

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Універсальний модульний блок живлення потужністю 250 Вт

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи РАсз-41  
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Козуб С.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Яськів В.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Паляниця Ю.Б.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Дедів Л.Є.

(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 радіотехнічних систем  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«02» червня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Козубу Сергію Романовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Універсальний модульний блок живлення потужністю 250 Вт.

Керівник роботи Яськів Володимир Іванович, д.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 02 » 06 2023 року № 4/7-592

2. Термін подання студентом завершеної роботи 13.06.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Напруга живлення:  $(220 \pm 10\%)$  В, частота  $(50 \pm 5\%)$  Гц, акумуляторна батарея з напругою 12-27В; Споживана потужність, не більше – 250 Вт; Вихідна напруга – 25 В; Максимальний струм навантаження – 8 А;

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)  
аналіз технічного завдання; аналіз схемних рішень виконання блоків живлення імпульсних; розроблення схеми структурної блоку живлення, схеми електричної принципової, розрахунок номіналів елементів схеми електричної принципової; конструювання блоку живлення, а саме: обґрунтування вибору елементної бази, трасування друкованої плати, розробка компоновки друкованого вузла.

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

1. Структурна схема;

2. Схема електрична принципова;

3. Друкована плата;

4. Друкований вузол;



## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Універсальний модульний блок живлення потужністю 250 Вт». Кваліфікаційна робота бакалавра // ТНТУ імені Івана Пулюя, ФПТ, група РАзс-41. // Тернопіль, 2023р. //с.- 60, рис.- 12, бібліог.- 14, додат.- 3.

Ключові слова: БЛОК ЖИВЛЕННЯ, АКУМУЛЯТОР, ІМПУЛЬСНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ.

В роботі проводиться проектування універсального модульного блока живлення потужністю 250 Вт, який міг би працювати як від електромережі змінного струму, так і від бортової мережі постійного струму та призначений для наступного живлення блоків стаціонарної та перевізної радіоапаратури. За основу проектування використано структуру однотактних перетворювачів. Зокрема зворотногоходових, а також основні вузли побудовано на спеціалізованих інтегральних мікросхемах TOP250Y. Власне розроблено схеми структурну та електричну, проведено розрахунки окремих вузлів, вибрано елементи та розроблено друковану плату і друкований вузол. Технічні вимоги до блока живлення: напруга живлення – 220В  $\pm$ 10%, частота (50 $\pm$ 5%) Гц; Напруга живлення: (220 $\pm$ 10%) В, частота (50 $\pm$ 5%) Гц або акумуляторна батарея з напругою 12-27В; споживана потужність не більше 250 Вт; вихідна напруга 25 В; максимальний струм навантаження 8 А.

## SUMMARY

Theme of qualification work : "Universal modular power supply unit with a power of 250 W ". Qualifying work of a bachelor // TNTU, FPT, group RAs-41. // Ternopil, 2023 //p.- 60, fig.- 12, , bibliog.- 14, appendix- 3 .

Key words: POWER UNIT, BATTERY, PULSE CONVERTER.

The work is designing a universal modular power supply unit with a capacity of 250 W, which could work both from the alternating current power grid and from the on-board direct current network and is intended for the subsequent power supply of stationary and portable radio equipment units. The structure of single-cycle converters was used as the basis of the design. In particular, the reverse, as well as the main nodes, are built on specialized TOR250Y integrated circuits. Structural and electrical schemes were actually developed, calculations of individual nodes were carried out, elements were selected and a printed circuit board and a printed node were designed. Technical requirements for the power supply unit: supply voltage -  $220V \pm 10\%$ , frequency  $(50 \pm 5\%)$  Hz; Supply voltage:  $(220 \pm 10\%)$  V, frequency  $(50 \pm 5\%)$  Hz or battery with a voltage of 12-27V; power consumption no more than 250 W; output voltage 25 V; maximum load current 8 A.

## Зміст

Вступ.....	7
1 Основна частина.....	9
1.1 Аналіз технічного завдання.....	9
1.2 Аналіз принципів роботи силових елементів імпульсних блоків живлення.....	9
1.3 Розробка структурної схеми.....	32
1.4 Розробка схеми електричної принципової.....	33
1.5 Параметричний синтез.....	36
1.6 Вибір елементів.....	40
1.7 Розробка друкованої плати та вузла блоку живлення.....	40
1.8 Висновки до розділу 1.....	47
2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.....	48
2.1 Основні вимоги до побудови і функціонування системи управління охороною праці.....	48
2.2 Надзвичайні екологічні ситуації та екологічний ризик.....	52
2.3 Висновки до розділу.....	57
Висновки.....	58
Список використаних джерел.....	59
Додатки	

					КСР 2.087.001 ПЗ			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	Універсальний модульний блок живлення потужністю 250 Вт. Пояснююча записка	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		Козуб С.Р.				6		
<i>Перев.</i>		Яськів В.І.						
<i>Н.конт</i>						ФПТ, гр. РАСЗ-41		
<i>Зав.каф</i>								

## Вступ

*Актуальність роботи.* Джерела вторинного електроживлення, побудовані за традиційною схемою (трансформатор, випрямляч, фільтр, що згладжує, і стабілізатор) прості у виконанні, мають низький рівень електромагнітного випромінювання. Однак вони розсіюють значну потужність, мають більшу масу та габарити. Великі габарити таких джерел обумовлені тим, що напруга живлення має низьку частоту - 50 Гц. Це призводить до необхідності застосування трансформаторів з великим перерізом магнітопроводу та використання конденсаторів великої ємності в фільтрах.

Ці недоліки характерні і для лінійних стабілізаторів, у яких регулюючим елементом є стабілітрон або транзистор. Коефіцієнт корисної дії таких стабілізаторів часто не перевищує 50%.

Значно більший ККД забезпечують схеми, у яких регулюючим елементом є комутатор (ключ), який з певним періодом повторення  $T$  перемикається із замкнутого стану в розімкнутий і назад. Відношення часу відкритого (замкнутого) стану ключа на період повторення  $T$  може регулюватися. Це широтно-імпульсне регулювання. Послідовно з комутатором включається фільтр нижніх частот, що згладжує пульсацію вихідної напруги до допустимої величини. Такі схеми називають імпульсними регуляторами.

Існує два великі класи джерел живлення: лінійні та імпульсні. У лінійних джерелах живлення використовується безперервне керування вихідною напругою. Імпульсні джерела живлення являють собою системи з часовою дискретизацією, в яких для управління вихідною напругою використовуються прямокутні сигнали, що управляють.

Сьогодні все частіше для можливості застосування радіоелектронного обладнання як в приміщеннях так і в середині оперативних автомобілів,

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		7

літаків тощо, необхідно забезпечити можливість живлення цього обладнання від різних значень напруги. До такого обладнання можуть відноситись засоби радіозв'язку, засоби створення радіозавад, спеціалізовані медичні засоби невідкладної допомоги, як наприклад апарати штучної вентиляції легень. В цьому випадку важливим є розроблення модульного блока живлення, який мав би можливість працювати або від електромережі або від бортової мережі транспортних засобів з напругою від 12 до 27 В. Саме такий блок живлення проектується в цій роботі.

*Практичне значення.* Розроблений модульний блок живлення може бути застосований для живлення систем радіозв'язку, медичних засобів невідкладної допомоги тощо.

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
						8
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		



## 1. Основна частина

### 1.1 Аналіз технічного завдання

В роботі необхідно розробити модульний блок живлення, який міг би працювати як від електромережі змінного струму, так і від бортової мережі постійного струму та призначений для наступного живлення блоків стаціонарної та перевізної радіоапаратури.

Технічні вимоги до блока живлення:

#### 1. Напруга живлення:

-  $(220 \pm 10\%)$  В, частота  $(50 \pm 5\%)$  Гц,

- акумуляторна батарея з напругою 12-27В;

#### 2. Споживана потужність, не більше – 250 Вт;

#### 3. Вихідна напруга – 25 В;

#### 4. Максимальний струм навантаження – 8 А;

### 1.2 Аналіз принципів роботи силових елементів імпульсних блоків живлення

Оскільки блок має працювати від змінної напруги мережі електроживлення або від бортової мережі автомобіля чи іншого транспорту з напругою 12-27В, а максимальна споживана потужність не перевищує 250 Вт, то за основу проектування використано імпульсний блок живлення, зокрема однокантний зворотноходовий.

Принцип дії зворотноходового перетворювача заснований на попередньому накопиченні енергії в індуктивному елементі при підключенні цього елемента до джерела постійної напруги та подальшому скиданні накопиченої енергії в навантаження при відключеному джерелі живлення.

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
						9
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Спрощену схему зворотноходового перетворювача зображено на рис. 1.1, часові діаграми його роботи — на рис. 1.2.

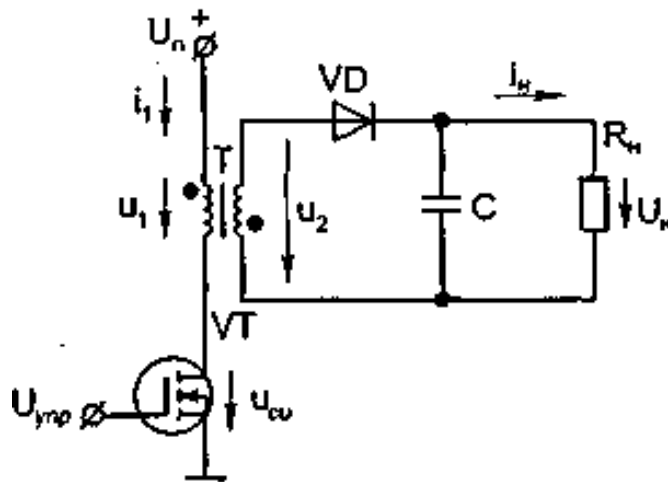


Рис. 1.1. Спрощена схема зворотноходового перетворювача

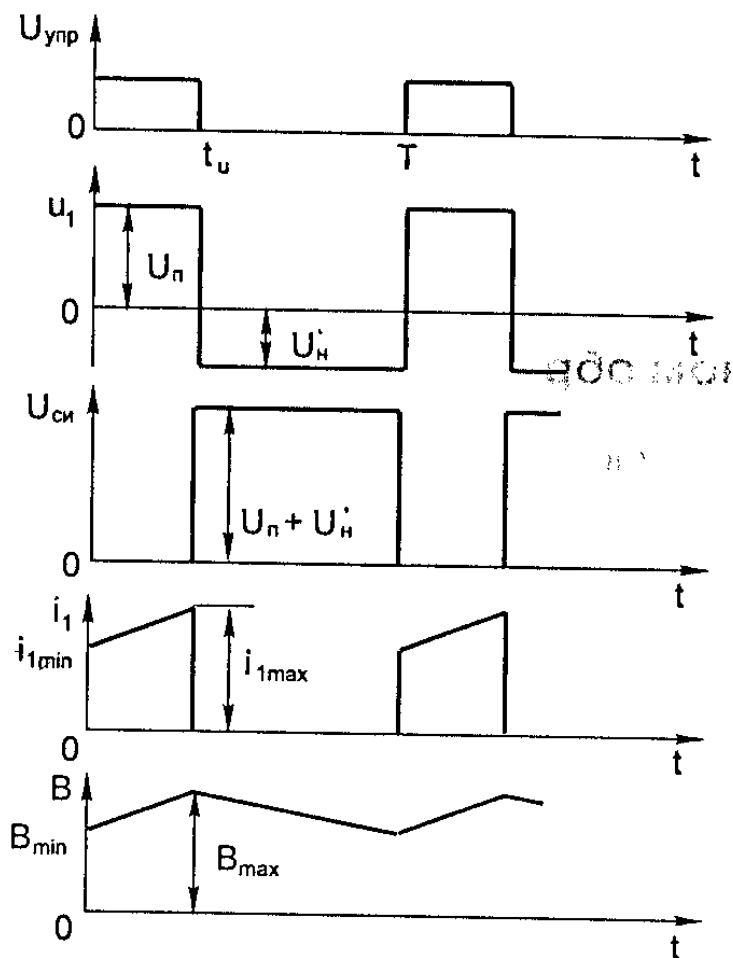


Рис. 1.2. Часові діаграми роботи зворотноходового перетворювача



негативної напівхвилі цієї напруги. На підставі сказаного щодо первинної обмотки трансформатора можемо записати (див. рис. 1.2):

$$U_n t_u = U'_n (T - t_u) \quad (1.3)$$

де  $U'_n = \eta_{12} U_n$  — наведена (до первинної обмотки) напруга на навантаженні;  $\eta_{12} = w_1/w_2$  — коефіцієнт трансформації від первинної обмотки до вторинної обмотки.

З рівності (1.3) знайдемо шукану регульовальну характеристику:

$$U_n = \frac{U_n}{\eta_{12} \left( \frac{T}{t_u} - 1 \right)} \quad (1.4)$$

Вигляд регульовальної характеристики (1.4) показує:

1. При  $t_u \rightarrow 0$   $U_n \rightarrow 0$ .
2. При  $t_u \rightarrow T$   $U_n \rightarrow \infty$ . При цьому необмежено зростатиме напруга стік-витік транзистора VT, що дорівнює:

$$u_{cu} = U_n + \eta_{12} U_n \quad (1.5)$$

Тому робота зворотногоходового перетворювача при  $t_u > 0,5T$  небезпечна з погляду пробою транзистора. Робочий діапазон тривалості імпульсу доцільно обмежити межами:

$$0 \leq t_u \leq T/2 \quad (1.6)$$

3. При  $\eta_{12} = 1$  и  $t_u = T/2$   $U_n = U_n$ . При цьому максимальна напруга на транзисторі в закритому стані відповідно (1.5) складе  $U_{ci \max} = 2U_n$ , тобто

транзистор зворотногоходового перетворювача повинен бути розрахований на подвоєну напругу джерела живлення.

4. Зворотногоходовий перетворювач буде працювати як знижуючий ( $\eta_{12} > 1$ ) або підвищуючий ( $\eta_{12} < 1$ ) перетворювач.

5. Розмір вихідної напруги УН зворотногоходового перетворювача залежить від струму навантаження Ін.

Сьогодні польові транзистори стали одними з найпоширеніших елементів електронної промисловості та входять до складу найширшого кола виробів - від процесорів до силових інтегральних схем.

