

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розробка конструкції імпульсного блока живлення
з покращеними метрологічними характеристиками

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи РВс-41

спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-

вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

Коваль Б.А.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Зелінський І.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Апостол Ю.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Паламар М.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Приладів і контрольно-вимірювальних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Паламар М.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«29» травня 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 152 Метрологія і інформаційно-вимірювальна техніка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Ковалю Богдану Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка конструкції імпульсного блока живлення з покращеними метрологічними характеристиками

Керівник роботи Зелінський Ігор Микитович, к.ф.-м.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 29 » 05 2023 року № 4/7-578

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20.06.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Напруга живлення: $(220 \pm 10\%)$ В, частота $(50 \pm 5\%)$ Гц, діапазон регулювання напруги 0-30 В; діапазон регулювання струму 0-10 А; номінальна потужність 300 Вт; струм захисту 10,5 А; частота перетворення 50 кГц; напруга пульсацій 10 мВ; коефіцієнт корисної дії 88%.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз технічного завдання; вибір структури блока живлення; вибір функціональної схеми блока живлення; проектування схемо технічне; розрахунки вузлів схеми електричної; вибір компонентів; аналіз роботи ШІМ-контролера; конструювання друкованої плати блока живлення; компоновання та конструкція вузла блока живлення

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

1. Структурна схема;

2. Функціональна схема;

2. Схема електрична принципова;

3. Друкована плата;

4. Друкований вузол.

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Розробка конструкції імпульсного блока живлення з покращеними метрологічними характеристиками». Кваліфікаційна робота бакалавра // ТНТУ імені Івана Пулюя, гр. РВс-41. // Тернопіль, 2023р. //с.- , рис.- , бібліог.- , додат.- 3.

Ключові слова: КОНСРУКЦІЯ, БЛОК ЖИВЛЕННЯ, МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

В роботі розроблено конструкцію блока живлення, який може використовуватись для налагодження та проектування лабораторних макетів та інших низьковольтних пристроїв. Блок живлення побудовано на основі імпульсних кіл, зокрема на основі драйвера TL494. Також введено кола плавного запуску. Проведено розробку структури, функціональної та електричної схеми. Проведено розрахунки силових кіл, вибір компонентів та розроблено плату та конструкцію вузла блоку.

SUMMARY

Theme of qualification work : Design development of a pulsed power supply unit with improved metrological characteristics // TNTU, FPT, group RVs-41. // Ternopil, 2023 //p.- , fig.- , bibliog.- , appendix- .

Key words: CONSTRUCTION, POWER UNIT, METROLOGICAL CHARACTERISTICS.

In the work, the design of the power supply unit was developed, which can be used for debugging and designing laboratory models and other low-voltage devices. The power supply is built on the basis of pulse circuits, in particular on the basis of the TL494 driver. Soft start circuits have also been introduced. The development of the structure, functional and electrical scheme was carried out. Calculations of power circuits, selection of components, and development of the circuit board and construction of the block assembly were carried out.

Зміст

Вступ.....	
1 Основна частина	
1.1 Завдання на роботу	
1.2 Вибір структури ЛБЖ	
1.3 Вибір функціональної схеми ЛБЖ.....	
1.4 Проектування схемо технічне.....	
1.5 Розрахунки вузлів схеми електричної.....	
1.6 Вибір компонентів.....	
1.7 Аналіз роботи ШІМ-контролера.....	
1.8 Конструювання друкованої плати ЛБЖ.....	
1.9 Компонування та конструкція вузла ЛБЖ.....	
2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.....	
2.1 Особливості електротравматизму, електричний струм, як чинник небезпеки.....	
2.2. Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок.....	
Висновки.....	
Перелік використаних джерел.....	
Додатки	

					КБА 2.899.001 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Коваль Б.А.</i>			Зміст	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Консулт.</i>		<i>Зелінський І.М.</i>					1	
<i>Реценз.</i>		<i>Дозорський В.Г.</i>				ФПТ, гр. РВс-41		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Апостол Ю.О.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Паламар М.І.</i>						

Вступ

Актуальність роботи. Регульовані джерела живлення використовують та вдало поєднують інженерні методи, що є результатом останніх досягнень у багатьох напрямках, таких як низькорівневі, високопотужні та широкосмугові методи підсилення; операційні підсилювачі і принципи зворотного зв'язку; імпульсні кола і досягнення технологій твердотільних компонентів, що постійно удосконалюються.

Усі переваги інженерних розробок, використаних у сучасному регульованому джерелі живлення, неможливо реалізувати, якщо не використовується універсальність і висока продуктивність та усі додаткові функції. Окремим типом блоків живлення є лабораторні блоки. Для проведення лабораторних робіт, досліджень і випробувань приладів необхідне джерело живлення. Вимоги до джерел вторинного живлення, пред'являються дуже високі. Особливо до таких параметрів, як коефіцієнти пульсації і стабілізації. Так само обов'язковий всілякий захист, як самого джерела так і навантаження. Сучасний лабораторний блок живлення повинен мати можливість ручного регулювання струму навантаження і напруги на ньому. Спосіб підвищення надійності в таких перетворювачах забезпечуються різними пристроями захисту: тепловим захистом від підвищення температури силових ключів перетворювача, струмовим захистом від перевищення струму в силових ключах та навантаженні, захистом від підвищення або пониження напруги живлення силової мережі, захистом від заколючування виходу. Всі ці ланки захисту ускладнюють перетворювач, але роблять його більш надійним.

В роботі проводиться розробка конструкції імпульсного блока живлення із покращеними метрологічними характеристиками, який призначений для живлення різноманітних макетів, вузлів на етапі прототипування тощо.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Практичне значення. Результати проектування можна застосувати при розробленні та серійному виробництві блоків живлення з покращеними метрологічними характеристиками.

					КБА 2.899.001 ПЗ	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		

1 Основна частина

1.1 Завдання на роботу

Відповідно до технічного завдання необхідно розробити конструкцію імпульсного блока живлення з покращеними метрологічними характеристиками. При цьому проектується конструкція лабораторного блока живлення (ЛБЖ), який призначений для живлення лабораторних макетів та інших низьковольтних пристроїв. У цьому пристрої повинні бути передбачені регулювання струму і напруги, обмеження щодо перевищення напруги, захист по струму. Розроблювальний блок живлення повинен повністю задовольняти технічне завдання.

Важливими пунктами технічного завдання є:

- діапазон регулювання напруги, В 0...30;
- діапазон регулювання струму, А 0...10;
- номінальна потужність, Вт 300;
- струм захисту, А 10,5;
- частота перетворення, кГц 50;
- напруга пульсацій, мВ 10;
- коефіцієнт корисної дії, % 88.

Під час включення ЛБЖ короткочасно споживається великий струм. Причиною цього є те, що в момент включення джерела живлення конденсатори фільтрів розряджені, сигнали зворотних зв'язків відсутні. Дія зворотного зв'язку призводить до того, що потужність на колекторних переходах може перевищити допустиму. Тому для забезпечення поступового «входження» перетворювача в режим нормальної стабілізації, необхідно обмежувати струм транзисторів в момент пуску, тому однією із основних вимог технічного завдання є реалізація режиму «повільного пуску».

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

1.2 Вибір структури ЛБЖ

Існує кілька основних типів джерел живлення [1]:

1. Лінійні джерела живлення з лінійними стабілізаторами постійної напруги з безперервним регулюванням. Вони володіють хорошими технічними характеристиками, але низьким коефіцієнтом корисної дії.

2. Імпульсні джерела живлення з нерегульованими DC-DC перетворювачами. Володіють низькою масою та розмірами та включають гальванічну ізоляцію між входом і виходом, але не стабілізують вихідну напругу і в ній присутні високочастотні пульсації.

3. Імпульсні джерела живлення з регульованими перетворювачами постійної напруги в постійну напругу. Володіють низькою масою та розмірами та включають гальванічну ізоляцію між входом і виходом, стабілізують вихідну напругу, але в ній присутні високочастотні пульсації.

Вхідна напруга джерел живлення характеризується номінальним значенням $U_{a.ном}$ і допустимим діапазоном його зміни від $U_{a.мін}$ до $U_{a.макс}$. Вихідна напруга характеризується діапазоном регулювання. Якість вихідної напруги оцінюється не тільки діапазоном регулювання, але й пульсаціями. Основними енергетичними показниками джерел є сумарна потужність, що віддається в навантаження, і коефіцієнт корисної дії. Також важливі габарити і маса.

Джерела 1-го типу мають низькі енергетичні показники. Тому даний тип джерел не підходить для побудови даного ІБЖ.

Джерела 2-го типу володіють високими енергетичними показниками, але не включають в себе гальванічної розв'язки. Тому цей тип теж не підходить для побудови заданого ІБЖ.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Джерела третього типу володіють високими енергетичними показниками, але не стабілізують вихідну напругу, а це не дає можливості їх застосувати для побудови даного ІБЖ.

Джерела 4-го типу підходять для побудови даного ІБЖ, будучи імпульсними перетворювачами електричної енергії. Перетворювач володіє багатоступеневою структурою, тобто представляє собою каскадне з'єднання різних простих вузлів: випрямлячів, перетворювача, фільтрів тощо.

Перетворювачі імпульсних блоків живлення (ІБП) підрозділяються на однокітні і двокітні. Однокітні перетворювачі ІБЖ є найбільш простими і використовуються для побудови джерел живлення з потужністю навантаження зазвичай не більше 100 Вт [1]. З цієї причини дані перетворювачі ІБЖ не бажані для побудови заданого перетворювача і тому в наступних розділах пояснювальної записки розглядатися не будуть. Надалі будемо розглядати тільки двокітні перетворювачі ІБЖ.

В даний час широкого поширення набули регульовані стабілізовані перетворювачі постійної напруги, що використовують для стабілізації вихідної напруги частотно-імпульсну або широтно-імпульсну модуляцію. У зв'язку з вдосконаленням потужних силових елементів все ширше використовуються резонансні перетворювачі напруги. Але так як перетворювачі, що використовують послідовний резонанс, мають більш вузький діапазон регулювання, ніж перетворювачі с ШІМ, то перетворювачі, побудовані на їх базі, не будуть відповідати умовам технічного завдання.

Двокітні перетворювачі поділяються на схему з нульовим виводом (push-pull), півмостову (half-bridge) і мостову (full-bridge). Двокітні ІБЖ з нульовим виводом використовують для побудови перетворювачів з низькою вхідною напругою (менше 100 В) і при потужності навантаження до 500 Вт. Півмостові ІБЖ використовують при високій вхідній напрузі і вихідній потужності менше 1 кВт, що відповідає даним технічного завдання. Мостові

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

ІБЖ використовують в тих же випадках, що і півмостові, але при вихідній потужності понад 1 кВт [2].

Тому візьмемо за основу ІБЖ мостовий перетворювач. Перетворювач зі стабілізацією вихідної напруги найбільш повно задовольняє вимогам технічного завдання як з технічної, так і з економічної точки зору.

Для схеми живлення індикації використовуємо двохпівперіодний випрямляч, який буде живити АЦП і цифрові індикатори.

На підставі вище викладеного приймаємо рішення про побудову необхідного стабілізованого перетворювача ІБЖ по мостовій схемі. В результаті отримуємо структурну схему ЛБЖ, показану на рисунку 1.1.

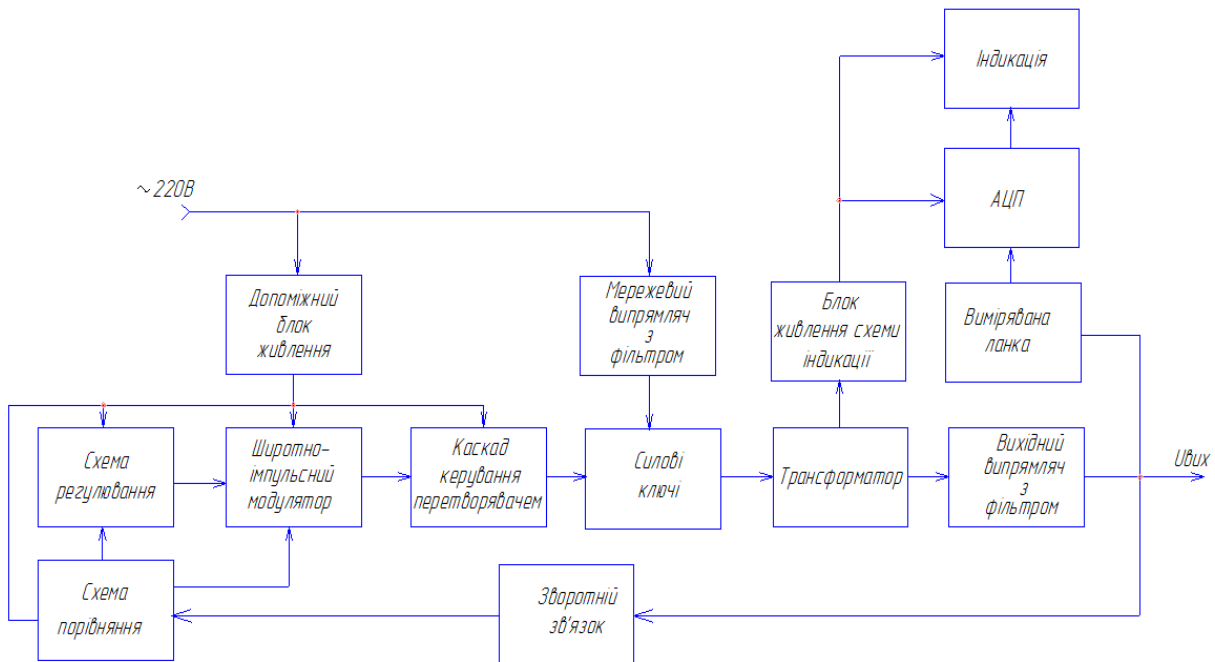


Рисунок 1.1 – Схема структурна імпульсного ЛБЖ

1.3 Вибір функціональної схеми ЛБЖ

На підставі вибраної структурної схеми проведемо вибір необхідної функціональної схеми ЛБЖ. Для цього необхідно проаналізувати блоки структурної схеми і ввести в них відсутні частини відповідно до технічного завдання.

Для захисту силових елементів перетворювача від перевантаження або короткого замикання на виході ІБЖ по струму необхідно ввести пристрій захисту. Датчик струму в імпульсних перетворювачах зазвичай ставлять в первинному колі живлення силового трансформатора. При роботі ІБЖ імпульси струму через силовий трансформатор і ключові транзистори досягають одиниць ампер і тому в якості датчика струму використовується струмовий трансформатор, а не резистор, зважаючи на великі енергетичні втрати в останньому. Для отримання гальванічної ізоляції ІБЖ необхідно або в ланку зворотного зв'язку поставити поділяючий трансформатор чи оптопари, а всі елементи, гальванічно з'єднані з мережею, слід ізолювати від задаючого генератора шляхом використання трансформаторів. Для запуску ЛБЖ необхідно передбачити або схему запуску, або окреме допоміжне джерело живлення. Відповідно до вище викладеного, схема ЛБЖ з широтно-імпульсним стабілізатором повинна мати кілька входів управління:

- від дільника напруги,
- від пристрою захисту по струму,
- від допоміжного джерела живлення.

