

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інформаційних технологій та електроніки

(повне найменування факультету)

Кафедра \_\_\_\_\_ електронних апаратів \_\_\_\_\_

(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

освітньо-кваліфікаційного рівня \_\_\_\_\_ магістр \_\_\_\_\_

(бакалавр, спеціаліст, магістр)

спеціальність 171 «Електроніка» \_\_\_\_\_

(шифр і назва напрямку підготовки)

на тему

**«УНІВЕРСАЛЬНЕ ЛАБОРАТОРНЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ»**

Виконав: студент групи ЕЛ-  
22дм \_\_\_\_\_

А.С. Солодкий

Керівник \_\_\_\_\_

Ж.Г. Самойлова

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

Ю.Е. Паеранд

Рецензент \_\_\_\_\_

І.С. Тюндер

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ****імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

( повне найменування вищого навчального закладу )

Інститут, факультет, відділення інформаційних технологій та електронікиКафедра, циклова комісія Електронних апаратівОсвітньо-кваліфікаційний рівень магістрСпеціальність 171 «Електроніка»**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ЕА

Ю.Е.Паеранд

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 року

***З А В Д А Н Н Я***  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**  
**Солодкому Андрію Сергійовичу**1. Тема проекту: **Універсальне лабораторне джерело живлення**2. Керівник проекту: Самойлова Жанна Георгіївна, доцент, затверджені наказом вищого навчального закладу від 21.11.2023. р. № 52/14.04.3. Строк подання студентом проекту 21 листопада 2023 р.

4. Вихідні дані до проекту:

4.1. Виріб ЕА- універсальне лабораторне джерело живлення

4.2. Схема електрична принципова.

4.3. Температура навколишнього повітря від +15 до +50°C; відносна вологість повітря 75% при температурі 30 °С, атмосферний тиск від 84 до 107 кПа.

4.4. Напруга живлення – 30±0,25 В, струм – не більше 5,0 А.; тип виробництва – дрібносерійне багатонаменклатурне

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

5.1. Вступ.

5.2. Аналітичний огляд аналогів проєктованого пристрою

5.3. Конструкторсько-технологічний аналіз технічного завдання.

5.3 Створення конструкції пристрою.

5.4. Загальні висновки по роботі

7. Дата видачі завдання 10 жовтня 2023 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проектування	Строк виконання етапів	Примітка
1	Вивчення літератури з теми проекту	15.10.23	
2	Формування напрямів і задач дослідження	18.10.23	
3	Визначення методів і принципів проведення дослідження	21.10.23	
4	Дослідження та модулювання об'єктів або процесів	1.11.23	
5	Аналіз та узагальнення отриманих результатів	8.11.23	
6	Формування розділів роботи	11.11.23	
7	Оформлення пояснювальної записки та презентації	21.11.23	

Студент \_\_\_\_\_

Солодкий А.С.Керівник проекту \_\_\_\_\_ Самойлова Ж.Г.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту містить:

82 сторінки , 35 рисунків, 37 таблиць, 26 джерел, мова - українська.

ЛАБОРАТОРНЕ ДЖЕРЕЛО, ЖИВЛЕННЯ, ЧАСТОТА,  
ЕЛЕКТРОРАДІОЕЛЕМЕНТ, РЕЗИСТОР, КОНДЕНСАТОР, МІКРОСХЕМА,  
ДРУКОВАНИЙ ПРОВІДНИК, МОНТАЖНИЙ ОТВІР, КОНТАКТНА  
ПЛОЩАДКА, КОНСТРУКЦІЯ, ТРАСУВАННЯ, ОПЕРАЦІЙНИЙ  
ПІДСИЛЮВАЧ

Об'єкт розробки – дослідження процесу розробки універсального лабораторного джерела живлення, топологічне проектування параметрів універсального лабораторного джерела живлення

Мета роботи - дослідити процес розробки універсального лабораторного джерела живлення, спроектувати топологію плати універсального лабораторного джерела живлення на основі схеми електричної принципової відповідно до вимог технічного завдання та розрахувати показники безвідмовності.

Метод дослідження - теоретичний із застосуванням комп'ютерної техніки.

У дипломній роботі досліджені процеси розробки універсального лабораторного джерела живлення, розраховані показники безвідмовності та спроектована топологія плати універсального лабораторного джерела живлення на основі схеми електричної принципової. Проведені конструктивні розрахунки, розрахунки по постійному та змінному струму. Проаналізовані та узагальнені отримані результати.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АНАЛОГІВ ПРОЕКТОВАНОГО ПРИСТРОЮ.....	8
1.1. Лабораторний блок живлення 1,3-30В 0-5А.....	8
1.2. Лабораторний блок живлення 0-30в із захистом.....	13
1.3. Імпульсний лабораторний блок живлення 0...30В, 0.01...5А.....	16
2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	21
2.1. Аналіз призначення і принципової схеми виробу.....	21
2.2. Вибір елементної бази.....	23
2.3. Конструктивно-технологічні вимоги проектного виробу.....	42
3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ.....	43
3.1. Вибір конструкції друкованої плати.....	43
3.2. Конструктивно - технологічний розрахунок друкованої плати.....	46
3.3. Визначення середнього часу до відмови та характер відмови елементів.....	55
3.4. Визначення показників безвідмовності.....	63
3.5. Обґрунтування методу резервування для функціонального вузла радіоелектронного пристрою.....	66
3.6. Оцінка впливу способу з'єднання елементів у вузлі методом резервування.....	73
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	75
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	76
Додаток А.....	79
Додаток В.....	81

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ТЕЗ - типовий елемент заміни;

ЕРЕ - електрорадіоелемент;

ТЗ - технічне завдання;

ТУ - технічні умови;

ЕОМ - електронно-обчислювальна машина;

НЕ - начіпний елемент;

ДП - друкована плата;

КПМ - компонент поверхневого монтажу;

САПР - система автоматизованого проектування;

ІС - інтегральна схема;

РЕА - радіоелектронна апаратура;

УГО - умовне графічне позначення.

ТУ - технічні умови

ГАП - гнучке автоматизоване виробництво

## ВСТУП

Технічний прогрес у всіх галузях передбачає найширше використання радіоелектронної техніки, яка насамперед має надійно виконувати покладені на неї функції. Тому завдання підвищення надійності радіоелектронної апаратури нині є однією з головних проблем сучасної радіоелектроніки. Ненадійність не тільки різко знижує ефективність використання радіоелектронної техніки, а й призводить до величезних економічних втрат, невиправданого підвищення вартості експлуатації та гальмує подальше використання засобів радіоелектроніки. Тому майбутнє радіоелектронної апаратури значною мірою залежить від її надійності.

При проектуванні РЕА виконується розробка описів нового або модернізованого технічного об'єкта в обсязі та складі достатньому для реалізації цього об'єкта в заданих умовах. Такі описи називаються остаточними і є повним комплектом документації на проєктований виріб.

У літературі досить рідко можна знайти схеми потужних джерел живлення струму 5...10А. Крім того, у цих джерелах схеми захисту або надто повільні та неефективні, або, працюючи за принципом обмеження струму, захищають джерело лише при короткочасному перевантаженні.

У ході виконання дипломної роботи було запропоновано схему потужного лабораторного блоку живлення з ефективною схемою електронного запобіжника.

Актуальність, теоретична та практична значущість проблеми, що вивчається, зумовили вибір теми дипломної роботи.

Об'єкт дослідження - потужний лабораторний блок живлення.

Предмет дослідження - структура та функції потужного лабораторного блоку живлення.

Метою написання дипломної роботи полягає у розробці структурної схеми та технології регулювання та контролю потужного лабораторного блоку живлення.

Задум дослідження, його мета та завдання визначили структуру та зміст дипломної роботи

# 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АНАЛОГІВ ПРОЕКТОВАНОГО ПРИСТРОЮ

## 1.1. Лабораторний блок живлення 1,3-30В 0-5А



Рисунок 1.1. Зовнішній вигляд лабораторного блоку живлення

Збираючи лабораторний блок живлення, багато хто стикається з проблемою вибору схеми. Імпульсні блоки живлення при налагодженні саморобних передавачів або приймачів можуть давати небажані перешкоди в ефір, а лінійні блоки живлення часто не можуть розвивати велику потужність. Майже універсальним блоком може стати простий лінійний блок живлення 1,3 – 30В та струмом 0 – 5А, який працюватиме в режимі стабілізації струму та напруги. За бажанням їм можна буде як зарядити акумулятор, так і запитати чутливу схему.

У мережі інтернет є схема, яка обговорювалася на безлічі форумів, відгуки по ній були зовсім неоднозначні. Нижче наведено оригінал цієї схеми. На основі її можна зробити лабораторний блок живлення.

Блок живлення реалізований на стабілізаторі напруги LM317, який може регулювати напругу в межах від 1,3 до 37В. Працюючи в парі з потужним транзистором КТ818, схема здатна провести через себе значний струм. Обмежувач та стабілізатор струму, так званий захист лабораторного блоку живлення, організована на LM301.



### Лабораторный блок питания 1,3-30v 0-5A

Работает в режиме стабилизации напряжения и тока

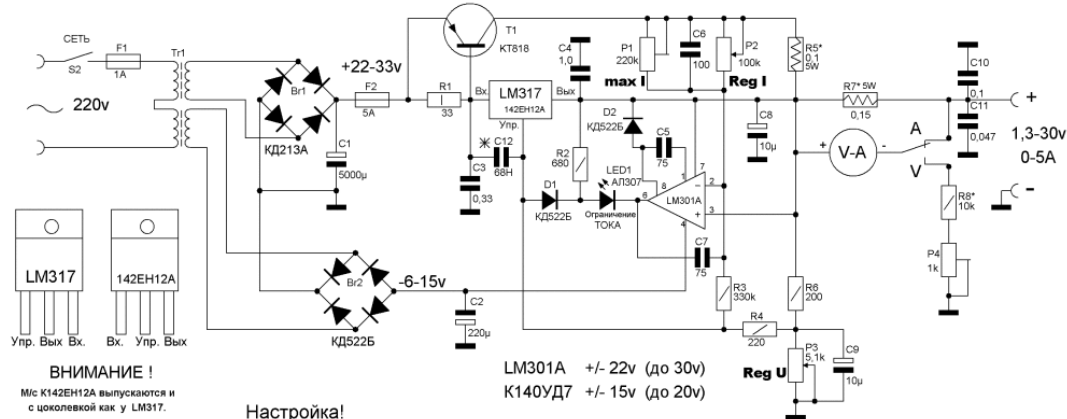


Рисунок 1.2. Электрична принципова схема лабораторного джерела живлення

Якщо звернутися до книг, можна побачити, що основа схеми описувалася у книзі Г. Шрайбера «300 схем джерел живлення» стор.39

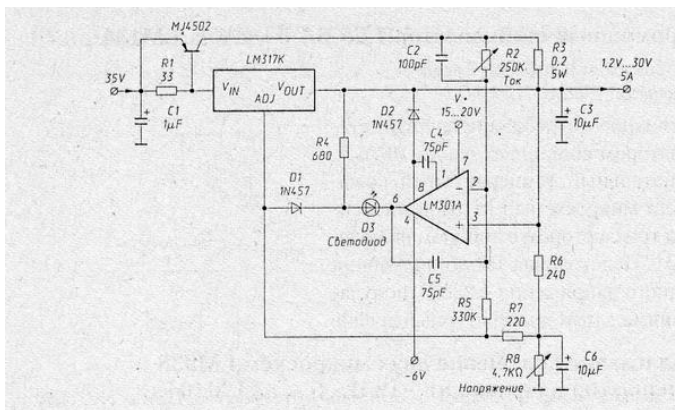


Рисунок 1.3. Электрична принципова схема джерела лабораторного живлення на підставі книги Г. Шрайбера «300 схем джерел живлення»

А також згадувалася у книзі П. Хоровиць «Мистецтво схемотехніки» том 1, с. 358

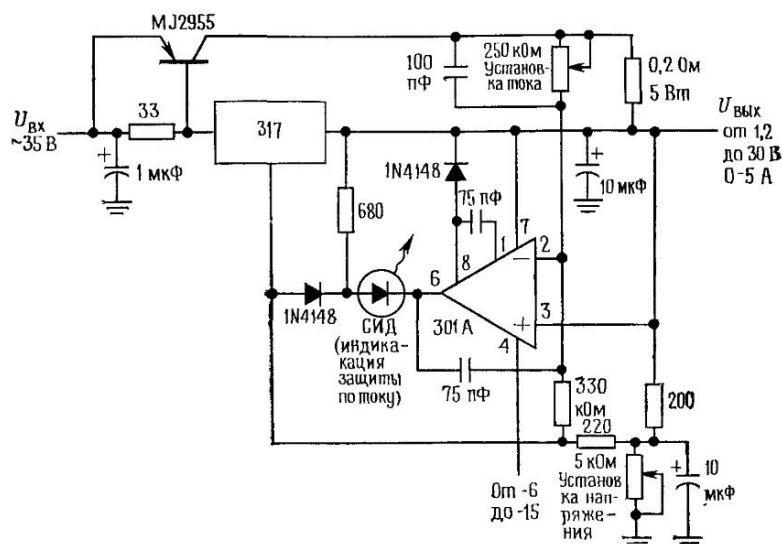


Рисунок 1.4. Електрична принципова схема джерела лабораторного живлення на підставі книги П. Хоровиць «Мистецтво схемотехніки» том 1

Основа не змінилася, в схемі з'явилась пара конденсаторів, що фільтрують, діодні мости і спосіб включення вимірювальної головки. Також застосовується транзистор КТ818, який значно поступається потужністю MJ4502 або MJ2955.

Також було підвищено ємність входних конденсаторів, прибрано елементи вимірювальної головки та додано два захисні діоди. Застосування в цій схемі транзистора КТ818 було абсолютно невиправданим, він сильно грівся і був зіпсований, поки його не замінили кількома недорогими транзисторами ТР36С, які включили паралельно.

Перше включення схеми здійснюється без LM301 та транзисторів. Регулятором Р3 перевіряємо, як регулюється напруга. За регулювання напруги відповідають LM317, Р3, R4 та R6, С9.

Якщо регулювання напруги проводиться нормально, тоді до схеми підключаємо транзистори. Для нормальної роботи паралельно включених транзисторів, в ланцюзі емітера повинні бути балансувальні резистори R7 і R8. Номінал R7 і R8 необхідно підбирати, опір має бути максимально низьким, але достатнім, щоб струм, який проходить через Т1 дорівнював струму, який проходить через Т2. На даному етапі до виходу блока живлення можна підключати

навантаження, але в жодному разі не варто влаштовувати коротке замикання - транзистори моментально вийдуть з ладу, забравши з собою LM317.

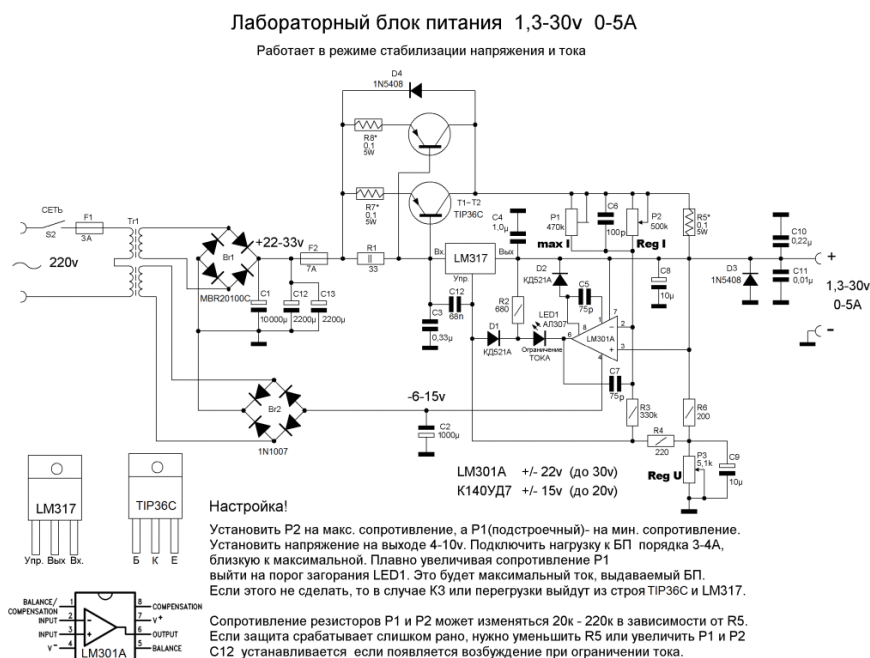


Рисунок 1.5. Остаточний варіант електричної принципової схеми лабораторного джерела живлення

Наступним етапом стане встановлення LM301. Важливо переконатися, що на 4-й ніжці операційного підсилювача є -6 В. Якщо там +6 В, то необхідно уважно оглянути, як включений діодний міст BR2 і чи правильно підключений конденсатор C2. Живлення LM301 (7я ніжка) можна брати з виходу блока живлення.

Все подальше налаштування зводиться до підгону P1 під максимальний робочий струм блоку живлення.

**Основні компоненти, що використовуються:**

- Трансформатор ТПП 306-127/220-50. Дозволяє отримати з кожної 20 вольтової обмотки по 2,56 А, включивши їх паралельно отримуємо 5,12 А. Інші обмотки йдуть на живлення операційного підсилювача, вентилятора та цифрового вольтамперметра;
- Стабілізатор - LM317К;
- Транзистори - TIP36С;
- Операційний підсилювач - LM301AN;
- Конденсатори електrolітичні – номінал див. схему, максимальною напругою до 50В;
- Діоди BR2 – 1N1007;
- Діоди BR1 - MBR20100СТ;
- Резистори R1 – 33 Ом, 2Вт;
- Резистори R5, R7, R8 – 0,1 Ом, 5Вт;
- Інші резистори потужністю - 0,25Вт;
- Резистори P1 – багатооборотний підстроювальний 470 кОм;
- Запобіжник F2 – запобіжник, що самовідновлюється, від Littelfuse на 7А/30В.