Принцип роботи польових і біполярних транзисторів той самий. За великим рахунком обидва типи транзисторів є пристроями, керованими зарядом, тобто їх вихідний струм пропорційний заряду напівпровіднику керуючого електрода. При використанні в ключовому режимі обидва типи транзисторів повинні управлятися від низькоімпедансного джерела, здатного віддавати, так і приймати достатню кількість струму для швидкої зміни заряду на керуючому електроді. З цього погляду польові транзистори вимагають тієї ж потужності перемикавання, що й біполярні, але тільки на час їхнього швидкісного включення та вимкнення. Теоретично, швидкість перемикавання польового визначається часом перенесення заряду в/з області напівпровідника. Типова величина цього часу в силових компонентах становить близько 20-200 пікосекунд і залежить від розмірів пристрою.

У цифрових та силових пристроях використання польових транзисторів популярніше, і це можна пояснити двома факторами. По-перше, польовими транзисторами набагато легше керувати - їх керуючий електрод ізольований від області перенесення струму, і для підтримки його у відкритому стані енергії не потрібно взагалі. Як тільки польовий транзистор увімкнувся, його керуючий струм практично дорівнює нулю. Крім того, заряд, необхідний для перемикавання, значно знижений і, відповідно, знижено час його перенесення. Це величезною мірою знижує проблеми із зайвим падінням напруги на

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		13

приладі в статичному режимі - вона обернено пропорційна надлишку керуючого заряду - і різко зменшує час вимкнення транзистора. В результаті використання польових транзисторів виявляється значно вигіднішим у плані простоти та ефективності схем управління.

Другий фактор - особливо важливий для силової електроніки - полягає в тому, що канал польового транзистора поводить себе як резистор. Це лінійне співвідношення характеризується опором каналу у відкритому стані  $R_{DS(on)}$ , і воно є константою при заданій напрузі на ключі та температурі кристала. На противагу p-n переходу з його негативним температурним коефіцієнтом -  $2,2\text{mV}/^\circ\text{C}$ , опір відкритого каналу польового транзистора має позитивний температурний коефіцієнт приблизно від  $0.7\%/^\circ\text{C}$  до  $1\%/^\circ\text{C}$ , що дозволяє дуже легко паралелити їх у потужних пристроях, коли використання одиночних компонентів не виправдано або взагалі неможливе.

Через позитивний температурний коефіцієнт, що працює як повільний негативний зворотний зв'язок, відбувається автоматичне вирівнювання струмів через окремі ключі - транзистор, струм через який більший, і нагрівається більше, а оскільки напруга на всіх ключах однакова, то це призводить до зменшення струму через його канал. В результаті досягається рівновага, коли струм через усі паралельно включені транзистори однаковий. Початковий розкид опорів відкритого ключа та різні теплові опори перехід - навколишнє середовище можуть призводити до значного - до 30% - розкиду у розподілі струмів.

Майже всі виробники польових транзисторів використовують свої унікальні підходи в технології побудови силових транзисторів, але всі типи ключів, що представлені на ринку, можна звести всього до трьох варіантів.

Силові польові транзистори з подвійною дифузією було запропоновано у 1970-х роках, і з того часу безперервно розвивалися. Використання структури затвора на основі полікристалічного кремнію і процесів, що

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
						14
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

самовирівнюються, дозволило домогтися високого ступеня інтеграції та істотного зниження паразитних ємностей.

Наступний ривок у плані подальшого збільшення щільності осередків силових польових транзисторів стався за впровадження технології використання V-подібних канавок (Trench технологія). Тим не менш, поліпшення характеристик та збільшення щільності енергії виявилися не безкоштовними – такі транзистори виявилися значно складнішими у виготовленні та, відповідно, дорожчими.

Зрештою, існують силові польові транзистори з горизонтальною структурою. Цей тип транзистора характеризується невеликими значеннями граничних струмів та напруг - ефективно розмістити його кристал у корпусі не вдається. Тим не менш, вони виявилися дуже корисними в пристроях з низькими робочими напругами, наприклад, у DC-DC конверторах для мікропроцесорних систем та в синхронних випрямлячах.

Польові транзистори з горизонтальною структурою мають значно нижчі паразитні ємності, тому швидкості їх перемикання значно вищі, і вони вимагають потужних схем управління.

Для аналізу роботи польових транзисторів існує безліч моделей, проте адекватний опис їх роботи може виявитися досить проблематичним. Більшість виробників польових транзисторів пропонують Spice та/або Saber моделі. Ці моделі пропонують, як правило, кілька способів вирішення найзагальніших питань.

Дійсно корисна модель польового транзистора, здатна описати всі найважливіші властивості приладу дуже складна. З іншого боку, якщо обмежитися тільки вузьким колом проблем, що цікавлять нас, то можна використовувати дуже просту і зрозумілу модель.

Перша модель на рис. 1.3 заснована на дійсній структурі польового транзистора і в основному може застосовуватися для аналізу роботи на постійному струмі. Символ польового транзистора на рис. 1.3, а показує опір





транзистора (приблизно від 10 до 60 нс) як мінімум на два порядки перевищує теоретичний (приблизно від 20 до 200 пс), і дуже важливо зрозуміти причину виникнення такої різниці. Всі моделі включають три паразитних конденсатора, включені між выводами приладу, і, зрештою, ключові властивості польового транзистора залежать від того, як швидко ці ємності можуть перезаряджатися.

Отже, у пристроях з високими швидкостями перемикання найважливішими параметрами польового транзистора є характеристики паразитних конденсаторів. Два з них, CGS і CGD, пов'язані з геометрією ключа, тоді як CDS є ємністю колекторного переходу паразитного біполярного транзистора.

Конденсатор CGS формується при накладенні затвора на області витоку і каналу, відповідно, його величина залежить від геометричних розмірів перекриття і залишається постійною за будь-яких умов роботи.

Конденсатор CGS утворюється від накладання двох ефектів - від того самого перекриття області каналу і затворного електрода плюс нелінійна ємність між областю каналу і збідненою областю. Його еквівалентна ємність є функцією напруги між стоком та витоком, і може бути апроксимована наступною формулою:

$$C_{GD} \approx \frac{C_{GD,0}}{1 + K_1 \cdot \sqrt{V_{DS}}} \quad (1.7)$$

Конденсатор CDS також нелінійний, оскільки він утворений ємністю переходу паразитного біполярного транзистора, і залежність його величини від напруги може бути описана як:

$$C_{DS} \approx \frac{C_{DS,0}}{1 + K_2 \cdot \sqrt{V_{DS}}} \quad (1.8)$$

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
						17
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

На жаль, жодна з перерахованих вище величин паразитних ємностей прямо не наводиться в документації на транзистор, але їх величини можуть бути отримані непрямим шляхом із величин  $C_{ISS}$ ,  $C_{RSS}$  і  $C_{OSS}$  за формулами:

$$\begin{aligned} C_{GD} &= C_{RSS} \\ C_{GS} &= C_{ISS} - C_{RSS} \\ C_{DS} &= C_{OSS} - C_{RSS} \end{aligned} \quad (1.9)$$

Подальше ускладнення пов'язане з тим, що у ключовому режимі ємність  $C_{GD}$  утворює негативний зворотний зв'язок між входом та виходом приладу. Тому в цьому випадку його ефективна величина може бути набагато вищою, і залежати від напруги стік-витік польового транзистора. Цей феномен відомий як ефект Міллера і може бути виражений як:

$$C_{GD\text{eqv}} = (1 + g_{fs} \cdot R_L) \cdot C_{GD} \quad (1.10)$$

Оскільки ємності  $C_{GD}$  і  $C_{DS}$  залежать від напруги на транзисторі, їх величини, що наводяться в документації, вірні лише за умов тестування. Придатні для конкретного випадку ємності можуть бути розраховані, виходячи з необхідної для перезаряду ємності величини заряду. Для більшості силових польових транзисторів можуть виявитися корисними такі формули:

$$\begin{aligned} C_{GD,ave} &= 2 \cdot C_{RSS,spec} \cdot \sqrt{\frac{V_{DS,spec}}{V_{DS,off}}} \\ C_{OSS,ave} &= 2 \cdot C_{OSS,spec} \cdot \sqrt{\frac{V_{DS,spec}}{V_{DS,off}}} \end{aligned} \quad (1.11)$$

Наступний важливий параметр – це внутрішній опір виводу затвора,  $R_{G,I}$ . Цей паразитний опір включено послідовно з вхідним сигналом і знаходиться всередині корпусу, і при високих швидкостях перемикання його вплив надзвичайно сильний, оскільки він розташований між зовнішнім драйвером і вхідною ємністю транзистора і, отже, прямо впливає на швидкість перемикання. До цього ефекту виробники ставляться дуже серйозно, наприклад, у радіочастотних польових транзисторах використовується металевий затвор замість полісиліконового з його високим опором.

Очевидно, що поріг відкриття транзистора  $V_{TH}$  також є важливим параметром. Тут слід зауважити, що його величина в специфікаціях дається для температури  $+25^\circ\text{C}$  і дуже маленького струму, зазвичай 250 мкА. Отже, ця напруга відповідає плато Міллера на відомій діаграмі вхідного сигналу при перемиканні польового транзистора. Інший факт - про який часто забувають - це температурний коефіцієнт  $V_{TH}$ , що дорівнює приблизно  $-7\text{мВ}/^\circ\text{C}$ . Про це необхідно пам'ятати при розробці схем керування польовими транзисторами з низьким порогом включення (Logic Level MOSFET), у яких специфіковане за нормальних умов значення  $V_{TH}$  дуже мале. Оскільки силові польові транзистори зазвичай працюють при підвищених температурах, при розробці схем керування ми повинні враховувати найменше значення  $V_{TH}$  для гарантованого вимикання транзистора та його здатності залишатися в цьому стані при різких змінах напруги. Крутизна характеристики є одним з його малосигнальних параметрів у лінійному режимі роботи, дуже важлива і для ключового режиму роботи, оскільки і при включенні, і при вимкненні польового транзистора він повинен пройти через лінійний режим, де струм через прилад визначається напругою між стоком та витком. Крутизна характеристики,  $g_{fs}$  є відношення на малому сигналі між струмом стоку і вхідною напругою:

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
						19
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$g_{fs} = \frac{dI_D}{dV_{GS}} \quad (1.12)$$

Відповідно, максимальний струм через польовий транзистор у лінійному режимі:

$$I_D = (V_{GS} - V_{TH}) \cdot g_{fs} \quad (1.13)$$

Розв'язуючи цей вираз відносно  $V_{GS}$ , можна отримати величину плато Міллера як функцію від струму стоку:

$$V_{GS,Miller} = V_{TH} + \frac{I_D}{g_{fs}} \quad (1.14)$$

Інші важливі параметри, такі як індуктивність витоку (LS) та індуктивність стоку (LD) теж значно погіршують частотні властивості польового транзистора. Як правило, величини LS і LD наводяться в специфікаціях на транзистори, і вони в основному залежать від типу корпусу. Їх ефект може бути оцінений спільно з зовнішніми паразитними елементами схеми (зазвичай вони пов'язані з топологією плати), так і з зовнішніми компонентами, такими як індуктивність розсіювання, резистивний датчик струму і т.п.

Нарешті, необхідно відзначити, що опір зовнішнього резистора затвора і імпеданс драйвера є найбільш важливими факторами, що визначають швидкість перемикування польового транзистора і, відповідно, динамічні втрати в ньому.

Проаналізуємо роботу силового транзистора у ключовому режимі. Для кращого розуміння фундаментальних процесів тимчасово знехтуємо внутрішніми паразитними індуктивностями; їхній вплив потім проаналізуємо

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
						20
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

окремо. Крім того, опис роботи буде відноситися до роботи на індуктивне задемпфоване навантаження.

Найпростіша модель транзистора в ключовому режимі з індуктивним навантаженням наведена на рис. 1.4, де індуктивність представлена як джерело постійного струму - протягом короткого часу перемикання зміною струму в індуктивності можна знехтувати. Діод утворює шлях проходження струму, коли польовий транзистор вимкнений і притягує вивід стоку до вихідної напруги (зображено як батарея).

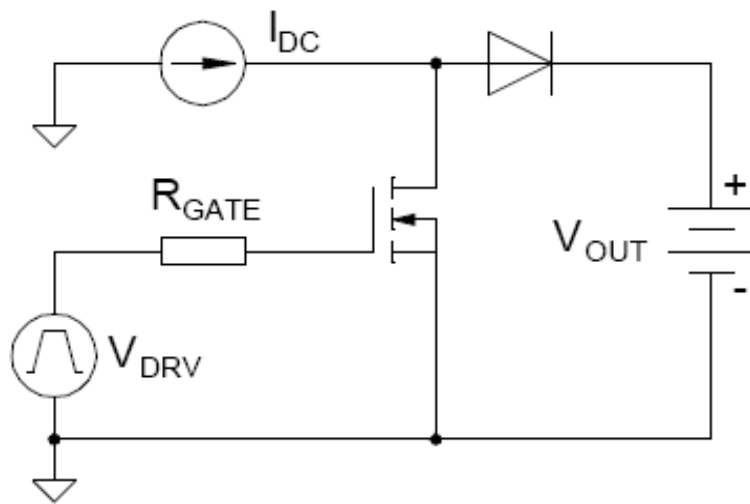


Рис. 1.4. Модель ключового режиму з індуктивним навантаженням

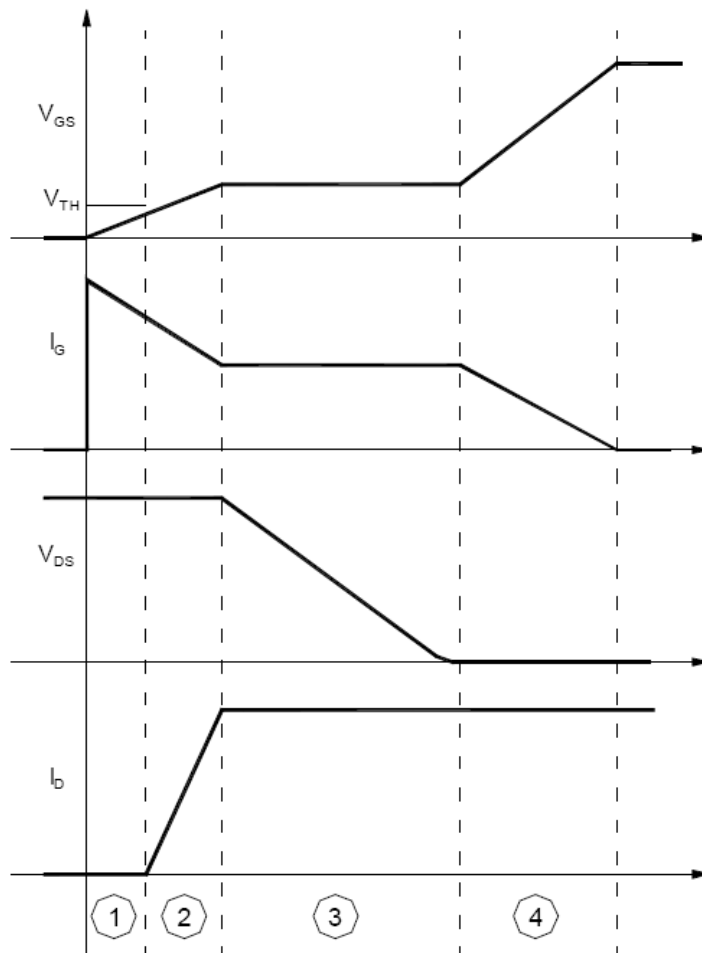


Рис. 1.5. Процес включення транзистора

У першому інтервалі заряджається вхідна ємність транзистора від 0В до  $V_{TH}$ . Протягом цього періоду більшість струму затвора йде на заряд конденсатора  $C_{GS}$ , і невеликий струм тече через конденсатор  $C_{GD}$  (напруга на затворі збільшується і напруга на  $C_{GD}$  злегка зменшується). Цей інтервал відомий як затримка включення, оскільки не змінюється струм через транзистор, ні напруга на ньому. Як тільки напруга на затворі досягає порогового рівня, транзистор починає проводити струм.