Для схеми індикації використовуємо двохпівперіодний випрямляч, двохполярну стабілізацію для живлення АЦП і індикаторів, а також для зняття показів вихідної напруги і струму потрібно з проектувати вимірювану ланку.

На підставі перелічених вимог синтезуємо функціональну схему ІБЖ, яка зображена на рисунку 1.2.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

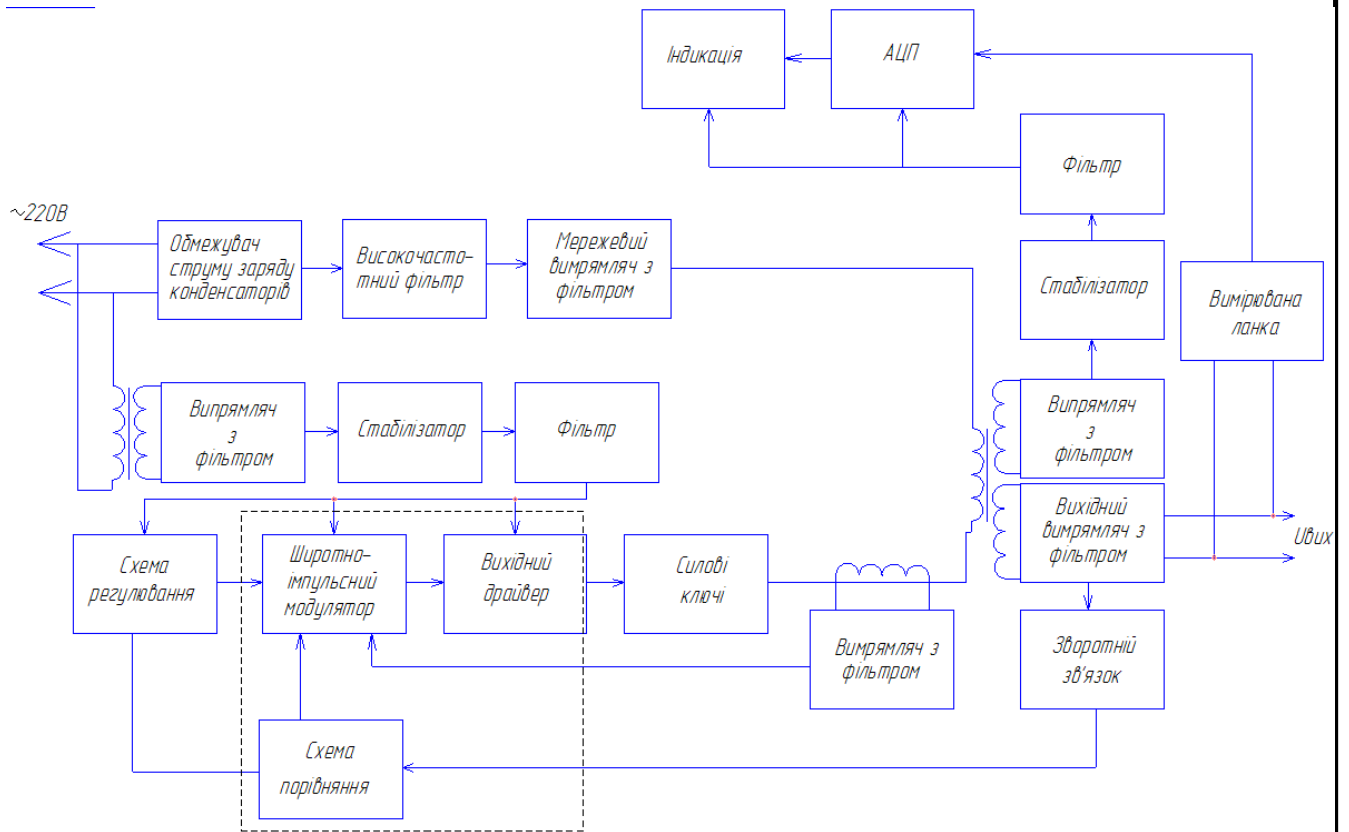


Рисунок 1.2 – Схема електрична функціональна ЛБЖ

1.4 Проектування схемотехнічне

Схема електрична проектованого ІБЖ представлена в графічній частині роботи.

На ємності С2 виконується функція плавного запуску, важливість якої була описана вище. Через опір R1, ключ VT2 та діод VD2 ця ємність розряджається. Захист виконаний на елементах VT1, VT2. Після відкриття VT1 починає відкриватись VT2, шунтуючи конденсатор С2. Лише після відключення живлення відмикається захист. Оскільки ємність силових транзисторів є досить великою, для їхнього керування використано додаткові вузли на ключах VT3, VT5, VT7 і VT4, VT6, VT8. Для коректного перемикавання транзисторів VT5, VT7 використано опір R22, який захищає ці транзистори. На опорах R29, R30 та конденсаторах ключів VT9, VT10

виконано ФНЧ. Ці ж функції виконують елементи R33, R34, C25, C26, VD8-VD10.

Тренсформатор TV2 керується ключами VT9, VT10. Зворотний зв'язок реалізується з допомогою вихнієї напруги третьої обмотки трансформатора та елемента DA1. Елементи R7 R8 забезпечують регулювання вихідних значень ЛБЖ. Частотозадаючими елементами драйвера DA1 є опір R11 та ємність C15.

Вхідними колами живлення блока є елементи C17, L1, C18, VD5, C20-C23. Резистор R28 розряджає конденсатор фільтра при вимкненому перетворювачі. На компонентах T1, VD2, C5, C15, C16 DA3 виконано коло стабілізованого живлення драйвера та відповідних силових ключів VT3-VT8.

Вузли живлення індикації ЛБЖ складаються з трансформатора T1, випрямляча VD1, зраджуваного фільтра C3, C4.

Оскільки мікросхема DA5 має двох полярне живлення то для стабілізації напруг різної полярності використовують стабілізатори DA1, DA2.

Перемикачі SB1.1, SB1.2 призначені для перемикання вимірювання напруги і струму.

Резистор R26 призначений для виставлення напруги 1В на тридцять шостому виводі мікросхеми індикації для живлення індикаторів HL1-HL3. Резистор R14 виконує роль шунта з якого знімається значення вихідного струму, резистор R16 призначений для виставлення значення струму на індикаторі.

1.5 Розрахунки вузлів схеми електричної

Вказаний ЛБЖ призначений для забезпечення функціонування низьковольтних лабораторних макетів. Отже, особливість силового імпульсного трансформатора в даному ЛБЖ полягає в тому, що майже весь струм навантаження буде протікати або по одній вторинній півобмотці, або по іншій. У якості моделі трансформатора приймаємо трансформатор з двома

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

вторинними обмотками, з'єднаними послідовно. Для проведення розрахунку використовуємо методику [3], дороблену з урахуванням високої частоти перетворення.

Згідно з технічним завданням, первинним джерелом живлення для ІБЖ є мережа зі змінною напругою 220 В (+15% -20%) і частотою 50 Гц. Можна прийняти, що мінімальною напругою живлення ІБЖ ($U_{м.мін}$) буде напруга 176 В:

$$U_{м.мін} = 220 - 220 \cdot 0,20 = 176 \text{ (В)},$$

а максимальною напругою живлення ІБЖ ($U_{м.макс}$) буде напруга 253 В:

$$U_{м.макс} = 220 + 220 \cdot 0,15 = 253 \text{ (В)}.$$

Значить, мінімальна постійна напруга, яку прикладають до перетворювача ІБЖ, складе 249 В:

$$U_{п.мін} = 176 \cdot \sqrt{2} = 249 \text{ (В)}.$$

Номінальна постійна напруга, яку прикладають до перетворювача ІБЖ, становить 311В:

$$U_{п.ном} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311 \text{ (В)}.$$

Максимальна постійна напруга становить 357 В:

$$U_{п.макс} = 253 \cdot \sqrt{2} = 357 \text{ (В)}.$$

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Згідно з технічним завданням, частота переключення транзисторів складає 50 кГц, потужність навантаження ЛБЖ дорівнює 300 Вт. З огляду на те, що можливий дрейф частоти перетворення до ± 5 кГц, приймаємо частоту перетворення не 50 кГц, а 45 кГц. Якщо цього не зробити, то флуктуації частоти при максимальній віддаваній ЛБЖ потужності може привести до насичення магнітопроводу трансформатора і не працювати ЛБЖ.

Вихідна напруга ЛБЖ регулюється в межах 0...30В, а струм обмеження регулюється в межах 0...10. Щоб це забезпечити, необхідно досягти амплітуди імпульсів на кожній вихідній півобмотці трансформатора ($U_{н.1.ампл}$ і $U_{н.2.ампл}$) в 40 В і амплітуди струмів навантаження ($I_{н.1.ампл}$ і $I_{н.2.ампл}$) в 10,05 А (враховуємо, що 50 мА може споживати вихідний фільтр, ланка індикації). Для зниження втрат на скін-ефект в обмотках вибираємо восьмидесятижильний провід-літцендрат марки ЛЕШО.

Визначаємо мінімальний і максимальний коефіцієнти заповнення імпульсів ($\gamma_{мін}$) і ($\gamma_{макс}$) відповідно. Максимальне значення коефіцієнта заповнення імпульсів доцільно визначати з умови, коли вхідна напруга є мінімальною. Мінімальне значення коефіцієнта заповнення імпульсів відповідно, буде навпаки – при максимальній вхідній напрузі. В результаті отримаємо

$$\gamma_{мін} = \frac{(U_{п.макс} - U_{п.мін}) \cdot U_{п.мін}}{(U_{п.макс}^2 - U_{п.мін}^2)}, \quad (1.1)$$

$$\gamma_{макс} = \frac{(U_{п.макс} - U_{п.мін}) \cdot (U_{п.макс})}{(U_{п.макс}^2 - U_{п.мін}^2)}, \quad (1.2)$$

Підставляючи значення $U_{п.макс}$ і $U_{п.мін}$ отримаємо:

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$\gamma_{\text{мін}} = \frac{(357 - 249) \cdot 249}{(357^2 - 249^2)} = 0,41,$$

$$\gamma_{\text{макс}} = \frac{(357 - 249) \cdot 357}{(357^2 - 249^2)} = 0,59.$$

В якості магнітопроводу силового імпульсного трансформатора використовуємо кільце з фериту марки FT-240 типорозміром К61×36×14. З урахуванням флуктуації магнітних параметрів у зв'язку зі зміною температури, а також старінням матеріалу магнітопроводу, приймаємо магнітну проникність ($\mu_{\text{еф}}$) в 1800 і ефективну індукцію $B_{\text{еф}}$ в 0,1 Тл.

Знаходимо площу січення магнітопроводу (S_c) у квадратних сантиметрах:

$$S_c = \frac{(A_{\text{зовн}} - B_{\text{внутр}}) \cdot C}{2} \cdot 0,01, \quad (1.3)$$

де $A_{\text{зовн}}$ – зовнішній діаметр магнітопроводу, мм;

$B_{\text{внутр}}$ – внутрішній діаметр магнітопроводу, мм;

C – висота магнітопроводу, мм.

$$S_c = \frac{(61 - 36) \cdot 14}{2} \cdot 0,01 = 1,75 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Знаходимо площу вікна магнітопроводу (S_o) у квадратних сантиметрах:

$$S_o = \frac{\pi \cdot B_{\text{внутр}}^2}{4} \cdot 0,01, \quad (1.4)$$

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$S_o = \frac{\pi \cdot 36^2}{4} \cdot 0,01 = 10,17 \text{ (см}^2\text{)} .$$

Знаходимо довжину середньої лінії магнітопроводу ($L_{\text{ср.л}}$) в сантиметрах:

$$L_{\text{ср.л}} = \frac{\pi \cdot (A_{\text{зовн}} - B_{\text{внутр}})}{2} \cdot 0,1 , \quad (1.5)$$

$$L_{\text{ср.л}} = \frac{\pi \cdot (61 - 36)}{2} \cdot 0,1 = 3,97 \text{ (см)} .$$

Виконаємо розрахунок даних, які в подальшому не зміняться.

Знайдемо скважність (ζ) імпульсів через коефіцієнт заповнення:

$$\zeta = \frac{1}{\gamma} . \quad (1.6)$$

Мінімальна скважність імпульсів:

$$\zeta_{\text{мін}} = \frac{1}{0,59} = 1,70 .$$

Максимальна скважність імпульсів:

$$\zeta_{\text{макс}} = \frac{1}{0,41} = 2,44 .$$

Вираховуємо період повторення імпульсів, мкс:

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$T = \frac{1000}{F}, \quad (1.7)$$

де F – частота, кГц.

$$T = \frac{1000}{45} = 22,2 \text{ (мкс)} .$$

Находимо тривалість імпульсів (τ) [4, 15]:

$$\tau = \frac{T}{2 \cdot \zeta}. \quad (1.8)$$

Мінімальна тривалість імпульсів:

$$\tau_{\text{мін}} = \frac{22,2}{2 \cdot 2,44} = 4,55 \text{ (мкс)} .$$

Максимальна тривалість імпульсів:

$$\tau_{\text{макс}} = \frac{22,2}{2 \cdot 1,70} = 6,53 \text{ (мкс)} .$$

Знаходимо середнє значення коефіцієнта форми імпульсів (K_{ϕ}) [6]:

$$K_{\phi} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \sqrt{\frac{T}{\left(\frac{\tau_{\text{мін}} + \tau_{\text{макс}}}{2}\right)}}, \quad (1.9)$$

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$K_{\phi} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \sqrt{\frac{15,4}{\left(\frac{3,16 + 4,53}{2}\right)}} = 1,42.$$

Декларуємо магнітну постійну вакууму: $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$.

Знаходимо мінімальну глибину проникнення струму (Δ) в товщу металу провідника, мм [4, 6]. Задаємося температурою нагріву провідників в 100°C . При цьому питомий опір міді $\rho_0 = 0,0235 \cdot 10^{-6}$ (Ом·м). Мінімальна глибина проникнення струму за умови, що тривалість імпульсів виражена в мікросекундах:

$$\Delta = \sqrt{\frac{2 \cdot \tau_{\text{мін}} \cdot \rho_0}{\pi \cdot \mu_0}}, \quad (1.10)$$

$$\Delta = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,16 \cdot 0,0235 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 4 \cdot 10^{-7}}} = 0,41 \text{ (мм)}.$$

Знаходимо амплітуду потужності, яка споживається навантаженням. Влюбий момент часу, як зазначалося вище, весь струм навантаження може протікати або по одній вторинній обмотці, або по іншій. Отже, формула (1.11)

$$P_{\text{н.ампл}} = (I_{\text{н.1.ампл}} \cdot U_{\text{н.1.ампл}}) + (I_{\text{н.2.ампл}} \cdot U_{\text{н.2.ампл}}), \quad (1.11)$$

набуває вигляду:

$$P_{\text{н.ампл}} = (I_{\text{н.1.ампл}} \cdot U_{\text{н.1.ампл}}). \quad (1.12)$$

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$P_{\text{н.ампл}} = 15 \cdot 50 = 750(\text{Вт}) .$$

Розраховуємо ефективну напруженість магнітного поля ($H_{\text{еф}}$) в магнітопроводі трансформатора [7, 8]:

$$H_{\text{еф}} = \frac{B_{\text{еф}}}{\mu_0 \cdot \mu_{\text{еф}}} , \quad (1.13)$$

де $B_{\text{еф}}$ – ефективне значення індукції матеріалу магнітопроводу, Тл;

$\mu_{\text{еф}}$ - ефективне значення магнітної проникності матеріалу трансформатора.

$$H_{\text{еф}} = \frac{0,1}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1800} = 44,21 (\text{А/м}) .$$

Знаходимо максимальну амплітуду напруги на первинній обмотці імпульсного трансформатора двотактного півмостового перетворювача ($U_{\text{перв.макс.ампл}}$) [3]:

$$U_{\text{перв.макс.ампл}} = \frac{U_{\text{п.макс}}}{2} - U_{\text{нас}} , \quad (1.14)$$

де $U_{\text{нас}}$ - падіння напруги на ключовому транзисторі в режимі насичення.