## 1.2. Лабораторний блок живлення 0-30В із захистом

Конструкція лабораторного блоку живлення на 0-30 В. Блок має захист від короткого замикання у навантаженні. Перевага даного лабораторного блоку полягає в тому, що не потрібні додаткові обмотки на силовому трансформаторі. При розробці конструкції враховувалася недорога база при мінімумі деталей, простота в налагодженні та використанні. Схема електричного лабораторного блоку живлення наведена на рисунку 1.6.

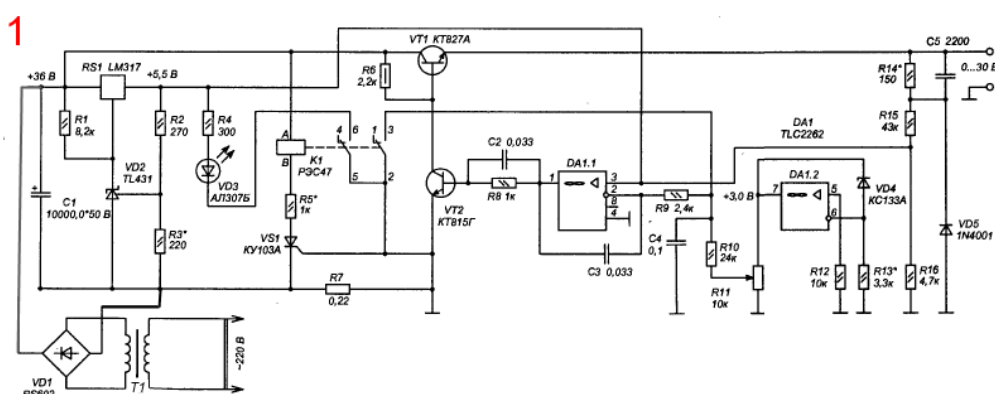


Рисунок 1.6. Схема електрична принципова лабораторного блоку живлення

Мікросхема DA1 працює з однополярним живленням, яке плавно регулюється від 0 до 30 В. Схемотехнічне рішення нескладне, і даний лабораторний блок живлення може виготовити радіоаматор-початківець. Випрямлена напруга +38, після конденсатора C1, подається на регулюючий транзистор VT1. Регульована частина зібрана на здвоєному операційному підсилювачі TL2262. На операційному підсилювачі DA1.2, резисторах R12, R13 та стабілітроні KC133A зібраний вузол опорної напруги, яке подається через потенціометр R11 і через ланцюжок R9, R10, C4 на вхід 2 операційного підсилювача DA1.1. DA1.2 здійснює обробку вихідної напруги ( $U_{\text{вих}}$ ) блоку живлення. Захист від короткого замикання

особливостей не має, а опором R7 можна відрегулювати поріг спрацьовування захисту струмом:

$$R_{\text{зах}} = 0,7/I_{\text{зах}}$$

У нашому варіанті захист розрахований на струм 3 А. У блоці захисту використовується двопозиційне, одностабільне, з двома контактами, що перемикають реле. Перша група контактів 4, 6, 5 працює для індикації режиму захисту, друга група 1, 2, 3 замикає конденсатор С4 на земляну шину, тим самим скидаючи  $U_{\text{вих}}$  до нуля. Для живлення DA1 використовується стабілізатор, зібраний на мікросхемі LM317, резисторах R1, R2, R3 та трививідним стабілізатором на TL431. Живлення для DA1 вибрано 5,5 В. Максимальне живлення мікросхеми TLC2262 становить  $\pm 8$  В.

На рисунку 1.7. наведена схема електрична принципова заміна ІМС LM317 транзистором 2N2222А.

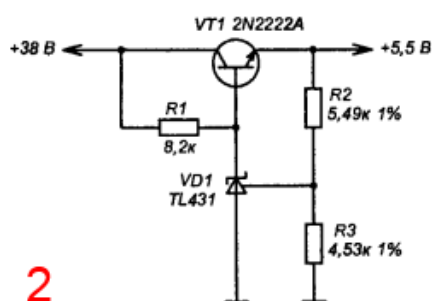


Рисунок 1.7. Схема електрична принципова заміна ІМС LM317 транзистором 2N2222А.

Налагодження лабораторного блока живлення починають із встановлення напруги 38 В. За допомогою R3 виставляють на виході RS1  $U_{\text{ref}} = +5,5$  В.  $U_{\text{вих}}$  можна розрахувати, виходячи з формули:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{ref}}(1+R_2/R_3)$$

Мікросхему DA1 одразу в панельку не вставляють. Тільки після того, як на ніжці 8 панельки DA1 встановлено (+5,5), вимикають живлення і вставляють її в панельку. Після включення живлення і, якщо напруга на ніжці 8 DA1 відрізняється від +5,5 В, роблять його підстроювання. Резистор R11 має бути виведений на опір 0 Ом. Після того, як потрібне живлення DA1 виставлено, встановлюють +3,0 на ніжці 7 DA1. Якщо воно відрізняється від вказаного на схемі, підбирають опір R13.

Після цього двигун R11 переводять у верхнє (за схемою) положення і підстроювальним R14 встановлюють верхню межу виходу - +30 В. Потім підключають реостатний опір навантаження блоку і, при заданому вихідному струмі, домагаються спрацьовування реле. При необхідності підбирають опір R5.

У цьому лабораторному блоці живлення можна використовувати такі компоненти:

RS1 - KP142EH12A, VD2 - KPU2EH19, VT2 - BD139, VD4 - будь-який стабілітрон на 3...3,6 В.

Підстроювальний R11 обраний із серії СП з характеристикою ТК не гірше 30 ppm/°C дротяного або металофольгованого типу. Силовий трансформатор можна застосувати потужністю 100...160 Вт. Реле K1 – марки PEM47, паспорт РФ4.500.407-02. Лабораторний блок живлення зібрано на друкованій платі розміром 100x65 мм (рисунок 1.8.).

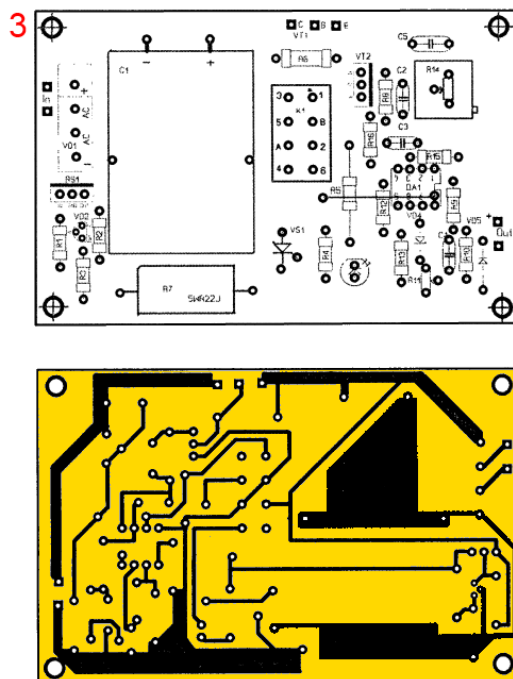


Рисунок 1.8. Креслення друкованої плати лабораторного блока живлення

### 1.3. Імпульсний лабораторний блок живлення 0...30В, 0.01...5А

Пропонований пристрій стабілізує напругу живлення навантаження і обмежує споживаний нею струм, переходячи в режим стабілізації струму. Імпульсний режим роботи забезпечує високий ККД у будь-яких режимах роботи. Пристрій не боїться тривалих замикань виходу. Воно може бути джерелом струму для процесів електролізу, гальванопластики та інших, для яких необхідний стабільний або обмежений струм. Пристрій можна використовувати для заряджання майже всіх типів акумуляторів. Пропонований джерело відрізняється широкими функціональними можливостями, простотою, високим ККД. На рисунку 1.9. показано його функціональну схему.

Основа пристрою - знижуючий стабілізатор напруги з широтно-імпульсним регулюванням на транзисторі, що комутує, VT1. Після накопичувальних елементів - дроселя L1 та конденсатора C1 - включені послідовно регульовані лінійні обмежувач струму A1 та стабілізатор напруги A3. Діод VD1 забезпечує перебіг



струму дроселя L1 в конденсатор C1 і навантаження, коли закритий комутуючий транзистор VT1. Струм навантаження обмежений зверху вузлом A1 від 10 мА до 5 А. Стабілізатор напруги A3 дозволяє регулювати вихідну напругу від 0 до 30 В. Диференціальні підсилювачі A2 та A4 з коефіцієнтом посилення близько 5 контролюють падіння напруги на блоках A1 та A3. Коли хоча б одне з них занадто велике, комутуючий транзистор VT1 закривається сигналом широтно-імпульсного регулятора A5. Цим досягаються високий ККД та стабілізація не тільки вихідної напруги, а й струму. Невелика потужність, що розсіюється, на регулюючих елементах підвищує надійність пристрою, дозволяє знизити його масу і габарити за рахунок зменшення розмірів тепловідводів в порівнянні з лінійним регулюванням. На рисунку 1.10. показана важлива схема пристрою.

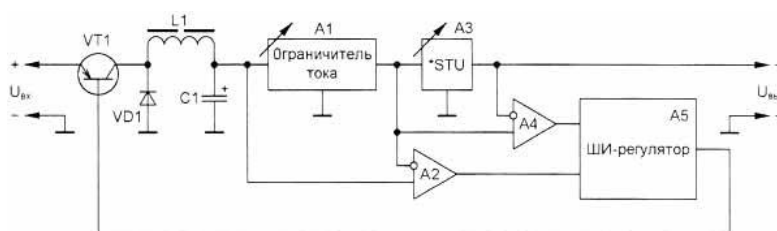


Рисунок 1.9. Функціональна схема

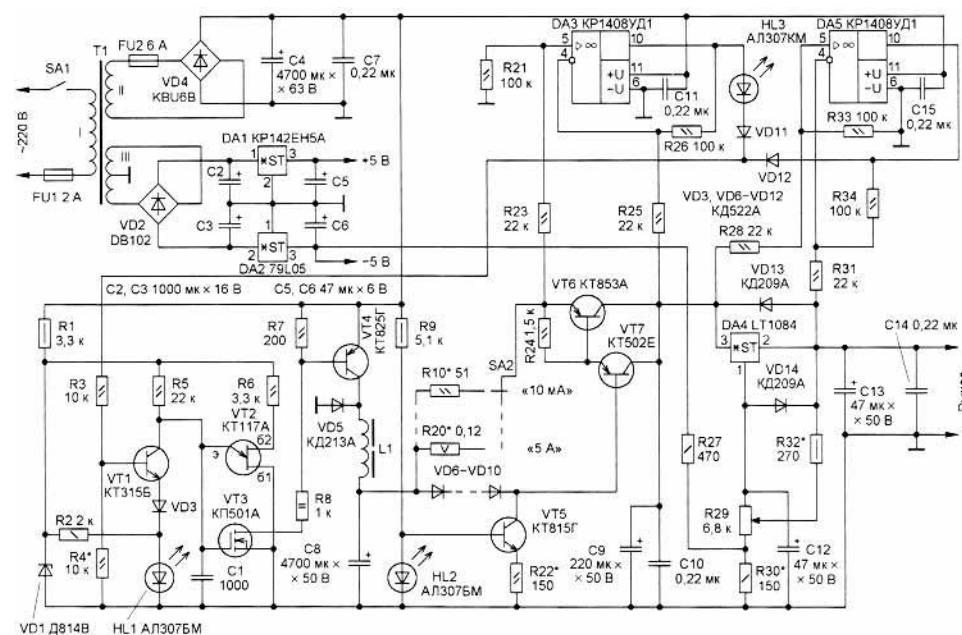


Рисунок 1.10. Принципіальна схема пристрою

Компоненти VT4, VD5, L1, C8 відповідають VT1, VD1, L1, C1 на рис. 1.8. На елементах VT1-VT3, C1, VD3, HL1, R3-R8 зібраний широтно-імпульсний регулятор A5. Обмежувач струму A1 зібраний за схемою стабілізатора струму на транзисторах VT6 та VT7, діодах VD6-VD10 та резисторах R10-R20, один з яких підключається перемикачем SA2. Регульований стабілізатор A3 напруги зібраний на мікросхемі DA4. Диференціальний підсилювач A2 (див. рис. 1.8) - високовольтний операційний підсилювач (ОП) КР1408УД1 (DA3) з резисторами R21, R23, R25, R26. Аналогічний диференціальний підсилювач A4 – DA5, R28, R31, R33, R34. Знижена до 30 трансформатором Т1 мережева напруга з обмотки II випрямляє діодний міст VD4 і згладжує конденсатор С4. Ця напруга (близько 40) - вхідна для імпульсного стабілізатора. Резистор R1 і стабілітрон VD1 утворюють параметричний стабілізатор напруги живлення генератора, що задає, виконаного на одноперехідному транзисторі VT2. Транзистор VT3 - підсилювач струму генератора, що задає. Вибір транзистора КТ825Г як комутуючого (VT4) обумовлений його високою надійністю та широкою доступністю. Частота генерації 40 кГц обрана відповідно до частотних властивостей транзистора КТ825Г. На резистори R2 і світлодіоді HL1 зібраний параметричний стабілізатор напруги близько 2 для фіксації рівня напруги на емітері регулюючого транзистора VT1. Діод VD3 перешкоджає подачі зворотної напруги на емітерний перехід транзистора. Відкриваючись комутуючий транзистор VT4 підключає дросель L1 до виходу випрямляча на діодному мосту VD4. Протікаючим через дросель L1 струмом заряджається накопичувальний конденсатор С8. Змінюючи напругу з урахуванням транзистора VT1, можна регулювати ширину імпульсів, що відкривають транзистор VT4, і напруга на накопичувальному конденсаторі С8. Обмежувач струму A1 виконаний на дискретних елементах. Відмова від використання мікросхеми LT1084 обумовлена її недостатньо високою максимальною вхідною напругою (37 В). З іншого боку, застосування дискретних елементів збільшує ККД. Падіння напруги на токозадавальному резисторі інтегрального стабілізатора дорівнює 1,25 В, при струмі 5 А на цьому резисторі розсіюється потужність 6,25 Вт. У застосованому обмежувачі струму падіння напруги на токозадаючому резисторі  $U_R$  дорівнює різниці падіння напруги на

діодному ланцюгу VD6-VD10 і напруга база-емітер складеного транзистора VT6VT7. В даному випадку  $U_R$  приблизно дорівнює 0,6 В. Потужність, що розсіюється на резистори R20 (на межі 5 А), приблизно дорівнює 3 Вт. Опір токозадаючого резистора R розраховують за формулою  $R=U_R/I$ , де I - необхідний струм обмеження.

В екземплярі автора реалізовано 11 меж обмеження струму: 10, 50, 100, 250, 500, 750 мА; 1, 2, 3, 4, 5 А. Їм відповідають резистори R10-R20. Оскільки напруга на конденсаторі C8 змінюється в широких межах, струм через стабістор, складений з діодів VD6-VD10 визначає стабілізатор на транзисторі VT5 і світлодіоді HL2. Резистором R22 ланцюга емітера транзистора VT5 встановлюють струм через ланцюг VD6-VD10 в межах 10...12 мА. Регульований стабілізатор А3 напруги виконаний на мікросхемі DA4. Діоди VD13, VD14 сприяють підвищенню його надійності. Через ці діоди при відключенні блоку живлення від мережі розряджаються конденсатори C12 та C13, що усувають самозбудження стабілізатора. Для отримання нульової вихідної напруги ланцюг керуючого електрода через дільник R27R30 подано напругу негативної полярності від стабілізатора DA2. Випрямляч на діодному мосту VD2 та інтегральних стабілізаторах DA1, DA2 живить також цифровий вольтметр на мікросхемі KP572ПВ2А, зібраний за типовою схемою. Вихідні сигнали операційних підсилювачів DA3 та DA5 через діоди VD11 та VD12 надходять на загальне навантаження – резисторний дільник R3R4. Світлодіод HL3 виведений на передню панель і сигналізує про перехід блоку живлення в режим обмеження стабілізації струму. Збільшення падіння напруги на обмежувачі струму або стабілізаторі напруги викликає зростання напруги на резисторі R4. Коли воно перевищить порогове значення (близько 3), відкриється транзистор VT1, скорочуючи імпульси генератора на транзисторі VT2.

Блок живлення змонтований у корпусі розмірами 90×170×270 мм. Транзистор VT4 та діод VD5 встановлені без ізолюючих прокладок на одному тепловідводі площею 200 см<sup>2</sup>. На тепловідводі площею 400 см<sup>2</sup> змонтовано транзистор VT6 (через ізолюючу прокладку) та стабілізатор DA4. Для підвищення

температурної стабільності діоди VD6-VD10 доцільно встановити тепловідведення можливо ближче до транзистора VT6. Пристрій зібрано на універсальній макетній платі, друкована плата була розроблена. Трансформатор T1 виготовлений із мережевого трансформатора лампового телевізора. Магнітопровід розбирають, знімають котушки. Змотують накульні обмотки (вони розташовані у верхньому шарі і намотані дротом найбільшого діаметра), підраховуючи витки. Помноживши цю кількість витків на 5, отримуємо число витків обмотки II. Далі повністю змотують анодні обмотки з обох котушок на одну шпулю. Потім на кожен котушку намотують внавал половинну кількість витків обмотки II в два дроти анодної обмотки. Діаметр дроту анодної обмотки 0,8 мм відповідає перерізу 0,5 мм<sup>2</sup>. Намотування у два дроти дає еквівалентний переріз 1 мм<sup>2</sup>, що дозволяє отримати струм навантаження 5 А. Помноживши число витків накульної обмотки на 3, отримуємо число витків обмотки III. Цю обмотку також у два дроти можна намотати на одну з двох котушок. У зв'язку з малим споживанням струму від обмотки III асиметрія магнітного поля трансформатора виходить несуттєвою. Після збирання магнітопровода напівобмотки III з'єднують послідовно з урахуванням фазування, початок однієї напівобмотки III з'єднують з кінцем іншої, утворюючи відведення від середини. Дросель L1 намотують на магнітопроводі Б48 з фериту 1500НМ1 внавал у два дроти анодної обмотки до заповнення каркаса. Для створення немагнітного зазору між чашками вкрито текстолітову шайбу завтовшки 1 мм. Після стягування болтом М6 готовий дросель просочують клеєм БФ-2. Сушіння та полімеризація клею проводилися в духовці при температурі 100 °С. При самостійному виготовленні дроселя на іншому магнітопроводі слід мати на увазі, що струм через дросель має трикутну форму. Середньому споживаному струму 5 А відповідає амплітуда 10 А, при цьому струмі магнітопровід не повинен входити до насичення. Стабілізатор LT1084 (DA4) можна замінити вітчизняним аналогом КР142ЕН22А. Змінний резистор R29 для більшої довговічності використаний дротяний ППБ. Враховуючи, що через перемикач SA2 протікає значний струм, підвищення стабільності і довговічності застосований керамічний галетний перемикач 11ПЗН, його контакти з'єднані паралельно. Світлодіод АЛ307КМ (HL3) можна замінити закордонним L-543SRC-E.