На другому інтервалі вхідна напруга зростає від  $V_{TH}$  рівня плато Міллера,  $V_{GS,Miller}$ . Це суто лінійний режим роботи транзистора - вихідний струм прямо пропорційний до вхідної напруги. На боці затвора, як і першому інтервалі, струм тече через  $C_{GS}$  і  $C_{GD}$ , на виході через транзистор починає

протікати струм, а напруга стоку залишається незмінною лише на рівні  $V_{DS,off}$ . Цей ефект стає зрозумілим, якщо поглянути на схему на малюнку 38. Транзистор ще не здатний пропустити струм, достатній для зниження напруги на його стоці до рівня замикання діода, і через його відкритий перехід напруга на стоці зафіксована на рівні вхідної напруги.

Третій період починається, коли напруга на затворі досягає величини  $V_{GS, Miller}$ , достатньої для початку проходження струму через транзистор, і вихідний діод закривається. Відповідно, напруга на стоці починає падати, але напруга на затворі залишається постійною. Цей процес утворює плато Міллера на діаграмі включення польового транзистора. Весь струм, який здатний віддати драйвер, йде на перезаряд ємності  $C_{GD}$  для забезпечення максимально швидкої зміни напруги стік-витік. Струм через транзистор тепер залишається постійним і обмежений зовнішніми елементами схеми.

Останній інтервал процесу включення польового транзистора характеризується максимальним зменшенням опору каналу через подальше збільшення напруги керування. Напруга на затворі збільшується від  $V_{GS, Miller}$  до максимального значення  $V_{RDV}$ , і весь вхідний струм йде на подальший заряд  $C_{GS}$  і перезаряд  $C_{GD}$ . Вихідний струм при цьому залишається незмінюється, а зменшується опір каналу.

Процес вимикання польового транзистора, представлений на рис. 1.6, можна розбити на ті ж чотири кроки, що і процес включення, але тільки в зворотному порядку. Перед початком процесу транзистор пропускає через себе весь струм навантаження, у прикладі  $I_{DC}$ , і напруга у ньому визначається падінням від струму навантаження на опорі відкритого каналу  $R_{DC(on)}$ .

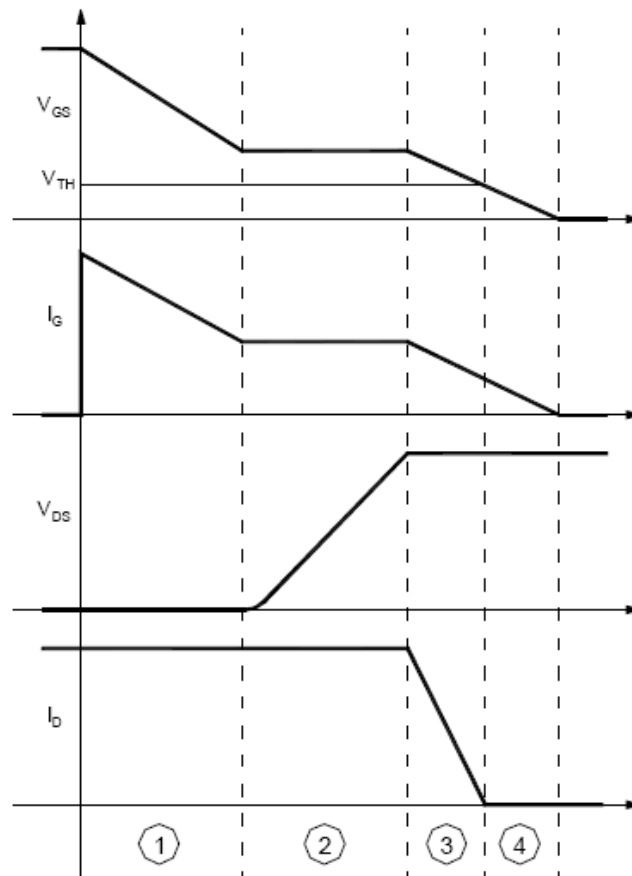
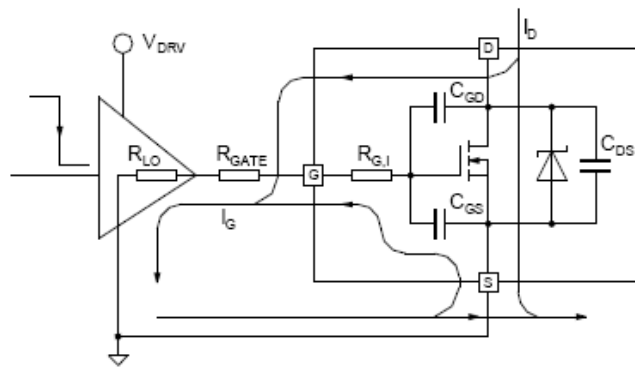


Рис. 1.6. Процес вимкнення транзистора

Перший інтервал, відомий як затримка вимкнення, характеризується розрядом вхідної ємності транзистора  $C_{ISS}$  з початкового рівня до рівня плато Міллера. Струм драйвера протікає через паразитні конденсатори  $C_{GS}$  та  $C_{GD}$ . Струм через транзистор залишається незмінним, а напруга стік-витік злегка збільшується (через збільшення опору відкритого каналу).



Під час другого інтервалу, що відноситься до плато Міллера на діаграмі, напруга стік-витік транзистора збільшується зі значення  $ID_{RDS(on)}$  до максимального значення, в нашому випадку до рівня вихідної напруги, після чого відкривається діод. Весь струм драйвера йде на перезаряд конденсатора CGD, оскільки напруга на затворі залишається постійною, а напруга на стоці зростає. Також цей струм протікає через конденсатор фільтра на VDRV, і віднімається від струму стоку. Загальний струм стоку дорівнює струму навантаження, у прикладі IDC рис. 1.4.

Третій інтервал починається з моменту відкривання діода та утворення альтернативного шляху струму навантаження. Напруга на затворі падає від  $V_{GS,Miller}$  до  $V_{TH}$ , і основний струм драйвера йде на розряд ємності CGS, оскільки CGD виявився практично повністю перезарядженим протягом попереднього періоду. Транзистор знаходиться в лінійному режимі, і зменшення напруги виток-затвор зменшує струм стоку, який падає практично до нуля в кінці інтервалу. Напруга на стоці транзистора залишається постійною, "прив'язаною" через відкритий діод до вихідної напруги.

Останній, четвертий період характеризується незмінною напругою і струмом через транзистор. Вхідна ємність його (як і в попередньому періоді переважно утворена конденсатором CGS) продовжує розряджатися до нуля.

Резюмуючи, можна сказати, що перемикання польового транзистора між повністю відкритим і закритим станами можна розбити на чотири інтервали, і їх тривалість залежить від величин паразитних елементів, струму драйвера і від напруги на транзисторі. Всі ці параметри надзвичайно важливі при розробці високошвидкісних пристроїв перемикання.

Часи затримок включення та вимикання, часи спаду та наростання напруги зазвичай наводяться у специфікаціях на польові транзистори. На жаль, ці величини даються для конкретних умов тестування і при резистивному навантаженні, що ускладнює порівняння польових транзисторів різних виробників. До того ж на практиці, особливо при реальному

індуктивному навантаженні ключові властивості транзисторів значно відрізняються від заявлених у специфікаціях.

Неминучі втрати при перемиканні польового транзистора можна поділити на дві категорії.

Перший, більш простий механізм втрат - це втрати в ланцюгу керування. Як описано вище, при перемиканні польового транзистора відбувається перезаряд вхідної ємності CISS, і величина заряду, необхідна для зміни напруги затвора від нуля до VDRV, наводиться в специфікаціях як залежність від напруги затвор-витік. Приклад такої залежності наведено на 1.7. Графік дає залежність величини заряду затвора від напруги затвор-витік при різних величинах напруги стік-витік (через ефект Міллера, частина графіка вище горизонтальної його частини), причому для найгіршого випадку. Як тільки знайдено величину необхідного для перемикання заряду, можна легко знайти втрати в ланцюгу керування:

$$P_{GATE} = V_{DRV} \cdot Q_G \cdot f_{DRV} \quad (1.15)$$

де VDRV - амплітуда керуючого сигналу, а fDRV – його частота, найчастіше дорівнює частоті перемикання. Тут цікаво помітити, що добуток  $Q_G f_{DRV}$  дає необхідний для управління польовим транзистором струм.

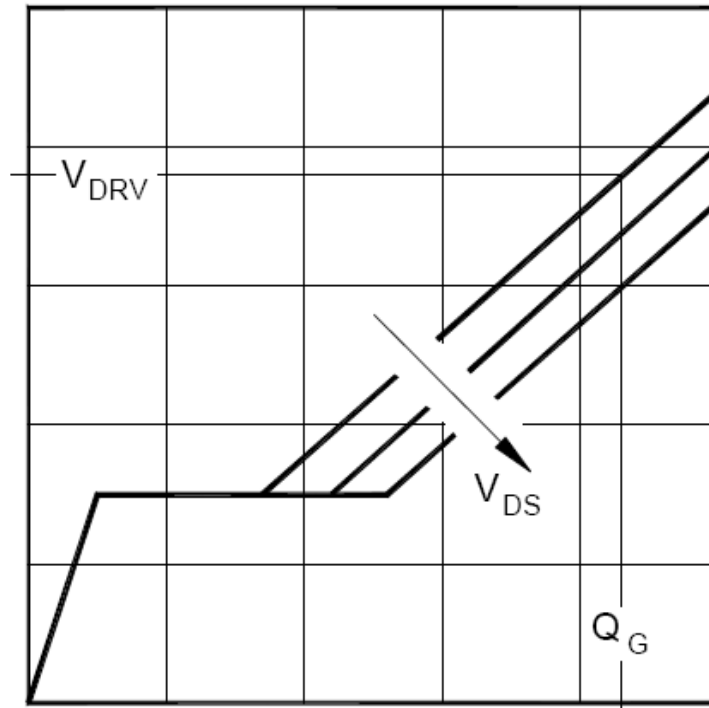


Рис. 1.7. Типова діаграма загального заряду затвора

Все тепло від втрат потужності розсіюється у схемі управління. Повертаючись до рис. 1.5 і рис. 1.6, можна побачити, що ці тепловиділяючі елементи являють собою омичні опори на шляху проходження струму затвора - вихідний опір драйвера, зовнішній резистор між виходом драйвера і транзистором затвором і у внутрішньому опорі затвора. Видно, що потужність, що розсіюється, залежить від часу проходження заряду через ці омичні опори. Використовуючи позначення резисторів з рис. 1.5 і рис. 1.6, можна написати наступні залежності для потужності, що розсіюється:

$$P_{\text{DRV,ON}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_{\text{HI}} \cdot V_{\text{DRV}} \cdot Q_{\text{G}} \cdot f_{\text{DRV}}}{R_{\text{HI}} + R_{\text{GATE}} + R_{\text{G,I}}}$$

$$P_{\text{DRV,OFF}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_{\text{LO}} \cdot V_{\text{DRV}} \cdot Q_{\text{G}} \cdot f_{\text{DRV}}}{R_{\text{LO}} + R_{\text{GATE}} + R_{\text{G,I}}}$$

$$P_{\text{DRV}} = P_{\text{DRV,ON}} + P_{\text{DRV,OFF}} \quad (1.16)$$

У цих формулах мається на увазі, що вихід драйвера має суто омичний опір, як це зазвичай буває в драйверах з вихідним каскадом на польових транзисторах. Якщо ж вихідний каскад побудований на біполярних транзисторах, його опір є нелінійним, і наведені формули не можуть дати коректного результату. Якщо використовується досить низькоомний резистор затвора, основна потужність буде розсіюватися в драйвері; якщо ж його опір досить великий, щоб обмежити затворний струм нижче максимального струму драйвера з виходом на біполярних транзисторах, то основна потужність буде розсіюватися в цьому резисторі затвора.

На додаток до втрат у керуючій ланці, силовий ключ розсіює значну потужність в короткі періоди перемикання, коли через нього протікає значний струм при суттєвій напрузі на пристрої (тобто в лінійному режимі), і для мінімізації цих втрат необхідно скорочувати час перемикання.