В якості ключових транзисторів використовуємо BSS88. Це польові – МОН – транзистори. Для транзисторів BSS88, які в ході виконання розрахунку, падіння напруги складе 0,7 В.

$$U_{\text{перв.макс.ампл}} = \frac{750}{2} - 0,7 = 374,3 (\text{В}) .$$

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Визначаємо максимальну ефективну напругу на первинній обмотці імпульсного трансформатора [8]:

$$U_{\text{перв.макс.еф}} = U_{\text{перв.макс.ампл}} \cdot \sqrt{\gamma_{\text{макс}}} , \quad (1.15)$$

$$U_{\text{перв.макс.еф}} = 374,3 \cdot \sqrt{0,59} = 287,5 \text{ (В)} .$$

Знаходимо амплітуду номінальної напруги на первинній обмотці трансформатора:

$$U_{\text{перв.ном.ампл}} = \frac{U_{\text{п.ном}}}{2} - U_{\text{нас}} , \quad (1.16)$$

$$U_{\text{перв.ном.ампл}} = \frac{311}{2} - 0,7 = 155 \text{ (В)} .$$

Знаходимо мінімальну амплітуду напруги на первинній обмотці трансформатора [3]:

$$U_{\text{перв.мін.ампл}} = \frac{U_{\text{п.мін}}}{2} - U_{\text{нас}} , \quad (1.17)$$

$$U_{\text{перв.мін.ампл}} = \frac{248}{2} - 0,7 = 123 \text{ (В)} .$$

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Визначасмо мінімальні і максимальні ефективні вихідні напруги однієї півобмотки [8]:

$$U_{н.1.еф} = U_{н.1.ампл} \cdot \sqrt{\gamma}, \quad (1.18)$$

$$U_{н.1.еф.мін} = 50 \cdot \sqrt{0,41} = 32,01 \text{ (В)},$$

$$U_{н.1.еф.макс} = 50 \cdot \sqrt{0,59} = 38,4 \text{ (В)}.$$

До іншої півобмотки буде прикладена така ж напруга.

Знаходимо мінімальне і максимальне ефективне значення струму через навантаження [8]:

$$I_{н.1.еф} = I_{н.1.ампл} \cdot \sqrt{\gamma}, \quad (1.19)$$

$$I_{н.1.еф.мін} = 15 \cdot \sqrt{0,41} = 10,01 \text{ (А)},$$

$$I_{н.1.еф.макс} = 15,05 \cdot \sqrt{0,59} = 11,56 \text{ (А)}.$$

По іншій півобмотці буде протікати такий же струм.

Знаходимо мінімальну і максимальну ефективну потужність навантаження:

$$P_{н.еф} = U_{н.1.еф} \cdot I_{н.1.еф} + U_{н.2.еф} \cdot I_{н.2.еф}, \quad (1.20)$$

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Як і в попередньому розрахунку, формула (2.2) набуває вигляду:

$$P_{\text{н.еф}} = U_{\text{н.1.еф}} \cdot I_{\text{н.1.еф}}, \quad (1.21)$$

$$P_{\text{н.еф.мін}} = 32,01 \cdot 10,01 = 320,4 \text{ (Вт)},$$

$$P_{\text{н.еф.макс}} = 38,4 \cdot 11,56 = 443,9 \text{ (Вт)}.$$

Вираховуємо максимальну кількість витків первинної обмотки трансформатора [3, 5, 9]. Так як магнітопровід феритовий, то коефіцієнт заповнення магнітопроводу (κ_c) дорівнює одиниці. А якщо б магнітопровід був з пластин або стрічки, то коефіцієнт заповнення січення магнітопроводу матеріалом був би меншим одиниці.

$$W_{\text{перв}} = \frac{10^4 \cdot U_{\text{перв.макс.ампл}}}{4 \cdot B_{\text{еф}} \cdot S_c \cdot F \cdot \kappa_c \cdot 10^3}, \quad (1.22)$$

де $B_{\text{еф}}$ - ефективне значення індукції матеріалу магнітопроводу, Тл;

S_c – площа перерізу магнітопроводу, см^2 ;

F – частота, кГц.

$$W_{\text{перв}} = \frac{10^4 \cdot 287,5}{4 \cdot 0,1 \cdot 1,75 \cdot 45 \cdot 1 \cdot 10^3} = 92.$$

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Знаходимо максимальну індуктивність первинної обмотки імпульсного трансформатора [3,5]:

$$L_{\text{перв}} = \frac{0,01 \cdot W_{\text{перв}}^2 \cdot 1800 \cdot \mu_0 \cdot S_c}{L_{\text{ср.л}}} \cdot 10^3, \quad (1.23)$$

$$L_{\text{перв}} = \frac{0,01 \cdot 92^2 \cdot 1800 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,75}{3,97} \cdot 10^3 = 84,3 \text{ (мкГн)}.$$

Вираховуємо число витків кожної вторинної обмотки трансформатора і округляємо його в більшу сторону до цілого:

$$W_{2.1} = \frac{W_{\text{перв}} \cdot U_{\text{н.1.ампл}}}{U_{\text{перв.ном.ампл}}}, \quad (1.24)$$

$$W_{2.1} = \frac{92 \cdot 50}{155} = 30.$$

Число витків другої півобмотки буде таким же.

Знаходимо індуктивність вторинної півобмотки [3, 5]:

$$L_{\text{втор1}} = \frac{0,01 \cdot W_{2.1}^2 \cdot \mu_{\text{эф}} \cdot \mu_0 \cdot S_c}{L_{\text{ср.л}}} \cdot 10^3, \quad (1.25)$$

$$L_{\text{втор1}} = \frac{0,01 \cdot 30^2 \cdot 1800 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,75}{3,97} \cdot 10^3 = 8,97 \text{ (мкГн)}.$$

Індуктивність другої півобмотки буде такою ж.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Починаємо чорновий розрахунок імпульсного трансформатора.

Виконаємо емпіричне визначення ККД трансформатора [3]:

$$\eta = 0,975 - \frac{1,15}{\exp(0,975 \cdot \log(F + 8,45))} - 0,59 \times \frac{2,02 + \frac{35,5}{\exp(0,15 \cdot \log(F + 0,28))}}{\exp(3,1 \cdot \log(P_{н.ампл} + 2,95))}, \quad (1.26)$$

$$\eta = 0,975 - \frac{1,15}{\exp(0,975 \cdot \log(65 + 8,45))} - 0,59 \times \frac{2,02 + \frac{35,5}{\exp(0,15 \cdot \log(65 + 0,28))}}{\exp(3,1 \cdot \log(324 + 2,95))} = 0,956.$$

Проведемо ітераційний розрахунок даних: визначимо прямокутну і трикутну складові струму первинної обмотки, а також їх суму.

Знаходимо амплітуду використовуваної потужності трансформатора:

$$P_{\text{використ}} = \frac{P_{н.ампл}}{\eta}, \quad (1.27)$$

$$P_{\text{використ}} = \frac{324}{0,956} = 339 \text{ (Вт)}.$$

Визначимо максимальний струм первинної обмотки. Для цього будемо здійснювати ітераційний процес, запровадивши нову змінну $U_{\text{перв.калк}}$. Спочатку приймемо:

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$I_{1.\text{макс.ампл}} = 0 ,$$

$$U_{\text{перв.калк}} = U_{\text{перв.мін.ампл}} \cdot$$

Далі в циклі будемо перебирати значення напруг від $U_{\text{пит.мін}}$ до $U_{\text{пит.макс}}$ з кроком 1В.

Розраховуємо поточне значення прямокутного струму первинної обмотки $I_{1.\text{пр}}$:

$$I_{1.\text{пр.нов.ампл}} = \frac{P_{\text{використ}}}{U_{\text{перв.калк}}} \text{ А} . \quad (1.28)$$

Розраховуємо поточне значення трикутного струму первинної обмотки $I_{1.\text{тр}}$:

$$I_{1.\text{тр.нов.ампл}} = \frac{U_{\text{перв.калк}}}{4 \cdot F \cdot 1000 \cdot L_{\text{перв}} \cdot 0,001} \text{ А} . \quad (1.29)$$

Знаходимо поточне значення максимального струму первинної обмотки $I_{1.\text{макс.нов}}$:

$$I_{1.\text{макс.нов}} = I_{1.\text{пр.нов.ампл}} + I_{1.\text{тр.нов.ампл}} \text{ А} . \quad (1.30)$$

Виконуємо перевірку: якщо $I_{1.\text{макс.нов}} > I_{1.\text{макс.ампл}}$, то прирівнюємо $I_{1.\text{макс}} = I_{1.\text{макс.нов}}$ і рахуємо далі. А якщо $I_{1.\text{макс.нов}} \leq I_{1.\text{макс.ампл}}$, то продовжуємо рахувати далі.

Проводимо інкрементування змінної циклу, після чого повертаємося до формули (2.3):

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$U_{\text{перш.калк}} = U_{\text{перш.калк}} + 1. \quad (1.31)$$

Після того, як всі напруги від $U_{\text{пит.мін}}$ до $U_{\text{пит.макс}}$ з кроком 1В перебрані, цикл завершуємо. У результаті ітераційного процесу знайшли прямокутну ($I_{1.\text{пр.ампл}}=1,90\text{A}$) і трикутну ($I_{1.\text{тр.ампл}}=0,061\text{A}$) складові струму, а також максимальний струм первинної обмотки ($I_{1.\text{макс}}=2,78\text{A}$). Максимальний струм первинної обмотки не є алгебраїчною сумою прямокутної і трикутної складових струму і в загальному випадку можливо являється максимальним, коли прямокутна і трикутна складові струму не максимальні [3].

Знаходимо максимальне ефективний струм первинної обмотки:

$$I_{1.\text{макс.еф}} = I_{1.\text{макс.ампл}} \cdot \sqrt{\gamma_{\text{макс}}}, \quad (1.32)$$

$$I_{1.\text{макс.еф}} = 15,78 \cdot \sqrt{0,59} = 12,12 \text{ (A)}.$$

Визначаємо діаметри жил у проводах всіх обмоток на даному етапі без врахування скін-ефекту і ефекту близькості.

Виконуємо емпіричне визначення щільності струму в обмотках:

$$J = 4 + 6,456 \cdot \exp(-0,07324 \cdot P_{\text{н.ампл}}), \quad (1.33)$$

$$J = 4 + 6,456 \cdot \exp(-0,07324 \cdot 750) = 4 \left(\frac{\text{A}}{\text{мм}^2} \right).$$

Знаходимо діаметри жил у проводі первинної обмотки [3]:

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$d_{1.1} = \sqrt{\frac{4 \cdot I_{1.\text{макс.еф}}}{\pi \cdot J \cdot N_{\text{перв}}}}, \quad (1.34)$$

$$d_{1.1} = \sqrt{\frac{4 \cdot 12,12}{\pi \cdot 4 \cdot 92}} = 0,2 \text{ (мм)} .$$

Обчислюємо діаметри жил у проводі вторинної обмотки [3]:

$$d_{2.1} = \sqrt{\frac{4 \cdot I_{\text{н.1.ампл}}}{\pi \cdot J \cdot N_{1.\text{втор}}}}, \quad (1.35)$$

$$d_{2.1} = \sqrt{\frac{4 \cdot 15}{\pi \cdot 4 \cdot 84}} = 0,22 \text{ (мм)} .$$

Діаметр жил у кожному проводі другої вторинної півобмотки буде таким же. Приймаємо в якості проводу первинної та вторинної обмоток літцендрат ЛЕШО 84×0,1. На цьому чорновий розрахунок закінчений і починаємо чистовий розрахунок.

Вираховуємо еквівалентний діаметр проводу в первинній обмотці:

$$D_{\text{еквів.перв}} = d_{1.1} \cdot \sqrt{N_{\text{перв}}}, \quad (1.36)$$

$$D_{\text{еквів.перв}} = 0,1 \cdot \sqrt{84} = 0,92 \text{ (мм)} .$$

Так як для первинної та вторинних обмоток використовується однаковий провід, еквівалентний діаметр проводу у вторинних обмотках буде таким же, як в первинній обмотці.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Знаходимо довжину проводу, число шарів і коефіцієнт близькості первинної обмотки тороїдального трансформатора.

Декларуємо сумарну товщину міді всіх обмоток:

$$h_{\text{міді.всіх.попер}} = 0 .$$

Декларуємо початкове значення сумарної товщини міді а також ізоляції попередньо нанесених шарів обмотки:

$$h_{\text{перв.всіх}} = h_{\text{гіл.на.кern}} .$$

Обнуляємо число шарів первинної обмотки:

$$C_{\text{шарів.перв}} = 0 .$$

Декларуємо довжину проводу в первинній обмотці:

$$L_{\text{вит.перв}} = 0 .$$

Згідно з рекомендацією з [10] прийmemo товщину ізоляції між феритовим магнітопроводом та проводом намотаної першої первинної обмотки в 1 мм. Товщину міжшарової ізоляції прийmemo 0,2 мм, а міжобмоточної ізоляції - 0,3мм.

Знаходимо залишковий діаметр кільця для обмотки:

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$B_{\text{залиш}} = B_{\text{внутр}} - 2 \cdot h_{\text{Гіл.на.кern}}, \quad (1.37)$$

$$B_{\text{залиш}} = 36 - 2 \cdot 1 = 34 \text{ (мм)}.$$

Декларуємо число витків, що залишилося для намотування:

$$W_{\text{перв.залиш}} = W_{\text{перв}}.$$

Організуємо цикл.

Якщо $B_{\text{залиш}} \leq D_{\text{еквів.перв}}$, то вікно магнітопроводу повністю заповнене.

Нікуди мотати останній шар первинної обмотки трансформатора.