## 2.АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

### 2.1.Аналіз призначення і принципової схеми виробу

У літературі досить рідко можна знайти схеми потужних джерел живлення струму 5...10А. Крім того, у цих джерелах схеми захисту або надто повільні та неефективні, або, працюючи за принципом обмеження струму, захищають джерело лише при короткочасному перевантаженні.

В ході виконання дипломної роботи було запропоновано схему (дивись рисунок 2.1.) потужного лабораторного блоку живлення із ефективною схемою електронного запобіжника. Блок містить два канали з незалежним регулюванням вихідної напруги по кожному каналу.

Основні параметри:

- вихідна напруга кожного каналу, В 0.....52;
- максимальний струм навантаження, А.....7;
- амплітудне значення пульсацій при максимальному струмі, мВ .....100;
- час спрацьовування захисту, мкс .....30

Електронний запобіжник зібраний на транзисторах VT1...VT6 та оптроні VD12. Розглянемо роботу запобіжника у позитивному плечі джерела. Як тільки падіння напруги на R3 перевищує 0,5...0,6В, відкривається VT1 і через фотодіод оптрона VD12 тече струм, обмежений R4 і R5. Оптрон VD12 відкривається і напруга на базах VT7 і VT8 різко знижується. Транзистори VT7 та VT8 закриваються, відповідно закриваються транзистори VT3, VT5 та VT4, VT6. Напруга на колекторах VT3 і VT4 становить 2...5В. Перевага даної системи захисту полягає в тому, що при перевантаженні будь-якого плеча вимикаються обидва канали джерела.

Після спрацьовування захисту напруга на виходах практично дорівнює нулю. Джерело залишається в такому стані та після відключення навантаження. Щоб

повернутися до нормальної роботи, необхідно відключити джерело від мережі та почекати поки розрядяться конденсатори фільтра через резистори R1 та R2. При повторному включенні, якщо причина перевантаження усунена, падіння напруги на R3 недостатньо для відкриття VT1 відповідно закритий VD12. Транзистори VT3, VT5 і VT4, VT6 відкриті, і позитивна і негативна напруга через них подаються на самі стабілізатори, побудовані на базі схеми [1].

Основою стабілізаторів є операційні підсилювачі DA1 та DA2. Використане схемне рішення дозволяє змінювати вихідну напругу за допомогою резисторів R55 і R61 практично від 0 до напруги на вході відповідного стабілізатора.

У блоці живлення добре працюють як кремнієві, так і германієві транзистори без будь-якого підбору параметрів. Головне, щоб допустима напруга колектор-емітер у всіх транзисторів була не менше 50В. Висновки R55 і R61 необхідно підключити безпосередньо до вихідних клем.

Струм спрацьовування захисту встановлюється підбором величини R3 та R6. Якщо замість R3 і R6 встановити резистори по 1 Ом, а ланцюг бази VT1 і VT2 включити змінні резистори на 1...2кОм, можна регулювати струм захисту в діапазоні 1...10А.

Дані трансформатора вказані у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Дані трансформатора

NN виводів	Кількість витків	проводи	Напруга, В
1-2, 1'-2'	440	ПЕЛ-2 1,0	110
3-4, 3'-4'	80...130	ПЕЛ-2 0,35	36...20
5-6, 5'-6'	53	ПЕЛ-2 1,7	14
7-8, 7'-8'	20	ПЕЛ-2 1,7	5
8-9, 8'-9'	20	ПЕЛ-2 1,7	5
9-10, 9'-10'	20	ПЕЛ-2 1,7	5

10-11, 10'-11'	20	ПЕЛ-2 1,7	5
11-12, 11'-12'	20	ПЕЛ-2 1,7	5

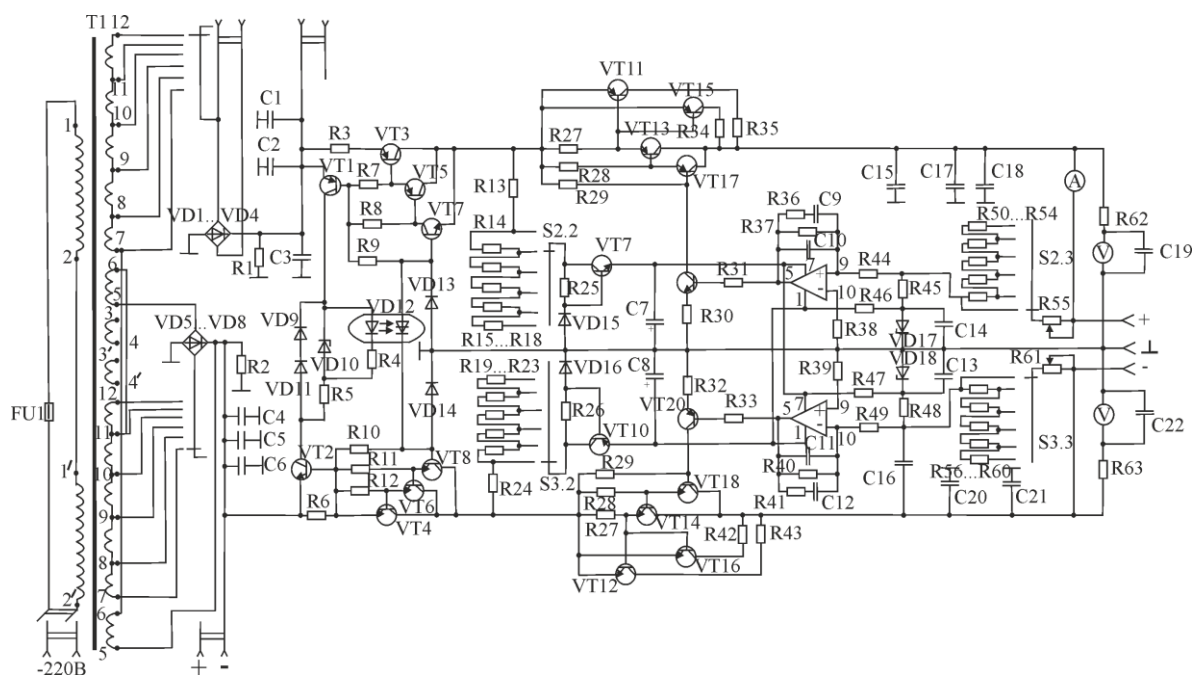


Рисунок 2.1. Принципова електрична схема лабораторного джерела живлення

## 2.2. Вибір елементної бази

У схемі лабораторного блоку живлення, обраної як вихідні дані для дипломної роботи використовуються наступні радіоелементи:

**Електролітичні конденсатори типу К50-37 (C1 ... C6, C17, C18).**

Зовнішній вигляд конденсаторів цього представлений на рисунку 2.2



Рисунок 2.2. Конденсатор типу К50-37

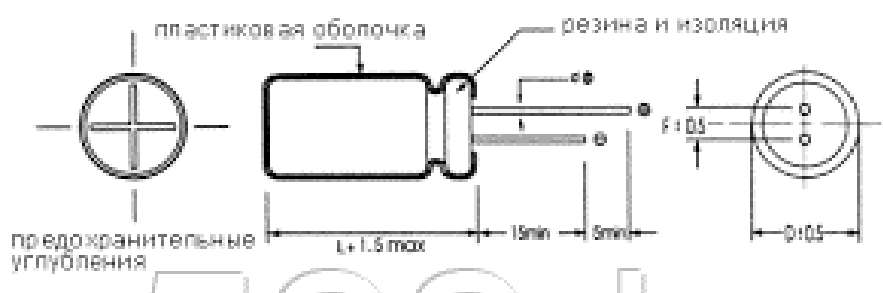


Рисунок 2.3. Вид корпусу конденсаторів типу К50-37

Основні технічні дані корпусу конденсаторів типу К50-37 представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Технічні дані конденсаторів типу К50-37

$D_{\psi}$	5	6,3	8	10	13	16	18	22
F	2,0	2,5	3,5	5,0	5,0	7,5	7,5	10
$d_{\psi}$	0,5			0,6		0,8		



### Електролітичні конденсатори К50-16 (С7, С8, С15, С16).

Корпус цього типу конденсаторів аналогічний К50-37. Його вид подано на рисунку 2.4.

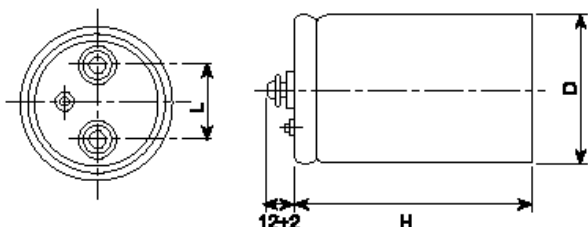


Рисунок 2.4. Вид корпусу конденсаторів типу К50-16

Основні технічні дані конденсаторів типу К50-16 представлені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 Технічні дані конденсаторів типу К50-16

Робоча напруга, В	Номінальна ємність, мкФ	Робоча температура, °С	Тангенс кута втрат, %	Діаметр корпусу, мм	Довжина корпусу, мм	Допустимі відхилення ємності (при 50Гц, 20 °С)	Струм витоку, мкА
16	470	-25...+70	35	16	28	-20...+50%	0,01
10	100	-25...+70	35	12	20	-20...+50%	0,01

### Керамічні конденсатори К10-176 (С9 ... С14, С19 ... С22).

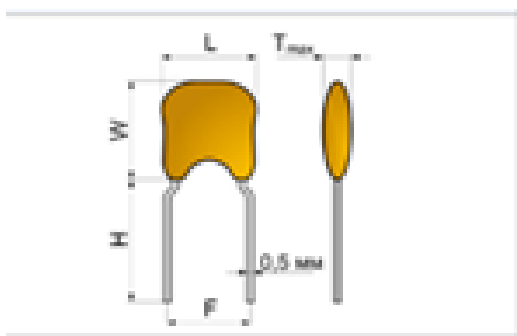


Рисунок 2.5. Вид корпусу конденсаторів типу К50-176

Габаритні розміри корпусів конденсаторів типу К50-176 представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. Габаритні розміри корпусів конденсаторів типу К50-176

Типорозмір	L, мм	W, мм	T <sub>max</sub> , мм	F, мм	H, мм
0805	4,2	3,2	3,8	5,0	10,0
1206	5,0	4,5	3,8	5,0	10,0
1210	7,5	5,5	3,8	5,0	10,0
1812	8,5	8,5	3,8	5,0	10,0
2225	10,5	9,5	4,2	5,0	10,0

Технічні дані конденсаторів цього представлені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5. Технічні дані конденсаторів типу К10-176

Робоча напруга, В	Номінальна ємність, мкФ	Робоча температура, °С	Тангенс кута втрат, %	Довжина корпусу, мм	Ширина корпусу, мм	Висота корпусу, мм	Допустимі відхилення ємності (при 50Гц, 20 °С)
50	0,022	-60...+125	35	3,2	1,3	1,8	±10%
50	0,047	-60...+125	35	3,2	1,3	1,8	±10%
50	0,1	-60...+125	0,0015	3,2	1,3	2,8	±10%
50	3	-60...+125	0,0015	12	1,3	10	±10%

### **Операційні підсилювачі DA1, DA2 – К140УД16.**

Зовнішній вигляд та цоколівка ОП представлені на рисунку 2.6. а основні технічні дані в таблиці 2.6.

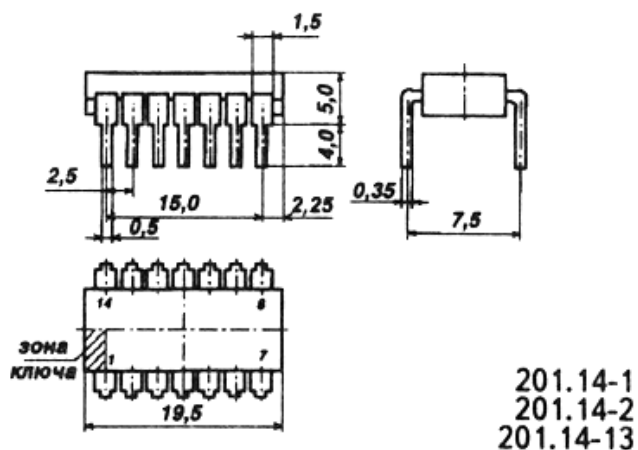


Рисунок 2.6 Типорозміри ОП К140УД1Б

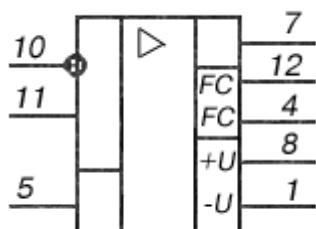


Рисунок 2.7. Умовне графічне позначення ОП К140УД1Б: 1 - напруга живлення - $U_{п}$ ; 2,4,14 – контроль; 5 – загальний; 7 – вихід; 8 - напруга живлення +  $U_{п}$ ; 10 - інвертуючий вхід; 11 - вхід неінвертуючий

Таблиця 2.6. Технічні дані ОП К140УД1Б

Параметри ОП	Уживл.ном., В	$K_D \times 10^{-3}$	Іп., мА	Узм, мВ	$T_{ку}$ зм, мкВ/К	Іі, нА	Дельта Іі, нА
К140УД1Б	2X12,6	1.3	12	7	20	8000	1500

### Запобіжник FU1

У схемі лабораторного блоку живлення як запобіжник FU1 використовується вставка плавка 5А 20×5 мм (дивись рисунок 2.8).

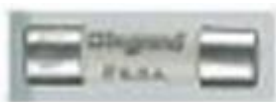


Рисунок 2.8. Запобіжник мініатюрний

Резистори типу С2-33 потужністю 0,125Вт, 0,25Вт, 0,5Вт, 1Вт, 2Вт (дивись рисунок 1.8).

Розміри резисторів типу С2-33 представлені у таблиці 2.7. Основні технічні дані резисторів типу С2-33 представлені у таблиці 2.8.

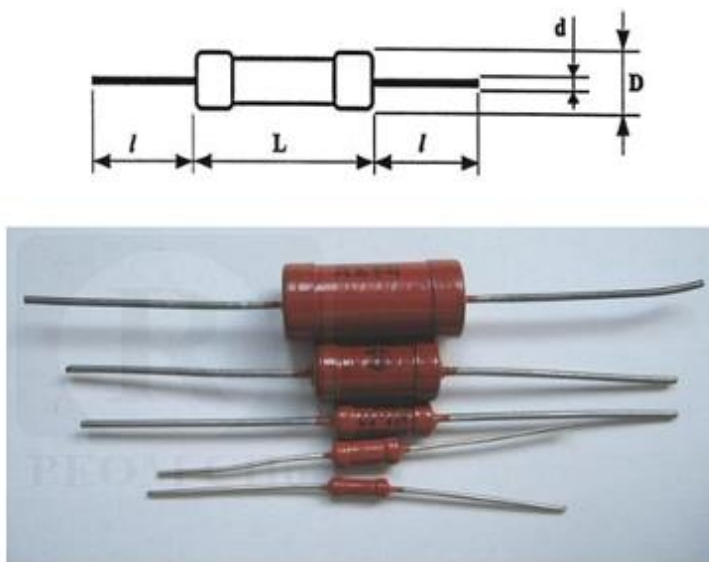


Рисунок 2.9. Резистори типу С2-33

Таблиця 2.7. Розміри резисторів типу С2-33

Тип резистора	Діаметр D, мм	Довжина L, мм	Діаметр d, мм	Довжина l, мм	Потужність, Вт
С2-33-0,125	2,2	6	16	0,6	0,125
С2-33-0,25	3,2	7,1	16	0,6	0,25
С2-33-0,5	4,2	10,8	25	0,8	0,5
С2-33-1	6,3	13	25	0,8	1
С2-33-2	8,5	18	25	0,8	2

Таблиця 2.8. Основні технічні дані резисторів типу С2-33

Тип резистора	ТКС•10 <sup>-6</sup> , 1/°С, не більше	Діапазон номінальних опорів	Гранична робоча напруга, В	Мінімальне напрацювання, год	Робоча температу- ра, °С
С2-33- 0,125	±500	0,1Ом...3,01Мом	200	30000	-60...+155
С2-33- 0,25	±500	0,1Ом...5,11Мом	250	30000	-60...+155
С2-33- 0,5	±500	0,1Ом...5,11Мом	350	30000	-60...+155
С2-33-1	±500	1Ом...22Мом	500	30000	-60...+155
С2-33-2	±500	1Ом...22Мом	750	30000	-60...+155

### Змінні резистори типу СП 1 А.

Для регулювання вихідної напруги лабораторного блоку живлення застосовані змінні резистори (R64, R65) типу СП 1 А. Їх основні технічні дані представлені в таблиці 2.9.