Розглядаючи процеси включення та вимкнення польових транзисторів, ми бачили, що лінійний режим роботи транзистора обмежений періодами 2 і 3 і обмежений зміною напруги на затворі між  $V_{TH}$  і  $V_{GS}$ , Miller.

Цей факт призводить до дуже важливого для правильного проектування драйверів висновку: найбільш важливий вихідний струм при вихідній напрузі в районі плато Міллера. При максимальному значенні вихідної напруги (зазвичай рівний  $V_{DRV}$ ) величина вихідного струму, взагалі кажучи, є малоістотною. Для звичайних польових транзисторів типова величина плато Міллера знаходиться в районі 5В, для Logic Level транзисторів - в районі 2,5В, і саме при цих значеннях вихідної напруги ми повинні забезпечити максимальний вихідний струм для мінімізації часу знаходження пристрою в лінійному режимі і втрат.

Попередню оцінку втрат на перемикання в силовому польовому транзисторі можна зробити, ґрунтуючись на простій лінійній апроксимації струму затвора, струму стоку та напруги на стоку в періодах 2 і 3.

Спочатку визначимо струм затвора у періоди:

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
						28
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$I_{G2} = \frac{V_{DRV} - 0.5 \cdot (V_{GS,Miller} + V_{TH})}{R_{HI} + R_{GATE} + R_{G,I}} \quad (1.17)$$

$$I_{G3} = \frac{V_{DRV} - V_{GS,Miller}}{R_{HI} + R_{GATE} + R_{G,I}} \quad (1.18)$$

Якщо припустити, що IG2 заряджає вхідну ємність транзистора від  $V_{TH}$  до  $V_{GS,Miller}$ , а IG3 розряджає конденсатор  $C_{RSS}$  від  $V_{DS(off)}$  до нуля, можна знайти часи періодів 2 і 3:

$$t2 = C_{ISS} \cdot \frac{V_{GS,Miller} - V_{TH}}{I_{G2}} \quad (1.19)$$

$$t3 = C_{RSS} \cdot \frac{V_{DS,off}}{I_{G3}} \quad (1.20)$$

У перебігу  $t2$  напруга стоку дорівнює  $V_{DS(off)}$ , і струм наростає від нуля до номінального  $I_L$ , а протягом  $t3$  напруга на транзисторі падає від  $V_{DS(off)}$  майже до нуля. Знову використовуючи лінійну апроксимацію струмів і напруг, можна знайти потужність, що розсіюється, за ці інтервали (період перемикання позначимо як  $T$ ):

$$P2 = \frac{t2}{T} \cdot V_{DS,off} \cdot \frac{I_L}{2} \quad (1.21)$$

$$P3 = \frac{t3}{T} \cdot I_L \cdot \frac{V_{DS,off}}{2} \quad (1.22)$$

Загальні втрати на перемикання можна знайти як суму цих двох компонентів:

$$P_{SW} = \frac{V_{DS(off)} \cdot I_L}{2} \cdot \frac{t2 + t3}{T} \quad (1.23)$$

Незважаючи на те, що процеси перемикання польового транзистора добре відомі, практично неможливо розрахувати точне значення втрат у них при перемиканні. Причина цього полягає в наявності паразитних індуктивних компонентів, які значно змінюватимуть форми струмів і напруг, і спроба врахування їх на практиці призведе до необхідності використання диференціальних рівнянь другого порядку. А оскільки параметри, які необхідно враховувати - такі як гранична напруга транзистора, величини паразитних ємностей, вихідний опір драйвера тощо - мають дуже великий розкид, то наведені вище лінійні апроксимації виглядають більш підходящими для оцінки рівня втрат при перемиканні польового транзистора.

#### Ефекти від паразитних компонентів

Найбільший вплив на ключові властивості польових транзисторів надає індуктивність початку. Можна виділити дві складові цієї індуктивності - індуктивність внутрішньокорпусного підведення до кристала та індуктивність між виводом витoku та загальною землею. Зазвичай мінуси конденсатора, що фільтрує, силової частини і конденсатора на живленні драйвера затвора намагаються розташувати якомога ближче до виводу витoku. Також, у разі використання резистивного датчика струму, його індуктивність також може додаватися до двох згаданих складових.

Існують два ефекти від наявності паразитної індуктивності в ланцюзі стоку. На початку процесу перемикання швидкістю, як показано на рис. 1.5 і рис. 1.6, але наявність на шляху цього струму паразитної індуктивності уповільнює цей процес. Відповідно, збільшується час, необхідного перезаряду вхідної ємності, тобто збільшуються затримки на включення/виключення транзистора. Більш того, індуктивність витoku та конденсатор CISS утворюють резонансний контур, показаний на рис. 1.8.

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
						30
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

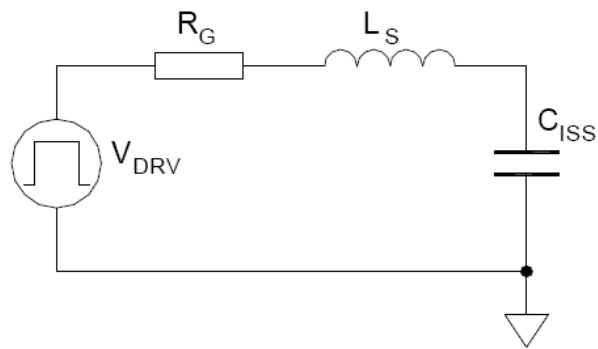


Рис. 1.8. Паразитні елементи ланцюга затвора

Цей контур збуджується крутим фронтом керуючого сигналу, і саме це є причиною виникнення високочастотного брязкоту, що іноді спостерігається в схемах управління. На щастя, дуже висока добротність контуру, утвореного  $L_S$  і  $C_{ISS}$ , демпфується (або може бути задемпфована) невеликими опорами ланцюга затвора, такими як вихідний опір драйвера і резистори ланцюга затвора - зовнішнім і внутрішнім. Ми можемо вплинути на цей контур лише зміною зовнішнього опору  $R_{GATE}$ , тому можна спробувати розрахувати його оптимальну величину:

$$R_{GATE,OPT} = 2 \cdot \sqrt{\frac{L_S}{C_{ISS}}} - (R_{DRV} + R_{G,I}) \quad (1.24)$$

Використання надто маленького резистора призведе до наявності викиду на фронтах сигналу керування, але швидкість перемикання транзистора буде високою. Якщо резистор буде занадто великий, викиду не буде, але швидкість перемикання впаде без будь-якого покращення якості роботи схеми керування.

Другим ефектом від наявності паразитної індуктивності витoku буде виникнення негативного зворотного зв'язку за швидкої зміни струму стоку. Цей ефект проявляється на інтервалі 2 при включенні транзистора та на інтервалі 3 при його вимиканні. У перебігу цих періодів напруга на затворі

знаходиться в діапазоні між  $V_{TH}$  і  $V_{GS,Miller}$ , а струм затвора визначається відношенням напруги на опір затвора,  $V_{DRV}-V_{GS}$ . Струм, що різко змінюється, протікає через індуктивність ланцюга стоку, генеруючи на ній напругу. Ця напруга віднімається від напруги на затворі, зменшуючи струм затвора і, відповідно, швидкість перемикання транзистора.

Швидкість зміни струму через транзистор зменшується, і встановлюється певний баланс - працює негативний зворотний зв'язок.

Наступна паразитна індуктивність – індуктивність ланцюга стоку – теж утворюється з кількох компонентів. Сюди входить внутрішня індуктивність виводу стоку та індуктивність зовнішніх елементів - провідників і індуктивність розсіювання трансформатора (у тому випадку, якщо він використовується). Всі вони можуть розглядатися спільно, оскільки включені послідовно і працюють як демпфер при включенні транзистора. При відкритті транзистора вони обмежують швидкість наростання струму і знижують напругу в ключі на  $LD \cdot di/dt$ . Фактично паразитна індуктивність стоку значно знижує динамічні втрати при включенні транзистора. Високе значення  $LD$  при вимкненні транзистора призводить до великих проблем. Швидко спадаючий струм генерує на цій індуктивності величезну напругу, яка значно перевищує  $V_{DS(off)}$ , призводить до викиду напруги на стоку і суттєво збільшує динамічні втрати в ключі.

### 1.3 Розробка структурної схеми

Враховуючи все вищесказане будуємо схему структурну, що наведена на рис. 1.9.

В ній використані для побудови побудови одноктних зворотньоходових перетворювачів і використано можливість роботи як від мережі електроживлення так і від акумуляторної батареї.

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		32







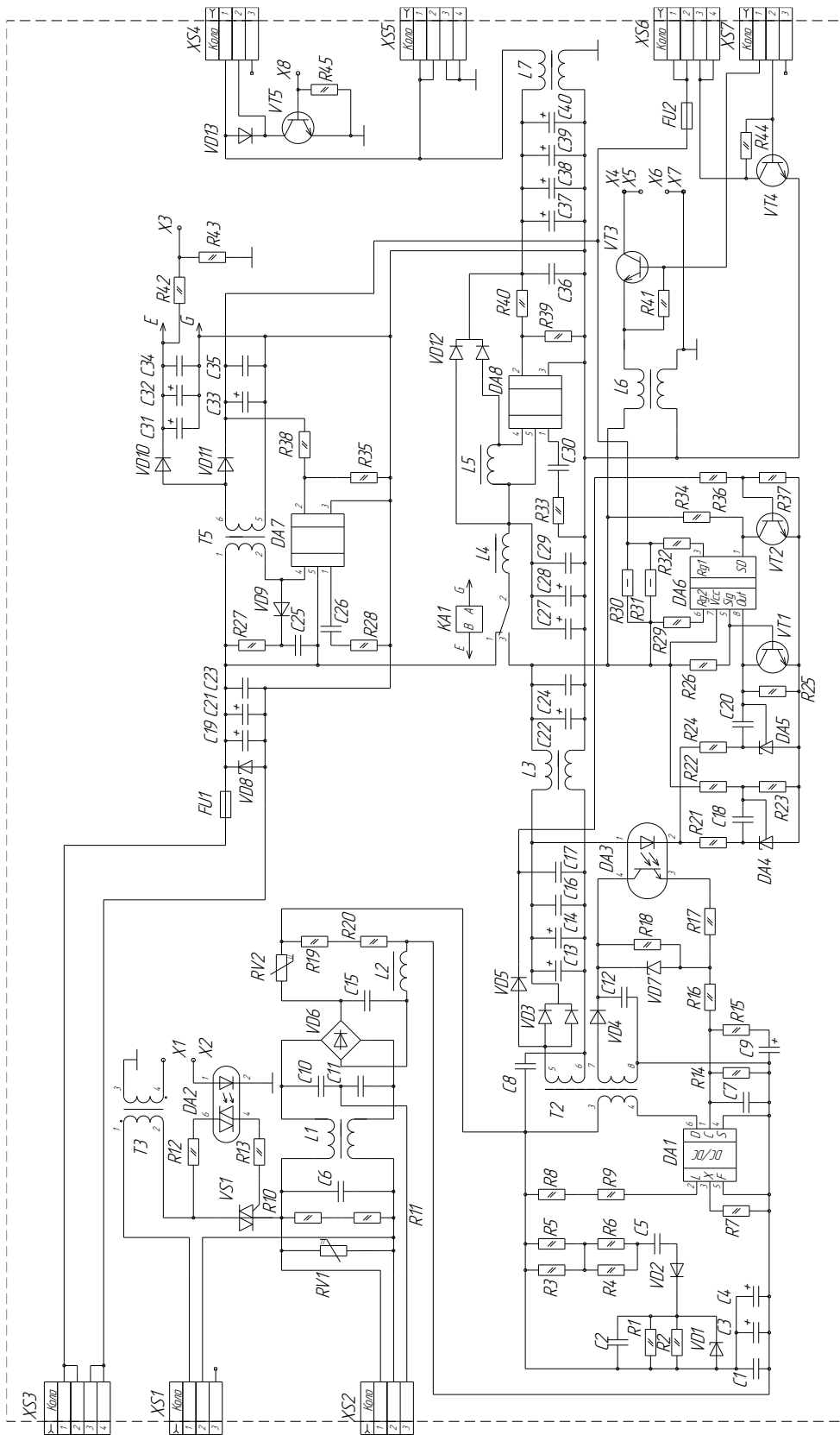


Рис. 1.10. Схема електрична принципова імпульсного блока живлення

Мікросхема DA8 і дросель L5 є додатковим DC/DC перетворювачем.

Зм	Арк	№ докум	Підпис
			Дат

Акумулятор підключається до роз'ємну XS3. З нього напруга надходить на обмежувач напруги VD8 та накопичуючі конденсатори C19, C21, C23. З них напруга подається на первинну обмотку імпульсного трансформатора T3, в коло первинної обмотки якого включено мікросхему ШІМ-драйвера DA7. На елементах R27, VD9, C25 виконано кола захисту мікросхеми від викидів ЕРС самоіндукції в первинній обмотці трансформатора T3.

З вторинної обмотки трансформатора T3 напруга через випрямляч і ємнісний фільтр VD11, C33, C35 надходить на роз'єм XS5.

Додаткова вторинна обмотка трансформатора T3 з випрямлячем та ємнісним фільтром VD10, C31, C32, C34 призначена для живлення електромагнітного реле KA1.

У випадку коли відсутня напруга в електромережі через контакти реле KA1 імпульс позитивної напруги надходить на 5 вивід мікросхеми DA7 і запускає її роботу. При цьому працює верхнє по схемі коло живлення блока живлення – від акумулятора, нижнє залишається в черговому режимі. У випадку появи напруги електромережі починає працювати перший перетворювач на мікросхемі DA1, реле KA1 перемикає контакти і переводить мікросхему DA7 в черговий режим.

### 1.5 Параметричний синтез

Фільтр електромагнітної сумісності призначений для непопадання в мережу завад, пов'язаних з коботою блока живлення. Дросель L1 вибирається стандартним, типу ДФ90ПЦ, значення номіналів конденсаторів для такого фільтра є наступні: C6=0,1 мкФ, C10=2200 пФ, C11=2200 пФ.