Додаємо новий шар до загального числа шарів первинної обмотки:

$$C_{\text{шарів.перв}} = C_{\text{шарів.перв}} + 1.$$

Знаходимо сумарну товщину міді та ізоляції всіх намотаних раніше шарів обмотки:

$$h_{\text{перв.всіх}} = h_{\text{перв.всіх}} + D_{\text{еквів.перв}}.$$

Визначаємо довжину одного витка в останньому шарі первинної обмотки:

$$L_{\text{вит.ост.шару.перв}} = A_{\text{зовн}} - B_{\text{внутр}} + (2 \cdot C) + \pi \cdot (h_{\text{перв.всіх}} + 0,5 \cdot D_{\text{еквів.перв}}).$$

Знаходимо довжину середньої лінії останнього шару:

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$L_{\text{серд.лін.ост.шару}} = \pi \cdot (B_{\text{залиш}} - D_{\text{еквів.перв}}).$$

Вираховуємо можливе число витків в останньому шарі обмотки:

$$W_{\text{перв.можл}} = \frac{L_{\text{серд.лін.ост.шару}}}{D_{\text{еквів.перв}}} - 1.$$

Якщо $W_{\text{перв.можл}} < 1$, то в останньому шарі первинної обмотки трансформатора недостатньо місця для проводу й можна спробувати застосувати літцендрат з великим числом жилок, але меншого діаметра.

Якщо $W_{\text{перв.можл}} \geq W_{\text{перв.залиш}}$, то це останній шар, все вмістилось. Тоді знаходимо

загальну довжину проводу в первинній обмотці:

$$L_{\text{вит.перв}} = L_{\text{вит.перв}} + L_{\text{вит.ост.шару.перв}} \cdot W_{\text{перв.залиш}} \text{ мм}.$$

Вираховуємо сумарну товщину міді всіх попередніх обмоток:

$$h_{\text{міді.всіх.попер}} = h_{\text{міді.всіх.попер}} + D_{\text{еквів.перв}} \cdot C_{\text{шарів.перв}} \text{ мм}.$$

Знаходимо величину частини вікна для обмотки, що залишилася:

$$B_{\text{залиш}} = B_{\text{залиш}} - 2 \cdot D_{\text{еквів.перв}} \text{ мм}.$$

Виходимо з циклу

Якщо шар не останній, то потрібно прокласти ще один шар.

Всього залишилось мотати витків:

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$W_{\text{перв.залиш}} = W_{\text{перв.залиш}} - W_{\text{перв.можл}} \cdot$$

Знаходимо залишився внутрішній діаметр кільця для обмотки:

$$B_{\text{залиш}} = B_{\text{залиш}} - (2 \cdot D_{\text{еквів.перв}}) - 2 \cdot h_{\text{перв.сусід}} \text{ мм} .$$

Розраховуємо довжину проводу в одному поточному шарі первинної обмотки:

$$L_{\text{вит.перв}} = L_{\text{вит.перв}} + L_{\text{вит.ост.шару.перв}} \cdot W_{\text{перв.можл}} \text{ мм} .$$

Вираховуємо нове значення висоти обмотки (міди та ізоляції):

$$h_{\text{перв.всіх}} = h_{\text{перв.всіх}} + h_{\text{перв.сусід}} \text{ мм} .$$

Далі повторюємо цикл для нового шару.

У результаті ітераційного розрахунку в циклі знайшли:

число шарів первинної обмотки $(C_{\text{шарів,дерв}}) - 1$

товщину міді та ізоляції нанесених швидше шарів обмотки $(h_{\text{перв,всіх}}) - 1,82\text{мм};$

загальну довжину проводу первинної обмотки $(L_{\text{вит,дерв}}) - 3,43\text{м}.$

Починаємо розрахунок коефіцієнта близькості $(K_{\text{б,дерв}})$ за формулами Доуелла. Формули для обчислення коефіцієнта близькості знаходяться наступних в книгах: [10, 11, 12].

Так як перший шар виявився єдиним, то обчислюємо коефіцієнт заповнення міддю обмотки в осьовому напрямку:

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$B_{\text{eta}} = \frac{D_{\text{еквів.втор.1}} \cdot W_{\text{втор.1.залиш}}}{L_{\text{серед.лін.ост.шару}}}, \quad (1.38)$$

$$B_{\text{eta}} = \frac{0,92 \cdot 92}{66,52} = 0,97.$$

Вираховуємо відносну ширину дроту в осьовому напрямку для формули Доуелла:

$$D_{\text{elta}} = \frac{d_{1.1} \cdot \sqrt{B_{\text{eta}}}}{\Delta}, \quad (1.39)$$

$$D_{\text{elta}} = \frac{0,1 \cdot \sqrt{0,97}}{0,19} = 0,51.$$

Якщо б D_{elta} був більше чотирьох, то можна було б одразу розрахувати коефіцієнт близькості [11] за формулою (1.40):

$$K_{\text{б.перв}} = \frac{D_{\text{elta}} \cdot 2 \cdot C_{\text{шарів.перв}}^2 + 1}{5}. \quad (1.40)$$

Але так як D_{elta} менше чотирьох, знаходимо параметр (M_{douel}) у формулі Доуелла:

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$M_{\text{douel}} = D_{\text{elta}} \cdot \frac{\sinh(2 \cdot D_{\text{elta}}) + \sin(2 \cdot D_{\text{elta}})}{\cosh(2 \cdot D_{\text{elta}}) - \cos(2 \cdot D_{\text{elta}})}, \quad (1.41)$$

$$M_{\text{douel}} = 0,51 \cdot \frac{\sinh(2 \cdot 0,51) + \sin(2 \cdot 0,51)}{\cosh(2 \cdot 0,51) - \cos(2 \cdot 0,51)} = 1,006 .$$

Знаходимо параметр (D_{douel}) у формулі Доуелла:

$$D_{\text{douel}} = 2 \cdot D_{\text{elta}} \cdot \frac{\sinh D_{\text{elta}} - \sin D_{\text{elta}}}{\cosh D_{\text{elta}} + \cos D_{\text{elta}}}, \quad (1.42)$$

$$D_{\text{douel}} = 2 \cdot 0,51 \cdot \frac{\sinh 0,51 - \sin 0,51}{\cosh 0,51 + \cos 0,51} = 0,022 .$$

Обчислюємо коефіцієнт близькості для проводу круглого сичення:

$$K_{\text{б.перв}} = M_{\text{douel}} + 0,2 \cdot (C_{\text{шарів.перв}}^2 - 1) \cdot D_{\text{douel}}, \quad (1.43)$$

$$K_{\text{б.перв}} = 1,006 + 0,2 \cdot (1^2 - 1) \cdot 0,022 = 1,006 .$$

Знаходимо омічний опір обмотки:

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$R_{\text{оміч.перв}} = \frac{\rho_0 \cdot L_{\text{вит.перв}} \cdot 4 \cdot 10^6}{\pi \cdot d_{1.1}^2 \cdot N_{\text{перв}}}, \quad (1.44)$$

$$R_{\text{оміч.перв}} = \frac{0,0235 \cdot 10^{-6} \cdot 3,43 \cdot 4 \cdot 10^6}{\pi \cdot 0,1^2 \cdot 84} = 0,12 \text{ (Ом)} .$$

Знаходимо потужність втрат у первинній обмотці на омичний опір [2, 4, 8, 10, 11, 13]:

$$P_{\text{оміч.перв}} = I_{1,\text{макс.еф}}^2 \cdot R_{\text{оміч.перв}}, \quad (1.45)$$

$$P_{\text{оміч.перв}} = 12,12^2 \cdot 0,12 = 17,6 \text{ (Вт)} .$$

Розраховуємо втрати на вихрові струми (струми Фуко) [2, 4, 13]:

$$P_{\text{вихр.перв}} = P_{\text{оміч.перв}} \cdot (K_{\delta,\text{перв}} - 1), \quad (1.46)$$

$$P_{\text{вихр.перв}} = 17,6 \cdot (1,006 - 1) = 0,1 \text{ (Вт)} .$$

Тепер виконаємо знаходження довжини проводів, числа шарів і коефіцієнта близькості однієї вторинної півобмотки.

Значення сумарної товщини міді та ізоляції всіх намотаних раніше шарів обмоток:

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$h_{\text{втор.1.всіх}} = h_{\text{перв.всіх}} + h_{\text{міжоб.ізол.втор.1}}, \quad (1.47)$$

$$h_{\text{втор.1.всіх}} = 1,82 + 0,3 = 2,12 \text{ (мм)} .$$

Декларуємо число шарів вторинної півобмотки:

$$C_{\text{шарів.втор.1}} = 0 .$$

Декларуємо довжину проводу вторинної півобмотки:

$$L_{\text{вит.втор.1}} = 0 .$$

Вираховуємо поточний залишився внутрішній діаметр кільця для обмотки:

$$B_{\text{залиш}} = B_{\text{залиш}} - 2 \cdot h_{\text{міжоб.ізол.втор.1}}, \quad (1.48)$$

$$B_{\text{залиш}} = 20,35 - 2 \cdot 0,3 = 19,75 \text{ мм} .$$

Декларуємо число витків, яке залишилось для намотування:

$$W_{\text{втор.1.залиш}} = W_{\text{в2.1}} .$$

Організуємо цикл.

Якщо $B_{\text{залиш}} < D_{\text{еквів.втор.1}}$, то вікно магнітопроводу повністю заповнене.

Додаємо новий шар до загального числа шарів вторинної обмотки:

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$C_{\text{шарів.втор.1}} = C_{\text{шарів.втор.1}} + 1 .$$

Знаходимо повну товщину міді та ізоляції нанесених швидше шарів обмотки:

$$h_{\text{втор.1.всіх}} = h_{\text{втор.1.всіх}} + D_{\text{еквів.втор.1}} \text{ мм} .$$

Обчислюємо довжину одного витка в останньому шарі вторинної обмотки:

$$L_{\text{вит.ост.шару.втор.1}} = A_{\text{зовн}} - B_{\text{внутр}} + (2 \cdot C) + \pi \cdot (h_{\text{втор.1.всіх}} + 0,5 \cdot D_{\text{еквів.втор.1}}) \text{ мм}$$

Обчислюємо довжину середньої лінії останнього шару вторинної обмотки:

$$L_{\text{сер.лін.ост.шару}} = \pi \cdot (B_{\text{залиш}} - D_{\text{еквів.втор.1}}) \text{ мм} .$$

Знаходимо можливе число витків в останньому шарі обмотки:

$$W_{\text{втор.1.можл}} = \frac{L_{\text{сер.лін.ост.шару}}}{D_{\text{еквів.втор.1}}} - 1 .$$

Вираховуємо сумарну товщину міді всіх попередніх обмоток:

$$h_{\text{міді.всіх.поперед}} = h_{\text{міді.всіх.поперед}} + D_{\text{еквів.втор.1}} \text{ мм} .$$

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Якщо $W_{\text{втор.1.можл}} < 1$, то в останньому шарі вторинної обмотки трансформатора недостатньо місця для проводу. Якщо частота висока, можна спробувати застосувати літцендрат з великим числом жилок, але меншого діаметра.

Якщо $W_{\text{втор.1.можл}} > W_{\text{втор.1.залиш}}$, то це останній шар, все вмістилося.

Тоді знаходимо загальну довжину проводу в первинній обмотці:

$$L_{\text{вит.втор.1}} = L_{\text{вит.втор.1}} + L_{\text{вит.ост.шару.втор.1}} \cdot W_{\text{втор.1.залиш}} \text{ мм.}$$

Перераховуємо загальну довжину проводу в метри:

$$L_{\text{вит.втор.1}} = L_{\text{вит.втор.1}} \cdot 0,001.$$

Знаходимо частину вікна для обмотки, що залишилася:

$$B_{\text{залиш}} = B_{\text{залиш}} - 2 \cdot D_{\text{еквів.втор.1}} \text{ мм.}$$

Виходимо з циклу.

Якщо шар не останній, то потрібен ще один шар.

Всього залишилося мотати витків:

$$W_{\text{втор.1.залиш}} = W_{\text{втор.1.залиш}} - W_{\text{втор.1.можл}}.$$

Знаходимо внутрішній діаметр кільця для обмотки, що залишилось:

$$B_{\text{залиш}} = B_{\text{залиш}} - (2 \cdot D_{\text{еквів.втор.1}}) - 2 \cdot h_{\text{втор.1.сусід}} \text{ мм.}$$

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Розраховуємо довжину проводу в одному поточному шарі обмотки:

$$L_{\text{вит.втор.1}} = L_{\text{вит.втор.1}} + L_{\text{вит.ост.шару.втор.1}} \cdot W_{\text{втор.1.можл}} \text{ мм} .$$

Знаходимо нове значення висоти обмотки (міді та ізоляції):

$$h_{\text{втор.1.всіх}} = h_{\text{втор.1.всіх}} + h_{\text{втор.1.сусід}} \text{ мм} .$$

Далі повторюємо цикл для нового шару.

У результаті ітераційного розрахунку в циклі знайшли:

число шарів первинної обмотки ($C_{\text{шарів.втор.1}}$) - 1;

товщину міди та ізоляції нанесених швидше шарів обмотки ($h_{\text{втор.1.всіх}}$) - 3,04мм;

загальну довжину проводу первинної обмотки ($L_{\text{вит.втор.1}}$) - 1,96 м.

Починаємо розрахунок коефіцієнта близькості за формулами Доуелла.

