

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Радіотехнічний факультет  
(повна назва інституту/факультету)

Радіотехнічних пристроїв та систем  
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

С.Я. Жук (підпис) С.Я. Жук (ініціали, прізвище)

“ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Дипломний проєкт**  
на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) 172 Телекомунікації та радіотехніка  
(код та назва спеціальності)

на тему: Спеціалізована малогабаритна сонячна електростанція \_\_\_\_\_

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи РТ-371  
(шифр групи)

Лига Микола Анатолійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник асистент Романенко Тарас Володимирович  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проєкті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент (підпис)

Київ – 2021 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет

Радіотехнічний факультет

(повна назва)

Кафедра

Радіотехнічних пристроїв та систем

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки

172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ С. Я. Жук  
(підпис) (імя, прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт (роботу) студенту**

Лизі Миколі Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Спеціалізована малогабаритна сонячна електростанція

керівник проєкту (роботи) Романенко Тарас Володимирович,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р. № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) 1. Джерело електричної енергії - сонячна панель. 2. Споживачі - водяний насос 12 В 1,5 А, ультразвукова пральна машина 220 В 0,068 А, мобільний телефон з ємністю акумуляторної батареї 4000 мА·год

4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) 1. Розробити структурну схему електростанції. 2. Розрахувати електричну принципову схему блоку контролю та перетворення напруги. 3. Розробити друковану плату контролю та перетворення напруги.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) 1. Структурна схема електростанції. 2. Електрична принципова схема блоку контролю та перетворення напруги. 3. Кресленик друкованої плати блоку контролю та перетворення напруги.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |

7. Дата видачі завдання 12 квітня 2021 року

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)                       | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| 1     | Аналіз ТЗ. Вибір споживачів та оцінка потужності сонячної електростанції | 12.04.2021                              | Виконано |
| 2     | Огляд аналогів                                                           | 19.04.2021                              | Виконано |
| 3     | Розробка структурної схеми                                               | 25.04.2021                              | Виконано |
| 4     | Розробка схеми електричної принципової, електричні розрахунки            | 3.05.2021                               | Виконано |
| 5     | Розробка друкованої плати                                                | 10.05.2021                              | Виконано |
| 6     | Графічна частина, оформлення креслеників                                 | 17.05.2021                              | Виконано |
| 7     | Оформлення пояснювальної записки                                         | 29.05.2021                              | Виконано |

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис) (ініціали, прізвище)

М.А. Лига

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Т.В. Романенко  
(ініціали, прізвище)

# АНОТАЦІЯ

до бакалаврської дипломної роботи Лиги Миколи Анатолійовича  
на тему: «Спеціалізована малогабаритна сонячна електростанція»

Дана дипломна робота присвячена розробці спеціалізованої малогабаритної сонячної електростанції.

В даній роботі було проведено аналіз та розглянуто питання забезпечення електроенергією спеціалізованих споживачів, віддалених від мереж електропостачання а також оформлення необхідної конструкторської документації, проведення розрахунку блоку контролю та перетворення напруги, та розробка конструкції друкованої плати до нього.

Загальний об'єм роботи \_\_\_\_ сторінки, \_\_\_\_ рисунків, \_\_\_\_ таблиць, \_\_\_\_ додатки, \_\_\_\_ джерел.

**Ключові слова:** альтернативна енергетика, сонячна електростанція, енергозабезпечення.

# ANNOTATION

to the diploma thesis by Lyha Mykola Anatoliiovych  
on the topic: «Specialized small solar power plant»

The aim of the diploma thesis is the development of a specialized small solar power plant.

This paper analyzes and considers the issue of providing electricity to specialized consumers remote from the power supply networks, as well as preparation of the necessary design documentation, calculation of the control unit and voltage conversion, and development of the PCB design for it.

Total capacity: \_\_\_\_ pages, \_\_\_\_ figures, \_\_\_\_ tables, \_\_\_\_ applications, \_\_\_\_ sources.

**Key words:** alternative energy, solar power plant, energy supply.

**Пояснювальна записка  
до дипломного проєкту  
на тему: «Спеціалізована малогабаритна сонячна  
електростанція »**

Київ – 2021 року

## ЗМІСТ

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Перелік скорочень.....                                                                                           | 8  |
| Вступ.....                                                                                                       | 9  |
| 1 Аналіз технічного завдання .....                                                                               | 12 |
| 1.1. Постановка задачі .....                                                                                     | 12 |
| 1.2. Вибір споживачів та оцінка потужності сонячної електростанції                                               | 13 |
| 1.2.1 Водяний насос .....                                                                                        | 13 |
| 1.2.2 Ультразвукова пральна машина .....                                                                         | 15 |
| 1.2.3 Порт зарядки мобільних пристроїв .....                                                                     | 16 |
| 1.2.4 Оцінка загальної потужності сонячної електростанції та вибір сонячних панелей .....                        | 17 |
| 2 Огляд аналогів .....                                                                                           | 21 |
| 3 Розробка структурної схеми та вибір буферного накопичувача.....                                                | 24 |
| 3.1. Структурна схема.....                                                                                       | 24 |
| 3.2. Вибір буферного накопичувача.....                                                                           | 25 |
| 4 Розрахунок блоку контролю та перетворення напруги спеціалізованої малогабаритної сонячної електростанції ..... | 33 |
| 4.1. Контролер напруги .....                                                                                     | 33 |
| 4.1.1 Електричні розрахунки контролера напруги .....                                                             | 36 |
| 4.2. Імпульсний перетворювач напруги.....                                                                        | 46 |
| 4.2.1 Електричні розрахунки імпульсного перетворювача напруги                                                    | 47 |
| 4.2.2 Розрахунок силового імпульсного трансформатора .....                                                       | 54 |

|           |                |          |        |      |                                                           |  |            |      |        |
|-----------|----------------|----------|--------|------|-----------------------------------------------------------|--|------------|------|--------|
|           |                |          |        |      | РТ71.436121.001 ПЗ                                        |  |            |      |        |
| ЗМ.       | Лист           | № докум. | Підпис | Дата |                                                           |  |            |      |        |
| Розробив  | Лука М.А.      |          |        |      | Спеціалізована<br>малогабаритна сонячна<br>електростанція |  | Літ.       | Лист | Листів |
| Перевірив |                |          |        |      |                                                           |  |            | 6    |        |
|           |                |          |        |      |                                                           |  | РТ-з71 РТФ |      |        |
| Н. Контр. |                |          |        |      |                                                           |  |            |      |        |
| Затвердив | Романенко Т.В. |          |        |      |                                                           |  |            |      |        |

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3. DC-DC перетворювач .....                                               | 61 |
| 4.3.1 Електричні розрахунки DC-DC перетворювача. ....                       | 62 |
| 4.4. Створення схеми електричної принципової .....                          | 68 |
| 5 Розробка друкованої плати блоку контролю та перетворення напруги<br>..... | 69 |
| 5.1. Розрахунок діаметрів контактних майданчиків.....                       | 69 |
| 5.2. Визначення габаритів друкованої плати .....                            | 71 |
| 5.3. Розрахунок ширини друкованих провідників.....                          | 72 |
| Висновки .....                                                              | 76 |
| Перелік джерел посилань .....                                               | 78 |
| Додаток А. Технічне завдання.....                                           | 80 |
| Додаток Б. Відомість дипломного проєкту .....                               | 81 |
| Додаток В. Схема електрична принципова .....                                | 82 |
| Додаток Г. Перелік елементів.....                                           | 84 |
| Додаток Д. Специфікація. ....                                               | 89 |
| Додаток Е. Технологічні шари.....                                           | 95 |
| Додаток Ж. Дослідний зразок.....                                            | 97 |