Діодний міст VD6 випрямляє мережеву напругу, тому його зворотня напруга

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		36

повинна бути більшою за амплітудне значення напруги мережі, тобто більше 315 В. Вибирається діодний міст, типу КВU606, для якого максимальна зворотня напруга рівна 600 В, прямий струм –, прямий максимальний імпульсний струм (при  $\tau_m < 10\text{мс}$ )  $i_{пр.м} = 200\text{ А}$ .

Імпульсний струм через міст:

$$i_{пр.м} = \frac{315}{2} = 157,5\text{ А} \quad (1.25)$$

При такому опоріві варистора через діодний міст струм буде нижче його максимально допустимого значення.

Ємність конденсаторів С3,С4, що включені паралельно для зменшення загальної висоти блока живлення:

$$C_{3,4} = \frac{P_n}{200 \cdot K_n \cdot U_{ж}^2} \quad (1.26)$$

де  $P_n$  - номінальна потужність (200 Вт),

$K_n$  - коефіцієнт пульсацій (7%),

$U_{ж}$  - напруга живлення (248 В),

$$C_{3,4} = \frac{200}{200 \cdot 0,07 \cdot 248^2} = 233\text{ мкФ} \quad (1.27)$$

Приймаєм С3=С4=100 мкФ, С1=С15=0,01 мкФ.

Ланка С25,VD9,R27 називається фіксуючою і призначена для подавлення зворотніх викидів ЕРС самоіндукції, які можуть в декілька разів

перевищувати напругу живлення і привести до пробою транзисторного ключа. Номінали елементів розраховуються за наступними формулами:

$$R27 = \frac{U_{\text{жс}}^2}{0.02 \cdot P_{\text{н}}} \quad (1.28)$$

де  $U_{\text{жс}}$  – напруга живлення;

$P_{\text{н}}$  – потужність.

$$R27 = \frac{U_{\text{жс}}^2}{0.02 \cdot P_{\text{н}}} = 1,3 \text{кОм} \quad (1.29)$$

$$C25 = \frac{100}{R27 \cdot f} \quad (1.30)$$

де  $f$  – робоча частота.

$$C25 = \frac{100}{R27 \cdot f} = \frac{100}{1,3 \cdot 10^3 \cdot 15 \cdot 10^3} \approx 0.065 \text{мкФ} \quad (1.31)$$

Приймаємо  $C25=0,068$  мкФ.

Діод VD9 вибирається з умови, що максимальна зворотна напруга повинна бути більшою за. Вибираємо діод типу DL4148, для якого максимальна зворотна напруга становить 100 В.

Подібним чином розраховуються параметри діодів та номінали конденсаторів решти ємнісних фільтрів. Їх номінали наведені в переліку елементів.

Номінали елементів обв'язки мікросхем ШІМ-драйверів DA1, DA7, DA8 вибираються стандартними відповідно до паспортних даних, які додатково наведені в додатках.

C26 та R28 розраховуються з виразів:

$$R28 = \frac{750 \cdot i \cdot V_{OUT}^2}{V_{IN}^2} \quad (1.32)$$

$$C26 = \frac{58,5 \cdot V_{OUT}^2 \cdot C_{OUT}}{R28^2 \cdot V_{IN}} \quad (1.33)$$

де  $i$  – струм споживання навантаженням;  $V_{OUT}$  – вихідна напруга;  $V_{IN}$  – вхідна напруга;  $C_{OUT}$  – ємність електrolітичного конденсатора на виході перетворювача.

Знайдемо номінали резистора і конденсатора:

$$R28 = \frac{750 \cdot 2,5 \cdot 26^2}{27^2} = 1,21 \text{ кОм},$$

прийmemo R28=1,3 кОм,

$$C26 = \frac{58,5 \cdot 26^2 \cdot 68 \cdot 10^{-6}}{1,3^2 \cdot 10^6 \cdot 27} = 0,0589 \text{ мкФ},$$

прийmemo C26=0,068 мкФ.

Резистори R35, R38 вибираються з умови:

$$\frac{R38}{R35} = \frac{V_{OUT}}{1,23} - 1 \quad (1.34)$$

Прийmemo  $R_{35}=2$  кОм, тоді:

$$R_{38} = R_{35} \cdot \left( \frac{V_{OUT}}{1,23} - 1 \right) = 2 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{26}{1,23} - 1 \right) = 40 \cdot 10^3 \text{ кОм.}$$

Прийmemo  $R_{38}=42$  кОм,

## 1.6 Вибір елементів

В даній схемі використовуються наступні елементи.

Резистори С2-23, С2-33Н, варистор дискового типу S20K250, конденсатори електrolітичні К50-35, конденсатори керамічні К73–17.

Після цього, враховуючи режими роботи, було підібрано наступні діоди та стабілітрони SMBJ200A, ER1M, 12СТQ045S, DL4148, 10BQ100, KBU606, BZV55C18, SMCJ30A, 30BQ040, 15MQ040N, а також симістор ВТА12-600С.

Мікросхеми МОС3063, LM431ССМ3, МАХ472ССА, LM2577Т, LM2587Т.

PS2501L-1 – транзисторна оптопара.

Також в використано роз'єми PLS.

Вибрані елементи забезпечать надійність і ефективність роботи блока живлення. Характеристики вибраних елементів наведено в додатку А.

## 1.7 Розробка друкованої плати та вузла блоку живлення

Розробка компоновки блоку зводиться до того, щоб правильно розмістити

та з'єднати між собою всі деталі та функціональні вузли блоку. При

цьому необхідно враховувати такі фактори як ергономічність конструкції,

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
						40
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		







низькими втратами у широкому діапазоні робочих частот (від одиниць МГц до десятків ГГц).

Спектр матеріалів для НВЧ друкованих плат дуже широкий: як діелектрик, як у чистому вигляді, так і в різних комбінаціях (для надання необхідних характеристик, наприклад термостабільності) застосовують різні полімери, кераміку. В основному діелектрик армується скловолоконом (різного плетіння, що так само впливає на результуючі параметри матеріалу). Неармовані матеріали використовуються рідко і, як правило, є найбільш дорогими і складними (дуже м'які, або дуже крихкі).

Багатошарові конструкції НВЧ друкованих плат виконують як із застосуванням лише спеціалізованих матеріалів, так і із застосуванням стандартних матеріалів FR4. Наприклад, з метою зниження вартості, НВЧ діелектрик використовують тільки для поділу одного або двох зовнішніх сигнальних шарів, а для інших використовують звичайний FR4 (такі конструкції МПП називаються гібридними).

Провідний матеріал – фольга

Як провідні шари використовують як звичайну електросаджену гальваностійку мідну фольгу, так і відпалену катану, або спеціально оброблену для мінімізації шорсткості. Також існує фольга зі спеціальним резистивним підшаром (NiCr) для виготовлення вбудованих тонкоплівкових резисторів.

Поширені товщини фольги: 12, 18, 35, 70, 105 мкм.

Сполучний матеріал - адгезив, препрег (акрилові, епоксидні полімери)

Препреги FR4 з температурою склування 135°C, 140°C та 170°C використовуються для пресування багатошарових ДП.

Захисна паяльна маска служить для захисту ділянок друкованих плат від дії припою. Існує два типи масок - суха плівкова та рідка.

Суха паяльна плівкова маска забезпечує хороші результати з тентування перехідних отворів, наноситься методом ламінування, але в даний час

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		43

використовується рідко, бо не підходить для друкованих плат вище 3 класу точності.

Вимоги до суміщення фотошаблонів маски нижче, ніж до фотошаблонів топології, тому вікна розтину повинні бути ширшими за контактні площадки. Це потрібно враховувати під час створення компонентів, особливо у САПР, де цей параметр задається безпосередньо у компоненті. Як правило, розмір розтину задається на 0,1 мм більше розміру контактної площадки. Роздільна здатність (містки в масці) маски становить не менше 0,10 мм, і це потрібно враховувати для компонентів з кроком 0,5 мм виводів.

Слід наголосити, що паяльна маска не повинна грати роль діелектрика, оскільки в покритті маскою допускаються сколи.

На відкриті від маски ділянки міді різними методами наноситься фінішне покриття для забезпечення якісного паяння.

Найбільш поширеними фінішними покриттями, що застосовуються при виготовленні друкованих плат, є: олов'яно-свинцевий та безсвинцеві припої, імерсійне золочення, імерсійне срібло, імерсійне олово, органічне захисне покриття.

Таким чином як матеріал друкованої плати використано FR4.

В результаті розрахунку друкованої плати визначають розміри елементів провідного рисунку: номінальні розміри діаметрів монтажних отворів, мінімальні діаметри контактних площадок.

Номінальні розміри основних параметрів рисунка плати вибирались згідно рекомендацій, найбільших значень струмів, що протікатимуть окремими провідниками, та частотних параметрів сигналів. Також враховувались рекомендації щодо розміщення елементів, зокрема фільтруючих конденсаторів тощо. Також враховувались розміри виводів елементів для визначення діаметрів отворів та діаметрів площадок для монтажу і пайки.

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
						44
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

В середовищі P-Cad-2006 було проведено трасування друкованої плати.  
Її креслення наведено в додатках на на рис. 1.11.

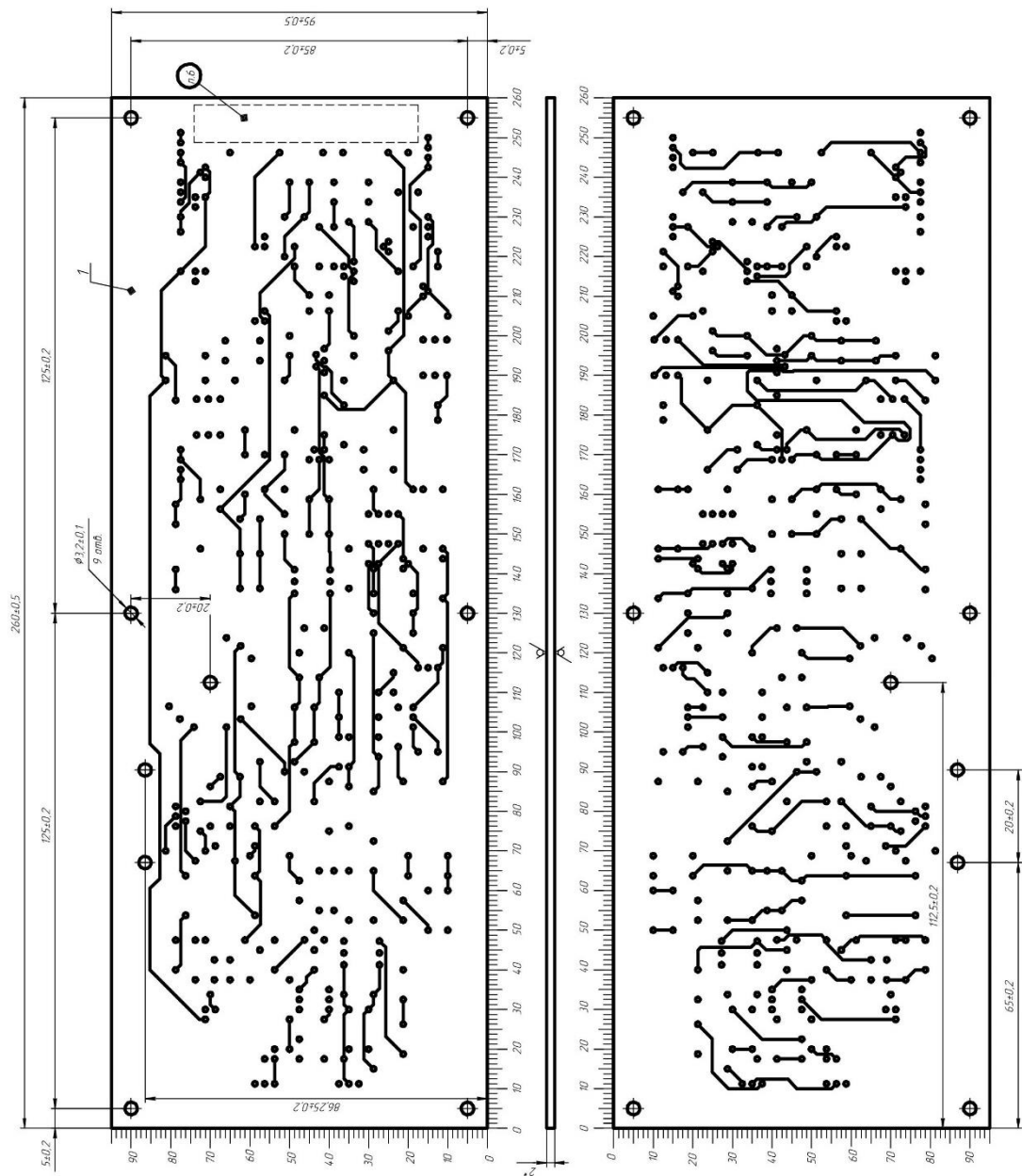


Рис. 1.11. Вигляд друкованої плати

Також застосовуючи програму P-Cad-2006 було отримано креслення із встановленими елементами – друкований вузол. Його вигляд наведено на рис. 1.12.