Так як перший шар виявився єдиним, то обчислюємо коефіцієнт заповнення міддю обмотки в осьовому напрямку:

$$B_{\text{eta}} = \frac{D_{\text{еквів.втор.1}} \cdot W_{\text{втор.1.залиш}}}{L_{\text{серед.лін.ост.шару}}} , \quad (1.49)$$

$$B_{\text{eta}} = \frac{0,92 \cdot 30}{59,2} = 0,58 .$$

Вирахуємо відносну ширину дроту в осьовому напрямку для формули Доуелла, різну для кожної обмотки:

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$D_{\text{elta}} = \frac{d_{2.1} \cdot \sqrt{B_{\text{eta}}}}{\Delta}, \quad (1.50)$$

$$D_{\text{elta}} = \frac{0,1 \cdot \sqrt{0,58}}{0,19} = 0,39.$$

Знаходимо параметр у формулі Доуелла:

$$M_{\text{douel}} = D_{\text{elta}} \cdot \frac{\sinh(2 \cdot D_{\text{elta}}) + \sin(2 \cdot D_{\text{elta}})}{\cosh(2 \cdot D_{\text{elta}}) - \cos(2 \cdot D_{\text{elta}})}, \quad (1.51)$$

$$M_{\text{douel}} = 0,39 \cdot \frac{\sinh(2 \cdot 0,39) + \sin(2 \cdot 0,39)}{\cosh(2 \cdot 0,39) - \cos(2 \cdot 0,39)} = 1,0021.$$

Знаходимо другий параметр у формулі Доуелла:

$$D_{\text{douel}} = 2 \cdot D_{\text{elta}} \cdot \frac{\sinh D_{\text{elta}} - \sin D_{\text{elta}}}{\cosh D_{\text{elta}} + \cos D_{\text{elta}}}, \quad (1.52)$$

$$D_{\text{douel}} = 2 \cdot 0,39 \cdot \frac{\sinh 0,39 - \sin 0,39}{\cosh 0,39 + \cos 0,39} = 0,0078.$$

Обчислюємо коефіцієнт близькості для круглого дроту:

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$K_{б.втор.1} = M_{douel} + 0,2 \cdot (C_{шарів.втор.1}^2 - 1) \cdot D_{douel}, \quad (1.53)$$

$$K_{б.втор.1} = 1,0021 + 0,2 \cdot (1^2 - 1) \cdot 0,0078 = 1,002.$$

Знаходимо омичний опір обмотки:

$$R_{оміч.втор.1} = \frac{\rho_0 \cdot L_{вит.втор.1} \cdot 4 \cdot 10^6}{\pi \cdot d_{2.1}^2 \cdot N_{втор.1}}, \quad (1.54)$$

$$R_{оміч.втор.1} = \frac{0,0235 \cdot 10^{-6} \cdot 1,96 \cdot 4 \cdot 10^6}{\pi \cdot 0,1^2 \cdot 84} = 0,070 \text{ (Ом)}.$$

Знаходимо потужність втрат у вторинній обмотці на омичний опір:

$$P_{оміч.втор.1} = I_{н.1.макс.еф}^2 \cdot R_{оміч.втор.1}, \quad (1.55)$$

$$P_{оміч.втор.1} = 3,11^2 \cdot 0,07 = 0,68 \text{ (Вт)}.$$

Розраховуємо втрати від струмів Фуко:

$$P_{вихр.втор.1} = P_{оміч.втор.1} \cdot (K_{б.втор.1} - 1), \quad (1.56)$$

$$P_{вихр.втор.1} = 0,68 \cdot (1,002 - 1) = 0,0014 \text{ (Вт)}.$$

Знаходимо довжину проводів і число шарів другої вторинної поївобмотки.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Обчислюємо значення сумарної товщини міді та ізоляції всіх намотаних раніше шарів обмоток:

$$h_{\text{втор.2.всіх}} = h_{\text{перв.1.всіх}} + h_{\text{міжоб.ізол.втор.2}}, \quad (1.57)$$

$$h_{\text{втор.2.всіх}} = 3,04 + 0,3 = 3,34 \text{ (мм)} .$$

Обнуляємо число шарів вторинної обмотки на другому виході:

$$C_{\text{шарів.втор.2}} = 0 .$$

Обнуляємо довжину проводу вторинної обмотки на другому виході:

$$L_{\text{вит.втор.2}} = 0 .$$

Вираховуємо поточний залишився внутрішній діаметр кільця для обмотки:

$$B_{\text{залиш}} = B_{\text{залиш}} - 2 \cdot h_{\text{міжоб.ізол.втор.2}}, \quad (1.58)$$

$$B_{\text{залиш}} = 14,52 - 2 \cdot 0,3 = 13,92 \text{ (мм)} .$$

Число витків, що залишився для намотування:

$$W_{\text{втор.2.залиш}} = W_{\text{в2.2}} .$$

Організуємо цикл.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Якщо $V_{залиш} \leq D_{еквів.втор.2}$, то вікно магнітопроводу повністю заповнене.
Нікуди мотати останній шар вторинної обмотки трансформатора.

Інакше можна продовжувати намотувати трансформатор.

Додаємо новий шар до загального числа шарів вторинної обмотки:

$$C_{шарів.втор.2} = C_{шарів.втор.2} + 1 .$$

Якщо $V_{залиш} < (2 \cdot D_{еквів.втор.2})$, то в останньому шарі вторинної обмотки трансформатора буде лише один виток.

Знаходимо сумарну товщину міді та ізоляції всіх намотаних раніше шарів обмотки:

$$h_{втор.2.всіх} = h_{втор.2.всіх} + D_{еквів.втор.2} \text{ мм} .$$

Обчислюємо довжину одного витка в останньому шарі вторинної обмотки:

$$L_{вит.ост.шару.втор.2} = A_{зовн} - B_{внутр} + (2 \cdot C) + \pi \cdot (h_{втор.2.всіх} + 0,5 \cdot D_{еквів.втор.2}) \text{ мм} .$$

Обчислюємо довжину середньої лінії останнього шару вторинної обмотки:

$$L_{сер.лін.ост.шару} = \pi \cdot (V_{залиш} - D_{еквів.втор.2}) \text{ мм} .$$

Знаходимо можливе число витків в останньому шарі обмотки:

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$W_{\text{втор.2.можл}} = \frac{L_{\text{сер.лін.ост.шару}}}{D_{\text{еквів.втор.2}}} - 1 .$$

Виразуємо сумарну товщину міді всіх попередніх обмоток:

$$h_{\text{міді.всіх.поперед}} = h_{\text{міді.всіх.поперед}} + D_{\text{еквів.втор.2}} \text{ мм} .$$

Якщо $W_{\text{втор.2.можл}} < 1$, то в останньому шарі вторинної обмотки трансформатора недостатньо місця для проводу. Якщо частота висока, можна спробувати застосувати літцендрат з великим числом жилок, але меншого діаметра.

Якщо $W_{\text{втор.2.можл}} > W_{\text{втор.2.залиш}}$, то це останній шар, все вмістилося.

Тоді знаходимо загальну довжину проводу у піввторинній обмотці:

$$L_{\text{вит.втор.2}} = L_{\text{вит.втор.2}} + L_{\text{вит.ост.шару.втор.2}} \cdot W_{\text{втор.2.залиш}} \text{ мм} .$$

Перераховуємо загальну довжину проводу в метри:

$$L_{\text{вит.втор.2}} = L_{\text{вит.втор.2}} \cdot 0,001 .$$

Знаходимо частину вікна для обмотки, що залишилася:

$$B_{\text{залиш}} = B_{\text{залиш}} - 2 \cdot D_{\text{еквів.втор.2}} \text{ мм} .$$

Виходимо з циклу.

Якщо шар не останній, то потрібен ще один шар.

Всього залишилося мотати витків:

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$W_{\text{втор.2.залиш}} = W_{\text{втор.2.залиш}} - W_{\text{втор.2.можл}}$$

Знаходимо внутрішній діаметр кільця для обмотки, що залишилось:

$$B_{\text{залиш}} = B_{\text{залиш}} - (2 \cdot D_{\text{еквів.втор.2}}) - 2 \cdot h_{\text{втор.2.сусід}} \text{ мм}.$$

Розраховуємо довжину проводу в одному поточному шарі обмотки:

$$L_{\text{вит.втор.2}} = L_{\text{вит.втор.2}} + L_{\text{вит.ост.шару.втор.2}} \cdot W_{\text{втор.2.можл}} \text{ мм}.$$

Знаходимо нове значення висоти обмотки (міди та ізоляції):

$$h_{\text{втор.2.всіх}} = h_{\text{втор.2.всіх}} + h_{\text{втор.2.сусід}} \text{ мм}.$$

Далі повторюємо цикл для нового шару.

У результаті ітераційного розрахунку в циклі знайшли:

число шарів первинної обмотки ($C_{\text{шарів.втор.2}}$) - 1;

товщину міді та ізоляції всіх намотаних раніше шарів обмотки

($h_{\text{втор.2.всіх}}$) - 4,26мм;

загальну довжину проводу первинної обмотки ($L_{\text{вит.втор.2}}$) - 2,1 м.

Починаємо розрахунок коефіцієнта близькості за формулами Доуелла.

Так як перший шар виявився єдиним, то обчислюємо коефіцієнт заповнення міддю обмотки в осьовому напрямку:

$$B_{\text{ета}} = \frac{D_{\text{еквів.втор.2}} \cdot W_{\text{втор.2.залиш}}}{L_{\text{серед.лін.ост.шару}}}, \quad (1.59)$$

$$B_{\text{ета}} = \frac{0,92 \cdot 30}{40,8} = 0,83.$$

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Вирахуємо відносну ширину дроту в осьовому напрямку для формули Доуелла, різну для кожної обмотки:

$$D_{\text{el}} = \frac{d_{2.2} \cdot \sqrt{B_{\text{eta}}}}{\Delta}, \quad (1.60)$$

$$D_{\text{el}} = \frac{0,1 \cdot \sqrt{0,83}}{0,19} = 0,47.$$

Так як D_{el} менше чотирьох, знаходимо параметр (M_{douel}) у формулі Доуелла:

$$M_{\text{douel}} = D_{\text{el}} \cdot \frac{\sinh(2 \cdot D_{\text{el}}) + \sin(2 \cdot D_{\text{el}})}{\cosh(2 \cdot D_{\text{el}}) - \cos(2 \cdot D_{\text{el}})}, \quad (1.61)$$

$$M_{\text{douel}} = 0,47 \cdot \frac{\sinh(2 \cdot 0,47) + \sin(2 \cdot 0,47)}{\cosh(2 \cdot 0,47) - \cos(2 \cdot 0,47)} = 1,0044.$$

Знаходимо другий параметр у формулі Доуелла:

$$D_{\text{douel}} = 2 \cdot D_{\text{el}} \cdot \frac{\sinh D_{\text{el}} - \sin D_{\text{el}}}{\cosh D_{\text{el}} + \cos D_{\text{el}}}, \quad (1.62)$$

$$D_{\text{douel}} = 2 \cdot 0,47 \cdot \frac{\sinh 0,47 - \sin 0,47}{\cosh 0,47 + \cos 0,47} = 0,0016.$$

Обчислюємо коефіцієнт близькості для круглого дроту:

$$K_{\text{б.втор.2}} = M_{\text{douel}} + 0,2 \cdot (C_{\text{шарів.втор.2}}^2 - 1) \cdot D_{\text{douel}}, \quad (1.63)$$

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$K_{б.втор.2} = 1,0044 + 0,2 \cdot (1^2 - 1) \cdot 0,0016 = 1,004 .$$

Знаходимо омичний опір обмотки:

$$R_{оміч.втор.2} = \frac{\rho_0 \cdot L_{вит.втор.2} \cdot 4 \cdot 10^6}{\pi \cdot d_{2.2}^2 \cdot N_{втор.2}} , \quad (1.64)$$

$$R_{оміч.втор.1} = \frac{0,0235 \cdot 10^{-6} \cdot 2,1 \cdot 4 \cdot 10^6}{\pi \cdot 0,1^2 \cdot 84} = 0,075 \text{ (Ом)} .$$

Знаходимо потужність втрат у вторинній обмотці на омичний опір:

$$P_{оміч.втор.2} = I_{н.2.макс.еф}^2 \cdot R_{оміч.втор.2} , \quad (1.65)$$

$$P_{оміч.втор.2} = 3,11^2 \cdot 0,075 = 0,73 \text{ (Вт)} .$$

Розраховуємо втрати на вихрові струми (струми Фуко):

$$P_{вихр.втор.2} = P_{оміч.втор.2} \cdot (K_{б.втор.2} - 1) , \quad (1.66)$$

$$P_{вихр.втор.2} = 0,73 \cdot (1,004 - 1) = 0,0032 \text{ (Вт)} .$$

Знаходимо загальне число шарів обмоток:

$$C_{шарів} = C_{шарів.перв} + C_{шарів.втор.1} + C_{шарів.втор.2} , \quad (1.67)$$

$$C_{шарів} = 1 + 1 + 1 = 3 .$$

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Знаходимо втрати в трансформаторі для подальшого визначення його ККД.

Втрати на вихрові струми (струми Фуко) у всіх обмотках:

$$P_{\text{вихр}} = P_{\text{вихр.перв}} + P_{\text{вихр.втор.1}} + P_{\text{вихр.втор.2}}, \quad (1.68)$$

$$P_{\text{вихр}} = 0,0033 + 0,0014 + 0,0032 = 0,0079.$$

Сумуємо потужності втрат у всіх обмотках на омичний опір:

$$P_{\text{оміч}} = P_{\text{оміч.перв}} + P_{\text{оміч.втор.1}} + P_{\text{оміч.втор.2}}, \quad (1.69)$$

$$P_{\text{оміч}} = 0,56 + 0,68 + 0,73 = 1,97 \text{ (Вт)}.$$

Дальше розраховуємо втрати на гістерезис [1, 2, 4, 9, 13, 14].

Задаємо щільністю фериту [7] $\rho_{\text{о.фериту}}=4,5\text{Г/см}^3$.

Об'єм (V) тороїдального магнітопроводу:

$$V = \frac{C \cdot \pi}{4} \cdot (A_{\text{зовн}}^2 - B_{\text{внутр}}^2) \cdot 0.001, \quad (1.70)$$

$$V = \frac{14 \cdot \pi}{4} \cdot (38^2 - 24^2) \cdot 0.001 = 9,54 \text{ (см}^2\text{)}.$$

Визначаємо масу (m) магнітопроводу:

$$m = \rho_{\text{о.фериту}} \cdot V, \quad (1.71)$$

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$m = 4,5 \cdot 9,54 = 43,0 \text{ (г)} .$$

Приймаємо типові значення питомих втрат в магнітопроводі для значення індукції 0,1Тл і частоти 70 кГц фериту 2000НМ1-17 в 62 Вт/кг.

Знаходимо втрати на гістерезис:

$$P_{\text{гіст}} = \rho_{\text{о.фериту}} \cdot V \cdot P_{\text{пит}} \cdot 0,001 , \quad (1.72)$$

$$P_{\text{гіст}} = 4,5 \cdot 9,54 \cdot 62 \cdot 0,001 = 2.66 \text{ (Вт)}.$$

Знаходимо уточнене значення ККД, знаючи потужності втрат [2, 4, 8]:

$$\eta = \frac{P_{\text{н.ампл}}}{P_{\text{н.ампл}} + P_{\text{оміч}} + P_{\text{гіст}} + P_{\text{вихр}}} , \quad (1.73)$$

$$\eta = \frac{324}{324 + 1,97 + 2,66 + 0,0079} = 0,986 .$$

Знаходимо уточнену використовувану потужність трансформатора:

$$P_{\text{використ}} = \frac{P_{\text{н.ампл}}}{\eta} , \quad (1.74)$$

$$P_{\text{використ}} = \frac{324}{0,986} = 328,6 \text{ (Вт)}.$$

Знаходимо коефіцієнт заповнення k_m вікна проводом і ізоляцією.

Площа заповнення проводом первинної обмотки:

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$S_{\text{зап}W1} = \frac{W_{\text{перв}} \cdot \pi \cdot d_{1.1}^2 \cdot N_{\text{перв}}}{4}, \quad (1.75)$$

$$S_{\text{зап}W1} = \frac{70 \cdot \pi \cdot 0,1^2 \cdot 84}{4} = 46,2 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Площа заповнення міддю вторинних обмоток. Їх дві:

$$S_{\text{зап}W2.1} = \frac{W_{\text{втор.1}} \cdot \pi \cdot d_{2.1}^2 \cdot N_{\text{втор.1}}}{4}, \quad (1.76)$$

$$S_{\text{зап}W2.1} = \frac{37 \cdot \pi \cdot 0,1^2 \cdot 84}{4} = 24,4 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Знаходимо повну площу заповнення магнітопроводу ізоляцією:

$$S_{\text{зап.ізол}} = \pi \cdot h_{\text{втор.2.всіх}}^2, \quad (1.77)$$

$$S_{\text{зап.ізол}} = \pi \cdot 4,26^2 = 57,0 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Вираховуємо повну площу заповнення магнітопроводу проводом та ізоляцією:

$$S_{\text{зап}} = S_{\text{зап}W1} + S_{\text{зап}W2.1} + S_{\text{зап}W2.2} + S_{\text{зап.ізол}}, \quad (1.78)$$

$$S_{\text{зап}} = 46,2 + 24,4 + 24,4 + 57 = 152 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Виконуємо перевірку. Якщо $S_{\text{зап}} \geq S_0$, то розраховане число витків у вікно заданого магнітопроводу не вміститься. Щоб цього уникнути слід збільшити частоту перетворення або використувати магнітопровід більшого розміру.