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АКБ — акумуляторна батарея

ДП — друкована плата

ВН — водяний насос

ІПН — імпульсний перетворювач напруги

КН — контролер напруги

ККД — коефіцієнт корисної дії

ОП — операційний підсилювач

СМСЕ — спеціалізована малогабаритна сонячна електростанція

СП — сонячна панель

УЗПМ — ультразвукова пральна машина

ШІМ — широтно-імпульсна модуляція

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | РТ71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 8    |
| Зм. | Лист | № док-м. | Підпис | Дата |                    |      |

## ВСТУП

У наш час розвиток альтернативних видів енергетики набуває дедалі більшого розмаху. Питання, пов'язане з освоєнням нетрадиційних та поновлювальних джерел енергії набуває актуального сенсу. Це, на сам перед, визначається усвідомленням того, яку загрозу для навколишнього середовища становить забруднення атмосфери, спричинене викидами внаслідок спалювання вуглеводнів. Енергетичні проблеми починають виникати в результаті того, що традиційні викопні ресурси, такі як нафта, природний газ, буре та кам'яне вугілля, горючі сланці та торф, являються вичерпними і їх кількість постійно зменшується. Темпи росту кількості населення та велике збільшення промислового виробництва неодмінно призводить до збільшення потреб в забезпеченні електроенергією, що в свою чергу зумовлює погіршення екологічного та енергетичного становища, що існує на цей момент.

З кінця минулого століття інтерес до альтернативних джерел енергії постійно зростає. Це зумовлене на сам перед тим, що ціна на основні вичерпні невідновлювальні ресурси, такі як нафта та вугілля, постійно зростає. І тому в наш час актуальність використання відновлювальних джерел енергії постає на перших місцях. Одним із видів відновлювальної енергії, що в деякій мірі може вирішити проблему з енергозабезпеченням, являється сонячна енергія.

На даний час по всьому світу будуються сонячні електростанції, що мають потужність від декількох кіловат (для обслуговування одного чи декількох будинків або інших невеликих об'єктів) до десятків і навіть сотень мегават. Такі електростанції здатні обслуговувати велику кількість об'єктів, що під'єднані до мережі електропостачання.

В той же час постає питання вирішення проблеми забезпечення електроенергією споживачів у віддалених від стаціонарних енергомереж районах. Особливо актуально це відноситься до споживачів зі спеціалізованими вимогами.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 9    |
| Зм. | Лист | № докцм. | Підпис | Дата |                    |      |

Для таких цілей можна використовувати спеціалізовані малогабаритні сонячні електростанції. Вони мають здатність забезпечувати функціонування спеціалізованих споживачів електроенергії, що живляться від джерел з нестандартними значеннями напруги. Це можуть бути водяні насоси, портативні пральні машини, пристрої заряджання мобільних телефонів і різних типів АКБ, спеціалізований електроінструмент тощо.

Перевагами таких електростанцій являється:

- простота в обслуговуванні та експлуатації;
- автономність (незалежність від централізованого електропостачання);
- мобільність, завдяки малим габаритам та монолітній конструкції;
- швидкість встановлення в польових умовах;
- невичерпність джерела енергії (сонячне світло);
- екологічна чистота, оскільки сонячна електростанція не утворює викидів та працює безшумно;
- великий термін експлуатації (деякі моделі сонячних панелей мають здатність працювати до 50 років);
- автоматична робота без участі людини;

Як і інші джерела енергії, вони мають і свої недоліки. До таких недоліків можна віднести:

- зміна потужності генерації електроенергії в залежності від погодних умов;
- необхідність встановлення додаткових пристроїв для повноцінного функціонування електростанції, таких як акумуляторна батарея (АКБ), контролер напруги (КН) та імпульсний перетворювач напруги (ІПН);
- незважаючи на те, що сама електростанція виробляє екологічно чисту енергію, самі сонячні панелі можуть містити в собі небезпечні для навколишнього середовища речовини, такі як кадмій, свинець, миш'як та ін.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 10   |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Також основним та найголовнішим недоліком таких електростанцій являється періодичність їх роботи, що зумовлене відсутністю сонячної енергії в темну пору доби. Цей недолік можна усунути завдяки буферних накопичувачів енергії, в якості яких виступають АКБ.

В даній роботі буде розглянуто варіант спеціалізованої малогабаритної сонячної електростанції, за допомогою якої може бути здійснено живлення спеціалізованих споживачів електроенергії у віддалених від стаціонарних електромереж місцях.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | РТ71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 11   |
| Зм. | Лист | № док-м. | Підпис | Дата |                    |      |

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

## 1.1. Постановка задачі

Розробка проекту спеціалізованої малогабаритної сонячної електростанції викликана необхідністю забезпечення живлення в польових умовах малогабаритного водяного насоса, який необхідний для постачання прісної води два рази на добу у загальному об'ємі 600 літрів, використання портативної ультразвукової пральної машини, та забезпечувати можливість заряджання, безпосередньо через інтерфейс USB, мобільного телефону з АКБ ємністю 4000 мА·год. Такі електростанції можуть використовуватись у польових умовах особами, що з причини своєї діяльності перебувають деякий час у місцях, віддалених від мереж електропостачання.

Кожен з цих споживачі має свої особливості вимог до живлення та технічні характеристики. Живлення насоса можна здійснювати безпосередньо під'єднавши його до виводів АКБ, оскільки незначні коливання напруги в межах 10 – 15 % від номінальної робочої, не дуже впливають на робочі характеристики насоса. Портативна ультразвукова пральна машина для своєї роботи вимагає під'єднання до мережі зі змінним струмом частотою 50 Гц та напругою 220 В. Але конструкція самої машинки дозволяє жити її струмом, що відрізняється за своїми параметрами від синусоїдального струму. Для цього в ІПН необхідно забезпечити джерело живлення, що може не містити в своєму складі ніяких фільтрів чи формувача синусоїдального струму, та мати номінальну напругу на виході 310 В (для прямокутної форми напруги). Для заряджання мобільного телефону або інших пристроїв, в спеціалізованій малогабаритній сонячній електростанції (СМСЕ) необхідно забезпечити окреме джерело живлення з номінальною напругою 5 В та з допустимим максимальним струмом 2 А.

Оскільки робота сонячної електростанції дуже залежить від погодних умов, що викликане різною освітленістю сонячних панелей в ясну та похмуру

|     |      |          |        |      |                    |            |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------------|
|     |      |          |        |      | РТ71.436121.001 ПЗ | Лист<br>12 |
|     |      |          |        |      |                    |            |
| Зм. | Лист | № док.м. | Підпис | Дата |                    |            |

погоду, а також сонячні панелі не можуть функціонувати в темну пору доби, необхідно в конструкції електростанції забезпечити буферне джерело живлення, роль якого виконуватиме АКБ. Це дозволить користуватися сонячною електростанцією за будь-яких погодних умов.

## 1.2. Вибір споживачів та оцінка потужності сонячної електростанції

Для того, щоб оцінити потужність СМСЕ, необхідно провести аналіз включення та споживання потужності усіма споживачами. Це дозволить вибрати сонячні палені (СП) з необхідними параметрами.