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

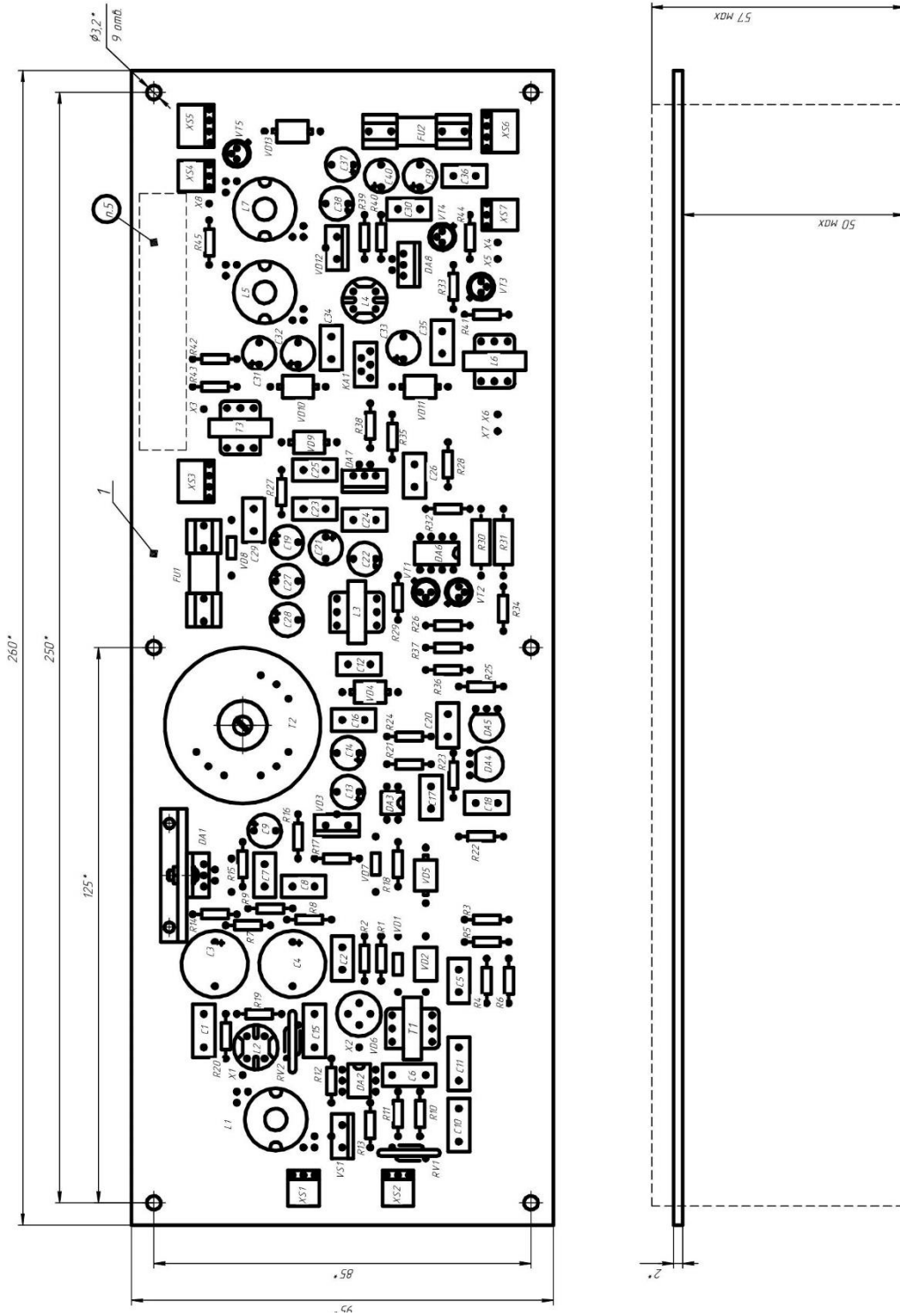


Рис. 1.12. Друкований вузол

Отримані креслення було оформлено відповідно до стандартів та вимог.  
Вони наведені в додатках.

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

## 1.8 Висновки до розділу 1

В розділі проведено аналіз принципів роботи імпульсних блоків живлення, зокрема зворотноходових. Проаналізовано особливості роботи силового транзисторного ключа. Встановлено, що вибір елементної бази, зокрема транзисторного ключа та відповідно розрахунки режимів його роботи а також вибір схемних рішень виконання кіл, які забезпечуватимуть надійну роботу цього ключа, є складним та громіздким завданням, тому за основу проектування використано спеціалізовані мікросхеми, які вже в своїй структурі містять силові транзисторні ключі та відповідні елементи обв'язки. Також використано типові схеми включення цих елементів відповідно до паспортних рекомендацій. За основу використано інтегральну мікросхему TOP250Y.

Також розроблено схему електричну, проведено розрахунки окремих її вузлів, проведено вибір елементів та розроблено друковану плату і друкований вузол.

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		47

## 2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

### 2.1 Основні вимоги до побудови і функціонування системи управління охороною праці

Забезпечення функціонування та побудова системи управління охороною праці (СУОП) в організації. Положення про СУОП, структура та зміст його розділів.

В Україні функціонує багаторівнева СУОП, функціональними ланками якої є відповідні структури державної законодавчої і виконавчої влади різних рівнів, управлінські структури підприємств і організацій, трудових колективів.

Залежно від спрямування вирішуваних завдань всі ланки СУОП можна розділити на дві групи:

- ланки, що забезпечують вирішення законодавчо-нормативних, науково-технічних, соціально-економічних та інших загальних питань охорони праці;
- ланки, до функціональних обов'язків яких входить забезпечення безпеки праці в умовах конкретних організацій, підприємств.

До першої групи належать органи державної законодавчої ініціативи та органи державного управління охороною праці:

- Верховна Рада України;
- Кабінет Міністрів України;
- Державна служба гірничого нагляду та промислової безпеки України (Держгірпромнагляд України);
- міністерства та інші центральні органи державної виконавчої влади;
- Фонд соціального страхування від нещасних випадків і профзахворювань;
- місцева державна адміністрація, органи місцевого самоврядування.

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		48



Верховна Рада України зі своєї ініціативи у взаємодії з відповідними структурами державної виконавчої влади визначає державну політику в сфері охорони праці, вирішує питання щодо удосконалення і розвитку законодавчої бази охорони праці, соціальні питання, пов'язані зі станом умов і охорони праці.

Кабінет Міністрів України забезпечує реалізацію державної політики в сфері охорони праці, виходячи із стану охорони праці в державі, організує розробку загальнодержавних програм відповідно до поліпшення цього стану, затверджує ці програми і контролює їх виконання, визначає функції органів виконавчої влади щодо вирішення питань охорони праці і нагляду за охороною праці.

Для вирішення цих питань при Кабінеті Міністрів України функціонує Національна рада з питань безпечної життєдіяльності населення, яку очолює віце-прем'єр-міністр України.

Держгірпромнагляд України здійснює комплексне управління охороною праці на державному рівні, реалізує державну політику в цій сфері, розробляє за участі відповідних органів державної програми в сфері охорони праці, координує роботу державних органів і об'єднань підприємств із питань безпеки праці, розробляє і переглядає разом з компетентними органами систему показників і обліку умов і безпеки праці, здійснює міжнародне співробітництво з питань охорони праці і нагляд за охороною праці в державі тощо.

Рішення Держгірпромнагляду України, що відноситься до її компетенції, обов'язкові для виконання всіма міністерствами, іншими центральними органами державної виконавчої влади, місцевими державними адміністраціями, місцевими радами народних депутатів і підприємствами.

Фонд соціального страхування від нещасних випадків здійснює профілактику нещасних випадків і профзахворювань, а також координацію всієї страхової діяльності, пов'язаної з охороною праці.

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
						49
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Міністерство праці і соціальної політики України здійснює також державну експертизу умов праці, визначає порядок і здійснює контроль за якістю проведення атестації робочих місць згідно з їх відповідністю нормативним актам про охорону праці, бере участь у розробці нормативних документів про охорону праці.

Інші міністерства і центральні органи державної виконавчої влади як ланки системи управління охороною праці визначають науково-технічну політику галузі з питань охорони праці, розробляють і реалізують комплексні заходи щодо поліпшення безпеки праці, здійснюють методичне керівництво діяльністю підприємств галузі з охорони праці, співробітничать з галузевими профспілками щодо вирішення питань безпеки праці, організують у встановленому порядку навчання і перевірку знань правил і норм охорони праці керівниками і фахівцями галузі, створюють, у разі необхідності, професійні воєнізовані аварійно-рятувальні формування, здійснюють внутрішній контроль за станом охорони праці.

Для забезпечення виконання перелічених функцій в апаратах міністерств і інших центральних органів державної виконавчої влади створюються служби охорони праці.

Місцеві державні адміністрації й органи місцевого самоврядування в межах підвідомчої їм території забезпечують реалізацію державної політики в сфері охорони праці, формують за участі профспілок місцеві програми заходів щодо поліпшення безпеки, гігієни праці і виробничого середовища, здійснюють контроль за дотриманням нормативних актів про охорону праці. Для забезпечення виконання названих функцій при місцевих органах державної виконавчої влади створюються відповідні структурні підрозділи.

Управлінські структури підприємств забезпечують в умовах конкретних виробництв реалізацію вимог законодавчих і нормативних актів про охорону праці з метою створення безпечних і нешкідливих умов праці, попередження виробничого травматизму і професійних захворювань, вирішують весь

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		50

комплекс питань з охорони праці, пов'язаних з даним виробництвом. У своїй діяльності стосовно охорони праці управлінські структури підприємств взаємодіють з комісією з питань охорони праці підприємства (за наявності такої), з профспілками підприємства та уповноваженими трудових колективів.

СУОП в умовах конкретної організації, на конкретному об'єкті завжди є багаторівневою системою управління, у якій верхнім рівнем є державне управління, а нижнім - управління охороною праці на конкретному об'єкті. Як проміжні рівні управління можуть виступати відомче, регіональне управління, а також управління в об'єднанні, тресті тощо.

Слід зазначити, що вихідні параметри СУОП визначаються, виходячи з вимог норм, правил, проектної документації, аналізу фактичного стану виробничої ситуації і ряду факторів виробничого середовища, тому СУОП варто віднести до категорії звичайних, багатоконтурних систем, які піддаються програмуванню. Багатоконтурність систем управління в даному випадку пояснюється складністю об'єкта управління, його великою інерційністю, складністю і інерційністю реалізації управлінських впливів.

Правовою основою СУОП є: Конституція України, Кодекс законів про працю України, Закони України «Про охорону праці» і «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві і професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», накази і розпорядження Президента України, розпорядження і постанови Кабінету Міністрів, Держгірпромнагляд, Міністерства охорони здоров'я, Міністерства праці і соціальної політики, а також інших директивних органів України з питань охорони праці (органи Державного управління охороною праці).

Позитивна дія впровадження систем управління охороною праці (СУОП) на рівні організації як на зниження небезпек і ризиків, так і на продуктивність, нині визнана урядами, роботодавцями і працівниками.

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		51

## 2.2 Надзвичайні екологічні ситуації та екологічний ризик

Особливу роль у житті людини відіграють надзвичайні ситуації, що виникають під час стихійних лих або техногенних катастроф. Разом із соціальними та економічними збитками надзвичайні ситуації завдають також екологічної шкоди, що відображається в руйнуванні й деградації природних систем, забрудненні повітря, водойм і ґрунтів. У результаті виникають надзвичайні екологічні ситуації. Надзвичайні екологічні ситуації — ті ситуації, що виникають унаслідок раптових природних лих або техногенних аварій і супроводжуються великими збитками. Характерними особливостями цих ситуацій є велика гострота прояву, значні відхилення показників навколишнього середовища від норми (перевищення граничнодопустимих концентрацій (ГДК) забруднювальних речовин у сотні, тисячі й навіть десятки тисяч разів); ураганні швидкості вітру; затоплення селітебних територій (населених пунктів); виникнення катастрофічних селевих потоків та ін.

Звичайно, такі відхилення тривають недовго — години, дні, десятки днів, іноді більше. Потім ступінь гостроти екологічного стану зменшується, хоча може залишатися досить високим. Отже, поняття надзвичайна екологічна ситуація та катастрофічна екологічна ситуація розрізняються тим, що перша триває порівняно недовго, але настає раптово та характеризується виключно високими відхиленнями стану навколишнього середовища від норми, а друга — досить тривала (як правило, роки), але має меншу гостроту прояву.

Надзвичайна ситуація за певних обставин може перетворитися на катастрофічну. Наприклад, ситуація у Чорнобильській зоні. Протягом майже місяця радіаційна обстановка в Чорнобилі була надзвичайною. Після спорудження саркофага викиди радіоактивних елементів різко зменшилися, але забруднення до того часу охопило великі території. Таке високе радіаційне забруднення продовжується вже понад два десятиріччя. За оцінкою спеціалістів, екологічна ситуація в Чорнобильській зоні є катастрофічною.

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		52

Таким чином, надзвичайні екологічні ситуації відображаються у порушенні нормального функціонування природних і природно-антропогенних систем, пов'язаних із раптовими природними або техногенними впливами (стихійні лиха, катастрофи, аварії), що супроводжуються соціальними, економічними та екологічними збитками і потребують для ліквідації особливих управлінських рішень (рис. 1.2). Збитки виявляються у загибелі та пораненні людей, погіршенні їх здоров'я, руйнуванні матеріальних об'єктів, структури природних і природно-антропогенних систем, втраті їх природно-ресурсного і екологічного потенціалу. Довготривала надзвичайна ситуація зумовлює формування зони екологічної катастрофи або екологічного лиха.

Надзвичайні екологічні ситуації виникають унаслідок дії трьох основних груп факторів:

— свідомого руйнування природного середовища, походження техніки, погіршення становища економічних об'єктів під час війн і диверсійних актів;

— руйнівних катастроф, які виникають у зв'язку з некомпетентними та помилковими технічними рішеннями (наприклад, Чорнобильська аварія);

— природних стихійних явищ. Той факт, що різко збільшилися їх частота та інтенсивність в останні десятиріччя, спеціалісти пов'язують з антропогенною стимуляцією, що спричинює посилення відхилень природних процесів від нормального рівня коливань.

Економічні збитки, завдані у зв'язку з несприятливими і небезпечними природними процесами та явищами, значно збільшилися. За деякими оцінками, вони зростають швидше, ніж показники світового валового продукту, тобто може бути досягнута межа просторового і технологічного розвитку виробництва за його здатністю компенсувати збитки, які збільшуються, від несприятливих і небезпечних явищ. Первинні процеси, що виникають у природному середовищі внаслідок цих факторів, посилюватимуться або послаблюватимуться залежно від природної

обстановки (стійкість ландшафтів, погодні умови, фаза коливань екосистеми тощо) і соціально-економічних умов (психологічна готовність і неготовність населення до ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, технічна оснащеність спеціальних служб, економічні можливості та ін.). Таким чином, надзвичайні екологічні ситуації в більшості випадків мають комплексну природу.

Заходи щодо запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям або подолання їх наслідків можна згрупувати у три класи:

- організаційні, серед яких розрізняють планувальні та оперативні;
- інженерно-технічні;
- технологічні.