Знаходимо коефіцієнт заповнення вікна магнітопроводу міддю та ізоляцією (κ_m):

$$\kappa_m = \frac{S_{\text{зап}}}{S_0}, \quad (1.79)$$

$$\kappa_m = \frac{152 \cdot 0,01}{4,53} = 0,34.$$

Знаходимо щільність струму (J), знаючи коефіцієнт заповнення вікна магнітопроводу міддю та ізоляцією [2, 4, 7, 10, 11]:

$$J = \frac{P_{\text{н.ампл}}}{2 \cdot S_c \cdot S_0 \cdot F \cdot 1000 \cdot B_{\text{еф}} \cdot \eta \cdot \kappa_m \cdot \kappa_c \cdot \kappa_f \cdot 0,01}, \quad (1.80)$$

$$J = \frac{324}{2 \cdot 0,98 \cdot 4,52 \cdot 70 \cdot 1000 \cdot 0,1 \cdot 0,986 \cdot 0,34 \cdot 1 \cdot 1,42 \cdot 0,01} = 1,69 (\text{А/мм}^2).$$

Знаходимо уточнене значення максимальної амплітуди струму первинної обмотки тим же ітераційним шляхом, яким проводили розрахунок вище. Прийmemo:

$$I_{1,\text{макс.ампл}} = 0,$$

$$U_{\text{перв.калк}} = U_{\text{перв.мін.ампл}}.$$

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Далі в циклі будемо перебирати значення напруг від $U_{\text{пит.мін}}$ до $U_{\text{пит.макс}}$ з кроком 1В.

Розраховуємо поточне значення прямокутного струму первинної обмотки $I_{1.\text{пр}}$:

$$I_{1.\text{пр.нов.ампл}} = \frac{P_{\text{використ}}}{U_{\text{перв.калк}}} \text{ (A)} .$$

Розраховуємо поточне значення трикутного струму первинної обмотки $I_{1.\text{тр}}$:

$$I_{1.\text{тр.нов.ампл}} = \frac{U_{\text{перв.калк}}}{4 \cdot F \cdot 1000 \cdot L_{\text{перв}} \cdot 0,001} \text{ (A)} .$$

Розраховуємо поточне значення максимального струму первинної обмотки $I_{1.\text{макс.нов}}$:

$$I_{1.\text{макс.нов}} = I_{1.\text{пр.нов.ампл}} + I_{1.\text{тр.нов.ампл}} \text{ (A)} .$$

Виконуємо перевірку: якщо $I_{1.\text{макс.нов}} > I_{1.\text{макс.ампл}}$, то прирівнюємо $I_{1.\text{макс}} = I_{1.\text{макс.нов}}$ і рахуємо далі. А якщо $I_{1.\text{макс.нов}} < I_{1.\text{макс.ампл}}$, то нічого не прирівнюючи рахуємо далі.

Виробляємо інкрементацію:

$$U_{\text{перв.калк}} = U_{\text{перв.калк}} + 1 .$$

Після того, як всі напруги від $U_{\text{пит.мін}}$ до $U_{\text{пит.макс}}$ з кроком 1 В перебрані, цикл завершується. У результаті ітерації знайдені прямокутна

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

($I_{1.пр.ампл} = 2,65A$) і трикутна ($I_{1.тр.ампл} = 0,057A$) складові струму, а також максимальний струм ($I_{1.макс.ампл} = 2,76A$) первинної обмотки. Максимальний струм первинної обмотки не є алгебраїчною сумою прямокутної і трикутної складових струму, про що вже говорилось раніше.

Знаходимо максимальне ефективне значення струму первинної обмотки:

$$I_{1.макс.эф} = I_{1.макс.ампл} \cdot \sqrt{\gamma_{макс}}, \quad (1.81)$$

$$I_{1.макс.эф} = 2,76 \cdot \sqrt{0,59} = 2,13 (A).$$

У цей час промисловість випускає ряд кремнієвих біполярних транзисторів, призначених для роботи ключовому режимі. В останнє десятиліття за кордоном освоєно випуск потужних МОН - транзисторів, які за своїми технічними характеристиками перевершують біполярні, а також польові транзистори, які випускалися раніше. Ці транзистори характеризуються малим часом перемикавання, великими струмами стоку, високою крутизною і малим опором каналу у відкритому стані.

Поряд з сучасними потужними МОН - транзисторами все більш широко використовують біполярні транзистори з ізольованими затворами. Транзистор даного типу характеризується малою залишковою напругою у відкритому стані і великим струмом колектора.

Знаючи, що максимальна амплітуда напруги на ключових транзисторах складає 192,4В, максимальна амплітуда струму, що протікає через транзистори, становить 15,76А, і з урахуванням зниження максимально допустимого струму стоку зі зростанням температури корпусу, утверджуємося у виборі ключових BSS88.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Падіння напруги на транзисторах при розрахованому струмі й нарузі становить 0,7 В.

З наведених даних видно, що транзистори мають запас по всіх електричних параметрах.

Мережевий випрямляч з фільтром повинен жити мостовий імпульсний перетворювач. Електролітичні конденсатори не витримують роботи на високій частоті. Тому вони повинні бути зашунтовані плівковими конденсаторами, призначеними для роботи на високій частоті.

Знайдемо ємності $C_{\text{діл.нч}}$ кожного електролітичного конденсатора [2]:

$$C_{\text{діл.нч}} \geq \frac{P_{\text{н}}}{4 \cdot \eta \cdot U_{\text{п.мін}} \cdot F_{\text{с}} \cdot \Delta U} , \quad (1.82)$$

де $P_{\text{н}}$ – потужність в навантаженні ЛБЖ;

$U_{\text{п.мін}}$ – мінімальна напруга живлення перетворювача;

$F_{\text{с}}$ – подвоєна після мостового випрямляча частота пульсацій мережевої напруги;

ΔU – розмах пульсацій вихідної напруги.

$$C_{\text{діл.нч}} \geq \frac{300}{4 \cdot 0,82 \cdot 249 \cdot 100 \cdot 8} = 4,86 \cdot 10^{-4} \text{ (Ф)} .$$

З урахуванням втрати ємності конденсатора через старіння приймаємо величину ємності у 650 мкФ. Найвищі компоненти на платі ЛБЖ мають висоту 60 мм. Висота конденсатора на 650 мкФ складає 40 мм. Тому замість одного великого конденсатора використовуємо три мініатюрних конденсатора з втричі меншою ємністю, з'єднаних паралельно.

Крім того, таке рішення економічно доцільно - один конденсатор на 650

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

мкФ коштує стільки ж, скільки три конденсатора на 220 мкФ. Таким чином, будемо використовувати чотири електролітичних конденсатора фірми «Gembird» ємністю 220 мкФ на максимально допустиму напругу 400 В.

Обчислимо ємності ($C_{\text{дільнч}}$) високочастотного плівкового конденсатора дільника напруги [2]:

$$C_{\text{дільнч}} \geq \frac{P_{\text{н}}}{4 \cdot \eta \cdot U_{\text{п.мін}} \cdot F_{\text{с}} \cdot \Delta U} , \quad (1.83)$$

$$C_{\text{дільнч}} \geq \frac{300}{4 \cdot 0,82 \cdot 70 \cdot 10^3 \cdot 249 \cdot 8} = 4,37 \cdot 10^{-7} \text{ (Ф)} .$$

Виберемо високочастотні зарубіжні конденсатори марки MER ємністю 1,5 мкФ і з максимальною напругою 400 В.

Через діоди мережевого випрямляча протікає струм не більше 1,38 А. Зворотна напруга на діодах досягає 357 В. Виходячи з цього, вибираємо діодну збірку KBU810.

Після відключення ІБЖ від мережі конденсатори ємнісного дільника напруги повинні бути розряджені з міркувань безпеки. Для цього паралельно плечам дільника напруги встановлюємо два баластних резистора. Приймаємо опір кожного резистора в 82кОм.

Обчислимо потужність розсіювання на резисторах $R_{\text{бал}}$:

$$P_{\text{г.бал.макс}} = \frac{\left(\frac{U_{\text{п.макс}}}{2}\right)^2}{R_{\text{бал}}} , \quad (1.84)$$

$$P_{\text{г.бал.макс}} = \frac{\left(\frac{357}{2}\right)^2}{82} \cdot 10^3 = 0,39 \text{ Вт} .$$

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Виберемо баластний резистори потужністю 1 Вт, оскільки він розрахований на роботу при напрузі 178,5 В, яка може бути до нього прикладена.

В результаті розрахунків отримали принципову схему мережевого випрямляча з ємнісним фільтром, яка зображена на рисунку 3.

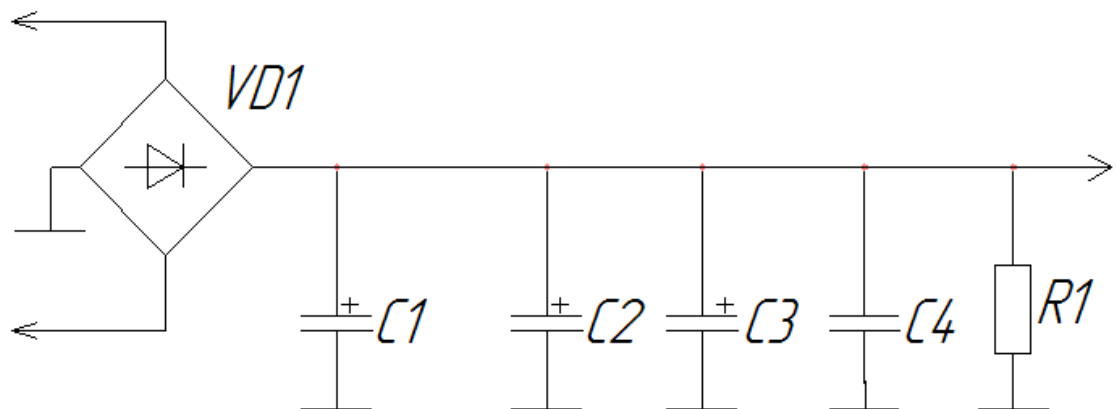


Рисунок 1.3 – Схема електрична принципова мережевого випрямляча

1.6 Вибір компонентів

Для того, щоб імпульсний лабораторний блок живлення працював надійно на протязі довгого часу і забезпечував задані параметри, необхідно підібрати сучасну елементну базу, яка б забезпечувала якісну його роботу. При виборі елементів потрібно враховувати вартість та надійність елементів, щоб пристрій міг конкурувати на ринку радіотоварів.

При виборі елементів враховуються:

- розкид значень параметрів, залежність їх від режиму та умов експлуатації;
- зміни значень параметрів на протязі часу зберігання та експлуатації;
- зміна теплових режимів і забезпечення стабільності цих теплових режимів;

- необхідність забезпечення запасу по електричних, механічних та теплових навантаженнях.

Використовуючи сучасну компонентну базу можна досягти стабільних вихідних характеристик при великих навантаженнях.

В даній схемі використовуються такі елементи:

В даній схемі використовуємо резистори постійні металооксидні серії МО.

Резистори R33, R34 вибираю типу С5-5.

Резистор R18, R26 вибираю типу PVG5.

Резистори R7, R8 вибираю типу R0901N.

Конденсатори для навісного монтажу. Конденсатори призначені для роботи в ланках постійного, перемінного та імпульсного струмів.

При виборі конденсаторів враховуємо такі параметри:

- номінальна ємність;
- допустиме відхилення ємності;
- тангенс кута втрат;
- номінальна максимальна напруга;
- робочий температурний діапазон;
- температурний коефіцієнт ємності;
- опір ізоляції.

Конденсатори для навісного монтажу електролітичні серії КМ фірми Сархон (С1-С5,С8,С19,С14, С20- С22, С33,С34) .

Конденсатори для навісного монтажу високовольтні керамічні серії К73-17 (С12,С13,С16,С18,С23,С27-С29,С31,С32,С35,С36,) .

Конденсатори (С6,С7,С10,С11,С17) вибираємо типу FTD, це багат шарові керамічні конденсатори які виготовлені в корпусі який піддається автоматизації встановлення. Також ці конденсатори широкорозповсюдженні та недорогі.

Транзистори.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Транзистори призначені для роботи в ланках постійного, перемінного та імпульсного струмів.

Транзистор VT1 вибираємо типу КТ361В.

Транзистор VT2 вибираємо типу КТ315В.

Транзистори (VT3-VT8) вибираємо типу BSS88.

Транзистори (VT9,VT10) вибираємо типу 2SK956 – кремнієвий епітаксіально-планарний польовий транзистор з вбудованим зворотно змещеним діодом.

Габаритні розміри транзистора зображені на рисунку 4.

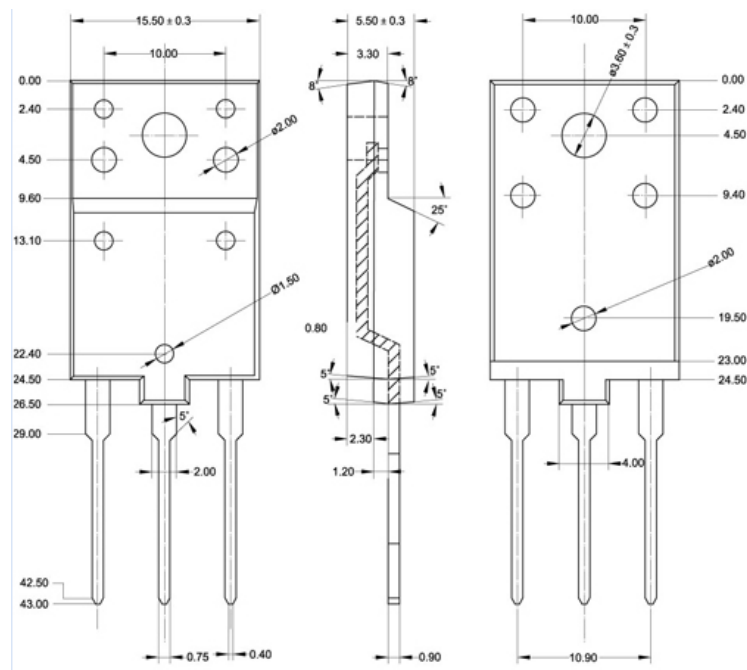


Рисунок 1.4 – Транзистор 2SK956

Транзистор VT11 вибираємо типу КТ502Е.

Транзистор VT11 вибираємо типу КТ503Е.

Термістори - це спеціалізовані резистори з позитивним температурним коефіцієнтом, чий опір швидко зростає, при перевищенні температури компонента певного порогу. Ці прилади характеризуються найширшим спектром застосувань:

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

КБА 2.899.001 ПЗ

Арк

- у колах захисту від перевищення струму: джерела живлення, електроприводи, телекомунікаційне обладнання;

- розмагнічування масок кінескопів;
- елементи схеми «м'якого» пуску моторів, компресорів і ін.;
- датчики рівня рідини;
- датчики температури;
- нагрівальні елементи.