### 1.2.1 Водяний насос

Оскільки в ролі основного споживача електроенергії виступає водяний насос (ВН), необхідно підібрати його за характеристиками, що будуть відповідати умовам технічного завдання. Для виконання цих умов необхідно обрати насос, що буде живитися від постійної напруги з номінальним значенням 12 В та матиме продуктивність близько 300 л/год. Одним із варіантів, що пропонують виробники в даному сегменті ринку, є малогабаритний ВН діафрагмового типу, зовнішній вигляд якого представлений на Рисунок 1.2.1



Рисунок 1.2.1 — Портативний водяний насос діафрагмового типу.

|     |      |          |        |      |                    |            |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------------|
|     |      |          |        |      | РТ71.436121.001 ПЗ | Лист<br>13 |
| Зм. | Лист | № докum. | Підпис | Дата |                    |            |

Нижче в Таблиця 1.2.1 представлені деякі його характеристики

Таблиця 1.2.1

|                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| Materials           | ABS                        |
| Voltage             | 12 V                       |
| Power consumption   | 18 W                       |
| Working temperature | 0°C – 60°C/ (32°F – 140°F) |
| Inlet/Outlet        | 4mm Threaded Port          |
| Maximum Flow Rate   | 800 L/H                    |
| Max lift height     | 5m (16ft)                  |

Як видно з робочих характеристик, виробник вказує, що максимальна висота підйому рідини даним насосом становить 5 м, а продуктивність, при перекачуванні рідини в горизонтальній площині становить 800 л/год. Оскільки підйом рідини необхідно здійснювати на висоту 3 м, то експериментальним методом були отримані дані стосовно продуктивності даного насосу в залежності від висоти підйому рідини, які представлені у вигляді графіку на Рисунок 1.2.2

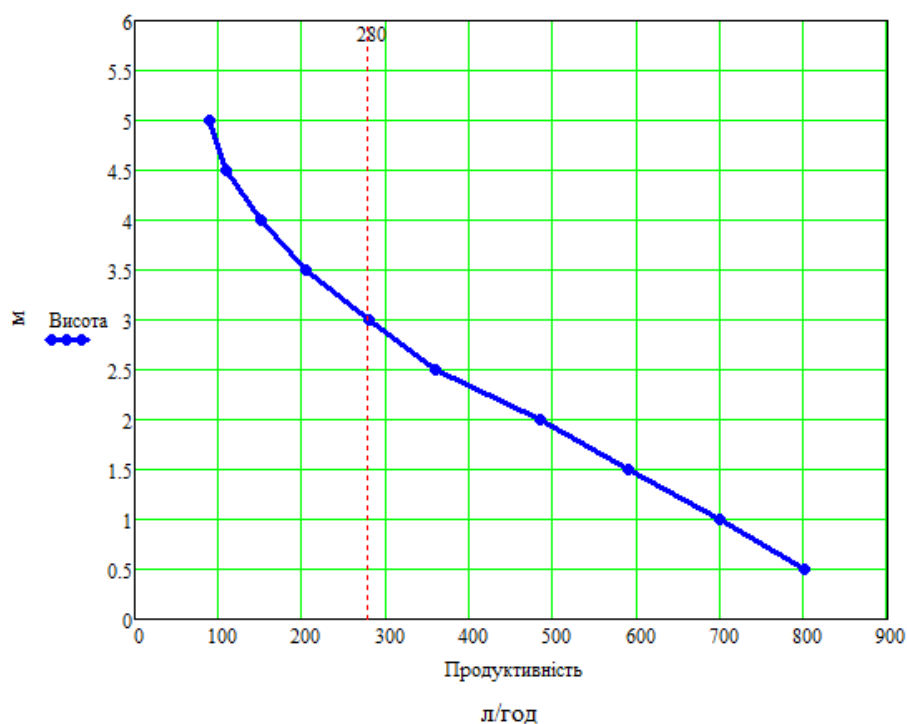


Рисунок 1.2.2 — Графік залежності продуктивності насоса від висоти підйому рідини.

Як видно з графіку, продуктивність ВН при висоті підйому 3 м становить близько 280 л/год. При цьому час роботи насоса для подачі 300 літрів води становить:

$$t_{\text{ВН}} = \frac{300 \cdot 280}{60} \approx 65 \text{ хв} = 1,083 \text{ год}$$

Потужність насоса, згідно даним виробника становить  $P_{\text{н}} = 18 \text{ Вт}$ .

### 1.2.2 Ультразвукова пральна машина

Сегмент ринку портативних ультразвукових пральних машинок різних виробників дозволяє здійснити вибір за різними параметрами та характеристиками. На Рисунку 1.2.3 зображено декілька варіантів пральних машинок



а)



б)

Рисунок 1.2.3 — Портативні ультразвукові пральні машинки: а) Ретона УВУ-0708 [12], б) Marta [13].

Вказаний тип пральних машинок по конструктиву не відрізняються і складається з блока живлення та акустичного випромінювача. Схемотехніка блока живлення влаштована так, що дозволяє під'єднати даний блок до джерела живлення з несинусоїдальним струмом. Це дозволить виключити з конструкції ІПН блок формування синусоїдального (псевдосинусоїдального) струму, що в свою чергу призведе до здешевлення та збільшення експлуатаційної надійності СМСЕ в цілому.

За умовами експлуатації пральною машинкою, користуватися нею буде одна людина. Виходячи з цього, для задоволення потреб, можна обрати пральну машинку «Marta», характеристики якої вказано на Рисунок 1.2.4

|                                                         |               |
|---------------------------------------------------------|---------------|
| Напряжение источника питания переменного тока.....      | 220           |
| Частота источника питания, Гц .....                     | 50-60         |
| Потребляемая мощность, Вт. не более.....                | 15            |
| Частота акустических колебаний излучателя не менее..... | 23кГц±2кГц    |
| Температура моющего раствора, °С не более .....         | 65°С          |
| Время непрерывной работы.....                           | не ограничено |
| Масса, г. не более.....                                 | 300           |
| Порция сухого белья на 10л воды не более, кг.....       | 4.            |

Рисунок 1.2.4 — Деякі технічні характеристики ультразвукової пральної машинки «Marta»

За даними виробника, машинка споживає потужність, що не перевищує  $P_m = 15$  Вт.

### 1.2.3 Порт зарядки мобільних пристроїв

Додатковою опцією CMCE необхідно передбачити можливість підзарядки (чи живлення) пристроїв, використовуючи при цьому для під'єднання роз'єм USB типу А. У нашому випадку необхідно забезпечити заряджання мобільного телефону з ємністю АКБ 4000 мА·год. Оскільки виробники мобільних телефонів найчастіше комплектують їх зарядними пристроями з параметрами напруги  $U_{ном} = 5$  В та струмом заряду  $I_{ном} = 2$  А, то необхідно забезпечити окреме джерело живлення саме з такими параметрами напруги та струму, та яке повинно забезпечувати стабілізацію цих параметрів.

Для створення цього джерела можна в трансформаторі ПН передбачити додатковий вивід та використати випрямляч з фільтром і лінійний стабілізатор. Але такі стабілізатори, як наприклад, L78S05CV в корпусі ТО-220, мають параметр  $U_{drop} = 1,7$  В, що при струмі заряджання 2 А призведе до розсіювання потужності на ньому близько 3,4 Вт. Це в свою чергу призведе до необхідності встановлення мікросхеми лінійного стабілізатора на окремому радіаторі і, як наслідок, призведе до збільшення розмірів корпусу ПН та

здорожчання конструкції в цілому. В даному випадку буде доцільнішим скористатися знижувальним DC-DC перетворювачем, що буде живитися безпосередньо від АКБ, та матиме більші показники ККД і стабілізаційних характеристик.

