунку

На початку розрахунку визначаємося з технічним завданням на конструкцію перетворювача напруги push-pull:

- визначення вхідної напруги V_{IN} і діапазон його зміни $V_{IN_min} - V_{IN_max}$, якщо це очікується;
- визначення вихідної напруги V_{OUT}
- визначення вихідного струму I_{OUT} і діапазон його зміни $I_{OUT_min} - I_{OUT_max}$ якщо змінюється навантаження.
- визначення рівня пульсацій вихідної напруги ΔV_{OUT} .

Якщо задаються фіксовані значення вхідних або вихідних параметрів, то в подальших розрахунках максимальне і мінімальне значення, зазначені у формулах, приймаються рівними номінальному значенню.

2. Визначення базової структури принципової схеми перетворювача

Двотактні перетворювачі, включаючи конвертер push-pull мають більш складну компоновку і більшу варіативність в побудові принципової схеми. У зв'язку з цим, виходячи з вихідних параметрів розрахунку, визначаються варіанти побудови принципової схеми:

- для побудови push-pull перетворювача як правило обирають MOSFET транзистори. Використання біполярних транзисторів або IGBT недоцільно через

значне падіння напруги на них (з урахуванням того, що напруга живлення push-pull не перевищує 30-50 В);

- тип вихідного випрямляча, вихідний тип діода. Якщо вихідна напруга невелика (менше 12-15 В) і струм досить високий (більше 5-10 А), то доцільно використовувати двухпівтактний випрямляч з середньою точкою трансформатора і застосуванням діодів Шотткі. При високих вихідних напругах доцільно використовувати мостову схему випрямлення. Важливо розуміти, що від вибору схеми ректифікації залежить загальна потужність і, відповідно, габарити трансформатора. При використанні двухпівтактного випрямляча з середньою точкою збільшуються необхідна габаритна потужність, а, відповідно, і габарити трансформатора в порівнянні з мостовою схемою випрямлення.

- визначення рівня радіоперешкод і електромагнітних перешкод (впливає на вимоги до вибору типу магнітопроводу і екранування трансформатора)

- вибір способу запуску перетворювача – пряме перемикання або керований плавний пуск. При високій потужності або підвищених вимогах до надійності краще організувати систему плавного пуску (і вибрати контролер, який забезпечує таку можливість).

3. Вибір робочої частоти перетворювача

Робоча частота перетворювача підбирається виходячи з вимог до ефективності перетворювача, ваги і габаритів, можливостей сучасної компонентної бази, в нашому випадку було обрано примірно однакову частоту в 66 кГц для ББЖ1 та 60кГц для ББЖ2(половина частоти SG3525).

Вибір верхнього значення робочої частоти перетворювача $f_{\max}$ заснований на аналізі різних складових втрат потужності (втрати на сердечнику, втрати на індуктивність розсіювання, втрати на скін-ефект, втрати ключових елементів і т.д.)

Сучасна елементна база дозволяє працювати в діапазоні 75-200 кГц без особливих складнощів схеми.

В цілому діють такі правила:

- Збільшення робочої частоти зменшує габарити пристрою і навпаки;

- Збільшення робочої частоти призводить до збільшення втрат і, відповідно, зниження ефективності джерела і навпаки;

- Збільшення робочої частоти підвищує вимоги до компонентів джерела, швидкостей перемикання силових транзисторів і топології компонування друкованих плат.

Робоча частота перетворювача f визначає вимоги до матеріалу магнітопроводу трансформатора.

Частота перемикання f визначає період повторення імпульсів T :

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

Період разом з коефіцієнтом заповнення визначає тривалість імпульсу розімкнутого стану ключа

$$t_i = qT$$

Тому частота ШІМ проектного ББЖ2 була обрана також як і частота ШІМ ББЖ1, це зпростує вибір магнітного матеріалу для трансформатора, та дозволяє використати однакові каркаси та сердечники.

Визначення максимальної потужності перетворювача і оцінка потужності вторинної обмотки трансформатора

Максимальна вихідна потужність перетворювача P_{OUT_max} дорівнює добутку струму навантаження і напруги на ньому:

$$P_{OUT_max} = V_{OUT_max} I_{OUT_max}$$

Максимальна потужність вторинної обмотки трансформатора P_{w2} дорівнює відношенню максимальної вихідної потужності до ККД вихідної частини перетворювача:

$$P_{w2} = \frac{P_{OUT_max}}{\eta_{VD} + Lf}$$

До першого наближено визначається ККД вихідної частини перетворювача, включаючи втрати на випрямлячі і фільтрі η_{VD+Lf} можна вважати рівним 90 %:

Необхідно розуміти, що на даному етапі це початкове наближення, реальний рівень втрат і, відповідно, ефективність можна уточнити в процесі розрахунку шляхом розрахунку різних складових втрат.

7. Визначення струму пульсацій дроселя вихідного фільтра

Величина струму пульсації дроселя вихідного фільтра необхідна для розрахунку параметрів як самого дроселя, так і трансформатора. Тому визначити його величину необхідно на самому початку розрахунків, зазвичай це 10% від номінального струму.

Величина пульсації тока дроселя ΔI_{L_max} має бути значно меншим за вихідний струм:

$$\Delta I_{Lf_max} \cong 0.1 I_{OUT_min}$$

Якщо мінімальний вихідний струм I_{OUT_min} дорівнює або близький до нуля, то доцільно орієнтуватися на середнє (номінальне) значення вихідного струму I_{OUT} .

4.2.6 Розрахунок трансформатора

Трансформатор виконаний за розрахунковою методикою двотактних прямохідних трансформаторів с з урахуванням конструктивних особливостей перетворювача push-pull.

Вхідними даними є:

- вимоги до конструкції блоку живлення (габарити, рівень електромагнітних перешкод, умови охолодження);
- мінімальна вхідна напруга перетворювача $V_{IN_min}=10,5V$;
- максимальна вхідна напруга перетворювача $V_{IN_max}=14,5V$;
- максимальна вихідна напруга перетворювача $V_{OUT_max}=5V, 15V$, та $24V$;
- максимальний струм на виході перетворювача $I_{OUT_max}=3A$;
- робоча частота перетворювача на SG3525 задана $120kГц$ та дорівнює половинній заданній частоті на ключах в $60kГц$;

- максимальна відносна ширина імпульсу q береться 0.25 ;
- максимальна потужність вторинної обмотки P_{w2} приблизно 50 ват.
- максимальне значення пульсацій струму дроселя ΔI_{Lf_max} ;
- тип вихідного випрямляча – середня точка.

Вихідні дані розрахунку мають вигляд:

- тип магнітного сердечника ETD29 з матеріалу N67, де максимальна індукція (B_{max}) для матеріалу N67 дорівнює 0,25Тл, та площа поперечного перерізу (A_e): 82 мм² = 8,2×10⁻⁶;

- число витків первинної обмотки N_1 (що складається з двох напівобмоток з числом витків N_1 в кожній);

$$N_1 = \frac{V_{IN,min}}{4 \cdot f \cdot A_e \cdot B_{max}} = \frac{10,5}{4 \cdot 120 \cdot 10^3 \cdot 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,25} \approx 10,7 \text{ витків}$$

- розраховуємо кількість витків вторинних обмоток $N_{2,3,4}$;

при розрахунку вторинних обмоток враховуємо падіння напруги на діодах (приблизно 0,7 В для діодів Шотткі), крім напруги +5 вольт, використовуючи на лінії симетричний випрямляч на польових транзисторах IRF7807, отримуємо падіння приблизно 0,1В.

- падіння напруги для +5 вольт

$$V_{out} = 5 + 0,1 = 5,1В;$$

- коефіцієнт трансформації k для +5 вольт тоді дорівнює

$$k_{5v} = \frac{V_{out}}{V_{in} / 2} = \frac{5,1}{10,5/2} = 0,97;$$

- кількість витків для виходу 5В

$$N_{2_5v} = N_1 \cdot k_{5v} = 10,7 \cdot 0,97 \approx 10,3 \text{ вітка};$$

- падіння напруги для +15 вольт

$$V_{out} = 15 + 0,7 = 15,7В;$$

- коефіцієнт трансформації k для +15 вольт тоді дорівнює

$$k_{15v} = \frac{V_{out}}{V_{in} / 2} = \frac{15,7}{10,5/2} = 3,14;$$

- кількість витків для виходу 15В

$$N_{3_{15v}} = N_1 \cdot k_{15v} = 10,7 \cdot 3,14 \approx 33 \text{ вітка};$$

- падіння напруги для +24 вольт

$$V_{out} = 24 + 0,7 = 24,7 \text{ В};$$

- коефіцієнт трансформації k для +24 вольт тоді дорівнює

$$k_{24v} = \frac{V_{out}}{V_{in} / 2} = \frac{24,7}{10,5/2} = 4,7;$$

- кількість витків для виходу 5В

$$N_{24v} = N_1 \cdot k_{24v} = 10,7 \cdot 4,7 = 50,24 \text{ вітків};$$

4.2.7 Вибір діаметру проводу для обмоток

Використовуємо щільність струму $J = 4 \text{ А/мм}^2$ для вибору перерізу проводу:

- Первинна обмотка:
 - Струм: $I_{max} = 4,76 \text{ А}$
 - Переріз проводу: $S = I / J = 4,76 / 4 = 1,19 \text{ мм}^2$
 - Діаметр проводу: близько 1,2 мм, але цей струм виникає тільки короткочасно при розрядженому АКБ, тому візьмем діаметр 0,8мм
- звідси вторинні обмотки дорівнюють:
 - +5 В (3 А): провід діаметром 0,8 мм.
 - -5 В (0,1 А): провід діаметром 0,3 мм.
 - ±15 В (0,1 А): провід діаметром 0,3 мм.
 - +24 В (1 А): провід діаметром 0,5 мм.

Трансформатор мотаємо також на каркасі ETD-29 з произвольним заповненням, невелика кількість витків та розміри каркасу (рис 4.2.1) дозволяють це зробити. Порядок намотки обмоток описано у розділі «Намотка трансформаторів та дроселя».

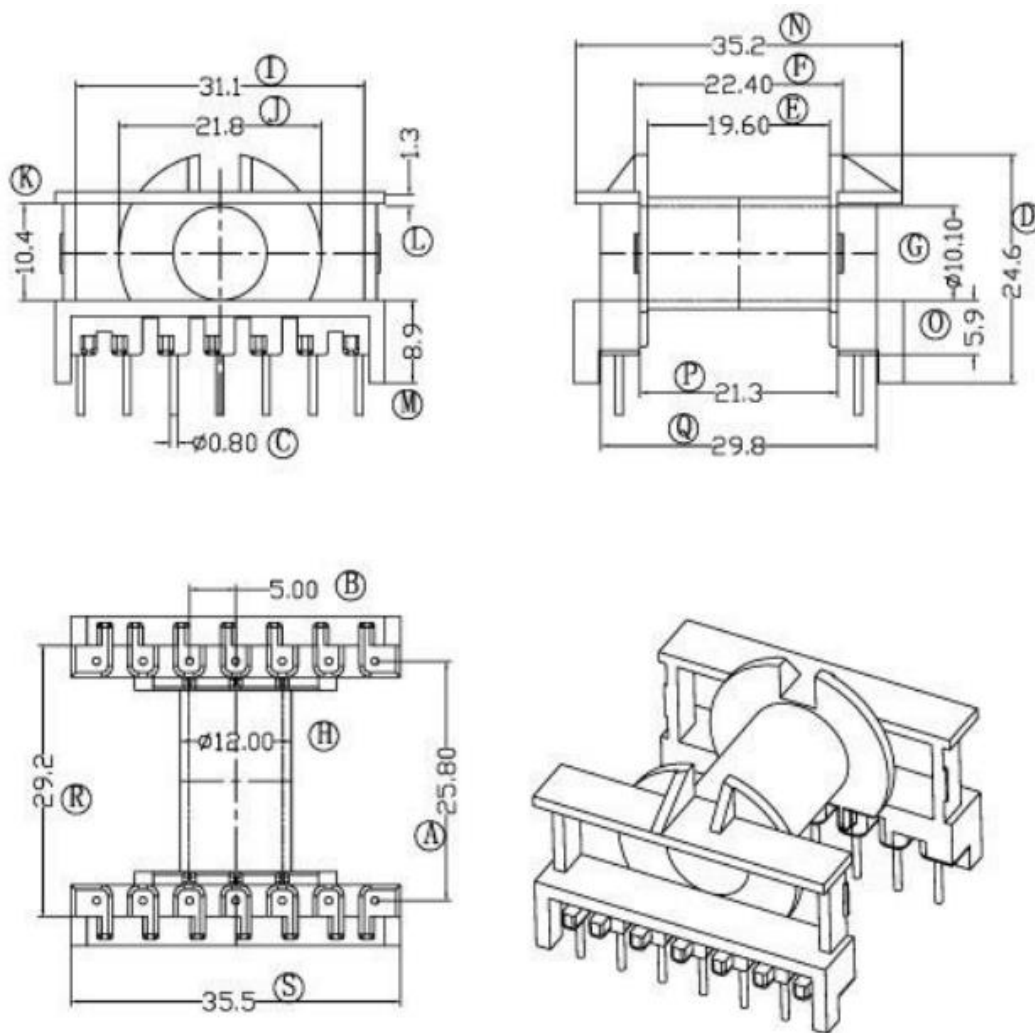


Рис 4.2.1 Розміри каркасу ETD-29.