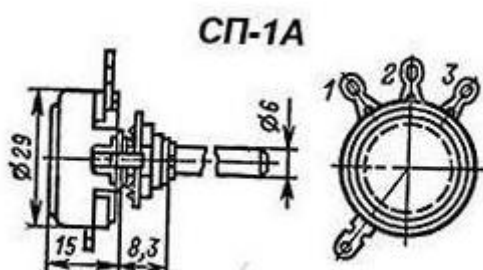


Рисунок 2.10. Типорозміри змінних резисторів типу СП 1 А

Таблиця 2.9. Основні технічні дані резисторів типу СП 1 А

ТКС, $1/^\circ\text{C}$ , не більше	Діапазон номінальних опорів	Гранична робоча напруга, В	Число циклів переміщення рухомої системи, не менше	Мінімальне напрацювання, год	Робоча температу- ра, $^\circ\text{C}$
$\pm 0,00025$	47Ом...1Мом	150	150	20000	-60...+125

### Вольтметри типу Ц42175

Для вимірювання вихідних напруг блоку живлення у схемі застосовані вольтметри (вимірювальні стрілочні головки) типу Ц42175. Їхній зовнішній вигляд показаний на рисунку 2.11., а основні характеристики представлені в таблиці 2.10.



Рисунок 2.11. Зовнішній вигляд стрілочного вольтметра типу Ц42175.

Таблиця 2.10. Основні технічні дані вольтметра типу Ц42175

Межі вимірів, В	Клас точності	Габарити, мм	Маса, кг	Відносна вологість, не більше %	Робоча температура, $^\circ\text{C}$
0...50	2,5	80×80×50	0,15	95	-30...+50

### Амперметри типу М330

Для вимірювання струму у блоці живлення використовуються амперметри типу М330. Їхні основні характеристики представлені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11. Основні технічні дані амперметра типу М330

Межі вимірів, В	Клас точності	Габарити, мм	Маса, кг	Відносна вологість, не більше %	Робоча температура, ° С
0...3	1,0	80×80×50	0,155	95	-30...+50

### Тиристорна оптопара АОУ103В

У схемі блоку живлення використовується тиристорна оптопара VD12 АОУ103В. Оптопери тиристорні АОУ103В, що складаються з випромінюючого діода на основі сполуки галій-алюміній-миш'як та кремнієвого тиристора. Призначені для використання як керований ключ у вузлах радіоелектронної апаратури, в яких потрібна гальванічна розв'язка між вихідним ланцюгом і ланцюгами керування. Використовуються для роботи у електронній апаратурі загального призначення. Випускаються в металоскляному корпусі для монтажу в отвори друкованої плати. Маркуються цифро-літерним кодом на корпусі. Тип корпусу КТ-2-13. Маса приладу трохи більше 1,2 г. Вид кліматичного виконання: «УХЛ». Технічні умови: УЖ0.336.062ТУ.

Основні характеристики оптопери VD12 АОУ103В представлені у таблиці 2.12, а цоколівка та розміри на рисунку 2.12.

Таблиця 2.12. Основні технічні дані оптопари типу АОУ103В

$U_{вх}$ , В	$U_{ост}$ , В	$t_{вкл}$ , мкс	$t_{вickl}$ , мкс	$R_{раз}$ , Ом	$U_{раз}$ , В	$U_{вих.зв.макс.}$ , В	$I_{вх.макс.}$ , мА	$I_{вих.макс.}$ , мА	Робоча температура, °С
1,5...2	1,8	10	35	$5 \times 10^8$	500	200	55	100	-60...+90

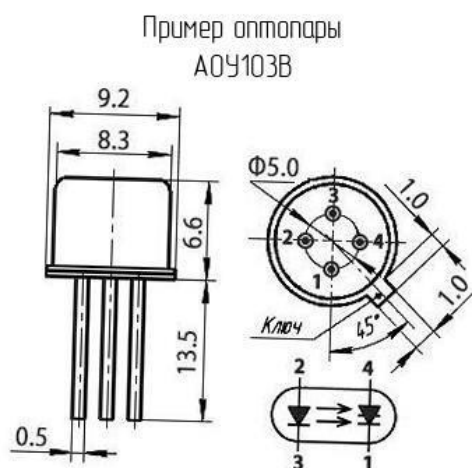


Рисунок 2.12. Цоколівка та розміри оптопари АОУ103В

### Кнопковий перемикач типу П2К

Для вимикання блоку живлення від мережі використовується кнопковий перемикач SA1 типу П2К з максимальною робочою напругою 250В та максимальним струмом комутації 1А. Зовнішній вигляд перемикача П2К показано на рисунку 2.13.



Рисунок 2.13. Зовнішній вигляд перемикача П2К.



Для перемикання діапазонів вихідних напруг блоку живлення використовуються стрункі перемикачі SA2, SA3 галетного типу з п'ятьма контактами на кожній колодці, розраховані на максимальну напругу перемикання 150В і максимальний струм комутований 2А.

Технічні дані перемикача:

Опір ізоляції не менше 1000 МОм;

Опір електричного контакту трохи більше 0,025 Ом;

Електрична міцність ізоляції – 750В;

Температура навколишнього середовища від -40 до +55°C;

Спосіб монтажу – друкований чи об'ємний;

Кліматичне виконання – УХЛ 2.1;

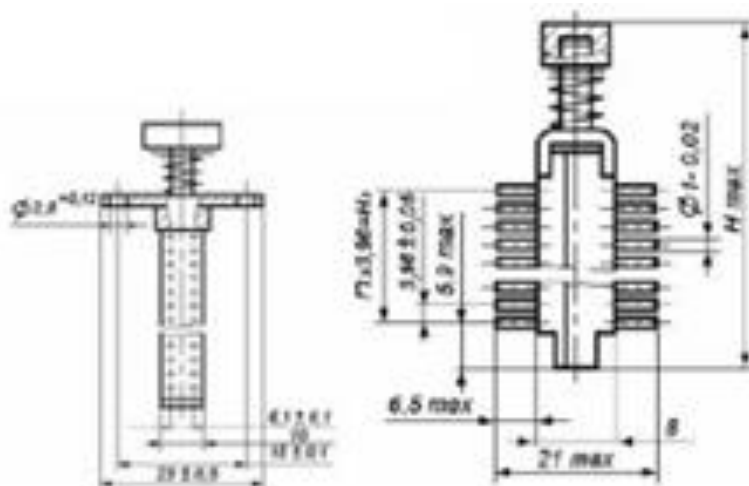


Рисунок 2.14. Габаритні розміри

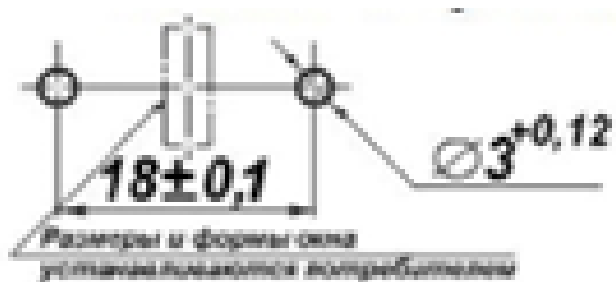


Рисунок 2.15. Розмітка для кріплення

### Трансформатор типу ТН

У блоці живлення застосовано трансформатор TV1 типу ТН. Намотувальні дані трансформатора представлені у таблиці 2.13.

Таблиця 2.13. Намотувальні дані трансформатора типу ТН

Номери виводів	Кількість витків	Марка дроту	Напруга, В
1-2, 1'-2'	440	ПЕЛ-2 1,0	110
3-4, 3'-4'	80...130	ПЕЛ-2 0,35	20...36
5-6, 5'-6'	53	ПЕЛ-2 1,7	14
7-8, 7'-8'	20	ПЕЛ-2 1,7	5
8-9, 8'-9'	20	ПЕЛ-2 1,7	5
9-10, 9'-10'	20	ПЕЛ-2 1,7	5
10-11, 10'-11'	20	ПЕЛ-2 1,7	5
11-12, 11'-12'	20	ПЕЛ-2 1,7	5

## Випрямні діоди типу КД213Б

Як випрямні діоди (VD1...VD8) у схемі лабораторного блоку живлення використовуються випрямні діоди типу КД213Б. Основні технічні дані цих діодів представлені у таблиці 2.14. а корпус діода на рисунку 2.16.

Таблиця 2.14. Основні технічні дані діода КД 213Б

$U_{об}/U_{имп}, В/В$	$I_{пр}/I_{имп}, А/А$	$U_{пр}/I_{пр}, В/А$	$C_d/ U_d,$ пф/В	$I_0(25)/$ мА/мА	$I_{ом},$	$F_{max}, кГц$	Робоча температура, °С
200/200	10/100	1,2/10	170	0,2/25		100	-60...+85

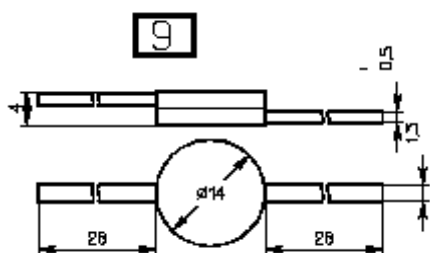


Рисунок 2.16. Типорозміри діода КД 213Б.

## Імпульсні діоди типу Д223Б

У схемі блоку живлення застосовуються імпульсні діоди типу Д223Б. Основні технічні дані цих діодів представлені у таблиці 2.15. а корпус діода на рисунку 2.17.

Таблиця 2.15. Основні технічні дані діода КД 223Б

$I_{випр.ср.макс.}, мА$	$I_{зв.},$	$U_{зв.макс.}, В$	$U_{пр.}, В$	Робоча температура, °С
50	0,05	150	1	-60...+120

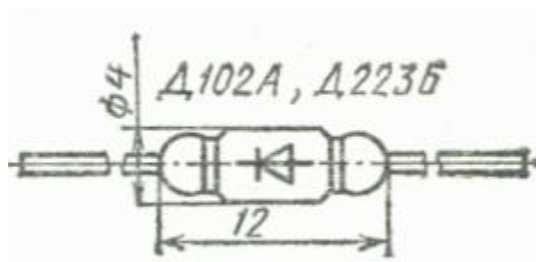


Рисунок 2.17. Типорозміри діода КД 223Б.

### Стабілітрони типів КС456А, КС512, Д818Е

У схемі блоку живлення застосовуються стабілітрони типів КС456А, КС512, Д818Е. Основні технічні дані цих стабілітронів представлені у таблиці 2.16. а корпус діода на рисунку 2.18.

Таблиця 2.16. Основні технічні дані стабілітронів

Тип стабілітрона	$U_{ст.ном.}$ , В	$P_{макс.}$ , мВт	$r_{ст.}$ , Ом	$U_{ст.мін.}$ , В	$U_{ст.макс.}$ , В	$I_{ст.мін.}$ , мА	$I_{ст.макс.}$ , мА	$\alpha_{ст.}$ , $10^{-2}\%/^{\circ}C$	Робоча температура, $^{\circ}C$
КС 456А	5,6	1000	25	5,04	6,16	3	230	-10	-60...+125
КС 512	12	1000	6	10,8	13,2	3	33	0,09	-60...+125
Д 818Е	9	300	35	8,1	9,9	1	29	0,02	-60...+125

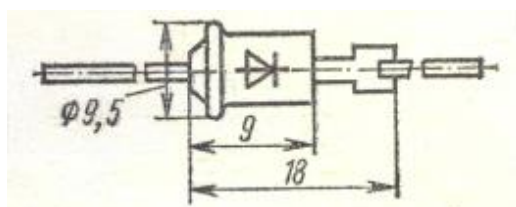


Рисунок 2.18. Типорозміри стабілітронів типу КС456А, КС512, Д818Е.

## Діоди типу Д9Ж

У схемі блоку живлення використовуються діоди типу Д9Ж. Основні технічні дані цих діодів представлені у таблиці 2.17. а корпус діода на рисунку 2.19.

Таблиця 1.17. Основні технічні дані діода Д 9Ж

$I_{\text{випр.ср.макс.}}, \text{мА}$	$I_{\text{зв.}}$	$U_{\text{зв.макс.}}, \text{В}$	$U_{\text{пр.}}, \text{В}$	Робоча температура, °С
16	0,1	10	1	-40...+70

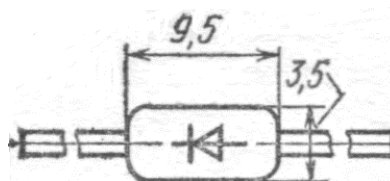
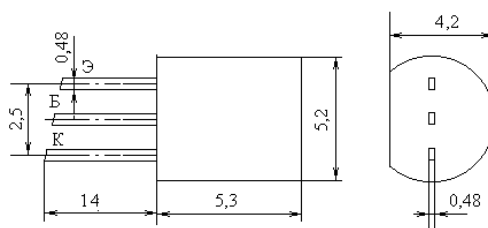


Рисунок 2.19. Типорозміри діода Д 9Ж.

## Транзистори КТ502А, КТ503А

У схемі блоку живлення використовуються транзистори КТ502А, КТ503А. Основні технічні дані цих транзисторів представлені у таблиці 2.18., а цоколівка та габаритні розміри на рисунку 2.20.



На боковой поверхности прибора находится жёлтая точка  
 Буковский индекс определяется по цвету точки на торце транзистора  
 КРАСНАЯ - А СИНЯЯ - Д ЗЕЛЕНАЯ - В  
 ЖЕЛТАЯ - Б БЕЛАЯ - Е ГОЛУБАЯ - Г

Рисунок 2.20. Цоколівка та розміри транзисторів КТ502А, КТ503А.

Таблиця 2.18. Основні технічні дані транзисторів

Тип транзистора	$U_{кзо}$ макс., В	$P_K$ макс., мВт	$h_{21E}$	$I_K$ макс., мА	$I_K / U_K$ , мА/В	$f_{макс}$ , МГц	$C_K$ , пф	$C_э$ , пф	Робоча температура, °С
КТ502А	25	350	40...120	150	10/5	5	20	15	-60...+125
КТ503А	25	350	40...120	150	10/5	5	20	15	-60...+125

### Транзистори типів КТ815А, КТ814А, КТ816Г, КТ817Г

У схемі стабілізатора блоку живлення використовуються транзистори типів КТ815А, КТ814А, КТ816Г, КТ817Г. Зовнішній вигляд, розмір транзисторів представлені на рисунку 1.20., які електричні параметри в таблиці 2.19.

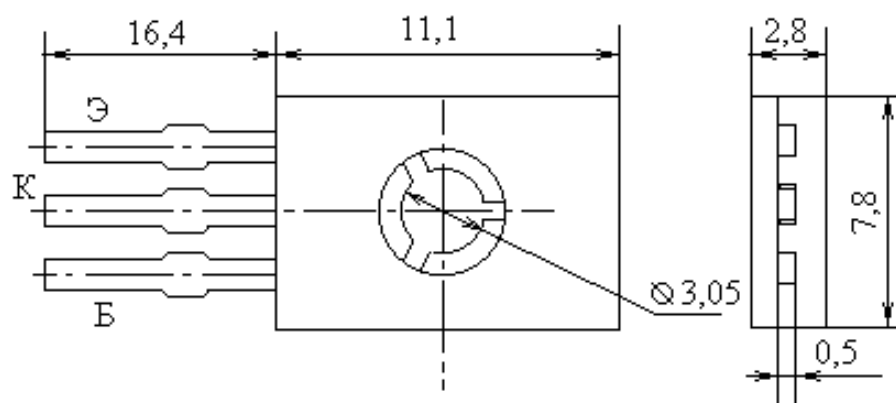


Рисунок 2.21. Цоколівка та розміри транзисторів КТ815А, КТ814А, КТ816Г, КТ817Г.

Таблиця 2.19. Основні технічні дані транзисторів

Тип транзистора	$U_{кзо}$ макс., В	$P_K$ макс., ВТ	$h_{21E}$	$I_K$ макс., мА	$f_{макс}$ , МГц	$U_{кбо}$ макс., В	Робоча температура, °С
КТ814А	25	1 (10)	40...275	3000	3	40	-40...+100
КТ815А	30	1 (10)	40...275	3000	3	40	-40...+100

КТ816Г	90	1 (25)	30...275	6000	3	100	-40...+100
КТ817Г	90	1 (25)	25...275	6000	3	100	-40...+100

### Транзистори типів КТ818Г, КТ819Г

У схемі стабілізатора блоку живлення використовують транзистори типів КТ818Г, КТ819Г. Зовнішній вигляд, розмір транзисторів представлені на рисунку 2.22., які електричні параметри в таблиці 2.20.

Таблиця 2.20. Основні технічні дані транзисторів

Тип транзистора	$U_{кзо}$ макс., В	$P_K$ макс., Вт	$h_{21Э}$	$I_K$ макс., мА	$f_{макс}$ , МГц	$U_{кбо}$ макс., В	Робоча температура, °С
КТ818Г	90	1,5 (60)	12...225	15000	3	90	-60...+125
КТ819Г	100	1,5 (60)	12...225	15000	3	100	-60...+125

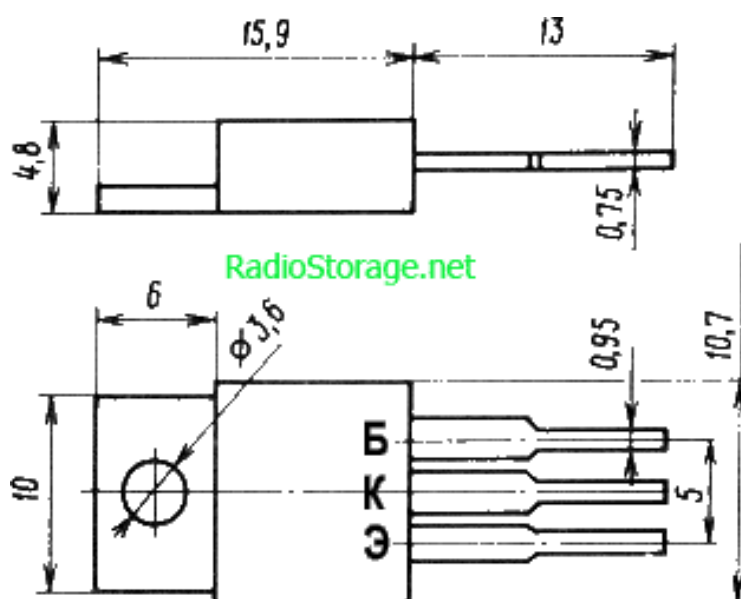


Рисунок 2.22. Цоколівка та розміри транзисторів КТ818Г, КТ819Г.