Враховуючи те, що ККД знижувального DC-DC перетворювача у найгіршому випадку може складати  $\eta_{\text{пер}} = 0,78$  [1, с. 43], то потужність, яку буде споживати перетворювач становить:

$$P_{\text{пер}} = \frac{U_{\text{ном}} I_{\text{ном}}}{\eta_{\text{пер}}} = \frac{5 \cdot 2}{0,78} = 12,82 \text{ Вт}$$

#### **1.2.4 Оцінка загальної потужності сонячної електростанції та вибір сонячних панелей**

Проаналізувавши потужності споживачів було встановлено, що до електростанції буде під'єднуватися три пристрої з різною потужністю споживання електроенергії. Враховуючи те, що користування ними буде здійснюватися по чергово, то оцінити потужність СМСЕ можна виходячи з того, який найпотужніший споживач може обслуговувати електростанція. Цим пристроєм являється ВН, потужність якого становить  $P_{\text{н}} = 18 \text{ Вт}$ .

Як основний параметр при виборі сонячних панелей (СП), використаємо потужність споживання ВН та проаналізуємо сегмент ринку СП.

Сонячні панелі призначені для перетворення сонячного випромінювання в постійний струм за рахунок використання фотоефекту, що виникає у напівпровідникових фотоелементах (фотоперетворювачах) з р-п переходами.

На даний час сучасні СП діляться на моно-, полікристалічні та тонкоплівкові панелі. Всі ці типи панелей відрізняються за ціною та ефективністю, що виражається в ККД. Для монокристалічних СП ККД становить 18%–23,5%, тоді як для полікристалічних та тонкоплівкових цей параметр складає 15,5%–18% та 9%–11% відповідно. Від ККД залежить площа СП, яка необхідна для отримання конкретного значення потужності в кінцевому результаті. У відповідності до цього панелі, що мають менший ККД

|     |      |          |        |      |                    |            |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------------|
|     |      |          |        |      | РТ71.436121.001 ПЗ | Лист<br>17 |
|     |      |          |        |      |                    |            |
| Зм. | Лист | № док-м. | Підпис | Дата |                    |            |

будуть мати найбільшу площу та габарити. Найбільш популярними та вживаними типами СП є моно- та полікристалічні панелі, зовнішній вигляд яких представлений на Рисунок 1.2.5

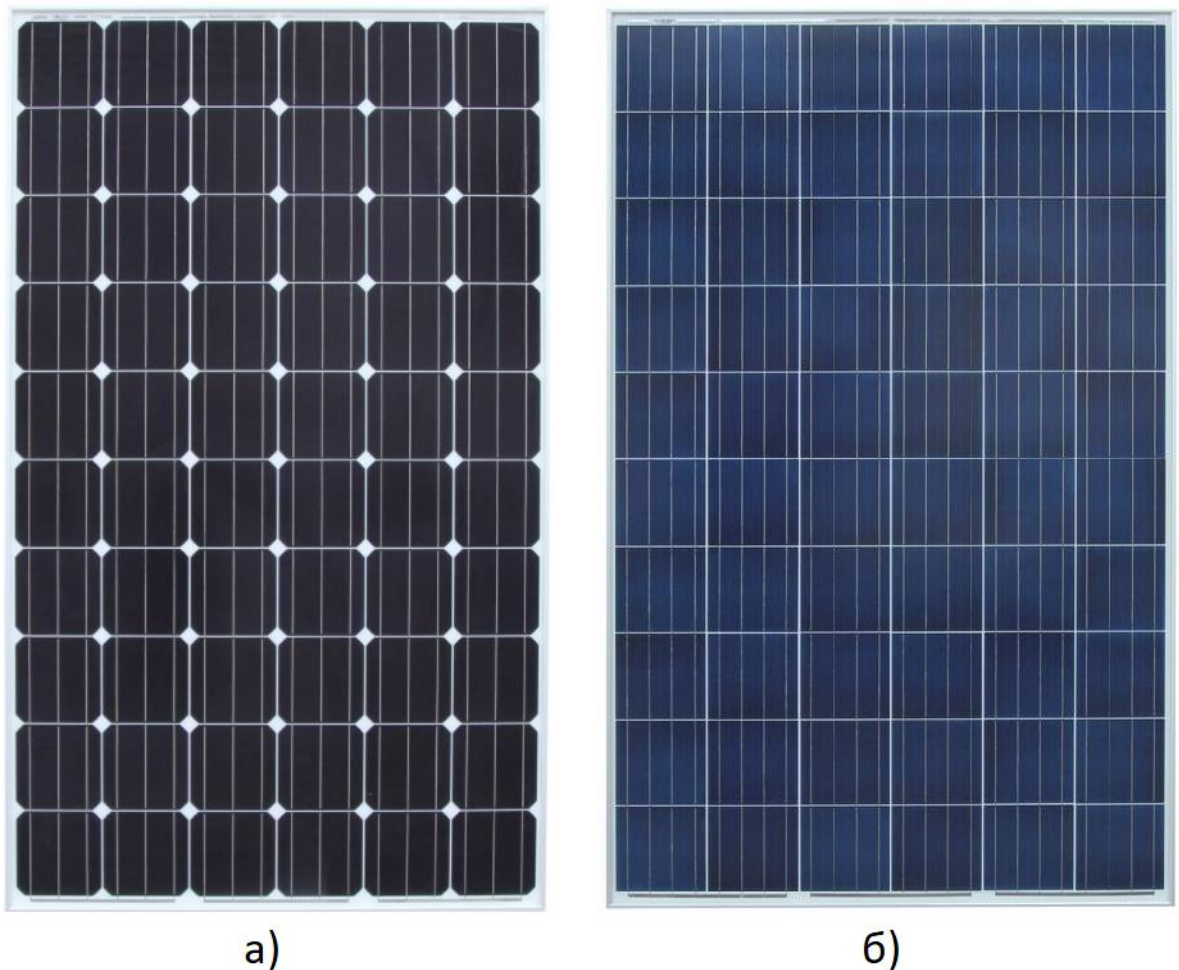


Рисунок 1.2.5 — Монокристалічні [14] (а) та полікристалічні [15] (б) сонячні панелі.

В загальному випадку будова моно- та полікристалічних панелей однакова і представлена на Рисунок 1.2.6. СП складається з декількох шарів. Самі фотоелементи розміщені всередині «пакету» та захищені з задньої сторони шаром надійного полімеру EVA (етиленвінілацетат) на якому розміщений вологозахисний блок з'єднань, що виготовлений зі стійкого до ультрафіолетового випромінювання матеріалу. Фотоелементи з робочої сторони закриті прозорим ударостійким загартованим склом, що захищає їх від механічних ушкоджень, та має антиблікове покриття. Весь цей «пакет»

закріплюється в надійній рамі з анодованого алюмінію, що надає конструкції необхідної міцності.



Рисунок 1.2.6 — Будова полікристалічної сонячної панелі.

Проаналізувавши різні типи, можна схилити вибір до використання полікристалічних типів СП. Незважаючи на те, що ККД таких панелей менший, ніж у монокристалічних, вони користуються найбільшим попитом та на даний час являються найбільш поширеними. Використання даного типу панелей, при такій потужності СМСЕ, не значним чином збільшить габаритні розміри, що не призведе до збільшення масо-габаритних показників в цілому.