4.2.8 Розрахунок вихідного дроселя

Індуктивність дроселя

Індуктивність дроселя вихідного фільтра перетворювача push-pull розраховується за співвідношенням:

$$L_f = \frac{V_{out}(1 - q_{0.5})}{f \Delta I_{Lf_max}}$$

де:

$q_{0.5}$ — коефіцієнт заповнення (при розрахунку використовуємо значення $q=0,5$ при якому поточні пульсації великі);

V_{out} — максимальна вхідна напруга, яка дорівнює 24В та струм 1А;

ΔI_{Lf_max} – Максимальне значення пульсацій тока дроселя (10% від вихідного струму, тобто $\Delta I = 0.1$ А)

f – робоча частота перетворювача = 60кГц.

$$L_f = \frac{24 \cdot (1 - 0,5)}{60 \cdot 10^3 \cdot 0,1} = \frac{12}{6000} = 0.002 \text{ Гн} = 2000 \text{ мкГн}$$

Тепер розрахуємо кількість витків при застосуванні феритового кільця CF139 з $Al(nH) = 850$ фірми Terratron

$$N = \sqrt{\frac{L_f \cdot 10^6}{A_L}} = \sqrt{\frac{2000 \cdot 10^6}{850}} = \sqrt{2352} \approx 48 \text{ витків}$$

Маємо 48 витків для 24В, отримує співвідношення 2 вітка на вольт, тоді 5В буде 10 витків, та 15В - 30 витків.

Максимальний струм дроселя

Максимальний струм дроселя дорівнює максимальному вихідному струму перетворювача плюс половина розмаху пульсацій дроселя:

$$I_{Lf_max} = I_{OUT_max} + \frac{1}{2} \Delta I_{Lf_max} = 1 + 0,5 \cdot 0,1 = 1,05 \text{ А}$$

де:

I_{OUT_max} – максимальне значення вихідного струму;

ΔI_{Lf_max} – пульсація струму дроселю (максимальне значення).

За розрахунковою індуктивністю і максимальним параметрам котушки індуктивності вибирають дросель, що випускається в промислових масштабах або, в разі великих струмів і котушок індуктивності, розраховують дросель.

Розрахунок ключових транзисторів

Максимальна робоча напруга ключових транзисторів визначається виразом:

$$I_{VT1_max} = I_{w1_max}, \quad I_{VT2_max} = I_{w1_max}$$

У практичних розрахунках необхідно використовувати запас по напрузі не менше 20%. Крім того, при значних енергіях, накопичених в індуктивності розсіювання первинних напівобмоток, можливі скачки напруги при відключенні транзисторів. При цьому необхідно використовувати транзисторні схеми захисту від перенапруг і підбирати транзистори на максимальну напругу з урахуванням можливостей цих схем. Виходячи з цих вимог транзистор IRF7807 нас задовольняє.

Максимальний струм транзистора визначається максимальним значенням струму первинної напівобмотки:

$$V_{VT1_max} = 2V_{IN_max}, \quad V_{VT2_max} = 2V_{IN_max}$$

Підбір ключового транзистора (в першому наближенні) за отриманими значеннями V_{VT_max} и I_{VT_max} . Параметри транзистора визначаються відповідно до datasheet.

C_{oss} – Вихідна ємність транзистора, визначається як сума ємностей затвора-стоку C_{GD} та «сток-істок» C_{DS} ;

Вихідна ємність MOSFET-транзистора C_{oss} містяться в datasheet до обраного типу транзистора. Час падіння та підйому напруги транзисторі t_f и t_r можна розрахувати за параметрами вихідного каскаду ШІМ-контролера перетворювача або використовувати розрахункові значення згідно з технічним паспортом транзистора (рис.5.2)

Час T_{ON} і T_{OFF} транзистора з урахуванням можливостей схеми управління повинен бути менше «мертвого часу» для цієї схеми і частоти.

У переважній більшості випадків в якості силових перемикачів для двотактних перетворювачів використовуються потужні MOSFET-транзистори. Ці транзистори мають ряд переваг: мала енергія перемикання; Контроль напруги, висока швидкість. Застосування біполярних і IGBT транзисторів в перетворювачах з двотактною топографією не є енергетично доцільним, так як падіння напруги між ними становить 1-2 В.

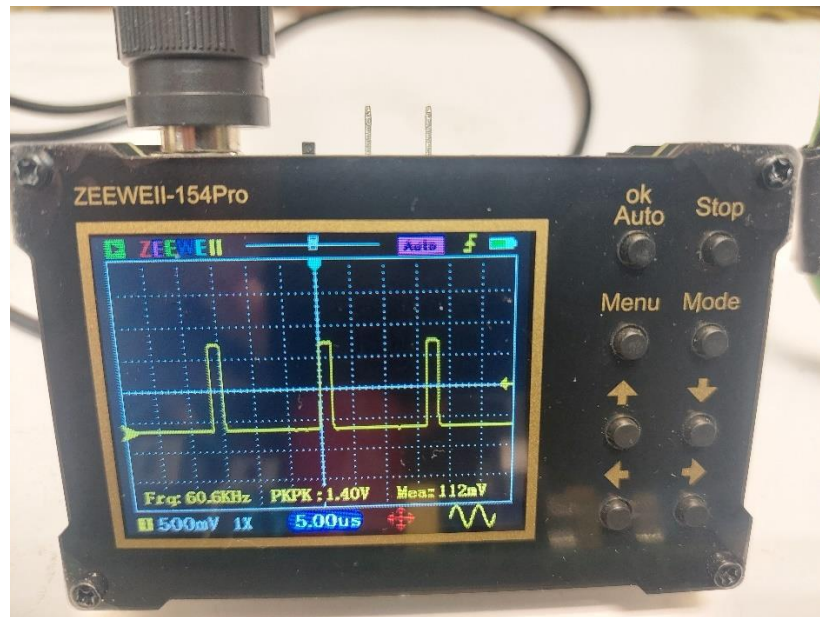


Рис 5.2 Осцилограма сигналу генеруемого ШІМ SG3525 поступаючого на транзистори.

Розрахунок випрямних діодів

Максимальна напруга на діодах випрямника дорівнює подвоєній напрузі вторинної обмотки:

$$V_{VD1,VD2_max} = 2V_{v2_max}$$

а для випадку з мостовим випрямлячем воно дорівнює напрузі вторинної обмотки:

$$V_{VD1,VD4_max} = V_{v2_max}, \quad V_{VD2,VD3_max} = V_{v2_max}$$

Максимальна вторинна напруга визначається максимальним значенням вхідної напруги та коефіцієнтом трансформації:

$$V_{v2_max} = \frac{V_{IN_max}}{k}$$

На практиці для забезпечення надійності необхідно використовувати мінімум 20% запас по робочій напрузі.

Максимальний струм через випрямні діоди розраховується за співвідношенням:

$$I_{VD1,VD2_max} = I_{OUT_max} + \frac{\Delta I_{Lf_max}}{2}$$

Вибриємо конкретний тип діода відповідно до розрахункових значень максимальної напруги і струму. Далі обраний тип діода можна змінити.

V_{VD} – падіння напруги на діоді випрямника, що визначається згідно з даташитом (типове 1,2 В у випадку кремнієвих діодів, і 0,8 В у випадку діодів Шотткі).

Розрахунок вихідного конденсатора фільтру.

При виборі типу конденсатора його максимальна напруга повинна бути як мінімум на 20-25% вище розрахункового значення для безпечної роботи.

Максимальний струм вихідного конденсатора дорівнює максимальному струму на виході:

$$I_{Cout_max} = I_{OUT_max}$$

Розрахунок вихідних пульсацій ΔV_{OUT}

Составна пульсації ΔV_{Cout_disch} , визначається його зарядом-розрядом вибирається в межах 10-50% від величини вихідних пульсацій ΔV_{OUT} :

$$\Delta V_{cout_dish} = (0,1 \dots 0,5) \Delta V_{OUT}$$

Ємність вихідного конденсатора

Мінімальна необхідна ємність конденсатора фільтра C_{out} визначається з виразу:

$$C_{out} = \frac{V_{OUT}}{\Delta V_{Cout_disch} L_f} \cdot \frac{1}{32 f^2} \cdot (1 - 2 q_{min})$$

де:

ΔV_{Cout_disch} - пульсації, викликані розрядом конденсатора;

q_{min} – мінімальне значення коефіцієнта мита (можна прийняти рівним нулю).

4.3 Система живлення від акумуляторної батареї та її заряду.

Одною із поставлених задач, є безперебійна генерація напруг 5В, 15В та 24В, при зникненні напруги змінного струму 230В. Для цього у схему добавлена схема (рис 4.3.1) яка при зникненні напруги живить ШІМ контролер SG3525.

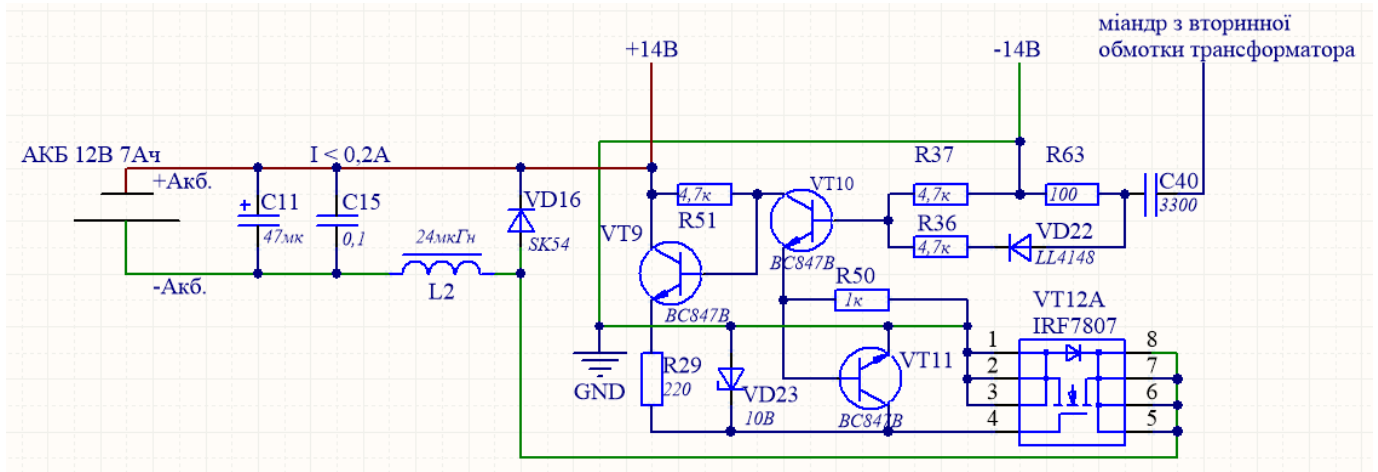


Рис 4.3.1 Фрагмент схеми заряду АКБ

Схема підключена паралельно до основного живлення 14 вольт. Поступаючий міандр з вторинної обмотки трансформатора за допомогою біполярних транзисторів VT9, VT10, VT11, змушує відкриватись та закриватись потужний польовий транзистор VT12 IRF7807 з частотою вторинної обмотки основного трансформатора 66кГц (рис 4.5.2). Транзистор VT12 в свою чергу з частотою міандра замикає та розмикає мінусовий контакт АКБ через дросель L2 на «землю». На такій частоті дросель L2 стає опором, який обмежує струм заряду АКБ та віддає накопичену енергію в АКБ, при цьому струм заряду не перевищує 200мА. Діод VD16 в момент коли транзистор VT12 закрит, повертає накопичену енергію із дроселя в АКБ, що сприяє заряду АКБ, та запобігає виходу з ладу транзистора VT12.

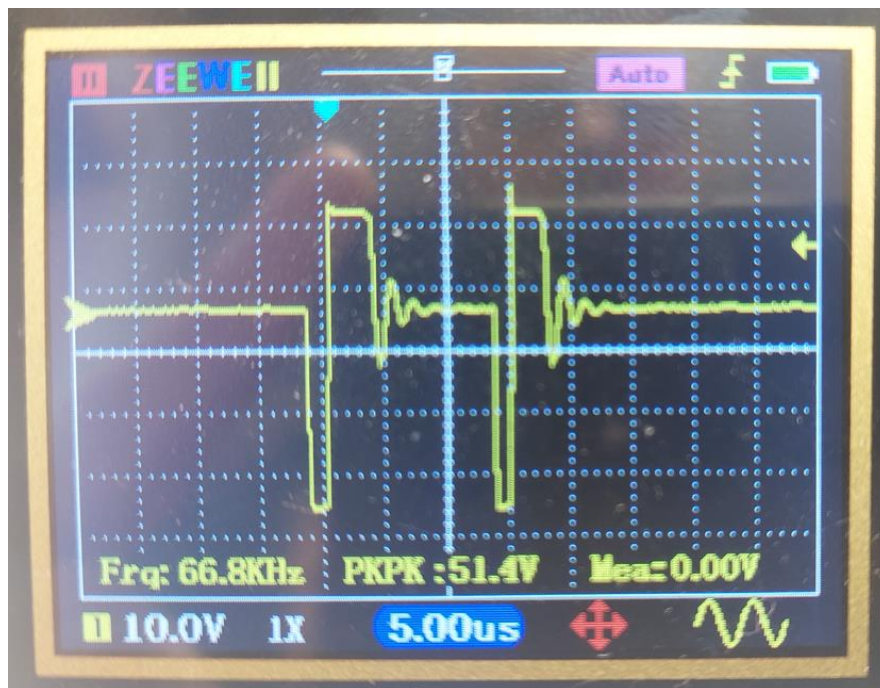


Рис 4.3.2 Осцилограма міандра вторинної обмотки трансформатора.