## Транзистори типів КТ825А, КТ827А

У схемі блоку живлення використовують транзистори типів КТ825А, КТ827А. Зовнішній вигляд, розмір транзисторів представлені на рисунку 2.23., які електричні параметри в таблиці 2.21.

Таблиця 2.21 Основні технічні дані транзисторів

Тип транзистора	$U_{кзо}$ макс., В	$P_K$ макс., Вт	$h_{21E}$	$I_K$ макс., мА	$f_{макс}$ , МГц	$U_{кбо}$ макс., В	Робоча температура, °С
КТ825А	90	125	750...18000	30000	4	90	-60...+125
КТ827А	100	125	500...18000	40000	4	100	-60...+125

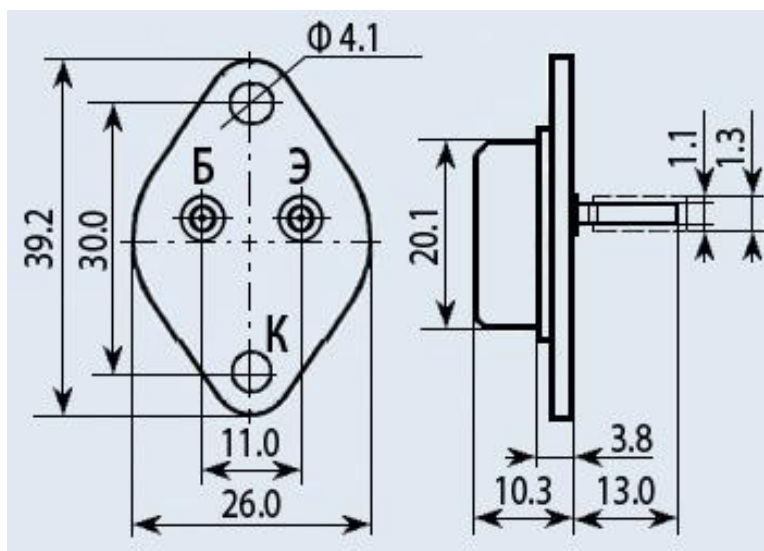


Рисунок 2.23. Цоколівка та розміри транзисторів КТ825А, КТ827А.



## Транзистори типів КТ850А, КТ851А

У схемі блоку живлення використовують транзистори типів КТ850А, КТ851А. Зовнішній вигляд, розмір транзисторів представлені на рисунку 2.24., та електричні параметри в таблиці 2.22.

Таблиця 2.22. Основні технічні дані транзисторів

Тип транзистора	$U_{кэо}$ макс., В	$P_K$ макс., Вт	$h_{21Э}$	$I_K$ макс., мА	$f_{\text{Макс}}$ , МГц	$U_{кбо}$ макс., В	Робоча температура, °С
КТ850А	200	25	40...200	3000	20	250	-60...+125
КТ851А	200	25	40...200	3000	20	250	-60...+125

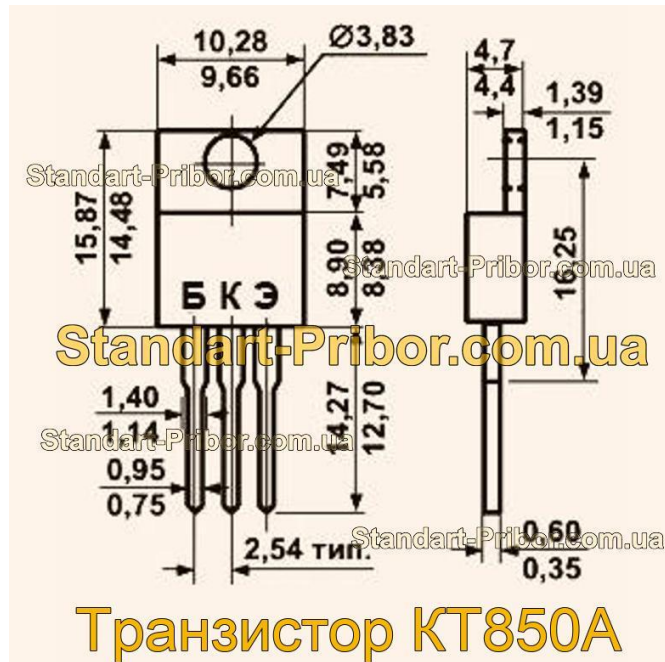


Рисунок 2.24. Цоколівка та розміри транзисторів КТ850А, КТ851А.

### **Гнізда РВ 2 на два контакти та РВ 3 на три контакти**

У схемі блоку живлення використовуються гнізда РВ 2 на два контакти та РВ 3 на три контакти, розраховані на напругу до 250В і струм 2,5А.

### **Вилка опресована типу ВО**

У схемі блоку живлення використовується вилка опресована типу ВО, розраховані на напругу до 250В та струм 2,5А.

## **2.3. Конструктивно-технологічні вимоги проектного виробу**

Конструктивно-технологічні вимоги полягають у наступному:

матеріали та комплектуючі вироби повинні застосовуватися за чинними стандартами та технічними умовами на них;

конструкція виробу повинна забезпечувати складання під час виготовлення без створення та застосування спеціального обладнання. Допускається застосування спеціальних пристроїв;

показники технологічності конструкції виробу мають відповідати ГОСТ 14.201 – 73.

Маса модуля – не більше 3 кг.

Габарити пристрою – не задані.

Вимога до надійності полягає в тому, що напрацювання на відмову пристрою має бути 2500 годин у нормальних умовах експлуатації.

Маркування пристрою, що розробляється, має відповідати вимогам ГОСТ 21552 - 84.

Тип виробництва: дрібносерійне.

### 3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ

#### 3.1. Вибір конструкції друкованої плати

При виборі матеріалу підстави друкованої плати необхідно врахувати:

Тип конструкції друкованої плати (ДП):

- 1) Одностороння друкована плата (ОДП);
- 2) двостороння друкована плата (ДДП);
- 3) Багатошарова друкована плата (БДП).

Клас точності;

Механічні дії;

Кліматичні дії;

Вимоги до електричних параметрів друкованої плати;

Технологію виготовлення ДП;

Вартість.

Основними матеріалами виготовлення ДП застосовуються фольговані діелектрики. Як ізоляційну основу застосовують гетинакс, склотекстоліт, поліамід. Основа покривається з одного або двох сторін шарами мідної фольги. Товщина мідної фольги може бути від 5 до 50 мкм. Найчастіше застосовується фольга з товщиною 35 та 50 мкм.

Для виготовлення друкованих плат застосовують багато матеріалів: текстоліт, гетинакс, склотекстоліт, ебоніт та мікалекс.

Таблиця 3.1. Матеріали виготовлення друкованих плат.

Матеріал	Марка	Товщина
Гетинакс фольгований	ГФ-1-35	1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
Гетинакс фольгований з гальваностійкою фольгою	ГФ-2-35Г ГФ-2-50Г	1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
Склотекстоліт фольгований	СФ-1-35 СФ-1-50 СФ-2-35 СФ-2-50	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
Склотекстоліт фольгований з гальваностійкою фольгою	СТФ-1-35 СТФ-1-18 СТФ-2-35 СТФ-2-18	0,08; 0,1; 0,13; 0,2; 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
Склотекстоліт теплостійкий негорючий фольгований з гальваностійкою фольгою	СТНФ-1-35 СТНФ-1-18 СТНФ-2-35 СТНФ-2-18	0,08; 0,1; 0,13; 0,2; 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
Склотекстоліт фольгований загального призначення нормованої горючості модифікований	СОНФМ-1-35 СОНФМ-1-50 СОНФМ-2-35 СОНФМ-2-50	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
Склотекстоліт фольгований теплостійкий	СТФТ-1-35 СТФТ-1-50 СТФТ-2-35 СТФТ-2-50	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
Діелектрик фольгований загального призначення з гальваностійкою фольгою	ДФО-1-35 ДФО-2-35	0,08; 0,1; 0,13; 0,2; 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0

Діелектрик фольгований самозагасаючий з гальваностійкою фольгою	ДФС-1-20 ДФС-2-20	0,08; 0,1; 0,13; 0,2; 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
Фольгований армований фторопласт	ФАФ - 4Д	0,08; 0,1; 0,13; 0,2; 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
Склотекстоліт фольгований з алюмінієм	СФА-2-35	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0

Основними критеріями при виборі класу точності ДП є:

- конструкторська складність - ступінь насиченості поверхні ДП електронних компонентів при традиційній елементній базі або кількість виводів при поверхневому монтажі (SMD) та крок їх розташування;

елементна база (дискретні електронні компоненти, інтегральні мікросхеми, компоненти поверхневого монтажу, безкорпусні компоненти);

конструкторська складність - ступінь насиченості поверхні ДП електронних компонентів при традиційній елементній базі або кількість виводів при поверхневому монтажі (SMD) та крок їх розташування;

тип, число та крок виводів електронних компонентів (штирьові, планарні, безвихідні, матричні та ін.);

швидкодія;

надійність;

масогабаритні характеристики;

вартість;

умови експлуатації;

максимальні струм та напруга;

рівень технологічного оснащення конкретного виробництва.

Таблиця 3.2. Клас точності друкованих плат.

Умовне позначення	Номінальне значення основних параметрів для класу точності				
	1	2	3	4	5
t, мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
S, мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
b, мм	0,30	0, 20	0,10	0,05	0,025
$\gamma^*$	0,40	0,40	0,33	0,25	0, 20

Виходячи з вимоги - надійності виберемо склотекстоліт як найбільш міцний матеріал. Склотекстоліт буває одношаровим та двошаровим. Розроблювану схему важко розвести в одному шарі.

Тому застосовується двостороння друкована плата. Крім того, при розведенні в одному шарі збільшаться розміри ДП, доведеться використовувати перемички, а все це знижує міцність та надійність ДП. Отже, схему розводитимемо у двох шарах і, виходячи з цього, вибираємо двосторонній фольгований склотекстоліт СФ-2-35, товщиною 2 мм і з товщиною фольги 35 мкм. Товщина обраної марки склотекстоліту задовольняє навантаженням характерним для модуля, що розробляється, в заданих умовах експлуатації.

### 3.2. Конструктивно - технологічний розрахунок друкованої плати

Вибравши матеріал друкованої плати, визначаємо ширину друкованого провідника за формулою:

$$t \geq \frac{I}{j \cdot h} \quad (3.1.)$$

де  $I$  - струм, А, що протікає по провіднику;  $h$  – товщина фольги, мм;  $j$  - густина струму, А/мм<sup>2</sup>.

Мінімальна відстань між друкованими провідниками визначається з міркувань забезпечення електричної міцності.

Таблиця 3.3. Мінімальна відстань між друкованими провідниками.

Відстань між елементами рисунок, що проводить	Значення робочої напруги, В	
	ГФ	СФ
От 0,1 до 0,2 мм	-	25
Св.0,2 " 0,3 "	30	50
" 0,3 " 0,4 "	100	150
" 0,4 " 0,7 "	150	300
" 0,7 " 1,2 "	300	400
" 1,2 " 2,0 "	400	600

Знаючи  $t$  і  $S$ , конструктивних міркувань вибирається клас точності друкованої плати.

Опір друкованого провідника розраховується за такою формулою:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{t \cdot h} \quad (3.2.)$$

де  $\rho$  - питомий опір міді, Ом· мм<sup>2</sup>/м;  $l$  – довжина провідника, м.м.

Для вибору розмірів друкованої плати потрібно визначити її площу. Площу можна визначити за формулою:

$$F = \frac{F_{\text{ЕРЕ}} + F_{\text{ТО}} + F_{\text{ВІ}}}{K_3} \quad (3.3.)$$

де  $F_{\text{ЕРЕ}}$  - площа, яку займає електрорадіоелемент (ЕРЕ);  $F_{\text{ТО}}$  - площа, що займається технологічними та/або кріпильними отворами;  $F_{\text{ВІ}}$  - площа, яку не повинні займати електрорадіоелементи з конструктивних міркувань;  $K_3$  - коефіцієнт заповнення друкованої плати, зазвичай береться не більше 0,3-0,8.

Площа, яку займає ЕРЕ, визначається за настановними розмірами електрорадіоелементів.

Площа, що займається технологічними та/або отворами кріплення визначається за формулою:

$$F_{\text{ТО}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ТО}}}{4} \cdot n \quad (3.4.)$$

де  $d_{\text{ТО}}$  - діаметр технологічних та/або кріпильних отворів;  $n$  – кількість отворів. Порахувавши площу друкованої плати, необхідно вибрати розміри плати згідно з ГОСТ 10317-79.

Визначається реальний коефіцієнт заповнення друкованої плати за такою формулою:

$$K_3 = \frac{F_{\text{ЕРЕ}} + F_{\text{ТО}} + F_{\text{ВІ}}}{A \cdot B} \quad (3.5.)$$

де –  $A$  і  $B$  обрані розміри друкованої плати.

Зона розміщення електрорадіоелементів (ЕРЕ) є основною і визначається за формулою:

$$S = \frac{1}{K_S} \sum_{i=1}^N S_{\text{наст}}^i \quad (3.6.)$$

де  $K_S$  - коефіцієнт заповнення ДП ЕРЕ, що визначається залежно від класу РЕА та об'єкта установки в межах 0,4...0,85 залежно від призначення, умов



експлуатації та методу складання проектного пристрою;  $S_{\text{наст}}^i$  - настановна площа компонентів. Максимальну довжину провідника можна визначити як суму двох різних сторін ДП:

$$L_{\text{max}} = a + b, \quad (3.7.)$$

де  $a$  та  $b$  - довжини сторін ДП.

Отримане значення  $L_{\text{max}}$  порівнюють з довжиною хвилі  $\lambda$  найбільш високочастотної складової спектру сигналів, що передаються в межах плати.

Площа елементів, що встановлюються на дану друковану плату, розраховується за формулою:

$$S_{\text{заг}} = S_{\text{DA}} + S_{\text{VD}} + S_{\text{C}} + S_{\text{R}} + S_{\text{oe}}' \quad (3.8.)$$

де  $S_{\text{DA}}$  – площа необхідна для встановлення мікросхем;  $S_{\text{VD}}$  – площі необхідні для встановлення активних елементів (діодів, транзисторів, стабілітронів тощо);  $S_{\text{C}}, S_{\text{R}}$  - площі необхідні установки пасивних елементів (конденсатори, резистори);  $S_{\text{oe}}'$  - площа необхідна для встановлення інших елементів, що входять до друкованої плати.

Загальна площа займана компонентами на друкованій платі становить 33 660 мм<sup>2</sup>.

Державний стандарт обмежує довжину сторони друкованих плат розміром 470 мм. Зазвичай розмір друкованої плати вбирається у 240x360 мм. При розробці перевага надається малогабаритним платам, оскільки зі збільшенням габаритів знижується механічна міцність та зростає складність виготовлення. Розміри сторін друкованих плат мають бути кратними 2,5 при довжині до 100 мм, 5,0 при довжині до 350 мм і 10 при довжині, що перевищує 350 мм.

Крок сітки: 1,25 мм.

Розміри кожної сторони ДП:  $a = 340$  мм;  $b = 165$  мм.

Висновок: Таким чином розміри ДП становить ГОСТ Р 53429-2009  $a = 340$  мм;  $b = 165$  мм.

При розрахунку площі друкованої плати для побутової РЕА за ГОСТ Р 53429 – 2009 прийнято враховувати коефіцієнт заповнення площі ДП,  $k_3 = 0,6$ .

Площа друкованої плати з урахуванням коефіцієнт заповнення площі  $k_3 = 0,6$  складе:

$$S_{\text{пл}} = 340 * 165 = 56\,100 \text{ мм}^2$$

Знаючи площу ДП, максимально допустиму довжину провідника, задаючи співвідношення сторін ДП, вибирають її лінійні розміри, керуючись ГОСТ 10317-79.

Таблиця 3.4. Лінійні розміри друкованої плати

Ширина, мм	Довжи на, мм	Шири на, мм	Довжина, мм	Ширин а, мм	Довжин а, мм	Ширин а, мм	Довж ина, мм
20	30		90	100	120	140	150
	40	60	100		130		200
30	40		140	110	150		150
			160		170	150	170
40	60	75	75		120		180
45	75		90		140		200

	80		170	120	150	160	170
	60	80	130		160		200
	80		140		170		180
50							
	100		90		180	170	200
	150	90	120		288		280
60	60		150	130	200	200	360
	80		170				

Ширина друкованого провідника залежить від електричних, конструктивних та технологічних вимог. Для провідників, що формують сигнальні кола, головним є вимоги щодо тепловиділення. Необхідно, щоб перегрів провідника щодо навколишнього середовища за рахунок джоулевого тепла, що виділяється в ньому, не перевищив допустимого рівня.

При розрахунках ширини друкованого провідника перетин провідника приймається прямокутним, факт спотворення перерізу з допомогою підтравлювання до уваги береться.