Характеристики термістора MZ72-20RM [14]:

- номінальний опір, Ом.....20;
- допустиме відхилення від номіналу, %.....±20;
- робоча напруга, В.....220;
- максимальна напруга, В.....270;
- тип корпусу – двохвивідний.

Діоди.

Діоди (VD1,VD2) вибираємо типу КД510А –це імпульсні малосигнальні діоди.

Діоди (VD7-VD11) вибираємо типу КД212А – це кремнієві, дифузійні діоди.

Діоди (VD12-VD17) вибираємо типу КД2999А.

Діодний міст (VD3) вибираємо типу RS207 – це діодна матриця в пластиковому корпусі з гнучкими виводами

Діодний міст (VD4) вибираємо типу RBU8М –це діодна матриця в пластиковому корпусі з гнучкими дротяним виводами для установки на друковану плату.

Стабілізатори (DA1, DA2) вибираємо типу L780CV.

Стабілізатори (DA3) вибираємо типу КР142ЕН8.

Мікросхему (DA3) вибираємо типу TL494CN. Вона використовується в якості схеми управління.

Мікросхему (DA5) вибираємо типу КР572ПВ2.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Оптопару (U1.1, U1.2) вибираємо типу АОТ101БС.

Індикатори (HL1-HL3) вибираємо типу АЛ314А.

1.7 Аналіз роботи ШІМ-контролера

Мікросхема TL494 починає функціонувати при подачі напруги живлення на вивід 12. Якщо робочий діапазон напруг живлення на цьому виводі знаходиться в межах 7... 40 В, то запускаються вбудований генератор і джерело еталонного напруги.

Генератор працює на фіксованій частоті, з цією ж частотою на виводі 5 формується пилкоподібна напруга амплітудою 3,2 В. Частота слідування «пили» залежить від двох зовнішніх компонентів: конденсатора Ст і резистора Rt; підключеним до виводів 5 і 6 відповідно. Наближено частота генератора визначається за формулою $f_T = 1,1 / (RTCT)$.

Сигнали управління тривалістю вихідного імпульсу можуть надходити на вхід управління «паузою» (вивід 4), входи підсилювачів сигналу помилки (1, 2, 15, 16) або вхід зворотного зв'язку (3). Тривалість вихідного імпульсу ШІМ-компаратора встановлюється порівнянням позитивної наростаючої пилкоподібної напруги з двома іншими керуючими сигналами, які надходять на неінвертуючі входи відповідних компараторів.

Вивід 3 - вхід зворотного зв'язку.

Вивід 4 - «пауза». В деякій літературі використовуються назви: час затримки, «мертва зона».

Вихідний транзисторний каскад відкривається, коли пилкоподібна напруга на входах компараторів перевищує сигнали управління, тому збільшення амплітуди керуючих сигналів викликає відповідне зменшення тривалості вихідних імпульсів мікросхеми. Зворотне співвідношення сигналів виключає наявність імпульсів на виходах мікросхеми.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Додатковою мірою виключення явища «наскрізного» струму в півмостовому перетворювачі є фіксоване зміщення компаратора «паузи» 0,12 В. При напрузі пилки менше 0,12 В і нульовому потенціалі на виводі 4, на виході компаратора буде зберігатися нульовий рівень, цей інтервал відповідає максимальній тривалості вихідного імпульсу та мінімальній тривалості інтервалу «пауза», величина якої в цьому випадку не буде перевершувати 4% від періоду пилоподібного напруги. Максимальна тривалість паузи відповідає напрузі рівній +3,3 В на виводі 4 мікросхеми.

Крім того, за допомогою входу управління «паузою» досить просто організовується режим «повільного пуску» перетворювача. Наявність цього режиму дозволяє плавно запустити перетворювач в перший момент включення в електричну мережу. Слід зазначити, що режим запуску є дуже важким режимом роботи перетворювача, всі фільтрові конденсатори розряджені, тому режим пуску близький до режиму короткого замикання. Транзистори перетворювача до моменту остаточного заряду конденсаторів фільтрів випрямлячів повинні працювати в критичному режимі максимальних струмів. Забезпечити комфортну роботу транзисторів під час запуску перетворювача до закінчення заряду конденсаторів фільтрів дозволяє використання режиму «повільного пуску».

Головне призначення підсилювачів помилки - вимірювання відхилення вихідної напруги і струму навантаження з метою підтримки напруги на виході джерела живлення на постійному рівні. У режимі стабілізації модуляція тривалості величини вихідних керуючих імпульсів здійснюється зміною вихідних сигналів підсилювачів помилок, вхідна напруга яких може змінюватися в межах від 0,5 до 3,5 В.

Обидва підсилювача можуть працювати в однакових режимах. Виходи підсилювачів з'єднані з неінвертуючим входом ШІМ - компаратора. Така архітектура мікросхеми (з управлінням у колі зворотного зв'язку) дозволяє підтримувати напруги на виході джерела живлення з мінімальним

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

відхиленням.

У двотактному режимі вхід управління вихідними каскадами (вивід 13) підключається до джерела опорної напруги (вивід 14). У мікросхемі є джерело опорної напруги (вивід 14), яке в робочому режимі формує напругу +5 В з максимальним струмом навантаження в 10 мА. Призначення цього джерела - живлення зовнішніх по відношенню до мікросхеми ланок.

У момент включення джерела живлення конденсатори фільтрів розряджені, сигнали зворотних зв'язків відсутні. Дія зворотного зв'язку призводить до того, що потужність на колекторних переходах може перевищити допустиму. Тому для забезпечення поступового «входження» перетворювача в режим нормальної стабілізації, необхідно обмежувати струм транзисторів в момент пуску. Для цього реалізований режим «повільного пуску».

Режим реалізований послідовним з'єднанням резистора і конденсатора
рисунок 1.5.

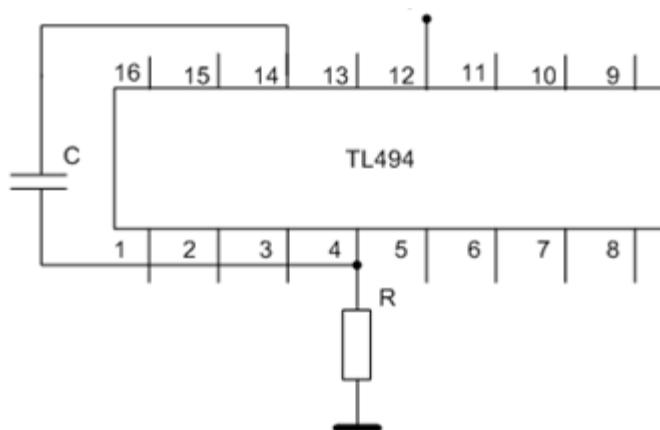


Рисунок 1.5 – Схема «повільного пуску» мікросхеми

Один з елементів ланки, як правило конденсатор, підключений до джерела еталонного напруги мікросхеми (вивід 14), середня точка ланки підключена до входу «пауза». Після включення в мережу і запуску перетворювача формується напруга живлення мікросхеми, як правило, +25 В. З цієї напруги мікросхемою формується еталонна напруга +5 В, що є

джерелом для ланки «повільного запуску». В момент включення по ланці протікає зарядний струм, до входу управління «паузою» прикладається максимальне падіння напруги на резисторі R, що відповідає появі на виходах мікросхеми (виводи 8,11) імпульсів малої тривалості. У міру заряду конденсатора C напруга на виводі 4 зменшується, тривалість керуючих імпульсів збільшується, зростає напруга на виході джерела і відповідно відбувається заряд конденсаторів фільтра. З ростом напруги на виході збільшується напруга зворотного зв'язку та ШІМ - формувач переходить в режим стабілізації. Це ілюструють часові діаграми на рисунку 1.6.

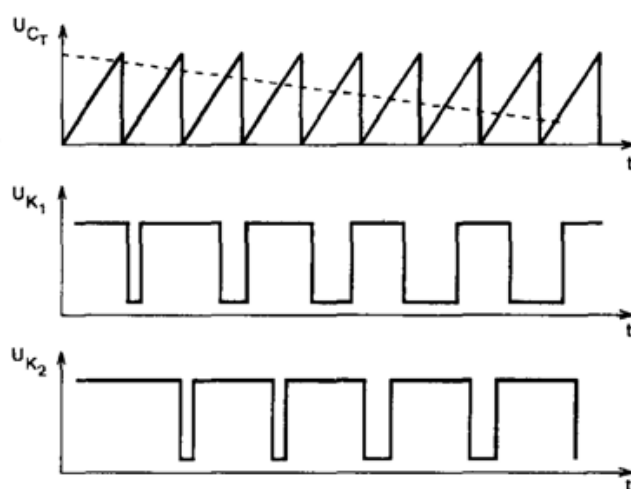


Рисунок 1.6 – Часові діаграми «повільного пуску»

1.8 Конструювання друкованої плати ЛБЖ

На підставі електричної принципової схеми перетворювача розробимо компоновку і конструкцію друкованої плати. Для забезпечення роботи ЛБЖ потрібно особливо врахувати розташування елементів на друкованій платі та виконання топології розводки монтажних з'єднань. Надмірна довжина провідників, особливо підключених до високоомних входів мікросхеми, як результат, паразитна індуктивність і наведення ЕРС, призводить до генерації. А вона може вести до двох наслідків - надмірної потужності споживання

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

мікросхемою або збою логіки, який може спричинити пробій ключових транзисторів.

Щоб вирішити ці проблеми і полегшити умови роботи пристрою, довжина всіх провідників повинна бути мінімальною, особливо виводи блокувальних конденсаторів. На друкованій платі під компонентами задаючого генератора повинно бути залишено багато місця для екрана.

Для подавлення високочастотних завад паралельно виводам живлення ІМС необхідно включити конденсатор з низькою внутрішньої індуктивністю і номінальною ємністю 4,7 мкФ не далі ніж 6 мм від виводу 15 ІМС.

Слід не допускати утворення паразитних контурів від вихідних виводів через загальний провідник.

Для зменшення електромагнітного випромінювання сильно точні ланки необхідно виконувати мінімальної довжини. Елементи, які являються джерелами електромагнітних завад, можна екранувати. Зменшити електромагнітне випромінювання можна застосуванням трансформаторів тороїдального типу, що володіють малими полями розсіювання.

1.9 Компонування та конструкція вузла ЛБЖ

Силові транзистори і діодний міст кріпляться до радіатора за допомогою клею і гвинтів. Діоди VD12-VD17 розташовані на окремому радіаторі. Перед кріпленням на елементи наносять теплопровідну пасту для кращої передачі тепла. Діоди VD12-VD17 розташовані на окремому радіаторі.

Схема індикації розташована на окремій платі, оскільки вона повинна прикріплюватися до передньої панелі. Оскільки елементи R33, R34 і C27, C28 сильно гріються то їх бажано кріпити окремо. Точки кріплення всіх виносних елементів показані на платі.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Проектований блок є стаціонарним блоком живлення. Це дещо послаблює вимоги щодо кріплення радіокомпонентів внаслідок менших механічних навантажень.

На друковану плату радіокомпоненти повинні встановлюватися згідно вимог діючих стандартів.

Для покращення метрологічних характеристик блока живлення вибрано оптимальні варіанти встановлення елементів та розміщення їх на платі. Також увагу було приділено розмірам провідників, їхній довжині та ширині, пропаюванню цих провідників, по яким протікатиме найбільший струм, мінімізації міжпровідникової ємності тощо. Для цього були вжиті такі заходи:

- вхідна силова, вихідна силова та схема управління сформовані в окремих площинах плати;
- радіатор силових транзисторів максимально віднесений від термочутливих вузлів схеми;
- всі елементи з підвищеною температурою роботи максимально віддалені від електролітичних конденсаторів, що продовжує час їх роботи;
- силові та сигнальні землі розділені та з'єднані на виводі фільтруючого конденсатора.

Виводи всіх радіокомпонентів паяні до друкованої плати припоєм ПОС-61 або аналогічним, що дозволяє добитися оптимальної надійності кріплення.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

2.1 Особливості електротравматизму, електричний струм, як чинник небезпеки

Електротравми відбуваються при потраплянні людини під напругу в результаті доторкання до елементів електроустановки з різними потенціалами, чи потенціал яких відрізняється від потенціалу землі, в результаті утворення електричної дуги між елементами електроустановки безпосередньо, або між електроустановкою і людиною, яка має контакт з землею, а також в результаті дії напруги кроку.

Електротравматизм як соціальна категорія характеризується сукупністю електротравм за певний проміжок часу, їх абсолютними і відносними показниками, розподілом за тяжкістю, галузями виробництва тощо.

Як попередньо зазначалось, електротравми в загальному виробничому травматизмі складають біля 1%, а в смертельному - біля 15-20%. Останнє свідчить про зміщення виду електротравм у бік тяжких, що є однією з особливостей електротравматизму.

Особливістю електротравматизму є також те, що на електроустановки напругою до 1 кВ припадає до 70-80% електротравм зі смертельними наслідками, а на електроустановки, напругою понад 1 кВ, - до 20-30%. Наведений розподіл електротравм за величиною напруги електроустановок обумовлюється не тільки більшою розповсюдженістю електроустановок напругою до 1 кВ, але більшою мірою, ще й тим, що такі установки доступні більшому загалу працівників, які мають недостатньо чіткі уявлення щодо небезпеки електричного струму та вимог безпеки при експлуатації електроустановок.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

До установок, напругою понад 1 кВ, має доступ обмежена кількість працівників, які повинні мати достатній рівень підготовки з питань електробезпеки відповідний вимогам чинних нормативів групи з електробезпеки.

Крім зазначеного, в порівнянні з іншими видами травматизму, електротравматизму характерні такі особливості:

- людина не в змозі дистанційно, без спеціальних приладів, визначити наявність напруги, а тому дія струму, зазвичай, є раптовою, і захисна реакція організму проявляється тільки після потрапляння під напругу;

- струм, що протікає через тіло людини, діє на тканини і органи не тільки в місцях контакту зі струмовідними частинами і на шляху протікання, але й рефлекторно, як надзвичайно сильний подразник, впливає на весь організм, що може призводити до порушення функціонування життєво важливих систем організму — нервової, серцево-судинної систем, дихання;

- електротравми можливі без дотику людини до струмовідних частин — внаслідок утворення електричної дуги при пробі повітряного проміжку між струмовідними частинами, або між струмовідними частинами і людиною, чи землею;

- розслідуванню, обліку і аналізу, в основному, доступні тяжкі електротравми та електротравми зі смертельними наслідками, що негативно впливає на профілактику електротравм.

Суттєво впливає на результат поразення шлях струму через тіло людини. Небезпека ураження особливо велика, якщо струм, проходячи через життєво важливі органи - серце, легені, головний мозок, - діє безпосередньо на ці органи. Якщо струм не проходить через ці органи, то його дія на них тільки рефлекторна і ймовірність ураження менша. Встановлено найбільш часто зустрічається шлях струму через людину, так звана «петля струму». У більшості випадків струму через

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

людину протікає у напрямку права рука - ноги. Однак втрату працездатності більше ніж на три робочих дні викликає протікання струму по шляху рука - рука - 40%, шлях струму права рука - ноги - 20%, ліва рука - ноги - 17%, решта шляху зустрічаються рідше.