При зникненні мережевої напруги, ШІМ контролер TOP246 перестає працювати, зникає міандр, транзистор VT12 переходить в відкритий стан, та замикає мінусову клему АКБ через дросель L2 на «землю». Постійний струм з АКБ через дросель L2 тече без перешкод, та живить ШІМ контролер SG3525.

4.4 Намотка трансформаторів та дроселей для ББЖ.

Необхідні компоненти:

Каркас ETD 29 - 2шт.

Комплект сердечників для ETD 29 із матеріалу N67, без зазору -1 шт.

Комплект сердечників для ETD 29 із матеріалу N67,с загальним зазором 1мм – 1шт.

Феритове кільце K15/7/6 2000 hm - 2шт.

Феритове кільце K10/6/4 2300 hm - 1шт.

Дріт діаметра: 0,27 0,35 0,5 0,8.

Т1. Токовий трансформатор, намотується на кільце К10/6/4 2300 НМ

Таблиця 4.4.1

Позначення позиції	Клеми обмотки	Порядок намотки	Діаметр дроту	Кількість витків	Контроль R, Ом	Контроль L, мкГн
Т1	1-2	1	0,27	55	0,82	3,55
К10/6/4	3-4	2	0,5	1	-	-
2300 НМ	5-6	3	0,5	1	-	-

Обмотки 3-4 и 5-6 встановлюються при монтажі на плату.

(14 виводів), матеріал сердечника N67, сердечники використовується без зазору. Обмотки, де в графі *, мотаються одночасно. Наприклад, обмотки 1-14 и 2-13, поодводимо дрiт к 1 виводу, а другий дрiт до 2 виводу трансформатора та мотаєм відразу 2мя дротами, а потім підключаємо відповідно к 14 и 13 виводу. При цьому потрібно прокладати ці дроти поряд.

Таблиця 4.4.2

Позначення позиції	Клеми обмотки	Порядок намотки	Діаметр дроту	Кількість витків	Контроль R, Ом	Контроль L, мкГн
Т2	1-14, 2-13	1	0,5	2*28	-	-
ETD29 /	3-12, 4-11	2	0,8	2*10	-	-
G=0	5-10, 6-9	3	0,8	2*6	-	-
N67	8-5, 9-7	4	0,5	2*11	-	-

Т3. Дросель фільтру, намотується на кільце К15/7/6 2300 НМ

Таблиця 4.4.3

Позначення позиції	Клеми обмотки	Порядок намотки	Діаметр дроту	Кількість витків	Контроль R, Ом	Контроль L, мкГн
Т3	5-6,	1	0,5	48	0,15	154,5
К15/7/6	10-1, 2-9	2	0,35	2*30	0,15	39,3
	3-8	3	0,7	10	0,019	5,9
	7-4,	4	0,35	10	0,072	5,1

Обмотки 1-10 и 2-9 мотати одночасно.

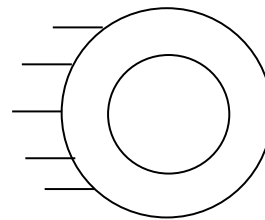
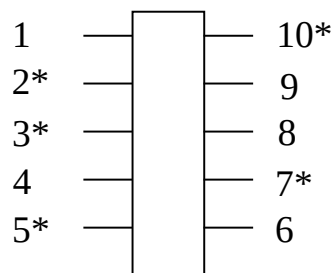
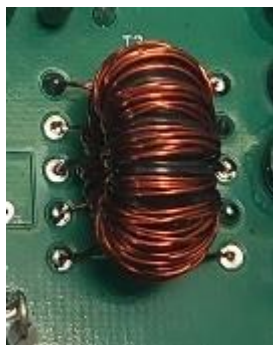


Рис 4.4.1 Дросель фільтра, вигляд зверху та вигляд з боку.

Виводи обмоток розмішувати, так як показано на рис. 4.4.1 (промаркувати для зручності монтажу), виводи з позначкою * вказують початок обмотки.

Розташуйте дрiт рiвномiрно навколо кiльця (Наприклад: розтягнути обмотки в 10 виткiв уздовж кiльця). Зробiть кiнцi дроту довжиною 1 см, одночасно зачистивши 0,5 см дроту. Надiньте кембріки на виводи 1 i 2.

Т4. Трансформатор вхiдної напруги, намотується на каркасі ETD 29/13 (13 виводiв), матерiал сердечникiв N67, сердечники використовуються с зазором 0.5 мм 2шт, або один 1мм а другий без зазору, щоб отримати зазор в 1 мм загалом.

Таблиця 4.4.4

Позначення позиції	Клеми обмотки	Порядок намотки	Діаметр дроту	Кількість витків	Контроль R, Ом	Контроль L, мкГн
Т4	4-6,	1	0,35	45+45	-	1000
ETD29 /	9-11,10-12	2	0,4	2x2*10	-	7
G=1 N67	3-2	3	0,35	7	-	5

Обмотку 4-6 намотуємо в два етапи. Намотуємо половину витків (45) обмотки 7-5, потім відповідним чином намотуємо обмотки 9-11, 10-12 (для намотування використовуємо складений вдвічі дрiт, в результаті отримуємо обмотку 9-11, 10-12 з

4х дротів) потім робимо другу половину обмотки 4-6 поверх. Потім мотаємо обмотку 3-2 (обмотку 3-2 розподіліть рівномірно по всій довжині каркаса).

L2. Дросель заряду АКБ мотається на кільці K15/7/6

Таблиця 4.4.5

Позначення позиції	Клеми обмотки	Порядок намотки	Діаметр дроту	Кількість витків	Контроль R, Ом	Контроль L, мкГн
L2 K15/7/6	1-2		0,7	24		24

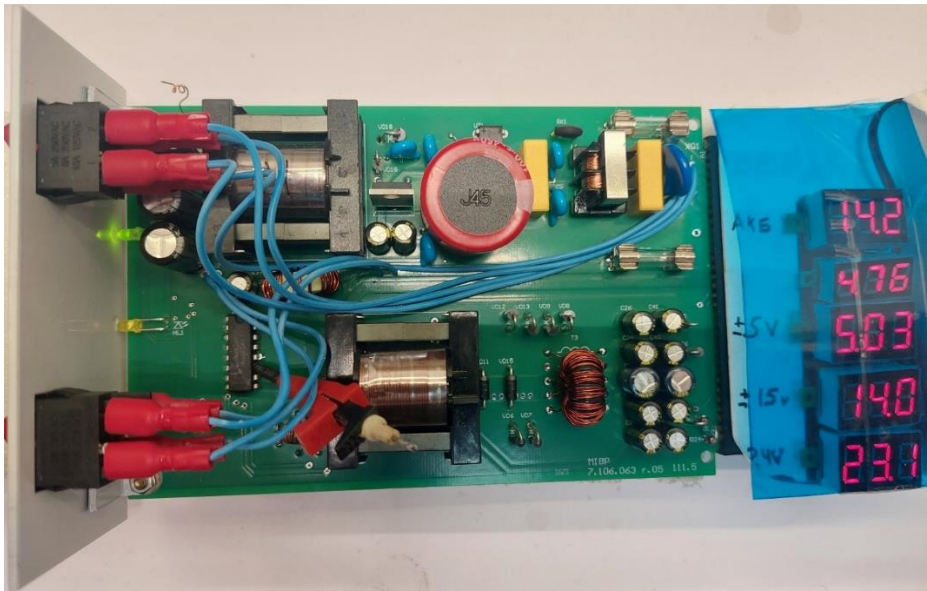


Рис 4.4.2 Розташування трансформаторів.

4.5 Висновки до розділу 4

У даному розділі було розглянуто методику розрахунку імпульсного трансформатора push-pull для ББЖ2. Було обрано топологію push-pull, бо це проста схема для створення двополярної напруги (наприклад, +15V та -15V), що потрібно для операційних підсилювачів. Також у Push-Pull транзистори працюють поперемінно, забезпечуючи симетричний розподіл навантаження. Це зменшує теплові напруги в компонентах, підвищуючи їх надійність.

При розрахунку трансформатора ми також використовувалися параметри сучасних магнітних матеріалів, зокрема, фериту N67 виробництва EPCOS, як і для ББЖ1, але вже без зазору. Це дозволило нам використати той самий каркас ETD-29, що дозволило нам уніфікувати та зпростити виробництво.

Для ШІМ контролеру було обрано популярну МС SG3525, яка перевірена часом, має велику кількість схемних рішень, та доступна від різноманітних виробників.

Ми розглянули систему заряду/розряду акумулятора, де використали властивості дроселя при роботі в високочастотному струмі. Досвід показує, що дросель в високочастотному струмі працює як опір, та як провідник в постійному струмі. Це дозволило нам спростити схему заряду/розряду акумуляторної батареї, та зробити переключення на живлення від АКБ швидким, та без використання реле.

5. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ТА МОНТАЖНОЇ ПЛАТИ

5.1 Розробка схеми ББЖ

Для розробки принципової схеми було обрано програмний продукт Altium Designer. Це система автоматизованого проектування яка надає найширші можливості для створення електронних пристроїв.

Пакет програмного забезпечення Altium Designer включає в себе всі інструменти, необхідні для створення, та редагування електричних і програмованих інтегральних схем. Схематичний редактор дозволяє працювати з проектами будь-якого розміру і складності, перетворюючи їх в найпростіші підблоки Рис 5.1.

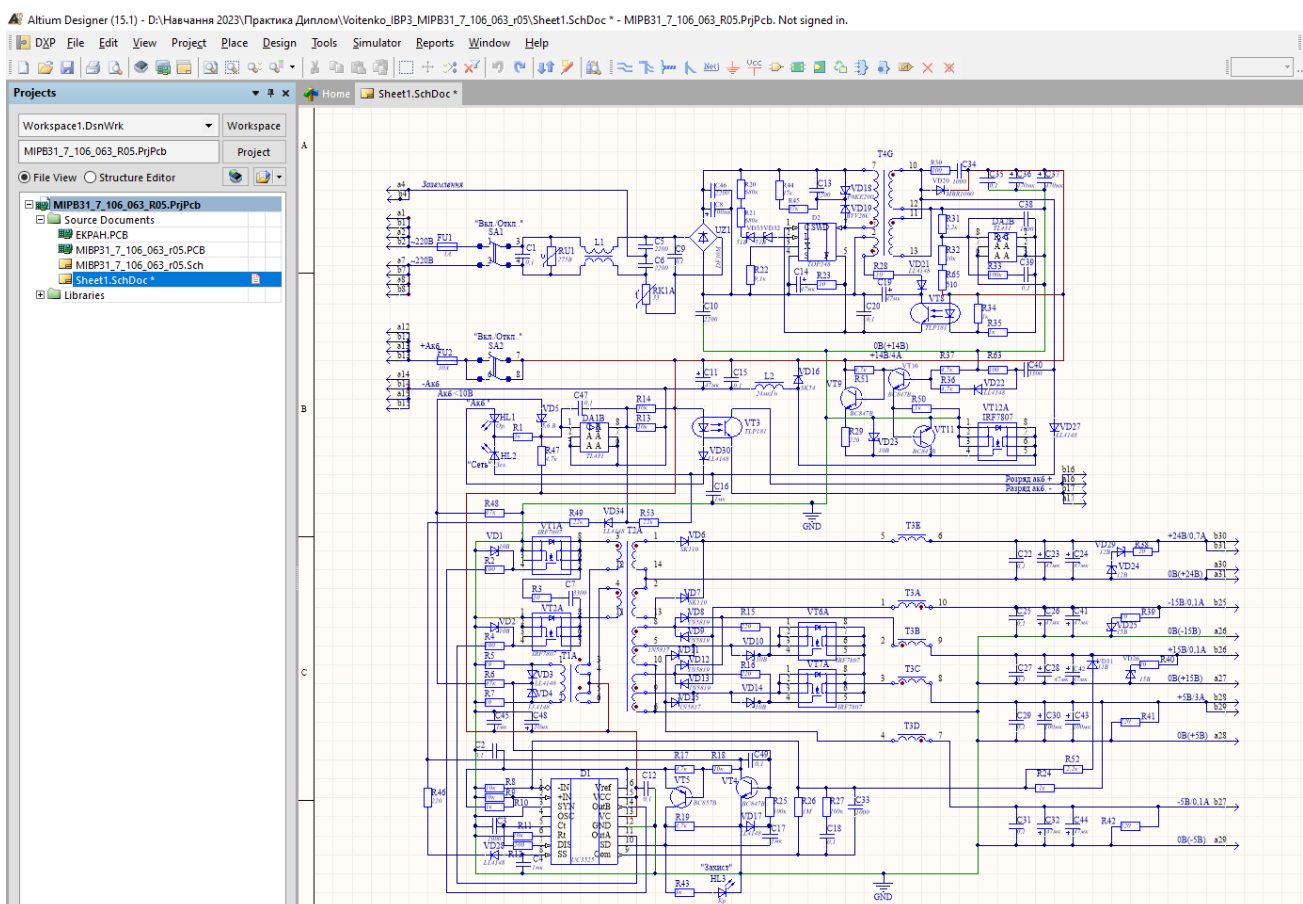


Рис 5.1 Креслення схеми в Altium Designer

Цифро-аналогове моделювання враховує практично всі реальні параметри і надає проектувальнику величезну кількість різних аналізів, включаючи перехідні,

частотні, шумові, трансферні, Фур'є, Монте-Карло, аналіз температури. На рівні ланцюга перевіряються і усуваються різні опори і перехресні відбиття.