Для використання в даній СМСЕ можна використати полікристалічну СП моделі AXIOMA Energy AX-20P. Нижче приведено деякі основні технічні характеристики даної СП:

- тип панелі полікристалічна
- номінальна напруга 12 В

|            |             |                 |               |             |                           |                   |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-------------------|
|            |             |                 |               |             | <i>PT71.436121.001 ПЗ</i> | <i>Лист</i><br>19 |
| <i>Зм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докцм.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                           |                   |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| — потужність                          | 20 Вт     |
| — струм при максимальній потужності   | 1,15 А    |
| — напруга при максимальній потужності | 17,5 В    |
| — струм короткого замикання           | 1,27 А    |
| — напруга холостого ходу              | 22 В      |
| — мінімальна робоча температура       | –40°C     |
| — максимальна робоча температура      | 85°C      |
| — ступінь захисту IP                  | 65        |
| — температурний коефіцієнт струму     | 0,033%/°C |
| — температурний коефіцієнт напруги    | –0,39%/°C |
| — температурний коефіцієнт потужності | –0,44%/°C |
| — вага                                | 1,9 кг    |

На Рисунок 1.2.7 показані габаритні розміри даної СП.

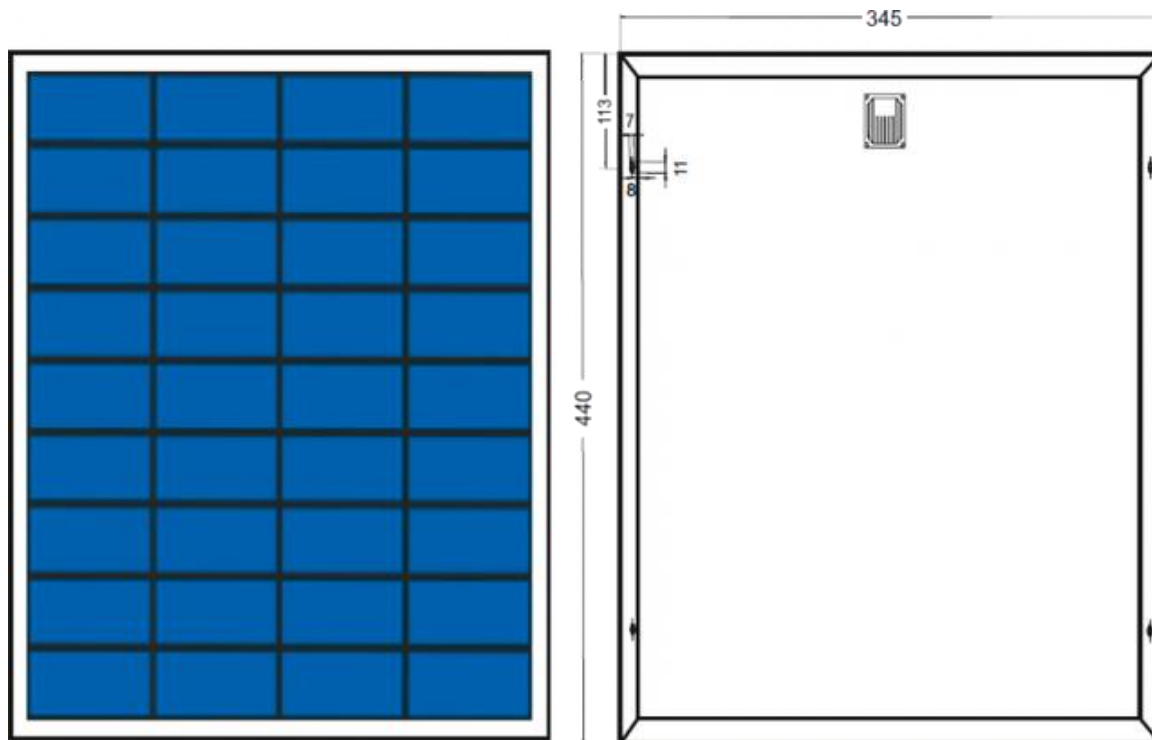


Рисунок 1.2.7 — Габаритні розміри панелі.

Як видно з характеристик, дана модель СП оптимально підходить для використання в СМСЕ.

## 2 ОГЛЯД АНАЛОГІВ

В цьому розділі будуть розглянуті можливі аналоги спеціалізованої малогабаритної сонячної електростанції. Буде проведено порівняльний аналіз цих пристроїв з нашою розробкою.

На ринку портативних сонячних електростанцій існує багато різних модифікацій, що призначені для різних сфер застосування. Найпоширенішими з них являються портативні зарядні пристрої з вмонтованими СП, та портативні туристичні сонячні електростанції. розглянемо варіанти таких електростанцій з близькими по параметрами потужності.

Серед портативних зарядних пристроїв на СП існує багато різних за характеристиками пристроїв. На Рисунок 1.2.1 показано один із варіантів таких пристроїв, які в своєму складі мають вмонтовану АКБ літій-іонного типу. Перевагою таких пристроїв є компактність, невелика маса та можливість заряджати пристрої при відсутності сонячного світла (за умови, що батарея заряджена).



Рисунок 1.2.1 — Портативний зарядний пристрій з вбудованим Power Bank [16].

|     |      |          |        |      |                    |            |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист<br>21 |
|     |      |          |        |      |                    |            |
| Зм. | Лист | № док-м. | Підпис | Дата |                    |            |

До недоліків таких пристроїв можна віднести те, що під час заряджання, при потраплянні сонячного світла, літій-іонна батарея нагрівається. Для батарей такого типу збільшення температури являється небажаним, та призводить до скорочення терміну служби самої батареї.

Ще одним недоліком є те, що пристрої даного типу виробляють напругу тільки одного номіналу — 5 В для зарядки мобільних пристроїв, використовуючи порт USB. Зважаючи на те, що для наших потреб електростанція повинна забезпечити живлення ще двох споживачів з напругами 12 В і 220В, то для використання такого пристрою необхідно буде застосовувати додаткове обладнання, що робить використання таких пристроїв для наших цілей не вигідними.

Портативні туристичні сонячні електростанції мають різну потужність, в основному від 10 до 20 Вт. Типова конструкція таких електростанцій показана на Рисунок 1.2.2



Рисунок 1.2.2 — Портативна туристична сонячна електростанція [17].

|     |      |          |        |      |                    |            |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------------|
|     |      |          |        |      | РТ71.436121.001 ПЗ | Лист<br>22 |
| Зм. | Лист | № док-м. | Підпис | Дата |                    |            |

За допомогою такої електростанції можна жити малопотужну побутову техніку (програвачі, радіоприймачі, телевізори та інші) за рахунок того, що вона містить в своєму складі інвертор, що дозволяє отримати на виході змінний струм з номінальною напругою 220 В. Також вона має роз'єм автомобільного прикурювача, що дозволяє жити пристрої з номінальною робочою напругою 12 В.

Недоліком такої станції, в порівнянні з нашою розробкою є те, що вона складається з двох частин — окремо СП та інвертор. Також за рахунок того, що інвертор створює на виході змінну напругу 220 В з близькими параметрами до синусоїдального виду, він має більш складну схемну конструкцію, що відповідно позначається на більшій вартості самої електростанції.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | РТ71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 23   |
| Зм. | Лист | № докцм. | Підпис | Дата |                    |      |

## 3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА ВИБІР БУФЕРНОГО НАКОПИЧУВАЧА

### 3.1. Структурна схема

Використовуючи загальну концепцію побудови сонячних електростанцій, для розробки даного проєкту СМСЕ можна використати структурну схему, що представлена на Рисунок 3.1.1.