Найменше номінальне значення ширини друкованого провідника  $t$ , мм розраховують за формулою:

$$t = t_{\min D} + |\Delta t_{\text{НВ}}| \quad (3.9)$$

де  $t_{\min D}$  – мінімально допустима ширина провідника;  $t_{\text{НВ}}$  – нижнє граничне відхилення ширини друкованого провідника.

Величину  $t_{\min D}$  визначають за такою формулою:

$$t_{minD} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot h} \quad (3.10.)$$

де  $I_{max}$  - чинне значення максимального струму, що у провідниках (визначають з аналізу електричної принципової схеми);  $j_{доп}$  - допустима щільність струму;  $h$  – товщина друкованого провідника.

Значення допустимої щільності струму вибирається:

для мідної фольги -  $(100...250) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$  ( $100...250 \text{ А/мм}^2$ );

для гальванічної міді -  $(60...100) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$  ( $60...100 \text{ А/мм}^2$ ).

Мінімально допустиму ширину провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому  $U_{доп}$ , якщо конструкція провідника складається з одного шару міді, визначають так:

$$t_{minD} = \frac{\rho I_{max} l}{U_{доп} \cdot h} \quad (3.11.)$$

де  $\rho$  - питомий опір шару міді;  $l$  – максимально допустима довжина провідника.

Номінальний діаметр  $d$  монтажних металізованих та неметалізованих отворів встановлюють з наступного співвідношення:

$$d - |\Delta d_{нв}| \geq d_e + r \quad (3.12.)$$

де  $d_{но}$  – нижнє граничне відхилення діаметра отвору;  $d_e$ -максимальне значення діаметра виводу електронного компонента, що встановлюється на друковану плату;  $r$  - різниця (гарантований зазор) між мінімальним значенням діаметра отвору і максимальним діаметром виводу електронного компонента, що встановлюється.

Таблиця 3.5. Граничні відхилення діаметрів монтажних та перехідних отворів.

Діаметр отвору, мм	Наявність металізації	Граничні відхилення діаметра $\Delta d_{но}$ ,				$\Delta d_{60}$ , мм
		за класами точності				
		1	2	3	4	5
До 1,0	Без металізації	$\pm 0,1$ 0	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,002$ 5
	З металізацією	+0,0 5	+0,05			
ВКЛЮЧНО	без оплавлення	-	-0,15	0; -	0; -	0;-
	З металізацією	+0,0 5	+0,05			
	з оплавленням	- 0,18	-0,12	0; - 0,13	0; - 0,13	0; - 0,13
Понад 1,0	Без металізації	$\pm 0,1$ 5	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$
	З металізацією	+0,1 0	+0,10	+0,05	+0,05	+0,05
	без оплавлення	-0, 20	-0, 20	-0,15	-0,15	-0,15
	З металізацією	+0,1 0	+0,10	+0,05	+0,05	+0,03
	з оплавленням	- 0,23	-0,23	-0,18	-0,18	-0,18

Таблиця 3.6. Питомий об'ємний опір різних металів.

Метал	Питомий об'ємний опір, $\times 10^{-8}$ , Ом·м
Мідна фольга	1,72
Гальванічна мідь	1,90
Хімічна мідь	2,80
Олово	12,00
Срібло	1,59
Золото	2,22
Нікель	7,80
Паладій	10,80

Розрахункове значення  $d$  слід округлити у бік збільшення до цілих десятих часток міліметра з низки бажаних діаметрів отворів: 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5мм. Товщину друкованої плати визначають із співвідношення:

$$H = d/\gamma \quad (3.13.)$$

де  $H$  – товщина друкованої плати;  $d$  – номінальне значення діаметра наскрізного отвору до товщини друкованої плати;  $\gamma$  - відношення діаметра металізованого отвору до товщини друкованої плати.

Відношення  $\gamma$  залежить від класу точності.

Для 1 та 2го - 0.4. Для 3 го – 0.33. Для 4 го – 0.25. Для 3 го – 0.20.

### **3.3.Визначення середнього часу до відмови та характер відмови елементів**

Процес проектування ділять на етапи, склад та зміст яких значною мірою визначаються природою, типом, характеристиками об'єкта проектування. Відрізняють такі етапи проектування:

1) Етап попереднього проектування чи етап науково-дослідних робіт (НДР). Будь-який виріб, що проектується, повинен або відрізнитися від аналогів якими-небудь характеристиками, або аналогів не мати. У будь-якому разі аналіз виконання вимог замовника вимагає проведення робіт науково-дослідних або розрахункового характеру. Результатом етапу НДР є технічне завдання (ТЗ) проектування.

2) Етап ескізного проектування чи етап дослідно-конструкторських робіт (ДКР).

3) Етап технічного проектування, що полягає у випуску повного комплексу документації на розроблений виріб.

Конструкторсько-технологічне проектування є найважливішою складовою створення радіоелектронних пристроїв (РЕУ). Від успішного виконання цього етапу багато в чому залежить якісні показники РЕУ.

При розробці конструкцій і технологій РЕУ радіоінженер конструктору-технологу доводиться вдаватися до допомоги математичних методів при виборі рішень та оцінці їх якості. У цьому широко використовуються аналітичні методи аналізу. У багатьох випадках оцінити якісні показники суто аналітичними прийомами дуже важко, або взагалі неможливо. У цих випадках вдаються до експериментальних методів.

Тому для радіоінженера конструктора-технолога важливі як аналітичні, так і експериментальні математичні методи, які використовуються при виборі конструкторсько-технологічних рішень та оцінці їх якості.

Поліпшення якості РЕУ є процес безперервного підвищення технічного рівня продукції, якості її виготовлення, а також удосконалення елементів виробництва та системи якості в цілому.

Одним із важливих показників якості РЕУ є надійність. Цей показник розглядається в рамках теорії надійності, яка встановлює закономірності відмов виробів, зумовлює їхню появу, визначає методи розрахунку надійності, способи її підвищення.

Під надійністю розуміють властивість виробу зберігати у часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції, в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування. Надійність є комплексною властивістю, яка залежно від призначення виробу та умов його застосування може включати безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збереження або певні поєднання цих властивостей. Для опису різних сторін цієї властивості практично користуються показниками надійності, що являють собою кількісні характеристики одного або декількох властивостей визначальних надійність виробу.

Використовують поодинокі та комплексні показники надійності. Під одиничним розуміють такий показник, який характеризує одну з властивостей, що становлять надійність виробу. Комплексний показник характеризує кілька властивостей, що становлять надійність виробу.

Для кількісного опису різних сторін надійності використовують кілька груп показників (перша група – показники безвідмовності; друга група – показники ремонтпридатності).

Є кілька методів розрахунку показників надійності РЕУ. Вибір методу залежить від того, які вихідні дані має в своєму розпорядженні конструктор, і на якій стадії, проектування проводиться розрахунок. Найчастіше зустрічаються такі методи розрахунків: наближений (орієнтовний) метод розрахунку; повний спосіб розрахунку. Обидва методи припускають розрахунок ймовірностей безвідмовної



роботи виробу  $P(tz)$ , яка в свою чергу враховує три види відмов: раптова, поступова та перемежована.

Під відмовою розуміють повну або часткову втрату виробом працездатності внаслідок догляду одного або кількох параметрів виробу за межі встановлених норм.

Раптова (миттєва) відмова - це така відмова, яка характеризується стрибкоподібними змінами значення одного або декількох параметрів виробу.

Поступова (параметрична) відмова - відмова, що виникає в результаті поступової (зазвичай безперервної та монотонної) зміни значень одного або декількох параметрів виробу.

Відмова, що перемежується - це багаторазова самоусувна відмова одного і того ж характеру.

Уточнений розрахунок виконують на заключних стадіях проектування РЕУ, коли вибрано типи елементів, результати розрахунку теплових режимів, віброзахисності і т.п.

Орієнтовний розрахунок виконується на початкових стадіях проектування РЕП, коли ще не вибрано типів та експлуатаційних характеристик елементів, не спроектовано конструкцію і, природно, відсутні результати конструкторських розрахунків (теплогового режиму, віброзахисності тощо).

Іноді під час розрахунку надійність системи не задовольняє технічним завданням. У цьому випадку необхідно вжити заходів, що підвищують надійність. Загалом ці заходи можна звести до таких:

- 1) Загальні;
- 2) Прогнозування;
- 3) Кордонні випробування;
- 4) Приробіток виробу;
- 5) Резервування.

До загальних методів підвищення надійності належать:

- 1) Правильний вибір схем та елементів схем, а також режимів їх роботи;
- 2) вибір відповідних матеріалів конструкцій, конструктивне рішення РЕУ;
- 3) Зручність технічного обслуговування апаратури та її відновлення;
- 4) Дотримання та вдосконалення технології виробництва;
- 5) Контроль якості.

Прогнозування є важливим методом підвищення надійності, оскільки в результаті його проведення виходять науково-обґрунтовані ймовірні дані про майбутній стан промислового об'єкта.

Граничні випробування – цей метод має перспективи на стадії проектування апаратури. Сутність його полягає в експериментальному визначенні галузі стійкості роботи системи або окремих вузлів при дії різних факторів, що збурюють.

Опрацювання виробу. Приробіток елементів досягається скороченням етапу опрацювання системи, яке характеризується на даному етапі підвищенням інтенсивності відмови.

Резервування є основним засобом підвищення надійності систем та пристроїв РЕМ

Сутність методу резервування у тому, що у апаратуру вводиться надмірність. З'єднання виробу при цьому проводиться так, що відмова настає лише при відмові основного виробу та всіх резервних виробів.

За способом включення розрізняють:

- 1) Постійне резервування. При постійному резервуванні резервні елементи приєднані до основних і весь час роботи знаходяться в однакових з ними режимах роботи.

Переваги такого способу:

а) відсутність короткочасних перерв у роботі;

б) простота здійснення.

Недоліки:

а) підвищена витрата ресурсу резервних елементів;

б) вихід з ладу одного елемента призводить до зміни всіх вихідних параметрів вузла, що резервується, що веде до зміни електричних режимів інших паралельно включених елементів.

Постійне резервування зручне при резервуванні малих енергоємних елементів.

2) резервування заміщенням (даний метод використовується в оцінці показників безвідмовності за завданням на дипломну роботу). При резервуванні заміщенням схема проектується таким чином, що при появі відмови вона перебудовується і відновлює свою роботу шляхом заміщення елемента, що відмовив, резервним. При резервуванні заміщенням застосовують перемикачі, реле, контактори та ін для відключення пошкодженого елемента та включення резервного.

Переваги такого способу:

а) резервна апаратура до моменту включення може перебувати у полегшеному чи ненавантаженому стані;

б) один або кілька резервних елементів можуть бути використані для заміни будь-якого з існуючих підмножин однотипних елементів.

Недоліки:

а) резервна апаратура замінює основну, у якій здійснюється перерва у роботі системи;

б) наявність перемикаючих елементів;

в) необхідність мати у системі пристрій пошуку несправностей.

Резервування заміщенням зручно використовувати для резервування великих функціональних вузлів складних РЕП.

Резервування заміщенням та постійне резервування можуть бути здійснені шляхом застосування загального, роздільного, змішаного та ковшного з'єднання резервних елементів.

Визначаємо середній час вцент. Попередньо розраховуємо інтенсивність відмов. Для розрахунку інтенсивності відмов визначаємо довідкове значення вібрації, ударних навантажень, коефіцієнта впливу довкілля, коефіцієнти впливу атмосферного тиску, максимальну робочу температуру.

Напрацювання на відмову визначимо за формулою [1, стор 162]:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}(v)} \quad (3.14.)$$

Інтенсивність відмов елементів обчислимо за такою формулою:

$$\lambda_j(v) = \lambda_{j0} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot a(T, K_H) \quad (3.15.)$$

де  $\lambda_{j0}$  - номінальна інтенсивність відмов [1, стор 163];

$K_1, K_2$  - поправочні коефіцієнти залежно від дії механічних факторів.

Приймаємо  $K_1 = K_2 = 1,07$ ;

$K_3$  - поправочний коефіцієнт залежно від впливу вологості та температури.

Приймаємо  $K_3 = 1,00$ ;

$K_4$  - поправочний коефіцієнт залежно від тиску повітря. Приймаємо  $K_4 = 1,2$ ;

$a(T, K_H)$  - сумарний поправочний коефіцієнт залежно від температури поверхні елемента та коефіцієнта електричного навантаження. Коефіцієнт електричного навантаження будемо обчислювати за формулами [1, стор 154].

$a(T, K_H)$  - визначаємо за залежностями [1, стор 312-315].

$\lambda_{j0}, K_1, K_2, K_3, K_4$  - визначаємо за таблицями [1, стор 307-311].

Проводимо розрахунок коефіцієнта навантаження елементів. Результати заносимо до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7. Результати розрахунку коефіцієнта навантаження елементів

Група елементів	Кількість елементів у групі	Довідкове значення $\lambda_{j0}, \times 10^{-6}1/\text{год}$	Коефіцієнт електричного навантаження $K_n$	Макс. робоча температура, $^{\circ}\text{C}$	Поправочний коефіцієнт $\alpha$	Значення $\lambda_j(v) \times 10^{-6}1/\text{год}$	Значення $n_j(v) \cdot \lambda_j, \times 10^{-6}1/\text{год}$
C1...C6, C17, C18	8	0,055	0,79	40	2,5	0,1889	1,5112
C7, C8	2	0,055	0,63	40	1,8	0,136	0,272
C15, C16	2	0,055	0,79	40	2,5	0,1889	0,3778
C9...C14, C19...C22	10	0,05	0,79	60	0,9	0,0618	0,618
C9...C14, C19...C22	10	0,05	0,79	60	0,9	0,0618	0,618
DA1, DA2	2	0,04	0,6	60	4	0,22	0,44
FU1	1	5	0,18	50	0,7	4,8086	4,8086
PA1, PA2	2	4	0,33	40	0,6	3,2973	6,5946
PV1, PV2	2	4	0,5	40	0,8	4,3964	8,7928
R1, R2, R36...R38, R41	6	0,08	0,25	60	0,75	0,082	0,492
R3, R6	2	0,08	0,2	60	0,7	0,077	0,154
R4, R5, R7, R14...R25, R28, R33, R54...R63	27	0,05	0,67	60	1,6	0,1099	2,9673
R8...R13, R26, R27, R29...R32, R34, R35, R39, R40, R42...R53, R66, R67	30	0,05	0,21	60	0,7	0,0481	1,443
R64, R65	2	0,5	0,11	60	0,1	0,0687	0,1374
SA1	1	0,3	0,8	60	3,5	1,4426	1,4426
SA2, SA3	2	0,4	0,2	60	0,8	0,4396	0,8792
TV1	1	2,5	0,88	50	3	10,3041	10,3041
VD1...VD8	8	0,5	0,6	60	1,2	0,8243	6,5944
VD9, VD10, VD12, VD13	4	0,2	0,33	60	0,8	0,2198	0,8792

VD9, VD10, VD12, VD13	4	0,2	0,33	60	0,8	0,2198	0,8792
VD11, VD14...VD1 7	5	0,9	0,65	50	1,1	1,3601	6,8005
VT1, VT2, VT5, VT6, VT9, VT10, VT13, VT14, VT16, VT19	10	0,45	0,2	80	0,3	0,1855	1,855
VT3, VT4	2	0,5	0,4	80	0,7	0,4809	0,9618
VT7, VT8, VT17, VT18	4	0,4	0,2	60	0,3	0,1649	0,6596
VT11, VT12, VT15, VT20	4	0,5	0,2	100	0,36	0,2473	0,9892
VU1	1	0,75	0,1	60	1	1,0304	1,0304
XS1	1	1,4	0,2	40	0,6	1,1541	1,1541
XS2	1	2,1	0,2	40	0,6	1,7311	1,7311
XT1	1	0,5	0,8	40	1,3	0,893	0,893
Плата	1	0,2	0,1	60	0,8	0,2198	0,2198
Пайки	361	0,04	0,1	35	1	0,055	19,855
Σ							84,8577

Визначимо напрацювання на відмову:

$$T_0 = \frac{1}{84,8577 \times 10^{-6}} = 11784 \text{ год}$$

Під відмовою розуміють повну чи часткову втрату блоком працездатності внаслідок догляду одного чи кількох параметрів блоку межі встановлених норм. За своєю фізичною сутністю відмова є подією випадковою.

За характером відмови ділять на:

1. Раптовий або миттєвий - це відмова, що характеризується стрибкоподібною зміною значення одного або декількох параметрів функціонального блоку РЕП;

2. Поступовий (параметричний) – відмова, що виникає в результаті поступової зміни значень одного або декількох параметрів блоку.

Чіткої межі між раптовою та поступовою відмовою не виділяють.

У цьому курсовому проекті враховуватиметься раптова відмова. Це пов'язано з тим, що раптова відмова функціонального блоку РЕП простіше відстежити (це пов'язано з повним виходом з ладу блоку), а поступова відмова може не проявлятися протягом тривалого часу, що представляє деяку складність.

Зробивши обчислення, встановили, що інтенсивність відмов елементів дорівнює  $\lambda_{\Sigma}(v)=84,8577 \cdot 10^{-6}$  1/год, а напрацювання на відмову  $T_0=11784$  год.

### 3.4. Визначення показників безвідмовності

Визначаємо такі показники надійності: ймовірність безвідмовної роботи за заданий час, ймовірність відновлення пристрою за заданий час, гамма-відсотковий наробіток до відмови, середній час відновлення.