5.2 Моделювання монтажної плати пристрою.

Редактор друкованих плат програми містить унікальні інструменти для автоматичного (Statistical Placer, Cluster Placer) та інтерактивного розміщення компонентів (Рис 5.2.1). Трасувальник топології Situs використовує повністю настроюваний алгоритм для вирішення проблем компонування друкованих плат високої щільності. Він може працювати в неортогональних напрямках і з незалежним вибором шару. Постійно оновлюванні програмні бібліотеки зберігають понад 90 тисяч компонентів. Багато з них мають моделі Footprint, моделі IBIS і SPICE, а також 3D-моделі. Кожен з них можна створити самостійно в програмі з мінімальними витратами часу шляхом послідовного введення інформації про компонент.

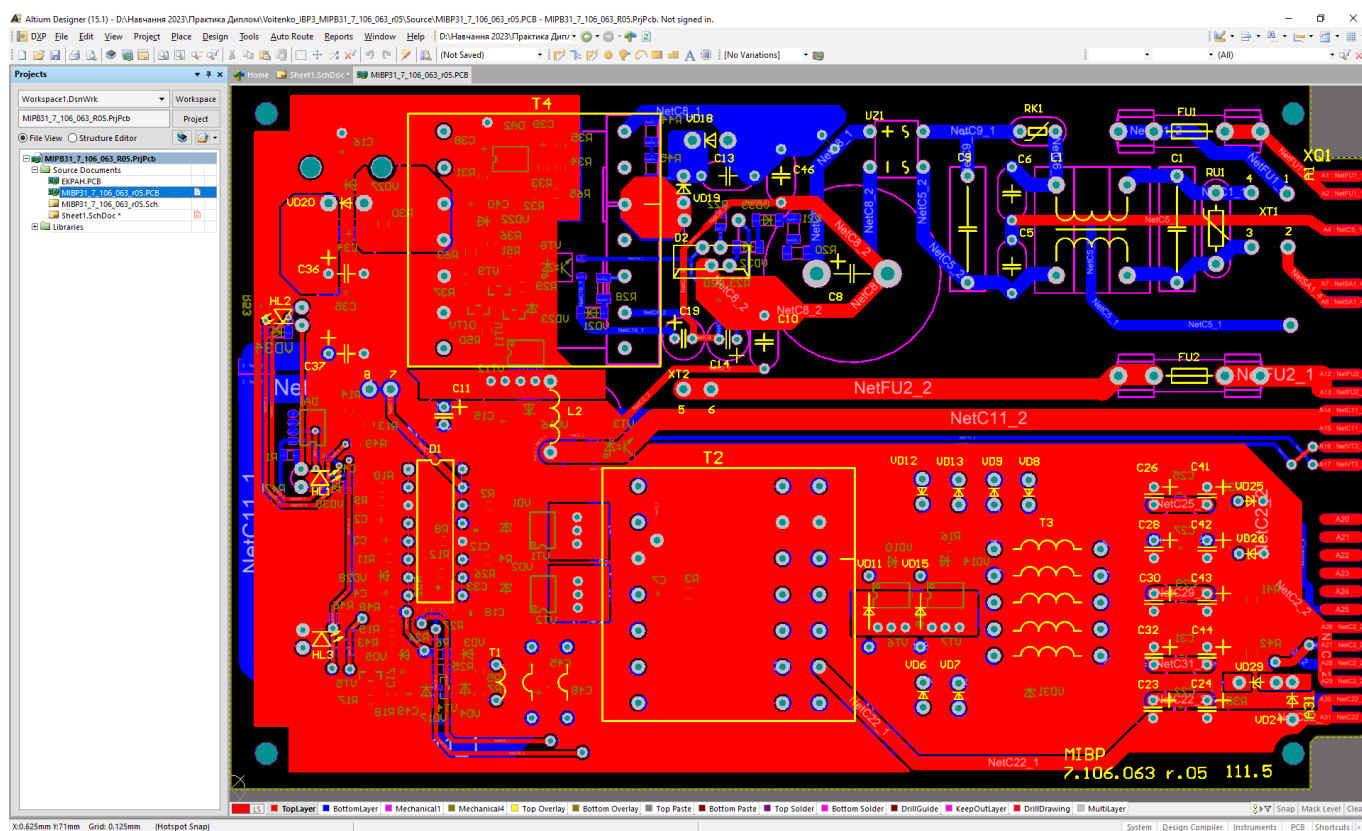


Рис 5.2.1 Моделювання друкованої плати ББЖ

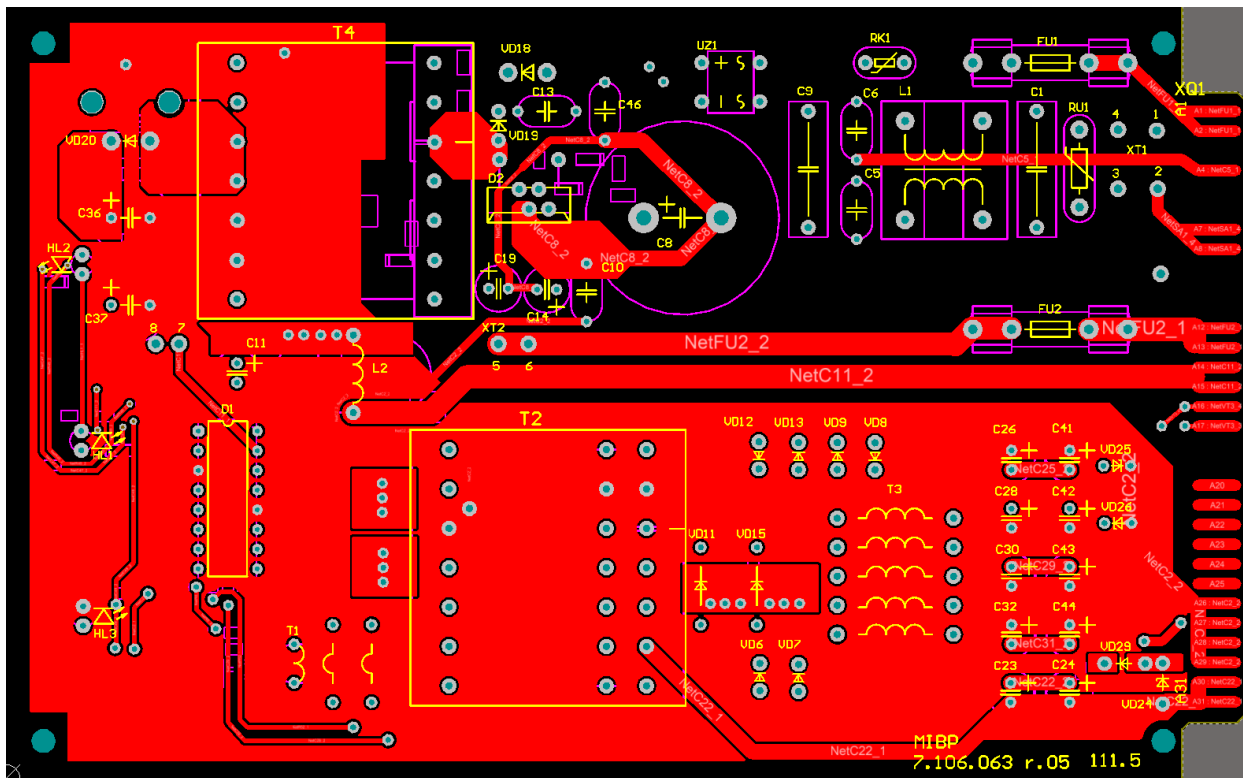


Рис 5.2.2 Вигляд друкованої плати TopLayer.

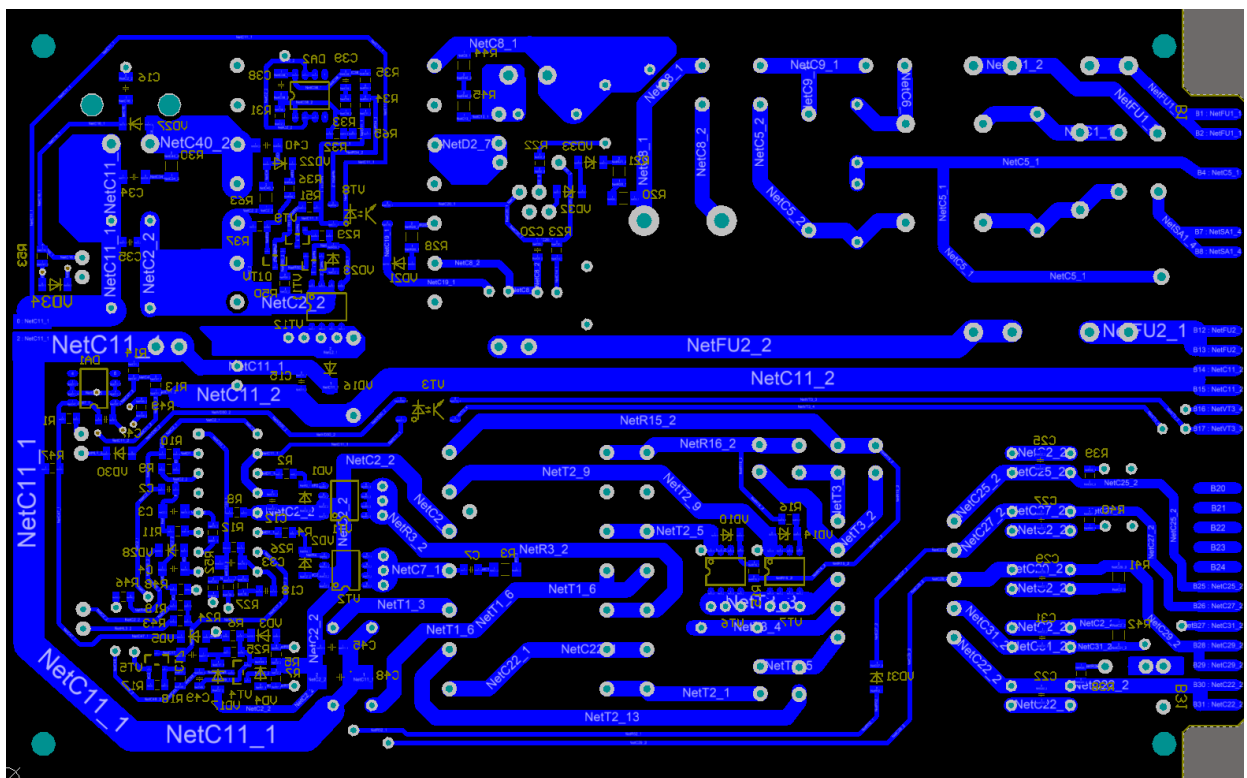


Рис 5.2.2 Вигляд друкованої плати BottomLayer.

5.3. Створення виробничих файлів Gerber

Після розробки друкованої плати необхідно передати комплект виробничих файлів Gerber для подальшого виробництва плати. Створення файлів Gerber – це складна операція, яка вимагає уваги до вимог виробника друкованої плати. Для оптимізації процесу зі створенням файлів Gerber, Altium Designer включає в себе можливість контролю процесу створення, про що і піде мова в цій статті.

Існує багато форматів файлів, які використовуються для виготовлення плати, але найбільш основними є Gerber RS-274X, Gerber X2, NC Drill, IPC-2581 і ODB++. Найбільш популярним форматом, який за замовчуванням використовується у всіх програмах CAD для проектування друкованих плат, є формат Gerber RS-274X (Рис 5.3.1). Цей формат повністю описує зображення топологічної закономірності, яка стала галузевим стандартом і використовується для виробництва переважної більшості (близько 90%) друкованих плат, розроблених у всьому світі. Виробнику надсилаються файли Gerber та карта заказу на друковану плату (Додаток 2).

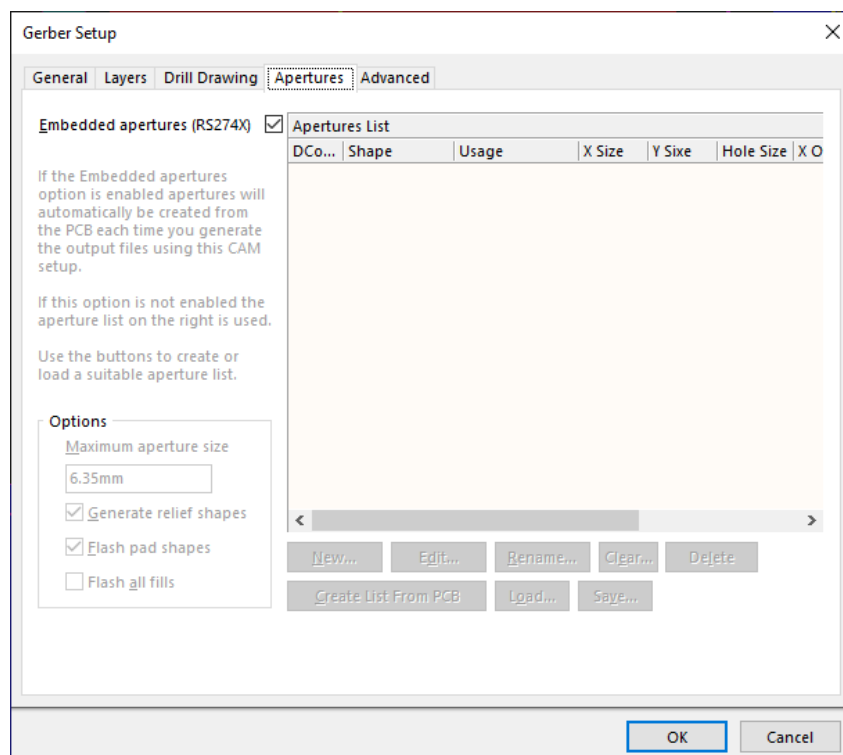


Рис.5.3.1 Вибір формату Gerber RS-274X

5.4 Опис та вигляд ББЖ.