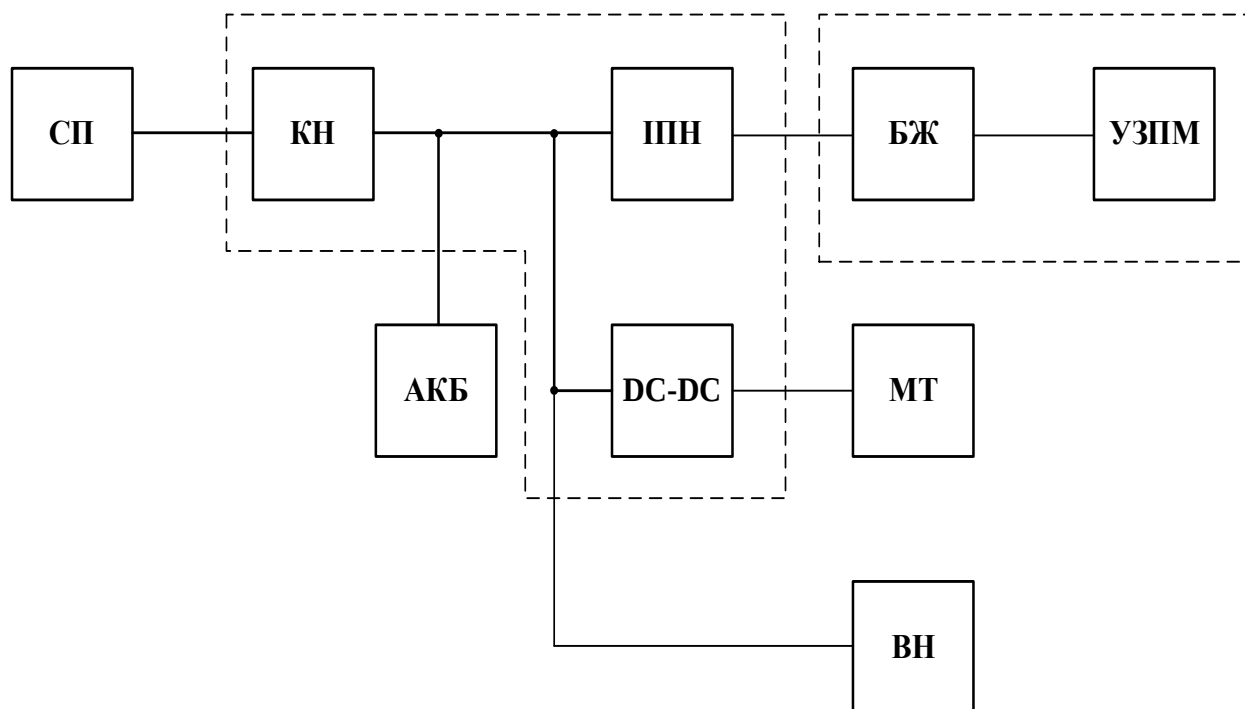


Рисунок 3.1.1 — Структурна схема СМСЕ.

Сонячна панель (СП) під'єднана до контролера напруги (КН), що забезпечує захист акумуляторної батареї (АКБ) від підвищеної напруги в процесі експлуатації сонячної електростанції. Це пов'язане з тим, що при вимкнених споживачах електроенергії та повністю зарядженій АКБ, напруга на СП, згідно технічній специфікації, може досягати значення 22 В. Оскільки дана електростанція може функціонувати в похмуру погоду та також у темну пору доби, коли продуктивності СП недостатня, або взагалі відсутня, контролер ще має функцію відключення АКБ, при досягненні нижнього

порогового значення напруги при розряді. Це дозволить захистити АКБ від глибокого розряду та забезпечить збільшення терміну експлуатації.

Імпульсний перетворювач напруги (ІПН) призначений для формування змінної напруги з постійної 12 В, за допомогою якої буде функціонувати блок живлення (БЖ) ультразвукової пральної машини (УЗПМ).

Заряджання мобільного телефону (МТ) або інших пристроїв подібного типу здійснюється за допомогою знижувального DC-DC перетворювача, що буде формувати стабільну напругу 5В та з заданим номінальним струмом 2 А.

Водяний насос (ВН) живиться безпосередньо від лінії 12 В до якої під'єднана АКБ.

Контролер заряду, імпульсний перетворювач напруги та DC-DC перетворювач можна об'єднати в один функціональний блок та виконати на одній друкованій платі. Це дасть змогу помістити даний блок в єдиний корпус, який буде кріпитися до рами СП з задньої сторони, разом з АКБ, що в свою чергу дозволить зробити СМСЕ як монолітну конструкцію. Це в цілому підвищить експлуатаційні характеристики СМСЕ.

### 3.2. Вибір буферного накопичувача

В якості буферного накопичувача для СМСЕ буде використовуватися акумуляторна батарея (АКБ), що буде експлуатуватися в буферному режимі, тобто працюватиме в буфері з основним джерелом живлення, в якості якого виступає сонячна панель. Її основне призначення — резервне джерело живлення. При цьому період розряду АКБ не тривалий у порівнянні з періодом заряду. Оскільки АКБ являється резервним джерелом, то живлення від неї буде здійснюватися при недостатньому освітленні сонячної панелі, а також в темну пору доби.

Порівнюючи різні типи АКБ, можна скористатися такими показниками як щільністю енергії, тобто кількістю енергії на одиницю маси, ступенем саморозряду, терміном експлуатації та експлуатаційними витратами на обслуговування.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | РТ71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 25   |
| Зм. | Лист | № док.м. | Підпис | Дата |                    |      |

На теперішній час найбільш розповсюдженими і вживаними типами АКБ

є:

- нікель-кадмієві (NiCd);
- нікель-металгідридні (NiMH);
- свинцево-кислотні;
- літій-іонні (Li-ion);
- літій-полімерні (Li-pol).

В Таблица 3.2.1 представлені деякі порівняльні характеристики АКБ даних типів [2. с 10].

Таблица 3.2.1 — Порівняльні характеристики аккумуляторних батарей різних типів.

| Характеристики                                                               | Типы аккумуляторных батарей   |                               |                                |                                 |                                 |                                |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|                                                                              | NiCd                          | NiMH                          | Кислотные                      | Li-ion                          | Li-ion полимерные               | Перезаряж. щелочные            |
| Энергетическая плотность, Вт/кг                                              | 45...80                       | 60...120                      | 30...50                        | 110...160                       | 100...130                       | 80                             |
| Внутреннее сопротивление, мОм                                                | 100...200<br>(батарея на 6 В) | 200...300<br>(батарея на 6 В) | менее 100<br>(батарея на 12 В) | 150...250<br>(батарея на 7,2 В) | 200...300<br>(батарея на 7,2 В) | 200...2000<br>(батарея на 6 В) |
| Число циклов заряд/разряд до снижения емкости на 80 %                        | 1500                          | 300...500                     | 200...300                      | 500...1000                      | 300...500                       | 50 (при сниж. емк. на 50 %)    |
| Время быстрого заряда, ч                                                     | 1                             | 2...4                         | 8...16                         | 2...4                           | 2...4                           | 2...3                          |
| Допустимый перезаряд                                                         | средний                       | низкий                        | высокий                        | очень низкий                    | низкий                          | средний                        |
| Саморазряд за месяц при комнатной температуре, %                             | 20                            | 30                            | 5                              | 10                              | 10                              | 0,3                            |
| Напряжение на элементе, В                                                    | 1,25                          | 1,25                          | 2                              | 3,6                             | 3,6                             | 1,5                            |
| Ток нагрузки относительно емкости (С):<br>— пиковый<br>— наиболее приемлемый | 20С<br>1С                     | 5С<br>до 0,5с                 | 5С<br>0,2с                     | >2С<br>до 1С                    | >2С<br>до 1С                    | 0,5С<br>0,2с                   |
| Диапазон рабочих температур, °С                                              | -40...60                      | -20...60                      | -20...60                       | -20...60                        | 0...60                          | 0...65                         |
| Обслуживание через                                                           | 30...60 дн.                   | 60...90 дн.                   | 3...6 м-цев                    | не регл.                        | не регл.                        | не регл.                       |
| Начало производства                                                          | 1950                          | 1990                          | 1970                           | 1991                            | 1999                            | 1992                           |

Для застосування в подібних системах, найбільш поширеним видом АКБ являються свинцево-кислотні батареї і в даному випадку можна керуватися такими перевагами:

- дешевизна при перерахунку вартості 1 Вт·год до маси;
- дуже низький показник саморозряду;
- низькі вимоги до обслуговування (деякі види батарей взагалі не потребують обслуговування);
- відсутність «ефекту пам'яті»;
- відносно високі показники струму розряду.