Отже, заходи, спрямовані на запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям та подолання їх можна поділити на два типи: заходи, спрямовані на зниження піддатливості об'єктів небезпечним впливам, і заходи, спрямовані на зниження чутливості об'єктів до небезпечних впливів. У першому випадку здійснюють заходи з метою зовнішнього захисту об'єктів, виключення тих чи інших територій з використання у виробничих цілях тощо. Зниження чутливості об'єктів до небезпечних впливів досягається, насамперед, за рахунок досконаліших технологій, шляхом регулювання технологічних режимів у зв'язку з природними циклами, створення системи дублювання об'єктів, інформаційних систем і систем швидкого реагування.

Основні функції щодо запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям та подолання їх на державному рівні виконують міністерства з надзвичайних ситуацій.

Ризик — це об'єктивне поняття, він пов'язаний практично з будь-якою діяльністю людини. Уміння усвідомлювати ступінь ризику дає змогу людині оцінити власні можливості й вибрати напрями поведінки при цьому. Під сутністю терміна ризик розуміють імовірність, по-перше, будь-якої небезпечної події; по-друге, негативних наслідків від неї та обсягу очікуваних збитків. Одні ризики конкретні, інші — не мають такого визначення. Існують

професійні ризики (наприклад, небезпека професійних захворювань) і такі, яких зазнає все населення (екологічний, економічний, геологічний, політичний ризики).

Предметом нашого дослідження є екологічний ризик, чіткого визначення якого досі немає. М.Ф. Реймерс вважає, що це ймовірність наслідків будь-яких (специфічних або випадкових, поступових або катастрофічних) антропогенних змін природних об'єктів і факторів<sup>\*22</sup>. З екологічним ризиком пов'язані поняття екологічної безпеки і небезпеки. Ці альтернативні категорії стосуються населення як реципієнта дії навколишнього середовища за його відповідно несприятливого чи сприятливого статусу.

Екологічний ризик пов'язаний із такими групами факторів: 1) техногенними; 2) природними; 3) військовими; 4) соціально-економічними; 5) політичними; 6) тероризмом.

Техногенний екологічний ризик виникає у зв'язку з аваріями на ЛЕС, аваріями танкерів, на небезпечних хімічних виробництвах, під час руйнування гребель водосховищ тощо. Причинами аварій є інтенсивність технологічних процесів та зв'язків, висока концентрація виробництва, ресурсомісткість і багатовідходність технологій, погана оснащеність очисними й утилізаційними пристроями.

Природний екологічний ризик пов'язаний із ймовірністю вияву багатьох несприятливих природних явищ, таких як землетруси, вулканізм, селі, повені, цунамі та ін. Потрібно враховувати особливості геологічної будови (властивості гірських порід, наявність або відсутність розламів тощо), рельєфу (наприклад, посилення ризику забруднення в улоговинах), ландшафтів (ступінь їх стійкості до техногенних навантажень). Варто також зважати на сусідство цінних та унікальних природних об'єктів, території особливого режиму охорони. Екологічний ризик збільшується за високої густоти населення, а також залежить від характеру сприйняття населенням подій, що

відбуваються. Відомо, що катастрофічні наслідки аварій і стихійних природних явищ різко зростають у результаті психологічної неготовності населення до таких подій.

Особливу групу факторів виникнення екологічного ризику становлять воєнні дії, які зумовлюють різноманітні зміни навколишнього середовища та безпосередньо впливають на людину й інші суб'єкти. Екологічний ризик пов'язаний також із соціально-економічними факторами. Йдеться про ймовірність виникнення несприятливих екологічних ситуацій у разі прийняття рішень про будівництво тих чи інших небезпечних об'єктів у зв'язку з соціальною й економічною потребами такого будівництва. До цієї категорії належить будівництво багатьох АЕС, створення небезпечних хімічних виробництв, транспортних систем. У деяких випадках аналогічні рішення пов'язані з політичними факторами.

Нині є та розробляється велика кількість науково обґрунтованих постанов, нормативів, правил, державних стандартів, за якими регламентується господарська діяльність, встановлюються граничнодопустимі концентрації шкідливих і токсичних компонентів у ґрунтах, підземних і поверхневих водах тощо. На основі цих документів та екологічного законодавства в Україні розроблено систему заходів на державному, відомчих та об'єктних рівнях, що регламентують ведення екологічно безпечної господарської діяльності, будівництво різних споруд, межі забруднення природного середовища в рамках не лише окремих локальних систем, а й великих регіонів, держави в цілому. Такі заходи можна об'єднати у три основні групи — соціально-організаційні, оцінювально-прогнозні та технічні. Усі види заходів взаємопов'язані і є основою для організації безпечної життєдіяльності. Якщо їх правильно дотримуватися, можна не тільки зберегти стан навколишнього середовища, а й поліпшити його, уникнути екологічно небезпечних явищ і катастроф, зумовлених антропогенно-техногенною діяльністю.

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		56



### 2.3 Висновки до розділу

В розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» описано основні вимоги до побудови і функціонування системи управління охороною праці, а також

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		57

## Висновки

В кваліфікаційній роботі проведено проектування універсального модульного блока живлення потужністю 250 Вт.

Проведено аналіз принципів роботи імпульсних блоків живлення, зокрема зворотногоходових. Проаналізовано особливості роботи силового транзисторного ключа. Встановлено, що вибір елементної бази, зокрема транзисторного ключа та відповідно розрахунки режимів його роботи а також вибір схемних рішень виконання кіл, які забезпечуватимуть надійну роботу цього ключа, є складним та громіздким завданням, тому за основу проектування використано спеціалізовані мікросхеми, які вже в своїй структурі містять силові транзисторні ключі та відповідні елементи обв'язки. Також використано типові схеми включення цих елементів відповідно до паспортних рекомендацій. За основу використано інтегральну мікросхему TOP250Y.

Також розроблено схему електричну, проведено розрахунки окремих її вузлів, проведено вибір елементів та розроблено друковану плату і друкований вузол.

Проведено аналіз охорони праці та безпеки життєдіяльності.

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		58

## Список використаних джерел

1. Семенов Б.Ю. Силовая электроника для любителей 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. Голянiцкiй, І. А. Математичні моделі і методи в радіозв'язку / І. А. Голянiцкiй. - 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, посiбник / 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. Сiгов. - 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. Шахгiльдян, І. А. Попов та ін.: За редакцією В. В. Шахгiльдяна. - К., "Радіо і зв'язок", 1984. - 424 с.

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		59

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.

					КСР 2.087.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		60

# ДОДАТКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедрою РТ  
\_\_\_\_\_ к.т.н. Дунець В.Л.  
“02” червня 2023 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу бакалавра

На тему: «Універсальний модульний блок живлення потужністю 250 Вт.»

Узгоджено:

Керівник кваліфікаційної роботи

Яськів В.І. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”

Студент групи РАСЗ-41

Козуб С.Р. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

Тернопіль 2023

# 1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “Універсальний модульний блок живлення потужністю 250 Вт.”

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету на затвердження дипломного проекту № 4/7-592 від 02.06.2023 р.).

## 2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Козуб С.Р. групи РАСЗ-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

## 3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою роботи є розробка універсального модульного блоку живлення потужністю 250 Вт, що включає в себе:

- вибір апаратного забезпечення для даного пристрою;
- вибір елементної бази розроблювального пристрою;
- розрахунок і вибір компонентів для оптимальної роботи пристрою;
- розробку друкованої плати та друкованого вузла.

## 4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1. Напруга живлення:

- $(220 \pm 10\%)$  В, частота  $(50 \pm 5\%)$  Гц,
- акумуляторна батарея з напругою 12-27В;

4.2. Споживана потужність, не більше – 250 Вт;

4.3. Вихідна напруга – 25 В;

4.4. Максимальний струм навантаження – 8 А;

## 5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

- Пояснювальна записка;
- Структурна схема пристрою;
- Функціональна схема пристрою;
- Принципова схема пристрою;
- Друкована плата;
- Друкований вузол.

## 6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 - Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи

№ етапу	Назва етапу виконання	Термін виконання
1	Розробка та затвердження технічного завдання	22.02. 2023
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	1.03. 2023
3	Вибір власних схемо-технічних рішень	16.03.2023
4	Вибір елементної бази для розроблюваного пристрою;	29.03.2023
5	Розрахунок основних вузлів у схемі пристрою.	12.04.2023
6	Створення допоміжної документації	26.04.2023
7	Розроблення креслень	26.04.2023
8	Розділ охорони праці та безпеки життєдіяльності	10.05.2023
9	Нормоконтроль	16.05.2023
10	Попередній захист	01.06.2023
11	Захист	14.06.2023

## 7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

7.1 Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення



Поз. познач.	Найменування				Кіл.	Примітка		
	<u>Конденсатори</u>							
	К50-35 ОЖ0.464.096 ТУ							
	К73-17 ОЖ0.460.84 ТУ							
C1	К73-17-400В -0,22 мкФ±5%				1			
C2	К73-17-400В -0,015 мкФ±5%				1			
C3,C4	К50-35-400В-100 мкФ±20%				2			
C5	К73-17-400В -100 пФ±5%				1			
C6,C7,C12	К73-17-400В -0,1 мкФ±5%				3			
C8,C10,C11	К73-17-400В -2,2 нФ±5%				3			
C9	К50-35-400В-68 мкФ±20%				1			
C13,C14	К50-35-35В-1000 мкФ±20%				2			
C15-C18	К73-17-400В -0,1 мкФ±5%				4			
C19,C21	К50-35-35В-22 мкФ±20%				2			
C20	К73-17-400В -0,1 мкФ±5%				1			
C22	К50-35-35В-1000 мкФ±20%				3			
C23,C24	К73-17-400В -1 мкФ±5%				2			
C25,C26	К73-17-400В -0,068 мкФ±5%				2			
C27,C28	К50-35-35В-1000 мкФ±20%				2			
C29,C30, C34-C36	К73-17-400В -1 мкФ±5%				5			
C31-C33	К50-35-35В-68 мкФ±20%				3			
C37-C40	К50-35-35В-1000 мкФ±20%				4			
	<u>Мікросхеми</u>							
DA1	TOP250Y				1			
DA2	MOC3063				1			
DA3	PS2501L-1				1			
DA4,DA5	LM431CCM3				2			
DA6	MAX472CSA				1			
					КСП 2.087.001 ПЕ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Козуб С.Р.				Блок живлення  Перелік елементів	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.	Яськів В.І.						1	4
Н. Контр.	Паляниця Ю.Б.							
Затверд.	Дунець В.Л.							
Реценз.	Дедів Л.Є.							
						ФПТ, гр. РАСЗ-41		



Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
R27,R28	C2-33H-0,125-1,3 кОм±5%	2	
R29, R32	C2-33H-0,125-100 Ом±5%	2	
R30,R31	C2-33H-0,5-0,1 кОм±5%	2	
R33,R35	C2-33H-0,125-2 кОм±5%	2	
R34	C2-33H-0,125-100 кОм±5%	1	
R36,R38	C2-33H-0,125-42 кОм±5%	2	
R37	C2-33H-0,125-10 кОм±5%	1	
R39	C2-33H-0,125-1,3 кОм±5%	1	
R40	C2-33H-0,125-29 кОм±5%	1	
R41,R44	C2-33H-0,125-2 кОм±5%	2	
R42	C2-33H-0,125-20 кОм±5%	1	
R43	C2-33H-0,125-10 кОм±5%	1	
RV1,RV2	Варистор S20K250	2	
T1	<u>Трансформатор</u> ЗВМ 4.7.007	1	
T2	<u>Трансформатор</u> ЗВМ 4.7.008	1	
T3	<u>Трансформатор</u> ЗВМ 4.7.009	1	
	<u>Діоди</u>		
VD1	SMBJ200A	1	
VD2	ER1M	1	
VD3,VD12	12CTQ045S	2	
VD4	DL4148	1	
VD5	10BQ100	1	
VD6	KBU606	1	
VD7	BZV55C18	1	
VD8	SMCJ30A	1	
VD9	DL4148	1	
VD10	DL4148	1	
VD11	30BQ040	1	
VD13	15MQ040N	1	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис
			Дата
КСР 2.087.001 ПЕ			Арк.
			3



Форма	Зона.	Поз.	Найменування	Найменування	Кіл.	Примітка
				<b><u>Документація</u></b>		
A1			КСР 2.087.001 СК	Складальне креслення		
A2			КСР 2.087..001 Е3	Схема електрична принципова		
A2			КСВ 2.087.001 Е1	Схема структурна		
				<b><u>Деталі</u></b>		
		1	КСР 7.102.001	Плата друкована	1	
		2	КСР 7.104.003	Прокладка	2	
		3		Прокладка	15	
		4		Радіатор	1	
				<b><u>Стандартні вироби</u></b>		
		5		Гайка М3 6g×8.58.019 ГОСТ1491	2	
		6		Гвинт М3 6g×8.58.019 ГОСТ1491	3	
		7		Гвинт М3 6g×8.58.019 ГОСТ1491	1	
		8		Шайба 3.02 ГОСТ 11371	5	
		9		Шайба	1	
				<b><u>Інші вироби</u></b>		
				<b><u>Діоди</u></b>		
		10		SMBJ200A	1	VD1
		11		ER1M	1	VD2
		12		12CTQ045S	2	VD3,VD12
		13		DL4148	1	VD4
		14		10BQ100	1	VD5

КСР 2.087.001 СП				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат
Розроб.		Козуб С.Р.		
Перевір.		Яськів В.І.		
Н. Контр.		Паляниця Ю.Б.		
Затверд.		Дунець В.Л.		
Рецензент		Дедів Л.Є.		
Блок живлення			Літ.	Арк.
Друкований вузол				1
ТНТУ, гр. РТз-61			Аркуші	5