Модуль джерела безперебійного живлення МБЖЗ є невід'ємною частиною інформаційно-керуючого комплексу «Граніт-мікро». МБЖЗ генерує постійну напругу для живлення всіх модулів, встановлених в каркасі приладів КР-місго комплексу Граніт-Мікро, і забезпечує безперебійне електроживлення в разі втрати напруги мережі 220 В.

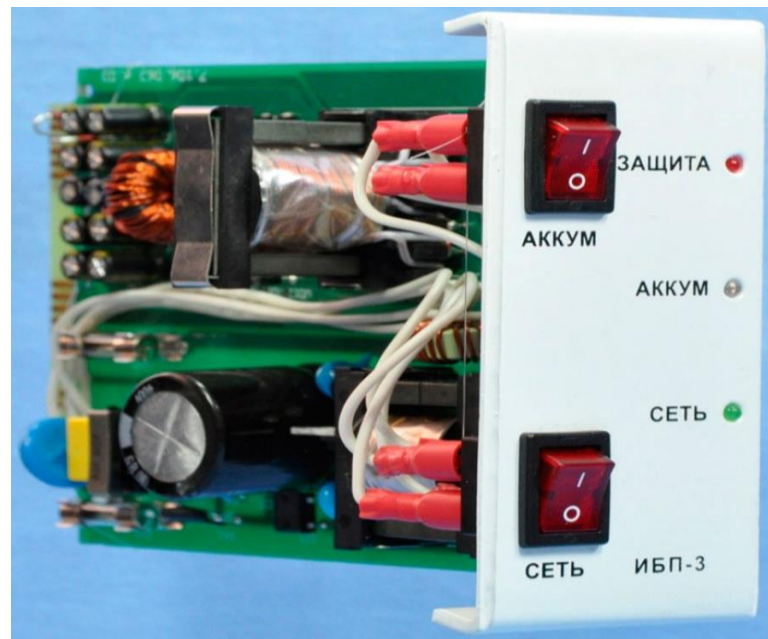


Рис 5.1 Вигляд передньої панелі ББЖЗ

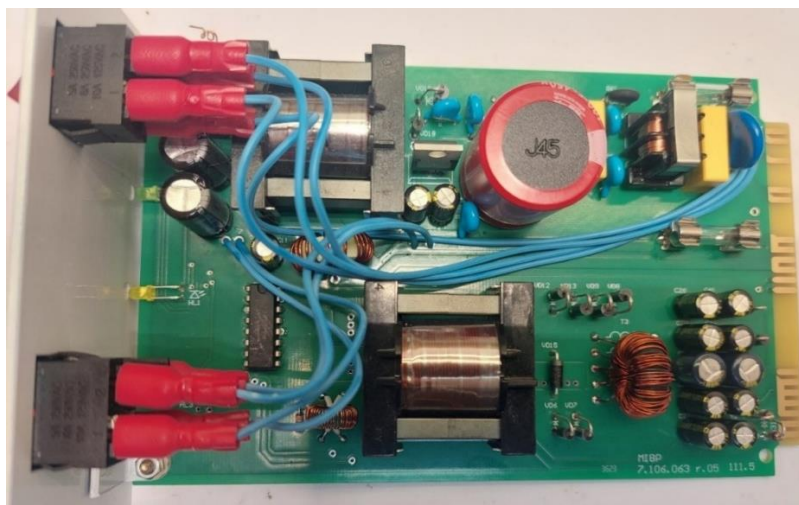


Рис 5.2 Вигляд ББЖЗ зверху

При проєктуванні друкованої плати ББЖ було спроектовано монтаж усіх SMD компонентів на BottomLayer для зручності монтажу та можливого ремонту (Рис 5.3)

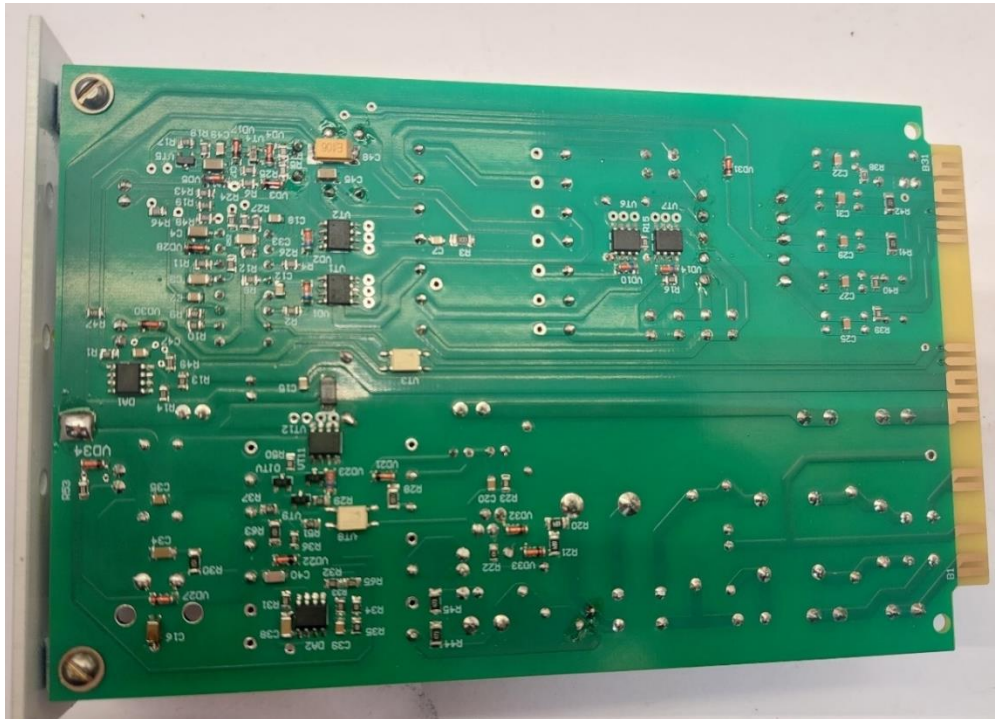


Рис 5.2 Вигляд ББЖЗ знизу.

5.5 Звіт попередніх випробувань модуля безперебійного живлення

5.5.1 Мета експерименту

Перевірка технічних характеристик і функціональних можливостей модуля безперебійного живлення (МБЖ-3) ІКТК «Граніт-мікро».

Перевірка проводиться відповідно до програми та методики випробувань на відповідність вимогам проекту технічних умов на ІКТК «Граніт-мікро» по п.п. 1.22.1, 1.22.2.

5.5.2 Об'єкт експерименту

5.5.3 Перевірені характеристики МБЖЗ.

5.5.4 МБЖЗ повинні утворювати постійні напруги, (см. табл.5.1.)

Таблиця 5.1

Номинальна вихідна напруга, В	+24.0	+5.0	-5.0	+15.0	-15.0
Допустиме значення відхилення вихідної напруги при зміні струму навантаження і зміні напруги мережі, В	± 2.4	± 0.25	± 0.25	± 1.5	± 1.5

5.5.5 МБЖЗ повинен бути пов'язан з вбудованою в корпус КП батареєю і забезпечувати автономну роботу не менше 4 годин.

5.6 Налаштування для проведення експерименту

Випробування технічних характеристик МБП проводяться за допомогою спеціальної установки - випробувального стенду ІКТК «Граніт-мікро». Схема експериментальних досліджень ІКТК наведена на рис.1.

Генератор імпульсів задає сигнали перешкод; Автотрансформатор регулює величину напруги живлення, за допомогою амперметра і вольтметра визначається споживана потужність.

Програмний комплекс UniTest задає кодові повідомлення, які надходять на вхід ІТС через послідовний інтерфейс і моделюють інформацію з джерел інформації коду (ДІК):

- пристрої захисту та автоматики (ПЗА);
- реєстратори інформації (РІ);
- Цифрові перетворювачі (ЦП).

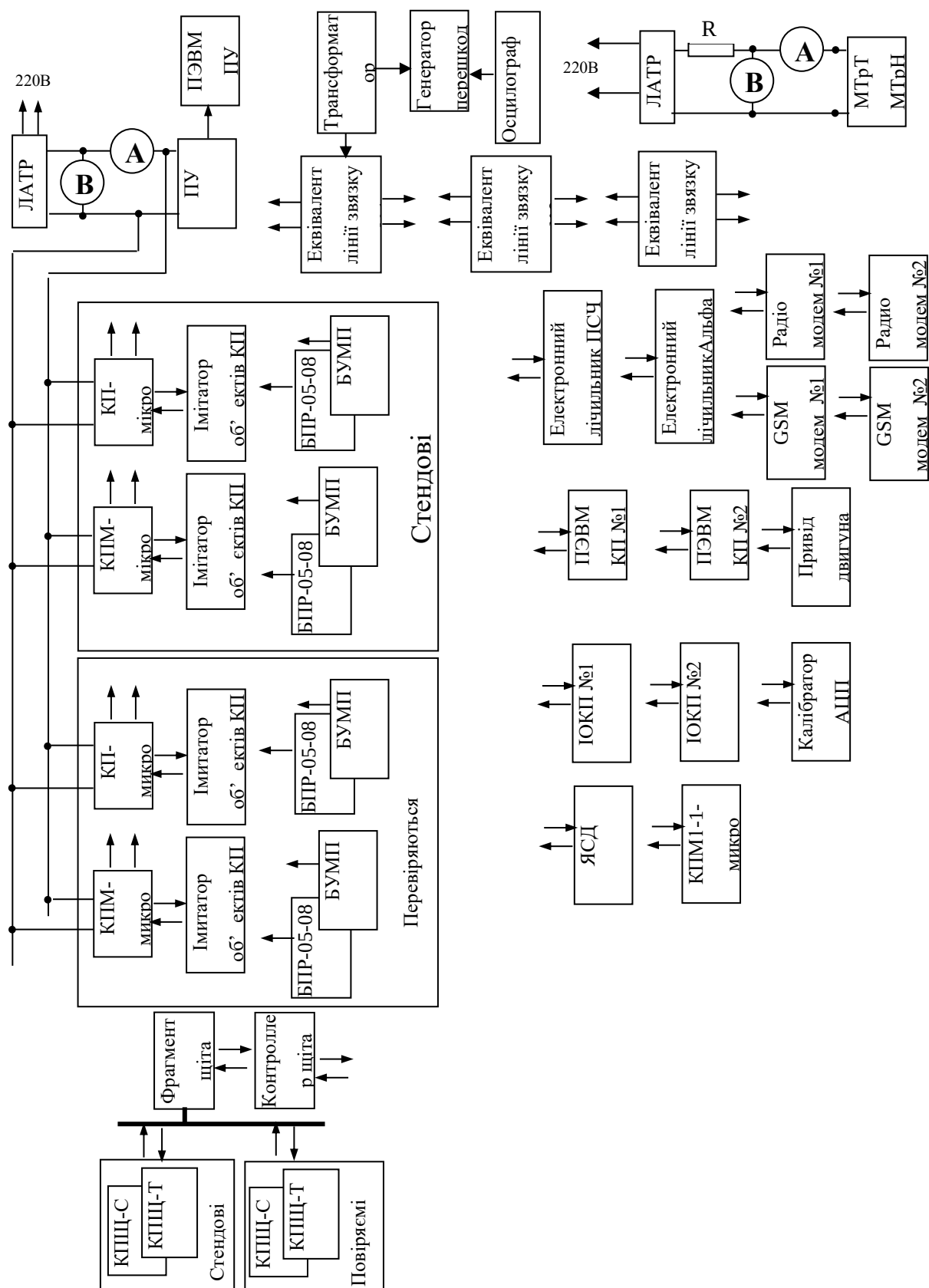


Рис.5.6.1. Схема експериментальних досліджень ІКУТК

5.7 Перевірка технічних характеристик.

5.7.1 Результати експерименту з перевірки технічних характеристик МБПЗ при підключенні до мережі змінного струму, холостий хід, АКБ не вкл узагальнені в табл.5.7.

Таблиця 5.7.1

Вихідна напруга, В Вхідна напруга,В	+24	+5	-5	+15	-15
165	23,9	5,1	4,85	14,55	14,64
180	24	5,1	4,85	14,56	14,66
190	24	5,1	4,85	14,57	14,67
200	24	5,1	4,85	14,57	14,67
210	24	5,1	4,85	14,58	14,67
220	24	5,1	4,85	14,58	14,67
230	24	5,1	4,85	14,58	14,68
240	24	5,1	4,85	14,58	14,68
250	24	5,1	4,85	14,58	14,68
260	24	5,1	4,85	14,58	14,68

5.7.2 Результати експерименту з перевірки технічних характеристик МБЖЗ при підключенні до мережі змінного струму, навантаження: +24В-0,7А, +5В-1А, узагальнені в табл.5.7.2.