В свою чергу вони також мають і недоліки:

- зменшення ємності і, як наслідок, вихід з ладу АКБ при зберіганні в розрядженому стані;
- мало підходять для застосування в мобільних установках, оскільки мають низьку енергетичну щільність і, відповідно, більшу масу;
- свинець, що використовується в цих АКБ та кислотний електроліт чинять негативний вплив на навколишнє середовище (при неправильній експлуатації або утилізації).

Акумулятори такого типу можна розділити на дві категорії:

- з рідким електролітом, які потребують обслуговування;
- без рідкого електроліту, які не потребують обслуговування.

До другої категорії відносяться акумулятори типу AGM, які містяться вставки абсорбенту зі скловолокна, що розміщуються між пластинами і виконують роль сполучного компонента для електроліту та GEL - акумулятори, що містять в собі електроліт у вигляді гелю (зазвичай використовується діоксид кремнію  $\text{SiO}_2$  — силікагель). Очевидно, що акумулятори у яких відсутній електроліт у рідкому вигляді, являються найбільш зручними і надійними для використання в подібних системах. Оскільки даний пристрій являється переносним, то відсутність рідкого електроліту в АКБ забезпечить транспортування та перенесення його без

|     |      |          |        |      |                    |            |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист<br>27 |
|     |      |          |        |      |                    |            |
| Зм. | Лист | № док-м. | Підпис | Дата |                    |            |

необхідності демонтажу самої АКБ. Такі батареї можуть працювати в будь-якому положенні без протікання електроліту.

AGM акумулятори, у порівнянні з гелевими, мають нижчу вартість. Також вони мають більш високі показники струму розряду.

Для визначення мінімально допустимої ємності буферної АКБ необхідно провести розрахунок споживання електроенергії усіма споживачами. При цьому будемо орієнтуватися на найгірший варіант, при якому похмура погода протягом дня не забезпечить надійного функціонування СП, та призведе до роботи споживачів від АКБ. При цьому необхідно забезпечити два цикли роботи ВН, один цикл роботи УЗПМ та можливість повного заряджання повністю розрядженого мобільного телефону (МТ) з батареєю ємністю 4000 мА·год.

Оскільки один цикл роботи ВН становить  $t_{\text{ВН}} = 1,083$  год, то потужність споживання за повних два цикли:

$$P_{\text{с.ВН}} = 2P_{\text{ВН}}t_{\text{ВН}} = 2 \cdot 18 \cdot 1,083 = 38,988 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

Для УЗПМ повний цикл одного прання становить  $t_{\text{ПМ}} = 1,5$  год і враховуючи ККД ІПН, який в найгіршому випадку може становити  $\eta_{\text{ІПН}} = 0,8$ , можна обчислити потужність споживання наступним чином:

$$P_{\text{с.ПМ}} = \frac{P_{\text{ПМ}}t_{\text{ПМ}}}{\eta_{\text{ІПН}}} = \frac{15 \cdot 1,5}{0,8} = 28,125 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

Для обчислення потужності споживання електроенергії мобільним телефоном під час зарядки, необхідно дослідити цикл заряду АКБ мобільного телефону від мережевого зарядного пристрою. Для цього необхідно використати стандартний зарядний пристрій (ЗП), що живиться від мережі змінного струму 220 В 50 Гц, та забезпечує на виході стабільну напругу 5В з допустимим струмом 2 А. Для дослідження параметрів необхідно скласти схему вимірювання струму споживання, що буде містити в своєму складі амперметр, увімкнений в коло між ЗП та мобільним телефоном, та вольтметр, для контролю за показниками напруги. Структурна схема представлена на Рисунок 3.2.1

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | РТ71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 28   |
| Зм. | Лист | № док.м. | Підпис | Дата |                    |      |

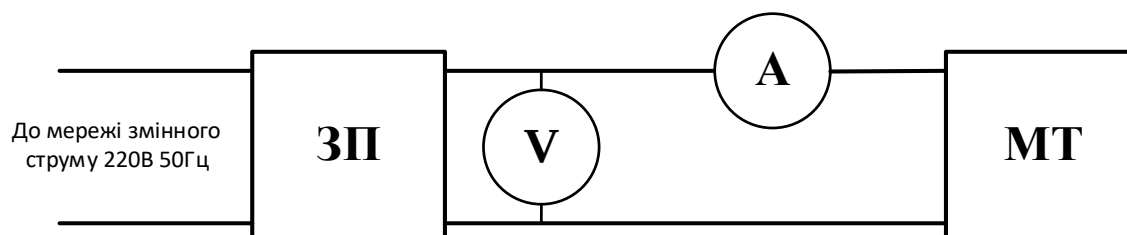


Рисунок 3.2.1 — Структурна схема зарядного стенду.

Контроль сили струму заряду було розпочато при рівні заряду АКБ 5% та закінчено при 100% рівні заряду. Контрольні показники сили струму були зняті через рівні проміжки часу, що дорівнюють  $t=10$  хв. Загальний час заряду склав 2 год 50 хв. Всі дані показників занесено до Таблиця 3.2.2

Таблиця 3.2.2 — Контрольні показники заряду АКБ.

| Номер<br>відліку, $i$ | Час фіксації<br>$t$ , хв | Ступінь<br>заряду, % | Струм<br>заряду $I$ , А | Напруга<br>заряду $U$ , В |
|-----------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1                     | 0                        | 5                    | 1,781                   | 5,19                      |
| 2                     | 10                       | 12                   | 1,781                   | 5,186                     |
| 3                     | 20                       | 19                   | 1,781                   | 5,187                     |
| 4                     | 30                       | 25                   | 1,781                   | 5,187                     |
| 5                     | 40                       | 32                   | 1,781                   | 5,187                     |
| 6                     | 50                       | 38                   | 1,781                   | 5,187                     |
| 7                     | 60                       | 45                   | 1,781                   | 5,19                      |
| 8                     | 70                       | 51                   | 1,736                   | 5,182                     |
| 9                     | 80                       | 58                   | 1,644                   | 5,188                     |
| 10                    | 90                       | 64                   | 1,547                   | 5,173                     |
| 11                    | 100                      | 69                   | 1,471                   | 5,152                     |
| 12                    | 110                      | 74                   | 1,344                   | 5,13                      |
| 13                    | 120                      | 79                   | 1,238                   | 5,114                     |
| 14                    | 130                      | 83                   | 1,151                   | 5,114                     |
| 15                    | 140                      | 87                   | 0,932                   | 5,111                     |
| 16                    | 150                      | 90                   | 0,574                   | 5,046                     |
| 17                    | 160                      | 92                   | 0,411                   | 5,0                       |

| Номер відліку, $i$ | Час фіксації $t$ , хв | Ступінь заряду, % | Струм заряду $I$ , А | Напруга заряду $U$ , В |
|--------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|------------------------|
| 18                 | 170                   | 100               | 0,034                | 5,0                    |

На графіку, що зображений на Рисунок 3.2.2 представлено графік потужності споживання в залежності від ступеня заряду АКБ телефону.