Загальні електричні травми або електричні удари - це порушення діяльності життєво важливих органів чи всього організму людини як наслідок збудження живих тканин організму електричним струмом, яке супроводжується мимовільним судомним скороченням м'язів. Результат негативної дії на організм цього явища може бути різний: від судомного скорочення окремих м'язів до повної зупинки дихання і кровообігу. При цьому зовнішні місцеві ушкодження можуть бути відсутні.

Залежно від наслідків ураження розрізняють чотири групи електричних ударів:

I - судомні скорочення м'язів без втрати свідомості;

II- судомні скорочення м'язів із втратою свідомості без порушень дихання і кровообігу;

III - втрата свідомості з порушенням серцевої діяльності чи дихання або серцевої діяльності і дихання разом;

IV - клінічна смерть, тобто відсутність дихання і кровообігу. Клінічна смерть - це перехідний стан від життя до смерті. В стані клінічної смерті кровообіг і дихання відсутні, в організм людини не постачається кисень. Ознаки клінічної смерті: відсутність пульсу і дихання, шкіряний покрив синювато-блідий, зіниці очей різко розширені і не реагують на світло.

При роботі імпульсного блока живлення використовується небезпечна напруга 220В, що може призвести до ураження електричним струмом і травмування людей, тому необхідно враховувати особливості електротравматизму при розробці та експлуатації блока живлення.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

2.2. Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок

Для формуванні вимог пожежної безпеки при гасіння електроустановок використовують «Інструкцію з гасіння пожеж на енергетичних об'єктах України» НАПБ В.05.024-2005/111.

У цій інструкції викладено основні вимоги щодо розроблення, затвердження та коригування планів і карток пожежогасіння з урахуванням специфіки енергетичних об'єктів Мінпаливенерго України й рекомендації щодо гасіння пожеж на електроустановках, що перебувають під напругою.

Під час гасіння пожеж на електроустановках слід використовувати вимоги ГКД 34.03.303-99 (НАПБ В.01.034-99/111) (розділ 14 "Порядок дій при пожежі").

1. Як вогнегасні речовини під час гасіння пожеж в електроустановках під напругою доцільно використовувати компактні та розпилені струмені води, газові вогнегасні речовини - інертні розріджувачі (на основі інертних газів), вогнегасний порошок.

2. Застосовувати усі види піни під час гасіння пожеж на електроустановках під напругою ручними засобами за участю людей забороняється.

3. Під час пожежі в дослідній лабораторії перша особа, яка виявила загоряння, зобов'язана негайно повідомити телефоном пожежну охорону, начальника зміни станції (чергового або диспетчера станції), старшого зміни і приступити до гасіння пожежі наявними засобами пожежогасіння, дотримуючись правил техніки безпеки.

4. До прибуття відомчої пожежної охорони начальник зміни особисто або із залученням чергового персоналу зобов'язаний виконати такі роботи:

- визначити місце осередку вогнища, оцінити ситуацію на пожежі, спрогнозувати поширення пожежі і можливість утворення нових осередків горіння на іншому електрообладнанні;

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

- розпочати гасіння пожежі і охолодження будівельних конструкцій силами і засобами дослідної лабораторії;
- за можливості зняти напругу з установки, яка горить, або сусіднього з нею електрообладнання, якщо це не спричинить більш тяжких наслідків;
- перевірити вмикання системи автоматичного пожежогасіння, а у випадку відмови - задіяти її в ручному режимі;
- організувати зустріч пожежних підрозділів і визначити місця заземлення пожежної техніки і розташування пожежних гідрантів;
- проінформувати відомчу пожежну охорону про безпечні маршрути прямування пожежників на бойові позиції.

5. Загоряння (займання) в електроустановках під напругою ліквідується персоналом дослідної лабораторії за допомогою переносних і пересувних вогнегасників: порошкових - при напрузі до 1,0 кВ, вуглекислотних - при напрузі до 10 кВ.

Відстань від насадки (розтруба) вогнегасника до струмопровідних частин електроустановок не може бути менше ніж 1 м. Застосування пінних вогнегасників не допускається.

6. Гасіння пожежі в приміщеннях на електроустановках, які знаходяться під напругою до 10 кВ, всіма видами піни за допомогою ручних засобів забороняється, оскільки піна і розчин піноутворювача мають підвищену електропровідність порівняно з розпиленою водою.

7. Для гасіння пожеж електроустановок, які знаходяться під напругою, допускається використовувати воду з водопровідних мереж, а також з природних і штучних водойм.

Розроблений блок живлення працює від мережі 220В тому існує імовірність його загоряння внаслідок несправності. В разі загоряння блок живлення потрібно гасити порошковим вогнегасником ОП-1, який знаходиться на пожежному щиті у дослідній лабораторії.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Висновки

В кваліфікаційній роботі було проведено розробку конструкції імпульсного блока живлення з покращеними метрологічними характеристиками.

На основі аналізу існуючих структурних схем побудови БЖ вибрано структуру проектного ЛБЖ та здійснений її опис.

При схемотехнічному проектуванні, була проведена розробка та розрахунок схеми електричної. Побудова силових блоків зроблена на основі ШІМ, що дає можливість зменшити габарити та збільшити коефіцієнт корисної дії проектного блока живлення. Також реалізовано кола плавного запуску та індикації основних режимів роботи.

Вибір компонентної бази проводився з врахуванням технічних та експлуатаційних характеристик пристрою та орієнтувався на іноземну компонентну базу, яка характеризується високою надійністю та різноманітністю.

При конструкторському проектуванні проведено розробку друкованої плати та вузла блока живлення. В ході конструювання, для лабораторного блока живлення, вибрано плату СФ-1-50Г-1,5 з товщиною склотекстоліту 1,5мм та товщиною фольги 50мкм. Компоновка компонентів на друкованій платі проводилась згідно вимогами теплової та електромагнітної сумісності компонентів.

При здійсненні розробки ЛБЖ було застосовано системи автоматизованого проектування.

Проведено аналіз безпеки життєдіяльності та основ охорони праці.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Перелік використаних джерел

1. Семенов Б.Ю. Силовая електроніка для любителів та професіоналів.- К.: СОЛОН Р, 2001. - 321с.
2. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства: Справ, радиолюбителя / Р.М. Терещук, К.М. Терещук, С.А. Седов. - 4-е изд., стер.- Киев: Наук. думка, 1988,-800с.: ил.-Библиогр.: с. 765-800.
3. P. Horowitz, W. Hill. The art of circuitry. 2.L: World, 2003. - 590 p.
4. Технологія і автоматизація виробництва радіоелектронної апаратури- К.: Радіо і зв'язок, 1999 - 263 с.
5. Баскаков, С. І. Радіотехнічні ланцюги і сигнали / С. І. Баскаков. - К.: Вища школа, 2010 р.
6. Голянцкій, І. А. Математичні моделі і методи в радіозв'язку / І. А. Голянцкій. - К.: Еко-Трендз, 2005.
7. Блейхут, Р. Швидкі алгоритми цифрової обробки сигналів / Р. Блейхут. - К.: Світ, 1989.
8. Каганов, В. І. Радіотехнічні ланцюги і сигнали. Комп'ютеризований курс: навч, посібник / В. І. Каганов. - 2-е изд., Персраб. і доп. - К.: Форум, 2013.
9. Нефедов, В. Я. Основи радіоелектроніки та зв'язку / В. І. Нефедов, А. С. Сігов. - К.: Вища школа 2009.
10. Molisch, AF Wireless communications / A F. Molisch. - Wiley, 2011.
11. Транзистори для апаратури широкого застосування Довідник. / К. М. Бережнев, Є. І. Гантман, Т. І. Давидова та ін. За загальною редакцією Б.Л. Перельман - Х., "Радіо і зв'язок", 1991 - 656 с.
12. Проектування радіопередавальних пристроїв: Підручник для вузів. / В. В. Шахгільдян, І. А. Попов та ін.: За редакцією В. В. Шахгільдяна. - К., "Радіо і зв'язок", 1984. - 424 с.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

13. Радіопередаючі пристрої зв'язку та мовлення: Підручник для технікумів. / О. Л. Муравйов - К., «Радіо і зв'язок», 1983. - 352 с.

14. Проектування радіопередаючих пристроїв малої та середньої потужності. / М. В. Верзунов, Є.Г. Лапіцький, А.М. Семеновський, Л.М. Сосновський. - Л., "Енергія", 1997. - 376 с.

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

ДОДАТКИ

					КБА 2.899.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	<u>Конденсатори</u>		
C1	Сархон 22мкФ×16В±20%	1	
C2	Сархон 6,8мкФ×16В±20%	1	
C3-C4	Сархон 100мкФ×25В±20%	2	
C5	Сархон 1000пФ×25В±20%	1	
C6,C7	FTD 0,01мкФ×±20%	2	
C8,C9	Сархон 10мкФ×16В±20%	2	
C10,C11	FTD 0,01мкФ×±20%	2	
C12,C13	K73-17 10нФ×63В±10% ОЖО.460.127. ТУ	2	
C14	Сархон 100мкФ×25В±20%	1	
C15	FTD 2200пФ×±20%	1	
C16	K73-17 0,01мкФ×630В±10% ОЖО.460.127. ТУ	1	
C17	FTD 0,01мкФ×±20%	1	
C18	K73-17 0,01мкФ×630В±10% ОЖО.460.127. ТУ	1	
C19	FTD 100нФ×±20%	1	
C20-C22	Сархон 220мкФ×400В±20%	3	
C23	K73-17 1,5мкФ×630В±10% ОЖО.460.127. ТУ	1	
C24,C25	FTD 100пФ×±20%	2	
C26	FTD 4,7нФ×±20%	1	
C27, C28	K73-17 10нФ×400В±10% ОЖО.460.127. ТУ	2	
C29	K73-17 1мкФ×400В±10% ОЖО.460.127. ТУ	1	
C30	K73-17 0,22мкФ×400В±10% ОЖО.460.127. ТУ	1	
C31, C32	K73-17 0,22мкФ×400В±10% ОЖО.460.127. ТУ	2	
C33,C34	Сархон 1000мкФ×63В±20%	2	
C35,C36	K73-17 1мкФ×63В±10% ОЖО.460.127. ТУ	2	

КБА 2.899.001 ПЕЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Коваль Б.А.			Імпульсний блок живлення	Лім.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Зелінський І.М.					1	4
Реценз.						ФПТ, ар. РВс-41		
Н. Контр.		Апостол Ю.О.						
Затверд.		Паламар М.І.						

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	<u>Мікросхеми</u>		
DA1,DA2	L780CV	1	
DA3	KP142EH8 БКО.347.098 ТУ	2	
DA4	TL494CN	1	
DA5	KP572PB2 БКО.348.284 ТУ	1	
	<u>Запобіжник</u>		
FU1	Запобіжник плавкий 3,15А ЩЫЗ.365.001. ТУ	1	
	<u>Індикатори</u>		
HL1-HL3	АЛ314А ТУ-04-086-66	3	
	<u>Дроселі</u>		
L1	Дросель двохобмоточний для мережевого фільтра	1	Спецвиріб
L2, L3	Дросель високочастотний для вихідного фільтра	2	Спецвиріб
	<u>Резистори</u>		
R1	МО-0,25-470Ом±5%	1	
R2	МО-0,25-1кОм±5%	1	
R3	МО-0,25-22кОм±5%	1	
R4	МО-0,25-1кОм±5%	1	
R5	МО-0,25-4,7кОм±5%	1	
R6	MZ72-20RM	1	
R7,R8	R0901N	2	
R9,R10,	МО-0,25-4,7кОм±5%	3	
R12	МО-0,25-300Ом±5%	1	
R13	МО-0,25-620Ом±5%	1	
R14	LT0030F-30-0,1 Ом±5%	1	
R15	МО-0,25-300Ом±5%	1	
R16	МО-0,25-7,5кОм±5%	1	
			КБА 2.899.001 ПЕЗ
			Арк. 2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис
			Дата

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Назва	кількість	Примітки	Перв. застос.		
							№ довідк.	№	
				<u>Документація</u>					
A1			КБА 2.899.001 СК	Складальне креслення	1				
A1			КБА 2.899.001 ЕЗ	Схема електрична					
				принципова	1				
A4			КБА 2.899.001 ПЕ	Перелік елементів	1				
A4			КБА 2.899.001 ПЗ	Пояснювальна записка	1				
				<u>Деталі</u>					
		1	КБА 7.103.001	Плата друкована	1				
		2	КБА 4.7.001	Дросель двохобмоточний	1	L1			
				для мережевого фільтра					
		3	КБА 4.7.002	Дросель високочастотний	2	L2,L3			
				для вихідного фільтра					
		4	КБА 4.7.003	Трансформатор імпульсний					
				силовий	1				
		5	КБА 4.7.004	Радіатор	1				
				<u>Стандартні вироби</u>					
		6		Гвинт М2×6	2				
				ГОСТ 17475-80					
		7		Шайба 2×109.019	2				
				ГОСТ10450-78					
КБА 2.899.001									
	Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата				
	Розроб.		Коваль Б.А.				Літ.	Аркуш	
	Перевір.		Зелінський І.М.					Аркушіє	
	Реценз.						1	6	
	Н. Контр.		Апостол Ю.О.				ФПТ, гр. РВс-41		
	Зав. каф.		Паламар М.І.						
	Вузол друкований специфікація								

Перв. застос.		Формат	Зона	Позиція	Позначення	Назва	кількість	Примітки	
Довідк. №				8		Болт 27×5	1		
						ГОСТ 7805-70			
				9		Гайка 5×2,5	4		
						ГОСТ 5915-70			
				10		Болт 15×5	3		
						ГОСТ 7805-70			
							<u>Інші вироби</u>		
								<u>Конденсатори</u>	
Підп. і дата				11		Сархон 1000пФ 25В±20%	1	С5	
				12		Сархон 6,8мкФ 16В±20%	1	С2	
				13		Сархон 10мкФ 16В±20%	2	С8, С9	
				14		Сархон 22мкФ 16В±20%	1	С1	
				15		Сархон 100мкФ 25В±20%	2	С3, С4, С14	
				16		Сархон 220мкФ 400В±20%	3	С20-С22	
				17		Сархон 1000мкФ 63В±20%	2	С33, С34	
				18		FTD 2200пФ ±20%	1	С15	
				19		FTD 0,01мкФ ±20%	5	С6, С7, С10, С11, С17	
				20		К73-17 10нФ 63В±10%	2	С12, С13	
						ОЖ0.460.127. ТУ			
				21		К73-17 0,01мкФ 630В±10%	2	С16, С18	
Підп. і дата						ОЖ0.460.127. ТУ			
				22		К73-17 0,22мкФ 400В±10%	3	С30, С31, С32	
						ОЖ0.460.127. ТУ			
Інв. № ориг.									
КБА 2.899.001								Арк.	
								2	
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата					