Таблиця 5.7.2

Вихідна напруга, В Вхідна напруга,В	+24	+5	-5	+15	-15
165	19,74	5,08	5,2	14,65	14,8
180	19,76	5,08	5,22	14,71	14,85
190	19,77	5,08	5,22	14,72	14,87
200	19,78	5,08	5,23	14,73	14,88
210	19,78	5,08	5,23	14,73	14,88
220	19,78	5,08	5,23	14,73	14,88
230	19,76	5,08	5,23	14,73	14,88
240	19,76	5,08	5,23	14,73	14,88
250	19,77	5,08	5,23	14,74	14,89
260	19,77	5,08	5,23	14,74	14,89

5.7.3 Результати експерименту з перевірки технічних характеристик МБПЗ при підключенні до мережі змінного струму, навантаження: +24В-0,7А, +5В-0А узагальнені в таблиці 5.7.3

Таблиця 5.7.3

Вихідна напруга, В Вхідна напруга,В	+24	+5	-5	+15	-15
165	!	!	!	!	!
180	!	!	!	!	!
190	!	!	!	!	!
200	!	!	!	!	!
210	!	!	!	!	!
220	!	!	!	!	!
230	!	!	!	!	!
240	!	!	!	!	!
250	!	!	!	!	!
260	!	!	!	!	!
Захист спрацьовує! Напруга 220В!					

5.7.4 Результати експерименту з перевірки технічних характеристик МБПЗ при підключенні до мережі змінного струму, навантаження: +24В-0,6А, +5В-0,5А зведені в таблицю 5.7.4

Таблиця 5.7.4

Вихідна напруга, В Вхідна напруга,В	+24	+5	-5	+15	-15
165	18,4	5,1	5,38	14,54	14,74
180	18,43	5,1	5,4	14,57	14,77
190	18,43	5,1	5,4	14,57	14,77
200	18,43	5,1	5,4	14,57	14,77
210	18,43	5,1	5,4	14,57	14,77
220	18,43	5,1	5,4	14,57	14,77
230	18,43	5,1	5,4	14,57	14,77
240	18,43	5,1	5,4	14,57	14,77
250	18,43	5,1	5,4	14,57	14,77
260	18,43	5,1	5,4	14,57	14,77

5.7.5 Результати експерименту з перевірки технічних характеристик МБПЗ при підключенні до мережі змінного струму, навантаження: +24В-0,7А, +5В-3А зведені в таблицю 5.7.5

Таблиця 5.7.5

Вихідна напруга, В Вхідна напруга,В	+24	+5	-5	+15	-15
165	23,7	5,1	5,94	16,04	16,22
180	23,7	5,1	5,96	16,07	16,24
190	23,8	5,1	5,97	16,08	16,27
200	23,8	5,1	5,97	16,08	16,27
210	23,8	5,1	5,97	16,08	16,27
220	23,8	5,1	5,97	16,08	16,27
230	23,8	5,1	5,97	16,08	16,27
240	23,8	5,1	5,98	16,1	16,28
250	23,8	5,1	5,98	16,1	16,28
260	23,8	5,1	5,98	16,1	16,28

5.7.6 Результати експерименту з перевірки технічних характеристик МБПЗ при підключенні до мережі змінного струму, навантаження: +24В-0,2А, +5В-1,5А узагальнені в таблиці 5.7.6.

Таблиця 5.7.6

Вихідна напруга, В Вхідна напруга,В	+24	+5	-5	+15	-15
165	22,9	5,12	5,32	15,8	15,91
180	22,9	5,13	5,32	15,81	15,92
190	22,9	5,13	5,32	15,81	15,92
200	22,9	5,13	5,32	15,81	15,92
210	22,9	5,13	5,32	15,81	15,92
220	22,9	5,13	5,33	15,82	15,93
230	22,9	5,13	5,33	15,82	15,93
240	22,9	5,13	5,33	15,82	15,93
250	22,9	5,13	5,33	15,82	15,93
260	22,9	5,13	5,33	15,82	15,93

5.7.7 Результати експерименту з перевірки технічних характеристик МБПЗ при підключенні до мережі змінного струму, рамки з вентилятором, зведені в таблицю 5.7.7

Таблиця 5.7.7

Вихідна напруга, В Модулі	+24	+5	-5	+15	-15	I
КАМ – 1шт М4А2 - 1шт	20,7	5,14	5,05	14,85	14,85	+24В = 0,2А +5В = 0,63А
КАМ - 1шт М4А2 - 2шт	21,9	5,13	5,16	15,35	15,41	+24В = 0,25А +5В = 1,08А
КАМ - 1шт М4А2 - 3шт	23,1	5,12	5,26	15,77	15,87	+24В = 0,3А +5В = 1,53А
КАМ - 1шт М4А2 - 4шт	24	5,08	5,31	16,04	16,18	+24В = 0,35А +5В = 1,98А
КАМ - 1шт М4А2 - 5шт	24,4	5,01	5,34	16,18	16,36	+24В = 0,4А +5В = 2,41А
КАМ - 1шт М4А2 - 6шт	25	4,88	5,23	16,46	16,65	+24В = 0,45А +5В = 2,84А
КАМ - 1шт М4А2 - 7шт	25,7	4,75	5,18	16,73	16,96	+24В = 0,5А +5В = 3,27А

5.7.8 Результати експерименту з перевірки технічних характеристик МБПЗ при підключенні до мережі змінного струму, рамки з вентилятором і АКБ зведені в таблицю 5.7.8

Таблиця 5.7.8

Вихідна напруга, В Модулі	+24	+5	-5	+15	-15	I
КАМ - 1шт М4А2 - 1шт	20,7	5,14	5,05	14,85	14,85	+24В = 0,2А +5В = 0,63А
АКК	21,2	5,14	5,01	14,69	14,65	
КАМ - 1шт М4А2 - 2шт	21,9	5,13	5,16	15,35	15,41	+24В = 0,25А +5В = 1,08А
АКК	22	5,13	5,09	14,98	15,02	
КАМ - 1шт М4А2 - 3шт	23,1	5,12	5,26	15,77	15,87	+24В = 0,3А +5В = 1,53
АКК	22,9	5,12	5,17	15,26	15,34	
КАМ - 1шт М4А2 - 4шт	24	5,08	5,31	16,04	16,18	+24В = 0,35А +5В = 1,98А
АКК	23,5	5,12	5,25	15,47	15,57	
КАМ - 1шт М4А2 - 5шт	24,4	5,01	5,34	16,18	16,36	+24В = 0,4А +5В = 2,41А
АКК	24,5	5,1	5,28	15,9	16,04	
КАМ - 1шт М4А2 - 6шт	25	4,88	5,23	16,46	16,65	+24В = 0,45А +5В = 2,84А
АКК	25,1	5,04	5,26	16,1	16,25	
КАМ - 1шт М4А2 - 7шт	25,7	4,75	5,18	16,73	16,96	+24В = 0,5А +5В = 3,27А
АКК	25,7	4,93	5,23	16,31	16,49	

5.7.9 Результати експерименту з перевірки технічних характеристик МБПЗ при підключенні до мережі змінного струму, рамки з вентилятором, при підвищеній температурі зведені в таблицю 5.7.9

Таблиця 5.7.9

Вихідна напруга, В Модулі	+24	+5	t°C КП	t°C Шкаф	Time	I
КАМ - 1шт ТУ - 3шт ДС - 3шт М4А2 - 1шт	21	5,14	19	21	0h	+24В = 0,3А +5В = 0,7А
КАМ - 1шт ТУ - 3шт ДС - 3шт М4А2 - 1шт	20,8	5,14	36	54	30m	+24В = 0,3А +5В = 0,7А
КАМ - 1шт ТУ - 3шт ДС - 3шт М4А2 - 1шт	20,8	5,15	58	60	1h	+24В = 0,3А +5В = 0,7А
КАМ - 1шт ТУ - 3шт ДС - 3шт М4А2 - 1шт	20,8	5,15	53	55	2h	+24В = 0,3А +5В = 0,7А
КАМ - 1шт ТУ - 3шт ДС - 3шт М4А2 - 1шт	20,8	5,15	56	55	3h	+24В = 0,3А +5В = 0,7А
КАМ - 1шт ТУ - 3шт ДС - 3шт М4А2 - 1шт	20,8	5,15	56	55	4h	+24В = 0,3А +5В = 0,7А
КАМ - 1шт М4А2 - 6шт	25,4	4,86	46	45	0h	+24В = 0,45А +5В = 2,84А
КАМ - 1шт М4А2 - 6шт	25.2	4.9	57	55	1h	+24В = 0,45А +5В = 2,84А

5.8 Висновки до розділу 5

Проектування електронних пристроїв не обходиться без розробки принципової схеми, а в подальшому і виготовленню друкованої плати цього пристрою. У даному розділі було поетапно розглянуто проектування принципової схеми та розробку друкованої плати. При розробці принципової схеми та друкованої плати ми використовували сучасне програмне забезпечення Altium Designer, яке дозволяє проектувати навіть багатошарові плати для складних схем. Необхідність друкованої плати обумовлена тим, що вона поєднує в собі компактність, надійність і можливість масштабного виробництва, що робить її ключовим елементом сучасної електроніки. Вона забезпечує високу якість, довговічність і легкість ремонту та обслуговування електронних пристроїв.

6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Впровадження інформаційних технологій в енергетику, промислові підприємства та комунальне господарство вимагає створення багатофункціональних інформаційно-керуючих систем (ІКС). Сучасні компоненти і засоби передачі інформації дозволяють інтегрувати в одну систему територіально розосереджені об'єкти на відстані від 100 кілометрів і більше від центрів управління.

Традиційно АСУ ТП поділяють на три основні класи: автоматизовані системи диспетчерського управління (АЦПД); автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії; реєстратори інформації про надзвичайні ситуації (РАІ). Функціональне навантаження на системи управління, висока вартість створення окремих каналів зв'язку для кожного класу систем, складність їх обслуговування сприяють уніфікації різних класів пристроїв і створенню багатофункціональних (інтегрованих) комплексів, в яких ці класи впроваджені як підсистеми. Поряд з очевидними перевагами створення інтегрованих інформаційно-керуючих систем виникають апаратні та програмні труднощі.

Проблематика.

Складність синтезу інтегрованих АСУ ТП можна звести до двох основних проблем: необхідності забезпечення високої достовірності інформації та оптимізації інтерфейсу між компонентами єдиної системи, особливо при інтеграції компонентів різних виробників.

Стан справ змінюється, особливо коли АСУ ТП працює в надзвичайних ситуаціях. В цьому випадку виникає небезпека впровадження «механічно» створених інтегрованих ІКС. Спотворена інтерпретація показника ефективності системи не враховує: - ймовірність спотворення даних і, як наслідок, відмови одержувача від обробки та реєстрації отриманих даних; - затримка між початковою і повторною передачею одного і того ж повідомлення в разі спотворення раніше переданого; - можливість спотворення при введенні інформації з датчиків;- імовірність спотворення даних в лінійних адаптерах та інших пристроях, включених в тракт

доставки інформації до приймача; - затримка початку передачі вже підготовленої інформації.

Ці проблеми також існують і в телемеханічному комплексі ГРАНІТ-МІКРО. Вони можуть бути викликані електричними перешкодами, які може створювати сам комплекс в процесі роботи.

Наприклад, в складі комплексу існує модуль введення дискретних сигналів і виведення керуючих команд MCU, він є невід'ємною частиною інформаційно-управлінського комплексу, він має в своєму складі реле, які живляться від постійної напруги 24 вольт. Це не єдиний модуль, який може давати перешкоди по ланці в 24 вольт.

Реле, особливо електромагнітні типи, можуть створювати електромагнітні поля, які в свою чергу можуть викликати електромагнітну інтерференцію (ЕМІ). Це може призвести до спотворення сигналів і роботи електроніки неправильно, та вплинути на інші модулі комплексу, які живляться від одного блоку живлення, хоча й від другої напруги, наприклад, 5 вольт. Також це може призвести до неправильної роботи операційних підсилювачів, які живляться від напруги +/-15 вольт.

Проблема полягає в тому, що ми не можемо використати декілька блоків живлення, а каркас комплексу ГРАНІТ-МІКРО стримує нас використовувати тільки один слот для плати блоку живлення, розмірами не більше 170x100x50 мм. На платі цих розмірів нам необхідно побудувати безперебійний блок живлення від 220 вольт змінного струму в 5 вольт, +15 вольт, -15 вольт (для живлення операційних підсилювачів) та 24 вольт, для живлення реле та виконавчих механізмів. При тому, 24 вольт повинні бути гальванічно розв'язані від інших джерел постійного струму, таких як 5 та +/-15 вольт.