Визначимо можливість безвідмовної роботи за заданий час, заданий час дано у вихідних даних до проекту  $t_3=10000$  год. Розрахунок зробимо за формулою [1, стор 162]:

$$P_{\Sigma}(t_3) = e^{-t_3 \lambda_{\Sigma}(v)} = e^{-\frac{t_3}{T_0}} \quad (3.16.)$$

$$P_{\Sigma}(t_3) = e^{-\frac{10000}{11784}} \approx 0,43$$

Розрахуємо гамма-відсоткову напрацювання повністю (при  $\gamma = 98\%$ ) користуючись формулою:

$$T_{\gamma} = -\frac{\ln\left(\frac{\gamma}{100}\right)}{\lambda_{\Sigma}(v)} \quad (3.17.)$$

$$T_{\gamma} = -\frac{\ln 0,98}{84,8577 \cdot 10^{-6}} = 238,1 \text{ год}$$

Підрахуємо середній час відновлення за формулою [1, стор. 171]:

$$T_B \approx \frac{\sum_{j=1}^k n_j \tau_j \lambda_j(\nu)}{\sum_{j=1}^k n_j \lambda_j(\nu)} \quad (3.18.)$$

де  $\tau_j$  - середній час відновлення елементів;

$k$  – кількість груп однотипних елементів;

Середній час відновлення візьмемо з таблиці [1, стор 316]

$$T_B \approx \frac{77,618 \times 10^{-6}}{84,8577 \times 10^{-6}} = 0,915 \text{ год}$$

Таблиця 3.8. Результати розрахунку безвідмовності

Група елементів	Кількість елементів у групі	Середнє значення випадкового часу відновлення, год	Значення $\lambda_j(\nu) \times 10^{-6}/\text{год}$	Добуток $n_j \cdot \tau_j \cdot \lambda_j(\nu), \times 10^{-6}$
C1...C6, C17, C18	8	0,55	0,1889	0,8312
C7, C8	2	0,55	0,136	0,1496
C15, C16	2	0,55	0,1889	0,2078
C9...C14, C19...C22	10	1,1	0,0618	0,6798
DA1, DA2	2	1,5	0,22	0,66
FU1	1	0,1	4,8086	0,4809
PA1, PA2	2	1,5	3,2973	9,8919
PV1, PV2	2	1,5	4,3964	13,1892
R1, R2, R36...R38, R41	6	0,5	0,082	0,246
R3, R6	2	0,5	0,077	0,077
R4, R5, R7, R14...R25, R28, R33, R54...R63	27	0,5	0,1099	1,4837
R8...R13, R26, R27,	30	0,5	0,0481	0,7215



R29...R32, R34, R35, R39, R40, R42...R53, R66, R67				
R64, R65	2	1,2	0,0687	0,1649
SA1	1	0,6	1,4426	0,8656
SA2, SA3	2	0,7	0,4396	0,6154
TV1	1	2,2	10,3041	22,669
VD1...VD8	8	0,4	0,8243	2,6378
VD9, VD10, VD12, VD13	4	0,6	0,2198	0,5275
VD11, VD14...VD17	5	0,5	1,3601	3,4002
VD11, VD14...VD17	5	0,5	1,3601	3,4002
VT1, VT2, VT5, VT6, VT9, VT10, VT13, VT14, VT16, VT19	10	0,8	0,1855	1,484
VT3, VT4	2	0,7	0,4809	0,6733
VT7, VT8, VT17, VT18	4	0,7	0,1649	0,4617
VT11, VT12, VT15, VT20	4	0,8	0,2473	0,7914
VU1	1	1,5	1,0304	1,5456
XS1	1	0,8	1,1541	0,9233
XS2	1	0,8	1,7311	1,3849
XT1	1	0,3	0,893	0,2679
Плата	1	3	0,2198	0,6594
Пайки	361	0,5	0,055	9,9275
$\Sigma$				77,618

Зробимо розрахунок ймовірності відновлення пристрою за заданий час (прийmemo рівним 2 години) використовуючи формулу [1, стор 172]:

$$v(\tau_3) = 1 - e^{-\tau_3/T_B} \quad (3.19.)$$

$$\nu(\tau_3) = 1 - e^{-\frac{2}{0,915}} \approx 0,888.$$

Обчислені показники надійності зведемо до таблиці 3.9.

Таблиця 3.9. Обчислені показники надійності

Показники надійності	Позначення	Результат
Інтенсивність відмов РЕУ	$\lambda_{\Sigma}(\nu)$	$84,8577 \cdot 10^{-6}$ 1/год
Напрацювання на відмову	$T_0$	11784 год
Можливість безвідмовної роботи за заданий час	$P_{\Sigma}(t_3)$	0,43
Гамма-відсотковий наробіток до відмови	$T_{\gamma}$	238,1 год
Середній час відновлення	$T_B$	0,915 год
Імовірність відновлення за заданий час	$\nu(\tau_3)$	0,888

Зробивши розрахунки, переконуємося, що цей виріб має прийнятну ремонтпридатність ( $\nu(\tau_3)=0,888$ ) при ймовірності безвідмовної роботи протягом 10000 год дорівнює 0,43.

### **3.5.Обґрунтування методу резервування для функціонального вузла радіоелектронного пристрою**

Резервування – введення до структури пристрою додаткових елементів чи ланцюгів. За технічним завданням на дипломну роботу необхідно провести оцінку показників безвідмовності радіоелектронного пристрою (РЕП) за наявності резервування заміщенням (навантажений резерв).

При резервуванні заміщенням основний елемент у разі відмови відключається від електричної схеми, і замість нього підключається один із резервних елементів. Для підключення резервного елемента використовується перемикач, який може працювати в автоматичному режимі або бути ручним. При резервуванні заміщенням резервні елементи до вступу їх у роботу можуть бути в

одному з трьох режимів навантаження: в навантаженому режимі, в полегшеному режимі або в ненавантаженому режимі.

У навантаженому режимі («гарячому» резервуванні) резерв знаходиться в такому ж електричному режимі, як і основний елемент, і його ресурс виробляється одночасно з ресурсом основного елемента, так само, як і при постійному резервуванні.

Основними перевагами резервування заміщенням є:

- 1) більший вигаш у надійності порівняно з постійним резервуванням (у випадках ненавантаженого та полегшеного резерву);
- 2) відсутність необхідності додаткового регулювання у разі заміщення основного елемента резервним, оскільки основний та резервний елементи однакові.

Недоліками є:

- 1) складність технічної реалізації та пов'язане з цим збільшення маси, габаритів та вартості всього резервованого РЕП;
- 2) перерва у роботі у разі заміщення елемента, що відмовив (у разі навантаженого резерву цей недолік зводиться до мінімуму).

З розрахунків видно, що лабораторний блок живлення за заданого часу роботи має досить низьку ймовірність безвідмовної роботи (0,43), тому застосовуємо резервування заміщенням (за завданням резерв навантажений). Для цього розіб'ємо схему блоку живлення на функціональні вузли, обчислимо можливість безвідмовної роботи кожного з них, визначимо можливість відмов яких вузлів максимальна і проведемо резервування.

Провівши аналіз схеми електричної принципової, розбиваємо її на чотири функціональні блоки: перетворювач (трансформатор напруги), випрямляч, стабілізатор та блок контролю вихідних параметрів.

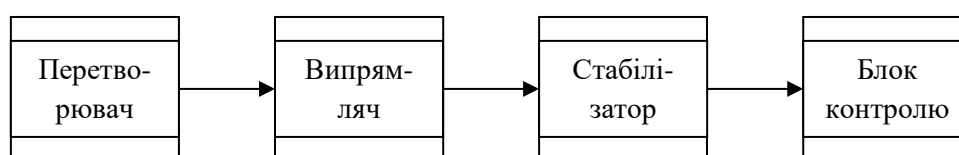


Рисунок 3.1. Схема розбиття пристрою на блоки.

Для розрахунку безвідмовної роботи пристрою скористаємося формулою [1, стор 158]:

$$P_{устр.}(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t) \quad (3.20.)$$

де  $P_i(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи окремого блоку для заданого часу  $t$ ;

$N$  – кількість функціональних блоків;

$P_{устр.}(t)$  – можливість безвідмовної роботи всього пристрою.

Для розрахунку ймовірності відмови кожного блоку скористаємося формулою [1, стор 204]:

$$q_i(t) = 1 - P_i(t) \quad (3.21.)$$

де  $q_i(t)$  – можливість відмови окремого блоку.

У разі довільного числа резервних елементів  $r$  ймовірність відмови вузла, що резервується, визначається за формулою [1, стор 204]:

$$q_i(t) = q^{r+1} \quad (3.22.)$$

де  $r$  - число резервних блоків.

Проводимо розрахунки значень кожного функціонального блоку з допомогою ПЕОМ серед MS EXCEL. Результати розрахунків записуємо як таблиць: таблиця 3.10 - для перетворювача напруги, таблиця 3.11 - для випрямляча, таблиця 3.12 – для стабілізатора, таблиця 3.13 – для блоку контролю вихідних параметрів. Дані для розрахунку можливості безвідмовної роботи візьмемо з таблиць 3.8. і 3.9. у пункті 3.4.роботи.



Таблиця 3.12. Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи стабілізатора

Група елементів	Кількість елементів у групі	Довідкове значення $\lambda_{j0}, \times 10^{-6}1/\text{год}$	Коефіцієнт електричного навантаження $K_n$	Макс. робоча температура, $^{\circ}\text{C}$	Поправочний коефіцієнт $\alpha$	Значення $\lambda_j(v) \times 10^{-6}1/\text{год}$	Значення $n_j(v) \cdot \lambda_j, \times 10^{-6}1/\text{год}$
C17, C18	8	0,055	0,79	40	2,5	0,1889	1,5112
C7, C8	2	0,055	0,63	40	1,8	0,136	0,272
C15, C16	2	0,055	0,79	40	2,5	0,1889	0,3778
C9...C14, C19...C20	8	0,05	0,79	60	0,9	0,0618	0,618
DA1, DA2	2	0,04	0,6	60	4	0,22	0,44
R36...R38, R41	4	0,08	0,25	60	0,75	0,082	0,492
R3, R6	2	0,08	0,2	60	0,7	0,077	0,154
R4, R5, R7, R14...R25, R28, R33, R54...R63	27	0,05	0,67	60	1,6	0,1099	2,9673
R8...R13, R26, R27, R29...R32, R34, R35, R39, R40, R42...R53,	28	0,05	0,21	60	0,7	0,0481	1,443
R64, R65	2	0,5	0,11	60	0,1	0,0687	0,1374
VD9, VD10, VD12, VD13	4	0,2	0,33	60	0,8	0,2198	0,8792
VD11, VD14...VD17	5	0,9	0,65	50	1,1	1,3601	6,8005
VT1, VT2,	10	0,45	0,2	80	0,3	0,1855	1,855

VT5, VT6, VT9, VT10, VT13, VT14, VT16, VT19							
VT3, VT4	2	0,5	0,4	80	0,7	0,4809	0,9618
VT7, VT8, VT17, VT18	4	0,4	0,2	60	0,3	0,1649	0,6596
VT11, VT12, VT15, VT20	4	0,5	0,2	100	0,36	0,2473	0,9892
VU1	1	0,75	0,1	60	1	1,0304	1,0304
Плата	1	0,2	0,1	60	0,8	0,2198	0,2198
Пайки	252	0,04	0,1	35	1	0,055	19,855
Σ							33,1206

Таблиця 3.13. Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи блоку контролю

Група елементів	Кількість елементів у групі	Довідкове значення $\lambda_{j0}, \times 10^{-6} \frac{1}{ч}$	Коефіцієнт електричного навантаження $K_n$	Макс. робоча температура, °C	Поправочний коефіцієнт $\alpha$	Значення $\lambda_j(v) \times 10^{-6} \frac{1}{ч}$	Значення $n_j(v) \cdot \lambda_j, \times 10^{-6} \frac{1}{ч}$
C21, C22	2	0,05	0,79	60	0,9	0,0618	0,1236
PA1, PA2	2	4	0,33	40	0,6	3,2973	6,5946
PV1, PV2	2	4	0,5	40	0,8	4,3964	8,7928
R66, R67	2	0,05	0,21	60	0,7	0,0481	0,0962
R66, R67	2	0,05	0,21	60	0,7	0,0481	0,0962
XS2	1	2,1	0,2	40	0,6	1,7311	1,7311

Пайк и	19	0,04	0,1	35	1	0,055	1,045
$\Sigma$							18,3833

Усі отримані результати розрахунків зведемо у таблицю 3.14.

Таблиця 3.14. Результати розрахунків

№ блока	Інтенсивність відмов блоку $\lambda_j(\nu) \times 10^{-6}$	Напрацювання на відмову $T_0$	Можливість безвідмовної роботи $P(t_3)$
1	23,702	42191	0,79
2	9,6518	103608	0,91
3	33,1206	30193	0,72
4	18,3833	54397	0,83

Зробимо розрахунок кількості резервних елементів для кожного блока. Для цього потрібно розрахувати можливість безвідмовної роботи кожного блоку. Резервування будемо проводити доти, доки ймовірність безвідмовної роботи стане рівною 0,92.

Підрахуємо кількість необхідних резервувань для кожного блоку за формулами (3.20.), (3.21.), (3.22.). Результати розрахунків подаємо у вигляді таблиці 3.15. Величина  $m$  у таблиці 3.15 – це сума основного та резервних блоків.

Таблиця 3.15 Результати розрахунків резервування

$m$	$P_1(t)$	$P_2(t)$	$P_3(t)$	$P_4(t)$
1	0,789	0,908	0,718	0,832
2	0,956	0,992	0,922	0,971
3	0,998	0,99994	0,994	0,9992



З таблиць 3.14 та 3.15. видно, що найбільшу ймовірність відмов має блок №3 (стабілізатор). Тому приймаємо кількість резервних функціонального блоку №2  $r=2$ . У цьому випадку ймовірність безвідмовної роботи лабораторного блоку живлення визначається за формулою (3.20.) і дорівнює:

$$P_{устр.}(t) = 0,956 \cdot 0,992 \cdot 0,994 \cdot 0,971 \approx 0,92$$

Поставлена умова виконується, резервні елементи додаємо паралельно до основної.

### **3.6.Оцінка впливу способу з'єднання елементів у вузлі метод резервування**

Основна мета резервування – підвищити надійність всього пристрою. Залежно від цього, як з'єднані елементи у вузлі, вибирають той чи інший метод резервування.

Оцінка показників безвідмовності тісно пов'язана із способом з'єднання елементів у блоці. Так, наприклад, послідовне з'єднання пов'язують з відмовою типу обрив, а при паралельному коротке замикання, при використанні змішаного з'єднання (так би мовити послідовно-паралельного) враховують обидва. При змішаному з'єднанні елементів ланцюга показники безвідмовності залежать від конкретної схеми з'єднання.

При резервуванні заміщенням з використанням навантаженого режиму резерв знаходиться в тому ж електричному режимі, що і основний функціональний блок. Оскільки при тому розбиття схеми лабораторного блоку живлення, яке запропоновано в даному курсовому проекті, аналогічні електричні режими забезпечуються при паралельній схемі з'єднання основного та резервних функціональних вузлів, то для нашого випадку вибираємо саме цю схему (імовірність відмови типу «обрив» вища за ймовірність «короткого замикання»)).

Постійне резервування використовують тоді, коли між якимись точками електричної схеми необхідно забезпечити наявність певних властивостей (резистивних, ємнісних, напівпровідних, підсилювальних і т.д.), а кількісне значення характеристики, що описує ці властивості, не має принципової ролі. У схемі електричної принципової аналізованої у цьому курсовому проекті вже передбачено постійне резервування деяких елементів. Так елементи групи С1...С3; С4 ... С6; С13, С19; С14, С20 з'єднані паралельно і виконують функцію постійного резервування (оскільки кожену групу цих елементів можна було б замінити еквівалентною ємністю).

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У даній дипломній роботі було розроблено універсальне лабораторне джерело живлення.

За для проектування були проведені розрахунки мінімальної площі друкованої плати, яка становить  $56\,100\text{ мм}^2$ . Тип друкованої плати був обраний двосторонній, що дозволяє більш ефективно розвести друкований рисунок, та зробити перемички де це необхідно. Розміри плати було обрано  $340 \times 165\text{ мм}$ . Кріплення друкованої плати були обрано на чотири точки опори.

Розрахувавши показники надійності, було з'ясовано, що вони не відповідають необхідним. Для підвищення надійності схема була розбита на окремі блоки зі змішаною сполукою елементів і зарезервована, після чого були проведені розрахунки, що підтверджують, що показник надійності набув більшого значення.

Інтенсивність відмов блоку РЕП без резервування склала  $84,8577 \cdot 10^{-6}$  1/год при напрацюванні на відмову  $11,784 \cdot 10^3$  год. Імовірність безвідмовної роботи пристрою за час 10000 год дорівнює 0,43. Це досить низький показник і, перш за все, він обумовлений високими вимогами до заданого часу роботи. Так як при однозмінній безперервній роботі 10000 год еквівалентні приблизно 6 років. У лабораторних умовах, коли блок живлення можливо не буде експлуатуватися постійно цей термін збільшиться ще більше.