Форма	Зона.	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
		41		K73-17-400B -0,068 мкФ±5%	2	C25,C26
		42		K50-35-35B-1000 мкФ±20%	2	C27,C28
		43		K73-17-400B -1 мкФ±5%	5	C29,C30, C34-C36
		44		K50-35-35B-68 мкФ±20%	3	C31-C33
		45		K50-35-35B-1000 мкФ±20%	4	C37-C40
				<u>Мікросхеми</u>		
		46		TOP250Y	1	DA1
		47		МОС3063	1	DA2
		48		PS2501L-1	1	DA3
		49		LM431CCM3	2	DA4,DA5
		50		MAX472CSA	1	DA6
		51		LM2577T	1	DA7
		52		LM2587T	1	DA8
		53		<u>Запобіжники</u> ВП4-4-2А	2	FU1,FU2
		54		Варистор S20K250	2	RV1,RV2
				<u>Резистори</u>		
				C2-33H ОЖ0.467.173 ТУ		
		55		C2-33H-0,125-100 кОм±5%	2	R1,R2
		56		C2-33H-0,125-68 кОм±5%	4	R3-R6
		57		C2-33H-0,125-20 кОм±5%	1	R7
		58		C2-33H-0,125-910 кОм±5%	2	R8,R9
		59		C2-33H-0,125-200 кОм±5%	2	R10,R11
		60		C2-33H-0,125-360 Ом±5%	2	R12,R13
		61		C2-33H-0,125-47 кОм±5%	1	R14
		62		C2-33H-0,125-6,2 Ом±5%	1	R15
		63		C2-33H-0,125-47 Ом±5%	1	R16
		64		C2-33H-0,125-430 Ом±5%	1	R17
						Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	КСР 2.087.001 СІ	

Форма	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка	
		65		C2-33H-0,125-7,5 кОм±5%	1	R18	
		66		C2-33H-0,125-200 кОм±5%	2	R19,R20	
		67		C2-33H-0,125-430 Ом±5%	2	R21,R24	
		68		C2-33H-0,125-9,5 кОм±5%	1	R22	
		69		C2-33H-0,125-2,1 кОм±5%	1	R23	
		70		C2-33H-0,125-3,3 кОм±5%	1	R25	
		71		C2-33H-0,125-470 кОм±5%	1	R26	
		72		C2-33H-0,125-1,3 кОм±5%	2	R27,R28	
		73		C2-33H-0,125-100 Ом±5%	2	R29, R32	
		74		C2-33H-0,5-0,1 кОм±5%	2	R30,R31	
		75		C2-33H-0,125-2 кОм±5%	2	R33,R35	
		76		C2-33H-0,125-100 кОм±5%	1	R34	
		77		C2-33H-0,125-42 кОм±5%	2	R36,R38	
		78		C2-33H-0,125-10 кОм±5%	1	R37	
		79		C2-33H-0,125-1,3 кОм±5%	1	R39	
		80		C2-33H-0,125-29 кОм±5%	1	R40	
		81		C2-33H-0,125-2 кОм±5%	2	R41,R44	
		82		C2-33H-0,125-20 кОм±5%	1	R42	
		83		C2-33H-0,125-10 кОм±5%	1	R43	
				<u>Транзистори</u>			
		84		BC847C	2	VT1,VT2	
		85		IRFR5305	1	VT3	
		86		IRF1404S	1	VT4	
		87		IRLD014	1	VT5	
				<u>Роз'єми</u>			
		88		PLS-2-4	1	XS1	
		89		PLS-2-3	3	XS2-XS4	
		90		PLS-2-4	2	XS5, XS6	
		91		PLS-2-3	1	XS7	
				КСР 2.087.001 СП			Арк.
							4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			





## Характеристики елементів блоку живлення

Діод SMBJ200A – високоефективний кремнієвий діод. Основні технічні характеристики діодів SMBJ200A:

- максимальна зворотна напруга, В ... 200;
- максимальна зворотна імпульсна напруга, В ... 324;
- максимальний прямий струм, А ... 1,9;
- розсіювана потужність, Вт ... 600;
- діапазон робочих температур: від  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ ;
- тип корпусу DO-214AA.

Діод SMCJ30A – захисний кремнієвий діод. Основні технічні характеристики діодів SMCJ30A:

- максимальна зворотна напруга, В ... 33,3;
- максимальна зворотна імпульсна напруга, В ... 48,4;
- максимальний струм, А ... 12,4;
- максимальна розсіювання імпульсі потужність, Вт ... 1500;
- діапазон робочих температур: від  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ ;
- тип корпусу DO-214AB.

Діод ER1M – випрямний кремнієвий діод. Основні технічні характеристики діодів ER1M:

- максимальна зворотна напруга, В ... 1000;
- максимальний прямий струм, А ... 1;
- час відновлення, нс ... 100;
- діапазон робочих температур: від  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+155^{\circ}\text{C}$ ;
- тип корпусу DO-214AA.

Діод 12СТQ045S – кремнієвий діод Шоткі. Основні технічні характеристики діодів 12СТQ045S:

- максимальна зворотна напруга, В ... 45;
- максимальний прямий струм, А ... 12;
- максимальна пряма напруга, мВ ... 0,6;

- діапазон робочих температур: від  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+155^{\circ}\text{C}$ .

Діод DL4148 – кремнієвий діод, що володіє наступними параметрами: прямий струм - не менше 150мА , зворотна напруга 100В і висока швидкість перемикання - не більше 4 нс. Ці параметри , а також дешевизна і відносно невеликий корпус DO - 35 дозволили стати йому одним з найпоширеніших діодів. Мітка у вигляді чорного кільця нанесена з боку катода.

Діод випускається багатьма десятками, якщо не сотнями фірм- виробників. Вітчизняним аналогом DL4148 є діод КД522Б.

Діод 10BQ100 – кремнієвий діод Шоткі. Основні технічні характеристики діодів 10BQ100:

- максимальна зворотна напруга, В ... 100;
- максимальна імпульсна зворотна напруга, В ... 100;
- максимальний прямий струм, А ... 1;
- максимальний імпульсний прямий струм, А ... 430;
- діапазон робочих температур: від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ ;
- тип корпусу DO-214AA.

КВU606 – кремнієвий діодний міст. Основні технічні характеристики діодів КВU606:

- максимальна зворотна напруга, В ... 600;
- максимальна імпульсна зворотна напруга, В ... 600;
- максимальний прямий струм, А ... 6;
- максимальний імпульсний прямий струм, А ... 200;
- діапазон робочих температур: від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ ;
- тип корпусу КВU.

BZV55C18 – кремнієвий стабілітрон. Основні технічні характеристики стабілітронів BZV55C18:

- мінімальна напруга стабілізації, В ... 16,8;
- номінальна напруга стабілізації, В ... 18;
- максимальна напруга стабілізації, В ... 19,1;
- потужність розсіювання, Вт ... 0,5;
- діапазон робочих температур: від  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+200^{\circ}\text{C}$ ;

- тип корпусу DL35.

Діод 30VQ040 – кремнієвий діод Шоткі. Основні технічні характеристики діодів 30VQ040:

- максимальна зворотна напруга, В ... 40;  
- максимальна імпульсна зворотна напруга, В ... 40;  
- максимальний прямий струм, А ... 3;  
- максимальний імпульсний прямий струм, А ... 110;  
- діапазон робочих температур: від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ ;  
- тип корпусу DO-214AB.

Діод 15MQ040N – кремнієвий діод Шоткі. Основні технічні характеристики діодів 15MQ040N:

- максимальна зворотна напруга, В ... 40;  
- максимальна імпульсна зворотна напруга, В ... 40;  
- максимальний прямий струм, А ... 3;  
- максимальний імпульсний прямий струм, А ... 140;  
- діапазон робочих температур: від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ ;  
- тип корпусу DO-214AB.

ВТА12-600С – кремнієвий симістор. Основні технічні характеристики симістора ВТА12-600С:

- максимальна зворотна напруга, В ... 600;  
- максимальна імпульсна зворотна напруга, В ... 600;  
- максимальний прямий струм, А ... 12;  
- максимальний імпульсний прямий струм, А ... 120;  
- відпираюча напруга, В ... 1,3;  
- діапазон робочих температур: від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ ;  
- тип корпусу TO-220AB.

Після цього біло вибрано транзистори BC847C, IRFR5305, IRF1404S та IRLD014.

Транзистор BC847C – транзистор n-p-n структури, кремнієвий. Основні технічні характеристики транзистора BC847C:

- максимальна напруга колектор-база, В ... 50;

- максимальна напруга колектор-емітер, В ... 45;
- статичний коефіцієнт передачі емітера по струму ... 520;
- максимальний струм колектора, А ... 0,1;
- максимальна розсіювана потужність колектора, Вт, ... 0,2.

Транзистор IRFR5305 – MOSFET силовой транзистор, Р-канальний.

Основні технічні характеристики транзистора IRFR5305:

- максимальна напруга втік-витік, В ... 55;
- опір каналу, мОм ... 65;
- номінальна напруга джерла, В ... 10;
- максимальний струм, А ... 28;
- максимальна розсіювана потужність, Вт, ... 89.

Транзистор IRF1404S – MOSFET силовой транзистор, N-канальний.

Основні технічні характеристики транзистора IRF1404S:

- максимальна напруга втік-витік, В ... 40;
- опір каналу, Ом ... 0,004;
- номінальна напруга джерло-витік, В ... 20;
- максимальний струм, А ... 162;
- максимальна розсіювана потужність, Вт, ... 200.

Транзистор IRLD014 – MOSFET транзистор, N-канальний. Основні технічні характеристики транзистора IRLD014:

- максимальна напруга втік-витік, В ... 60;
- опір каналу, Ом ... 0,2;
- номінальна напруга джерло-витік, В ... 4,5;
- максимальний струм, А ... 1,7;
- максимальна розсіювана потужність, Вт, ... 1,3.

Наступними було вибрано мікросхеми TOP250Y, MOC3063, PS2501L-1, LM431CCM3, MAX472CSA, LM2577T, LM2587T.

Мікросхема TOP250Y – драйвер АС/DC перетворювачів з наступними параметрами:

- топологія: Buck, Boost, Flyback, Forward;
- вхідна напруга: ... 85 ... 265 В;

- максимальна напруга ключа:	... 700 В;
- потужність :	... 290 Вт;
- частота перемикання:	... 132 кГц;
- максимальний робочий цикл:	... 83%;
- струм власного споживання:	... 0.002 А;
- робоча температура:	... -40 ... 150 ° С;
- тип корпусу:	... ТО-220 (5 виводів).

Мікросхема МОС3063 – оптрон, що представляє собою ідеальний елемент для оптичної гальванічної розв'язки (ізоляції) низьковольтної керуючої частини схеми і силового тиристорного ключа. Вони розраховані на напругу між низьковольтною і високовольтною частинами 7500 В. Максимальна напруга в закритому стані 600 В.

Оптрон являє собою ізольовані один від одного низьковольтну і високовольтну частини, пов'язані оптично. Низьковольтна частина являє собою світлодіод. Високовольтна частина складається з фототиристора і детектора нуля. Детектор нуля забезпечує неможливість відкриття тиристора при напрузі на ньому більше певного значення. Це гарантує мінімальні перешкоди, кидки струму і комутаційні втрати. Схеми з застосуванням цих оптопар включаються тільки в момент, коли змінна напруга досягає нульового значення.

Низьковольтна частина тиристорного оптрона. Максимально допустима напруга між вхідною і вихідною частиною: 7500 В змінного струму при частоті 50 Гц, час впливу 1 секунда. Так що дана схема виключає пробій навіть у випадку дуже сильних коливань напруги в мережі. Максимальна зворотна напруга на світлодіоді: 6 В. Максимальна пряма напруга: 1.5 В. Максимальний прямий струм світлодіода: 60 мА. Мінімальний струм включення (струм через світлодіод, при якому відбувається включення оптотиристора): 15мА.

Високовольтна частина тиристорної оптопари. Максимальна напруга в закритому стані: 600 В. Імпульсний струм: 1 А при тривалості менше 100 мкс. Максимальна напруга у відкритому стані: 3 В. Максимальний постійний струм у відкритому стані: 50 мА. Струм утримання (мінімальний струм, при якому

тиристор не закривається): мкА. Час включення: 1 мкс. Час виключення 10 мкс. Напруга, при якій можливе відкриття фототиристора: 5-20 В. Цей параметр має великий технологічний розкид і сильно залежить від струму через світлодіод. Якщо напруга перевищує вказане значення при відповідному вхідному струмі, то тиристор не відкривається. Це відбувається за рахунок роботи схеми детектора нуля.

PS2501L-1 – транзисторна оптопара з наступними параметрами:

- максимальна напруга колектор-емітер: ... 80 В;
- максимальна напруга насичення колектор-емітер: ... 0.3 В;
- напруга ізоляції: ... 5000 В;
- коефіцієнт передачі по струму: ... 300 %;
- максимальна пряма напруга діода: ... 1.4 В;
- максимальний вхідний струм діода: ... 10 мА;
- максимальна розсіювана потужність: ... 150 мВт
- максимальна робоча температура: ... +100 °С;
- мінімальна робоча температура: ... -55 °С
- струм в прямому напрямку: ... 10 мА;
- максимальна зворотна напруга діода: ... 5 В.

Мікросхема LM431CCM3 – джерело опорної напруги з наступними параметрами:

- опорна напруга: ... 2,5 В;
- вхідна напруга: ... 9-18 В;
- максимальний вихідний струм: ... 500 мА;
- початкова точність: ... 1%;
- робоча температура: ... -40...+85 °С;

Мікросхема MAX472CSA – операційний підсилювач з наступними параметрами:

- напруга живлення: ... 3-36 В;
- струм власного споживання: ... 20 мкА;
- діапазон робочих температур: ... 0...+70 °С.

Мікросхема LM2577T – інтегральний DC-DC перетворювач з наступними параметрами:

- максимальний вихідний струм ... 3 А;
- кількість виходів ... 1;
- струм власного споживання ... 5 мА;
- максимальна шпаруватість перетворення ... 95 %;
- діапазон робочих температур ... -40...+125 °С.

Мікросхема LM2587T – інтегральний DC-DC перетворювач з наступними параметрами:

- вхідна напруга ... 4...40 В;
- максимальний вихідний струм ... 5 А;
- кількість виходів ... 1;
- частота переключення ... 100 кГц;
- діапазон робочих температур ... -40...+125 °С.

Також в роботі використано роз'єми PLS з наступними параметрами:

- крок контактів, мм: ... 2;
- форма контактів: ... прямі;
- матеріал ізолятора: ... полімер, посилений скловолокном;
- опір ізолятора не менш, МОм: ... 500;
- матеріал контактів: ... фосфориста бронза;
- опір контактів не більше, Ом ... 0.01;
- робоча напруга, В: ... 500;
- робоча температура ... °С: -55 ... 140.