Гальванічна розв'язка може допомогти уникнути передачі електромагнітних шумів та перешкод між різними частинами електричних систем. Використання гальванічної розв'язки допомагає забезпечити безпеку та надійність електричних систем, особливо у вимірах, де точність та стабільність сигналів є критичними. Безперебійний блок живлення з гальванічною ізоляцією вихідних напруг — це пристрій, який забезпечить стабільне живлення електричних пристроїв навіть у разі

виникнення перерв або флуктуацій у мережі живлення. Гальванічна ізоляція у такому ББЖ забезпечує фізичну відокремленість не тільки між вхідною та вихідною стороною пристрою, але і відокремленість між вихідними напругами, що нам і необхідно.

Завдяки використанню єдиного трансформатора для вихідних напруг, вдалося відмовитися від понижуючих DC-DC перетворювачів, для таких напруг як 5, 15, 24 вольт, що знизило собівартість та підвищило надійність модуля живлення.

Таблиця 6.1

Перелік компонентів МІБП-31	кількість шт	ціна	сума
Конденсатор C0805-X7R-63в-0,1мкф	14	0,15	2,1182
Конденсатор C0805-X7R-63в-3300пф	1	0,23	0,2268
Конденсатор C1206-NPO-63в-1000пф	4	1,00	4
Конденсатор C1206-NPO-63в-3300пф	1	1,80	1,8
Конденсатор C1206-NPO-63в-1мкф	4	1,80	7,2
Конденсатор BCC-336-20104/275-0,1мкф	2	2,92	5,84
Конденсатор 2кв-2200пф	5	3,20	16
Конденсатор Танатал C25v-10мкф	1	7,36	7,36
Конденсатор EXR 35v47мкф	11	1,90	20,9
Конденсатор EEUPC 8*11,5 35v100мкф	2	9,29	18,58
Конденсатор EHP 20*35 400v100мкф	1	81,59	81,59
Конденсатор EEU-EB1V471 35v470мкф	2	25,62	51,24
Резистор R-0805-100м	5	0,06	0,3
Резистор R-0805-1000м	3	0,06	0,18
Резистор R-0805-2200м	4	0,06	0,24
Резистор R-0805-5100м	1	0,06	0,06
Резистор R-0805-1кОм	7	0,06	0,42
Резистор R-0805-4,7кОм	6	0,06	0,36
Резистор R-0805-9,1кОм	1	0,06	0,06
Резистор R-0805-10кОм 1%	6	0,06	0,36
Резистор R-0805-22кОм	2	0,06	0,12
Резистор R-0805-30кОм	1	0,06	0,06

Резистор R-0805-47кОм	2	0,06	0,12
Резистор R-0805-100кОм	3	0,06	0,18
Резистор R-0805-22Ом	1	0,06	0,06
Резистор R-0805-1мОм	1	0,06	0,06
Резистор R-0805-2,2кОм 1%	2	0,06	0,12
Резистор R-1206-100м	2	0,15	0,3
Резистор R-1206-100Ом	2	0,15	0,3
Резистор R-1206-220Ом	2	0,15	0,3
Резистор R-1206-47кОм	2	0,15	0,3
Резистор R-1206-680кОм	2	0,15	0,3
Резистор CFR 0,125 -220м	1	0,255	0,255
Варістор 14D275K	1	7,15	7,15
Термістор NTC330м 1,3А	1	6,94	6,94
Стабілітрон TL431ILPso8	2	6,26	12,52
Оптрон TLP181so8	2	34,81	69,62
Светодіод L934 d3mm зелений	1	1,75	1,75
Светодіод L934 d3mm червоний	1	1,75	1,75
Светодіод L934 d3mm помаранчевий	1	1,75	1,75
Діод LL4148	9	1,2	10,8
Діод BYU26C	1	1,6	1,6
Діод DF10M	1	2,19	2,19
Діод MBR1060 TO220	1	47,65	47,65
Діод 1N5817	2	2,9	5,8
Діод 1N5819	4	3,1	12,4
Діод SK1100	2	2,32	4,64
Діод SK54 SMA	1	1,43	1,43
Стабілітрон BZV 55C5V6sod80	1	0,45	0,45
Стабілітрон BZV 55C11V6sod81	1	0,55	0,55
Стабілітрон BZV 55C15V6sod82 DOT41	2	1,58	3,16
Стабілітрон BZV 55C12V6sod83 DOT 41 1,3w	2	1,58	3,16
Стабілітрон BZV 55C10V6sod84	5	0,45	2,25
Стабілітрон BZV 55C51V6sod85	2	1,79	3,58
Сапресор P6KE200	1	10,85	10,85
Стабілітрон BZV 55C12V6sod83 DOT 41 1,3w	2	1,58	3,16
Стабілітрон BZV 55C10V6sod84	5	0,45	2,25
Стабілітрон BZV 55C51V6sod85	2	1,79	3,58
Сапресор P6KE200	1	10,85	10,85
Дросель UF10V4-802YS	1	26	26,00
Дросель P4-T10/6/4	1	0,95	0,95
Дросель кільце зелен	2	5,2	10,40
Транзистор BC847B	4	0,86	3,44
Транзистор BC857B	1	0,75	0,75
Транзистор IRF7807TR	5	55,4	277,00
TOP246 TO220	1	87,61	87,61
US3525dip16	1	88,56	88,56
Запобіжник ВПТ 1А скло	1	0,7	0,70
Запобіжник ВПТ 10А скло	1	1,75	1,75
Тримач запобіжника FH100	4	0,8	3,20
Феріт ETD2910-AL201 T0,5	2	7,89	15,78
Феріт ETD2910-AL201 6/з	2	6,64	13,28

Каркас ETD29 14 ніж.	1	19,2	19,20
Каркас ETD29 13 ніж.	1	14,53	14,53
Скоба ETD29	4	3,53	14,12
Вимикач SWR45	2	32,4	64,80
Клеми вимикача 4,8	8	2,65	21,20
Плата	1	251,9	251,90
монтаж елементів	1	300	300,00
налагодження	1	500	500,00
Загальна сума витрат			2470,44



Рис 6.1 Зовнішній вигляд ББЖ-3

Як бачимо, собівартість МБЖ 2470 гривень, при тому замовник отримує його за 5500 грн.

Найближчий конкурент МБЖ Siemens 6ES7307-1EA01-0AA0 коштує 12300 гривень. Має вихідні напруги 5 та 24 вольти, та окремий корпус (Рис 6.2).



Рис 6.3 БЖ Siemens 6ES7307-1EA01-0AA0

Перевага БЖ Siemens в окремому корпусі, що являє собою наслідками можливості масштабування АСУ ТП на базі Siemens, але ця перевага нівелюється завеликою ціною та відсутністю гальванічної розв'язки між напругами 5 та 24 вольт. Для конкурування було розроблено прототип ІУТК "Граніт-мікро" з розподіленою структурою розміщення модулів, та ББЖ в окремому корпусі (Рис 6.4). Але для порівняння ми не можемо його обирати, так як в продажу він не поступив.

Прототип "Граніт-мікро" з розподіленою структурою розміщення модулів.

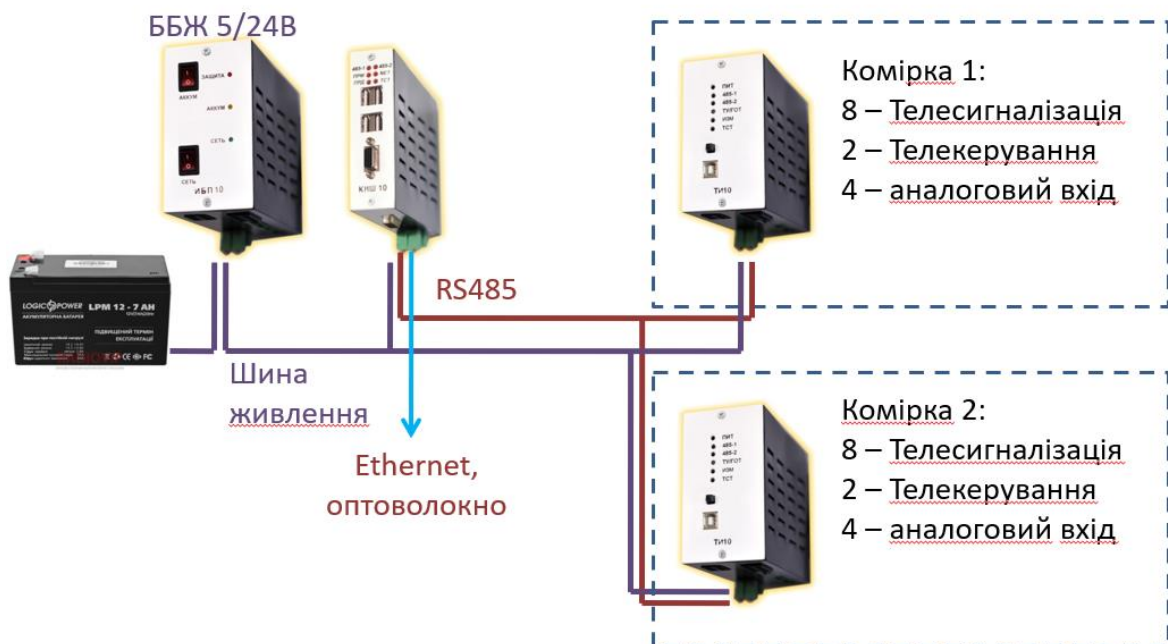


Рис 6.4 Прототип "Граніт-мікро" з розподіленою структурою розміщення модулів

6.1 Висновки до розділу 6

Розглядаючи якісні характеристики безперебійного блоку живлення (ББЖ) для АСУ ТП «Граніт-Мікро», не слід забувати про доцільність розробки в економічному плані. Була дана цінова оцінка ББЖ та його комплектуючих, та порівняна ціна готового виробу з конкурентом ББЖ Siemens. Досліджений нами ББЖ має перевагу в ціні перед конкурентами, а також перевагу в такій опції, як гальванічна розв'язка напруг живлення. Ще немаловажним аспектом є те, що виробництво нашого ББЖ знаходиться в Україні, що дає перевагу в швидкому сервісному обслуговуванні та ремонті, завдяки короткій логістиці, та відсутності мовного бар'єру.

ВИСНОВКИ

Розглядаючи об'єкт автоматизації, було прийняте рішення модернізувати систему живлення. Виходячи з виконаного аналізу об'єкту, технічне завдання на проектування ББЖ +5В +24В буде мати наступні вимоги:

1. Модуль повинен живитися від мережі 110 В і 230 В та від акумулятора 12 В.
2. Модуль повинен видавати напругу 5 В / 3 А, 15В / 0,1А та 24 В струмом 1 А.
3. Джерело 24 В має бути гальванічно розв'язане від джерела 5 та 15 В.
4. Відхилення напруги не повинно перевищувати 5% для 5 В і 10 % для 24 В.
6. Модуль повинен мати індикацію роботи від мережі та акумулятора.
7. Модуль повинен забезпечувати гальванічно розв'язаний телевізійний сигнал про перехід на батарею.
8. Модуль повинен бути розмірами 170 мм * 120 * 50 мм

При аналізі поставленої задачі ми визначились, що для побудови безперебійного блоку живлення з гальванічною розв'язкою, зручно буде використати два незалежні блоки живлення зібрані на загальній платі, та умовно поділити їх на ББЖ1(безперебійний блок живлення) та ББЖ2 . Перший блок повинен живитися від мережі змінного струму 230В, понижати напругу до 14.5В, живити другий блок зниженою напругою, та заряджати акумуляторну батарею. Це дасть нам змогу реалізувати гальванічну розв'язку на базі другого блоку живлення, та забезпечити безперебійну роботу другого блоку живлення, при зникненні мережевої напруги та відключенні першого блоку. Також, ми визначили оціночну потужність майбутнього блоку, що дало змогу обрати магнітні елементи для побудови трансформаторів обох блоків.

Була представлена методика розрахунку електричних і обмоткових параметрів імпульсного трансформатора ББЖ1, призначена для роботи в мережевих джерелах живлення, та виконана на базі мікросхеми серії TOPSwitch.

При розрахунку трансформатора використовувалися параметри сучасних магнітних матеріалів, зокрема, фериту N67 виробництва EPCOS. Це має ряд

переваг, головною з яких це наявність необхідних параметрів і характеристик як самого матеріалу, так і конкретних сердечників.

Досвід показує, що при виготовленні трансформаторів (особливо для великих вихідних струмів) в якості вторинного обмотувального дроту доцільно використовувати не літцендрат, а тонку стрічку. Це дозволяє «усереднити» імпеданс обмотки по всій ширині стрічки, в результаті чого на різних ділянках обмотки протікають рівні струми, що мінімізує скін-ефект; а також зменшити втрати в обмотці через сильну розбіжність магнітного поля на краях обмотки.

У даному розділі було розглянуто методику розрахунку імпульсного трансформатора push-pull для ББЖ2. Було обрано топологію push-pull, бо це проста схема для створення двополярної напруги (наприклад, +15V та -15V), що потрібно для операційних підсилювачів. Також у топології push-pull транзистори працюють поперемінно, забезпечуючи симетричний розподіл навантаження. Це зменшує теплові напруги в компонентах, підвищуючи їх надійність.

При розрахунку трансформатора ми також використовувалися параметри сучасних магнітних матеріалів, зокрема, фериту N67 виробництва EPCOS, як і для ББЖ1, але вже без зазору. Це дозволило нам використати той самий каркас ETD-29, що дозволило нам уніфікувати та зпростити виробництво.

Для ШІМ контролеру було обрано популярну МС SG3525, яка перевірена часом, має велику кількість схемних рішень, та доступна від різноманітних виробників.