Після виконання резервування середня можливість безвідмовної роботи пристрою дорівнює 0,92.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

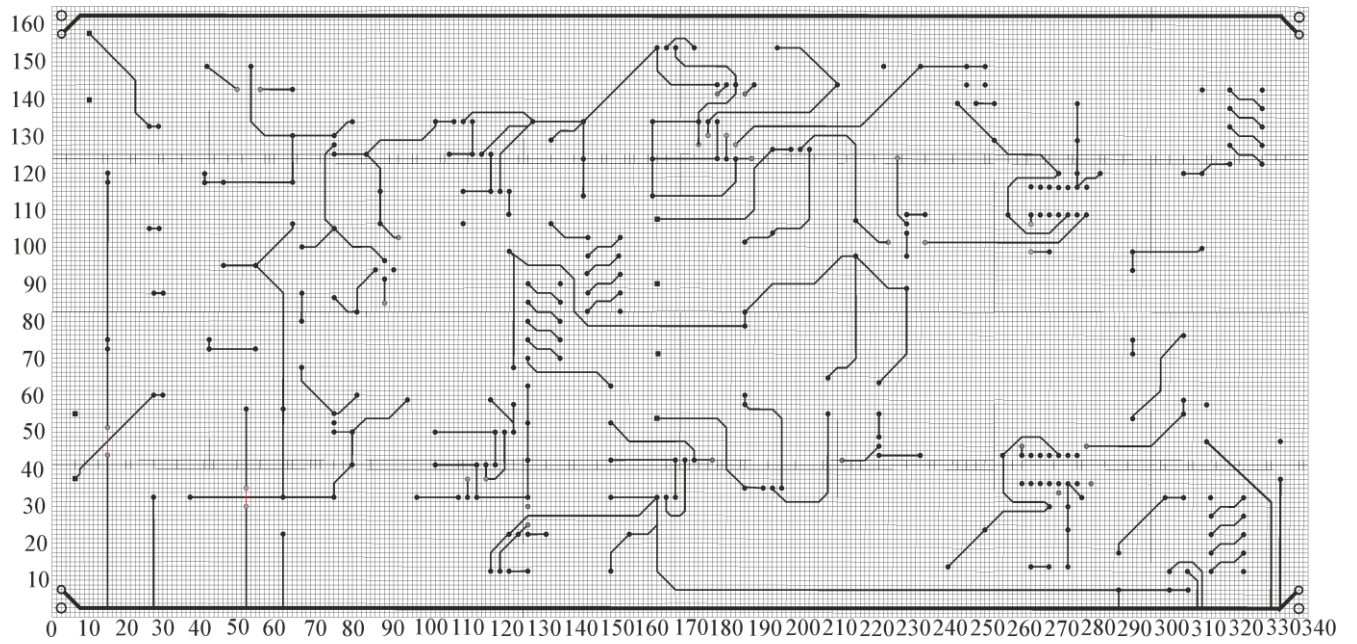
- 1 Боровиков С.М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998. 335 с.: ил.
- 2 Боровиков С.М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности: учеб.-метод. пособие к курсовому проектированию для студ. спец. «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС» и «Проектирование и производство РЭС» всех форм обуч./ С.М. Боровиков, В.С. Колбун, Т.В. Малышева; под ред. С.М. Боровикова. – Мн.: БГУИР, 2004. – 55 стр.: ил.
4. Гуревич Б.М., Иваненко Н.С. Справочник по электронике для молодого рабочего: 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1987. – 272 с.: ил.
5. Н.А. Шишонок, В.Ф. Репкин, Л.Л. Барвинский. Основы теории надёжности и эксплуатации радиоэлектронной техники. – Москва: «Советское радио», 1964. – 551 с.: ил.
6. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутирующие устройства РЭА. Справочник Н.Н. Акимов, Е.П. Ващуков, В.А. Кодоренах, Ю.П. Кодоренах – Мн.: Беларусь, 1994. – 591 с.: ил.
7. Горобец А. И. и др. Справочник по конструированию радиоэлектронной аппаратуры (печатные узлы). – К.: Техніка, 1985. – 312 с.
8. Практическое пособие по конструированию РЭА / В.Т.Белинский, А.Б.Грозин ; под ред. К.Б.Круковского-Синеви́ча, Ю.Л.Мазора.-К.:Вища шк., 1992.-494с.
9. Справочник конструирования РЭА: Общие принципы конструирования / Под ред. Р. Г. Варламов. – М.: Сов. радио, 1980. – 480 с.
10. Шерстнев В. В. Конструирование и микроминиатюризация ЭВА: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1984. – 272 с.
11. Преснухин Л. Н., Шахнов В. А. Конструирование электронных вычислительных машин и систем: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1986. – 572 с.
12. Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов /А.П. Достанко, Ш.М.Чабдарова.- М.: Радио и связь, 1989. - 624с.

13. Технология ЭВА, оборудования и автоматизация: учебное пособие для студентов вузов специальности "Конструирование и производство ЭВА" / Алексеев В. Г., Гриднев В. Н., Нестеров Ю. И. и др. – М.: Высшая школа, 1984. – 392 с.
14. Автоматизация и механизация сборки и монтажа узлов на печатных платах / Под ред. Журавского В. Г. – М.: Радио и связь, 1988. – 280 с.
15. Роткоп Л. Л., Спокойный Ю. Н. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Сов. радио, 1976. – 232 с.
16. Скрипников Ю.Ф. Радиаторы для полупроводниковых приборов. М.- Энергия, 1973.-48с.
17. Голенкевич Т. А. Прикладная теория надежности. – М.: Высшая школа, 1985. – 168 с.
18. Яншин А. А. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности ЭВА. – М.: Радио и связь, 1983. – 312 с
19. Ибүду К.А. Надежность, контроль и диагностика вычислительных систем и машин: Учебное пособие для вузов. -М.: Вышш.шк.,1989.-216с.
20. Конструирование радиоэлектронной и электронной вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости / А.Д.Князев, Л.Н.Кечиев. –М.:Радио и связь,1989. –224с.
21. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Э. Т. Романычева и др.; Под ред. Э. Т. Романычевой. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.
22. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К. Выполнение электрических схем по ЕСКД:Справочник.-1989.-325с.
23. Методические указания по дипломному проектированию для студентов всех форм обучения специальности 7.091.001 “Производство электронных средств” /Составители М.И. Хиль, А.И. Рязанцев, А.П. Арушанов, Т.И. Лиманский, Е.П. Герасименко, С.Н. Ганжа – Северодонецк, СТИ, 2000. - 64 с.
24. Методические указания к выполнению лабораторных работ курсов “Автоматизация технологического проектирования ЭА”, “Автоматизация

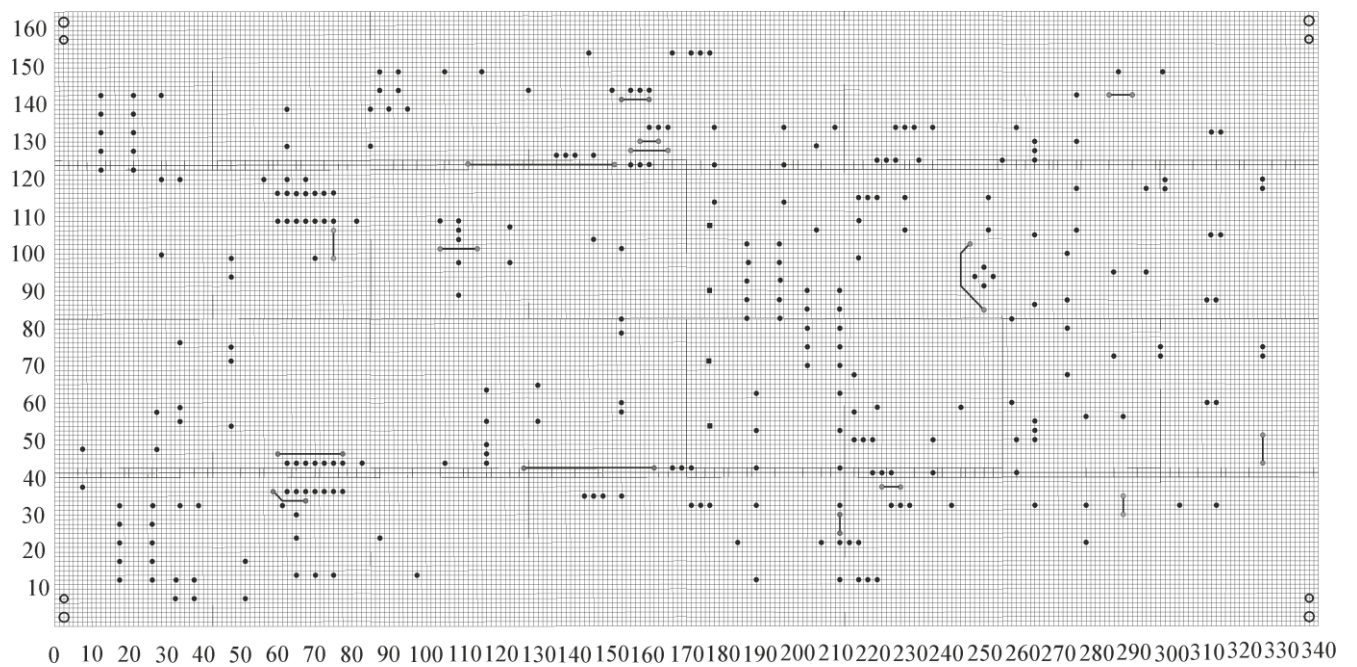
- конструкторско –технологического проектирования БЭА” / Сост. Е.П.Герасименко.- Северодонецк, СТИ, 2000.-57с.
25. Руководство по ремонту и каталог запчастей автомобилей ВАЗ-2110, ВАЗ-2111 и ВАЗ-2112 / С.Н.Волгин, А.П.Игнатов, С.Н.Косарев, К.В.Новокшенов, К.Б.Пятков, В.А.Яметов – М.: Издательский Дом Третий Рим, 2000. – 288 с.
26. Методичні вказівки до лабораторних робіт із дисципліни “Основи конструювання побутової електронної апаратури” / Автор: Ганжа С.М. – Северодонецьк: СТІ, 2004р. – 40 с.

Додаток А.

Трасування друкованої плати



Дзеркальне відображення друкованої плати



## Таблиця отворів

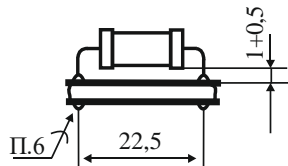
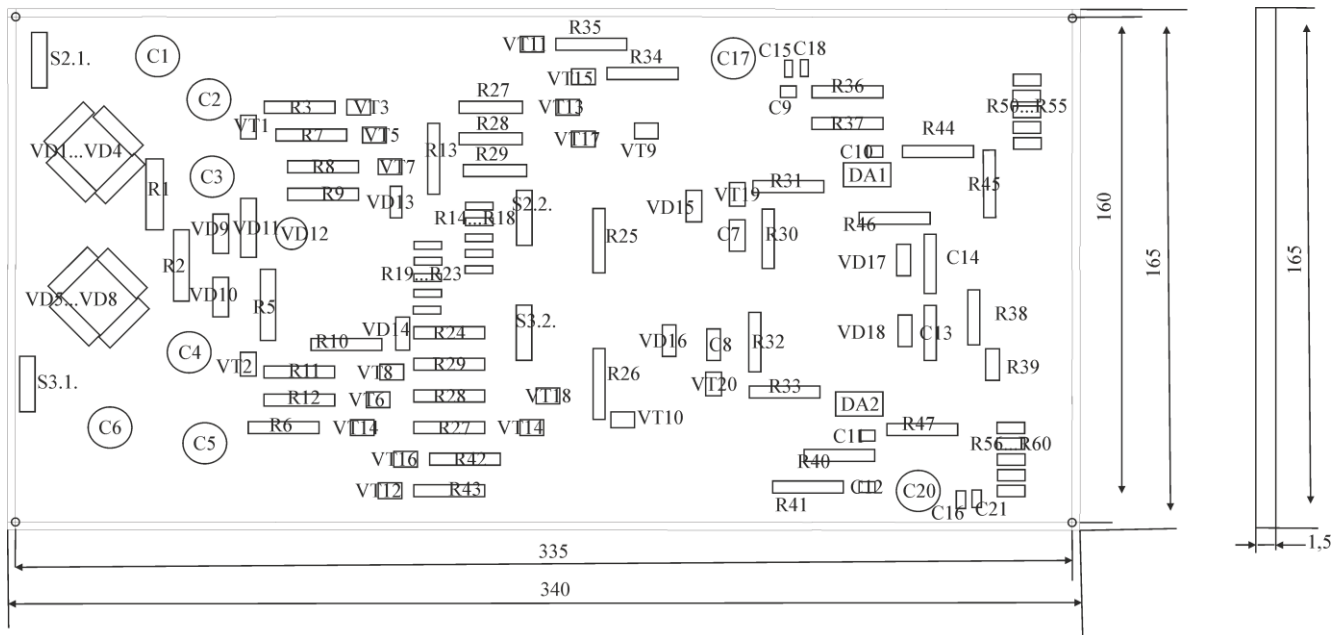
графіч. зображ.	діаметр КМ	діаметр отвору	наявність металу	призначення
•	1,5	1,3	так	монтажне
•	0,9	0,7	так	перехідне
○	2,4	2,0	так	монтажне
○	5,3	5	ні	кріплення

- \*
- 1. Розміри довідок
- 2. Плату зробити комбінованим позитивним способом.
- 3. Плата має відповідати ГОСТ 23752-86, група жорсткості 3.
- 4. Клас точності 3 за ГОСТ 23751-86.
- 5. Крок основної координатної сітки 1,25 мм. Лінії координатної сітки показано через 1,25 мм.
- 6. Відстань між двома провідниками, контактними майданчиками, провідником та контактним майданчиком не менше 0,25мм.
- 7. Ширина друкарського провідника 0,25 мм шини живлення.
- 8. Провідники покрити сплавом Розі за ТУ-09-4065-88.
- 9. Інші ТУ за ДСТУ 4ГО.070.015

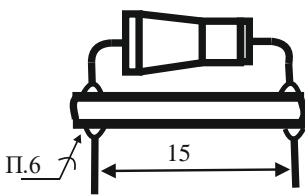


## Додаток В

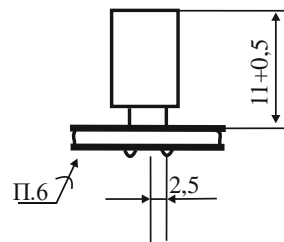
## Складальне креслення друкованої плати



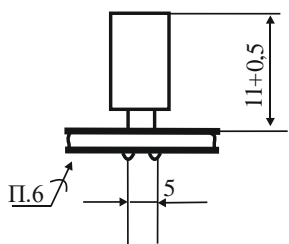
Установка R1 - R60



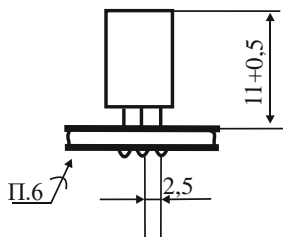
Установка VD11,17,18



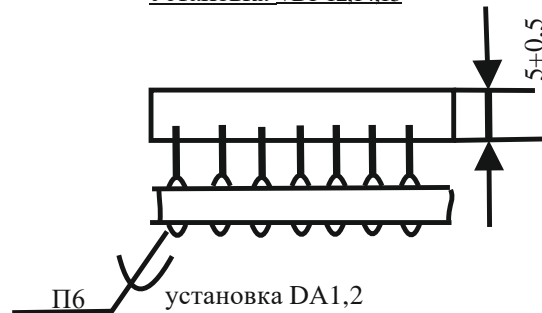
Установка VD1-12,14,15



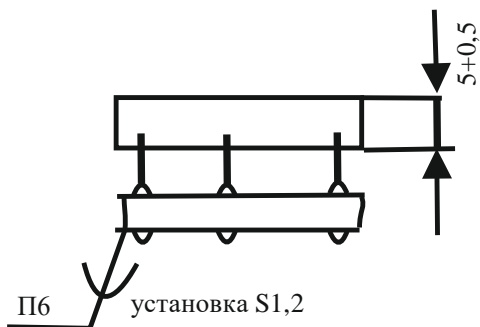
Установка C1-6, C17,20



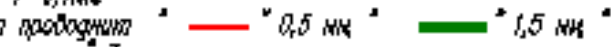
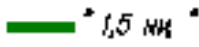

Установка VT1-18



установка DA1,2



установка S1,2

- 1 . Плата должна соответствовать требованиям ГОСТ 23752–79. Группа жесткости 1.
- 2 . Класс точности 3 по ГОСТ 23751–88.
- 3 .\* Размер для справки
- 4 . Конфигурация проводников выдерживать по координатной сетке с отклонением от чертежа  $\pm 0,1$  мм
- 5 . Ширина проводника \*  \* 0,5 мм \*  \* 1,5 мм \*  
 3 мм
- 6 . Форма и размеры контактных площадок определяются доминирующими техническими средствами и устанавливаются предприятием-изготовителем фотолитоэлемента. Размер контактной площадки определяется диаметром вписанной окружности и должен соответствовать ГОСТ 23751–88.
- 7 . Маркировку травлением выполнять шрифтом 2,5–Пр3 ГОСТ 26.020–80. Допускается шрифт, вытравленный на координатно-сетчатом с программным управлением. Расстояние от маркировки до края платы не менее 0,5 мм. Допускается касание маркировочных обозначений одного печатного элемента.
- 8 . Плату печатную покрыть глянцевым защитным резином (гляцевой маской) в соответствии с технической инструкцией завода-изготовителя. Тип гляцевого защитного реза устанавливает завод-изготовитель.
- 9 . Маркировать краской PLASTSTAR OE–025, белой фирмы "SERICOL". Шрифт 2,5–Пр3 ГОСТ 26.020–80.
- 10 . Клеить краской PLASTSTAR OE–025, белой фирмы "SERICOL".
- 11 . Допускается маркировать и клеить краской прозрачной для негитивающих поверхностей ТНПФ–84, белой ТНПФ–01, черной ТУ 29–02–869–88, УНП или краской PLASTSTAR OE–001, черной фирмы "SERICOL".
- 12 . Маркировочный слой вытравить краской ТНПФ–84, белой ТУ 29–02–869–88, УНП. Шрифт 2–Пр3 ГОСТ 26.020–80.
- 13 . Условные обозначения и размеры отверстий см. табл. лист . Наименование столбцов таблицы отверстий: Hole Dia(мм)–Диаметр отверстия(мм); Qty(шт)–Условное обозначение; Quantity–Количество Plated–Наличие металлизации (Yes–Есть/No–Нет).
- 14 . Допускается замена материала на стеклотекстолит СТНФ–2–35–1,5 ТНБ–503.161.–83.
- 15 . Плотность металлизации 85 мд/см
- 16 . Обработку печатной платы по контуру выполнять фрезерованием согласно
- 17 . Дополнительные технические требования по ОСТ 10.070.014.