Ми розглянули систему заряду/розряду акумулятора, де використали властивості дроселя при роботі в високочастотному струмі. Досвід показує, що дросель в високочастотному струмі працює як опір, та як провідник в постійному струмі. Це дозволило нам спростити схему заряду/розряду акумуляторної батареї, та зробити переключення на живлення від АКБ швидким, та без використання реле. Проектування електронних пристроїв не обходиться без розробки принципової схеми, а в подальшому і виготовленню друкованої плати цього пристрою. У даному розділі було поетапно розглянуто проектування принципової схеми та розробку друкованої плати. При розробці принципової схеми та друкованої плати ми

використовували сучасне програмне забезпечення Altium Designer, яке дозволяє проектувати навіть багатошарові плати для складних схем. Необхідність друкованої плати обумовлена тим, що вона поєднує в собі компактність, надійність і можливість масштабного виробництва, що робить її ключовим елементом сучасної електроніки. Вона забезпечує високу якість, довговічність і легкість ремонту та обслуговування електронних пристроїв.

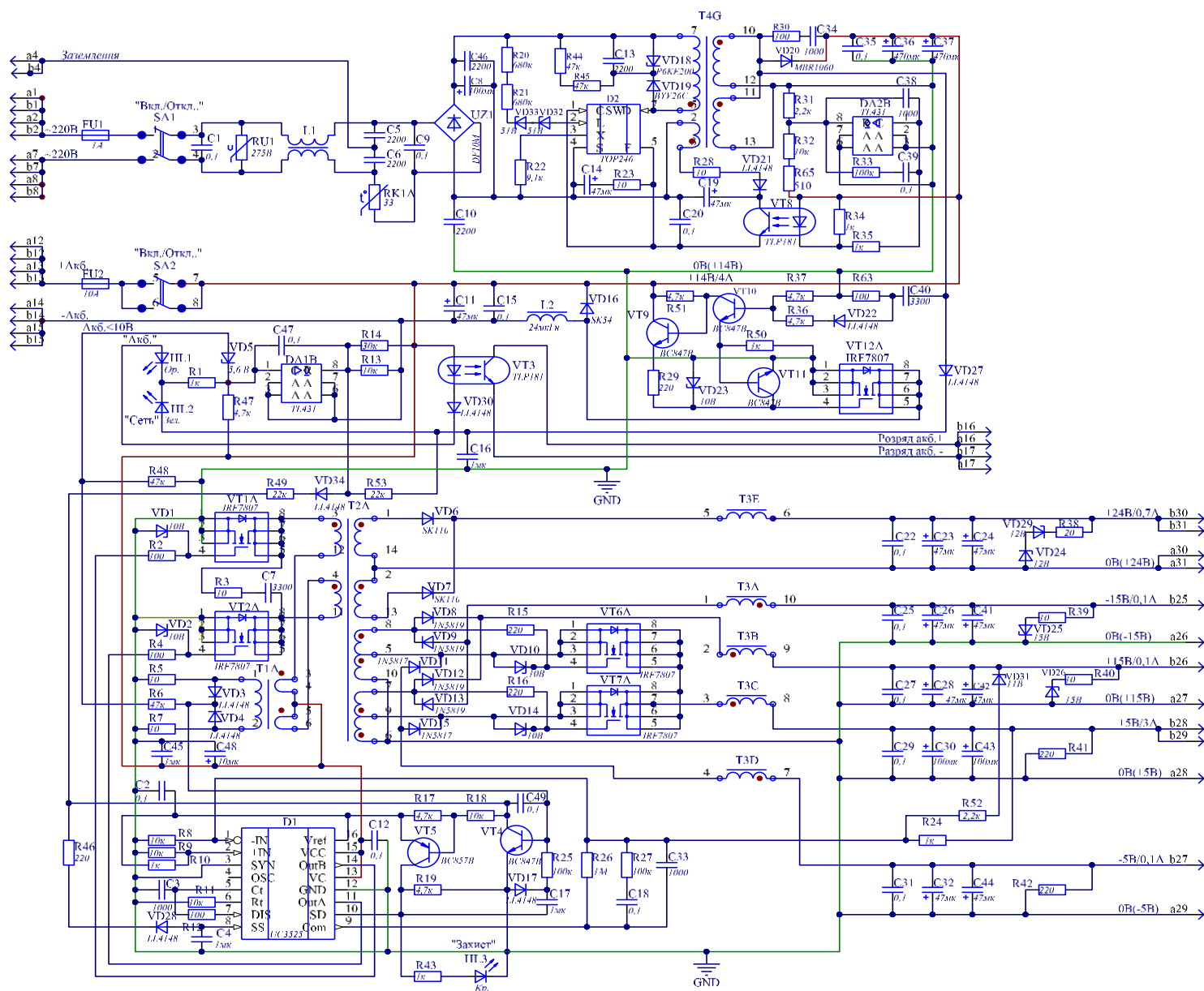
Розглядаючи якісні характеристики безперебійного блоку живлення (ББЖ) для АСУ ТП «Граніт-Мікро», не слід забувати про доцільність розробки в економічному плані. Була дана цінова оцінка ББЖ та його комплектуючих, та порівняна ціна готового виробу з конкурентом ББЖ Siemens. Досліджений нами ББЖ має перевагу в ціні перед конкурентами, а також перевагу в такій опції, як гальванічна розв'язка напруг живлення. Ще немаловажним аспектом є те, що виробництво нашого ББЖ знаходиться в Україні, що дає перевагу в швидкому сервісному обслуговуванні та ремонті, завдяки короткій логістиці, та відсутності мовного бар'єру.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Марти Браун. Джерела живлення. Розрахунок і проектування. «МК-Пресс» Київ, 2007. - 288с.
2. Раймонд Мэк. Імпульсні блоки живлення. Теоретичні основи проектування та керівництво для практичного застосування. Додэка ХХІ. 2008 г. 274 с.]
3. Б.Ю. Семенов. Силовая електроніка: від простого до складного. М.: СОЛОН-Пресс. 2005. - 416с.
4. Switchmode power supplies. Reference manual and design guide. ON semiconductor. 2000. - 65p.
5. Flyback transformer design for TOPSwitch® power supplies. Power Intergations. 1996. - 12p.
6. Switchmode power supplies. Reference manual and design guide. ON semiconductor. 2000. 65p. 3. TOP252-261 TOPSwitch-HX Family. Power Intergations, 2008. - 48p.
7. Flyback transformer design for TOPSwitch® power supplies. Power Intergations. 1996. - 12p.
8. TOPSwitch Tips, Techniques, and Trou- bleshooting Guide. Power Intergations. 1996. - 28p.
9. Ferrites and accessories. Materials. EPCOS AG. 2006. 77p. 7. 3C90 Material specification. Ferroxcube. 2004. - 4p.
10. TOPSwitch flyback transformer construction guide. Power Intergations, 1996. - 32p.
11. Lloyd H., Dixon Jr. Widdy current losses in transformer. Winding and circuit wiring. Texas Instruments. 2003. - 13p.
12. Зоммерфельд А. Електродинаміка: Пер. с нем. С.А.Элькінда. М.: Вид-во инземна. літ. 1958. - 505с.
13. TOPSwitch-II flyback quick selection curves. Power Intergations. 1998. - 8p.
14. Inductor and fly-back. Transformer design. Texas Instruments. 2001. - 20p.
15. STPS1045D/F/FP Power schottky rectifier. ST-Microelectronics. 2003. - 6p.
16. TOPSwitch-II flyback quick design metodology. Power Intergations. 1996. - 32p.
17. Ferrites and accessories. ETD 29/16/10. Core and accessories. 2006. - 7 p.
18. Dokic B.L., Blanusa B. Power Electronics: Converters and Regulators. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London, 2015. XVIII, 598 p. - 290 с.
19. <https://promex.com.ua/kontakty> Copyright 2017 Promex.

ДОДАТКИ

Додаток 1. Схема електрична принципова.



Додаток 2. Картка замовлення друкованої плати.

від «01. 02. 2024»

Інформація о Замовник, платник	Компанія/Клієнт	ПП АЕС "Промекс"
	Місто	Житомир
	Контактний номер телефону	48-25-47 48-25-48
	Розробник / Технічні питання	Войтенко О.В. 0683993944
	Платника	НВП Промекс
Тел./факс. Платника		
Код дошки (десятковий номер дошки) (повинен відповідати напису на табло і в накладній)		АЛД 7.106.063 о6.05 МІБПЗ1
Файлу		CAM_PCB_MIPB31_7_106_063_r05
Кількість		1
Термін виготовлення (кількість робочих днів після угоди про запуск)		14
Формат вихідного файлу		Gerber
Клас дошки		
Плата		160*100мм
Захисна маска		Так
Тип покриття (HAL Sn Pb, хім. Пн)		
Маркування фарби (немає, 1 або 2)		2
Кількість шарів		2
Матеріал	Тип, товщина	
	Товщина фольги	35 мкм
	Товщина готової дошки (FPM)	1,5 мм
Мінімальна ширина провідника		0,2 мм
Мінімальний кліренс		0,2 мм
Требов. до групи. Заготовки і контурна обрізка		
Назви використовува них шарів	Сторона монтажу провідників	Top layer
	-внутрішній шар 2	
	-внутрішній шар 3	
	Сторона пайки провідників	Bottom layer
	Свер. металліз. отвори.	Drill Drawing
	Свер. нерудні. Отвори.	
	Захисна маска з бік установки	Top Solder
	Захисна маска з бік пайки	Bottom Solder
	Маркування бік установки	Top Overlay
	Маркування сторони пайки	Bottom Overlay
	додаткове покриття (струмопровідна паста і т.д.) з боку установки	
	додаткове покриття (струмопровідна паста і т.д.) паяльної сторони	
	Трафарет для паяльної паста з боку установки	
	Електроконтроль	так
	Контур дошки з розмірами (прорізи, вікна, zenkери і т.д.)	Mechanical layer4
	Тип покриття	Золото
	видалити незадіяні ламелі	так

Додаток 3. Перелік компонентів ББЖЗ.

Перелік компонентів МІБП-31	кількість	Перелік компонентів МІБП-31	кількість
Конденсатор C0805-X7R-63в-0,1мкф	14	Діод SK1100	2
Конденсатор C0805-X7R-63в-3300пф	1	Діод SK54 SMA	1
Конденсатор C1206-NPO-63в-1000пф	4	Стабілітрон BZV 55C5V6sod80	1
Конденсатор C1206-NPO-63в-3300пф	1	Стабілітрон BZV 55C11Vsod81	1
Конденсатор C1206-NPO-63в-1мкф	4	Стабілітрон BZV 55C15V6sod82 DOT41	2
Конденсатор BCC-336-20104/275-0,1мкф	2	Стабілітрон BZV 55C12V6sod83 DOT 41 1,3w	2
Конденсатор 2кв-2200пф	5	Стабілітрон BZV 55C10V6sod84	5
Конденсатор Танатал C25v-10мкф	1	Стабілітрон BZV 55C51V6sod85	2
Конденсатор EXR 35v47мкф	11	Сапресор P6KE200	1
Конденсатор EEUPC 8*11,5 35v100мкф	2	Дросель UF10V4-802YS	1
Конденсатор EHP 20*35 400v100мкф	1	Дросель P4-T10/6/4	1
Конденсатор EEU-EB1V471 35v470мкф	2	Дросель кільце зелен	2
Резистор R-0805-100Ом	5	Транзистор BC847B	4
Резистор R-0805-100Ом	3	Транзистор BC857B	1
Резистор R-0805-220Ом	4	Транзистор IRF7807TR	5
Резистор R-0805-510Ом	1	TOP246 TO220	1
Резистор R-0805-1кОм	7	US3525dip16	1
Резистор R-0805-4,7кОм	6	Запобіжник ВПТ 1А скло	1
Резистор R-0805-9,1кОм	1	Запобіжник ВПТ 10А скло	1
Резистор R-0805-10кОм 1%	6	Тримач запобіжника FH100	4
Резистор R-0805-22кОм	2	Феріт ETD2910-AL201 T0,5	2
Резистор R-0805-30кОм	1	Феріт ETD2910-AL201 6/з	2
Резистор R-0805-47кОм	2	Каркас ETD29 14 ніж.	1
Резистор R-0805-100кОм	3	Каркас ETD29 13 ніж.	1
Резистор R-0805-220Ом	1	Скоба ETD29	4
Резистор R-0805-1мОм	1	Вимикач SWR45	2
Резистор R-0805-2,2кОм 1%	2	Клеми вимикача 4,8	8
Резистор R-1206-100Ом	2	Плата	1
Резистор R-1206-100Ом	2	Загальна кількість елементів ББЖЗ	191
Резистор R-1206-220Ом	2		
Резистор R-1206-47кОм	2		
Резистор R-1206-680кОм	2		
Резистор CFR 0,125 -220М	1		
Варістор 14D275K	1		
Термістор NTC330М 1,3А	1		
Стабілітрон TL431ILPso8	2		
Оптрон TLP181so8	2		
Светодіод L934 d3mm зелений	1		
Светодіод L934 d3mm червоний	1		
Светодіод L934 d3mm помаранчевий	1		
Діод LL4148	9		
Діод ВYU26C	1		
Діод DF10M	1		
Діод MBR1060 TO220	1		
Діод 1N5817	2		
Діод 1N5819	4		
Діод SK1100	2		