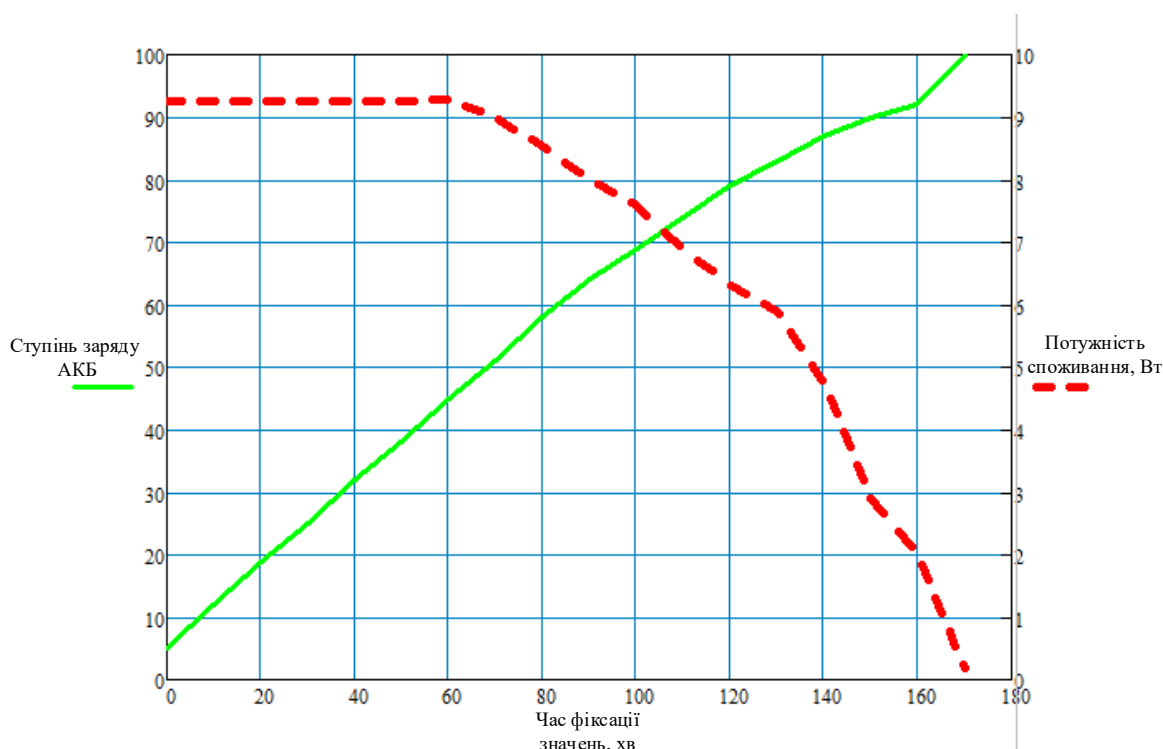


Рисунок 3.2.2 — Графік залежності потужності споживання від ступеня заряду.

Проаналізувавши отримані вище дані, можна встановити, що потужність споживання  $P_{с.з}$ , яку необхідно витратити для заряду АКБ мобільного телефону ємністю 4000 мА·год, враховуючи ККД DC-DC перетворювача, який в найгіршому випадку може бути  $\eta_{пер} = 0,8$ , становить:

$$P_{с.з} = \frac{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} (I_{i+1} \cdot U_{i+1} + I_i \cdot U_i) \cdot (t_{i+1} - t_i)}{60 \cdot \eta_{пер}} = 25,464 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

Отже, сумарна потужність, що буде споживатися від буферного накопичувача:

$$P_{АКБ} = P_{с.вн} + P_{с.пм} + P_3 = 38,988 + 28,125 + 25,464 = 92,576 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

Значення ємності АКБ можна обчислити наступним чином:

$$C_{\text{АКБ}} = \frac{P_{\text{сп}}}{U_{\text{н.акб}} \cdot k_{\epsilon}} = \frac{92,576}{12 \cdot 0,7} = 11,021 \text{ А} \cdot \text{год}$$

де  $U_{\text{н.акб}}$  — номінальне значення напруги АКБ,

$k_{\epsilon}$  — коефіцієнт використання ємності, який доцільно обрати рівним 0,7.

Значення коефіцієнту обрано таким, щоб забезпечити зменшення величини ступеня розряду, що дозволить уникнути глибокого розряду та збільшить кількість можливих циклів розряд/заряд АКБ. Це в свою чергу позитивно позначиться на термін експлуатації самої батареї.

Отримавши дані можна зробити висновок, що ємність буферного накопичувача для СМСЕ повинна становити 12 А·год. В якості буферного накопичувача можна обрати АКБ AGM типу моделі LogicPower AGM LPM 12 — 12 АН. На Рисунок 3.2.3 показано загальний вигляд такої батареї.



Рисунок 3.2.3 — Загальний вигляд АКБ.

|     |      |          |        |      |                    |            |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист<br>31 |
| Зм. | Лист | № док-м. | Підпис | Дата |                    |            |

В Таблиця 3.2.3 представлено основні характеристики АКБ

Таблиця 3.2.3

|                               |                                                                                                            |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Кількість ячеек               | 6                                                                                                          |
| Напруга                       | 12                                                                                                         |
| Ємність                       | 12 А*год при 20-год. розряді, 1.75 В/яч; при 25°C                                                          |
| Вага                          | 3.15 кг                                                                                                    |
| Максимальний струм розряду    | 180А (5 с)                                                                                                 |
| Внутрішній опір               | 19 mΩ                                                                                                      |
| Діапазон температур           | Розряд: -20~50°C<br>Заряд: -20~50°C<br>Зберігання: -20~50°C                                                |
| Оптимальна робоча температура | 25°C±5°C                                                                                                   |
| Напруга буферного заряду      | 13.50—13.80 В при 25°C                                                                                     |
| Максимальний струм заряду     | 3.6 А                                                                                                      |
| Напруга циклічного заряду     | 14.70—15.00 В при 25°C                                                                                     |
| Саморозряд                    | Батарея може зберігатися на протязі 6 місяців при 25°C. При температурах >25°C час зберігання скорочується |
| Клеми                         | T2                                                                                                         |
| Матеріал корпусу              | ABS(UL94-HB)                                                                                               |

Як видно з характеристик, даний тип акумулятора повністю задовольняє всім вимогам для використання в ролі буферного накопичувача для СМСЕ.

## 4 РОЗРАХУНОК БЛОКУ КОНТРОЛЮ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ НАПРУГИ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ МАЛОГАБАРИТНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Аналізуючи структурну схему СМСЕ в розділі 3.1. було прийнято рішення об'єднати всі електричні функціональні вузли в один блок та виконати на одній друкованій платі. До цього функціонального блоку буде входити:

- контролер напруги;
- імпульсний перетворювач напруги;
- DC-DC перетворювач.

Для зручності, нижче в підрозділах буде проведено електричний розрахунок усіх цих функціональних вузлів як окремих модулів.

### 4.1. Контролер напруги

Основне призначення даного функціонального вузла — контроль значення напруги, що поступає від СП на вхід АКБ, ІПН та DC-DC перетворювача. Одночасно цей модуль виступає в ролі контролера заряду АКБ. Під час заряду АКБ важливо правильно вибрати максимальну напругу заряду на кожному елементі батареї. Оскільки в буферному накопичувачі використовується АКБ свинцево-кислотного типу з номінальною напругою 12 В, то конструктивно він складається з шести елементів, що з'єднані послідовно. Основні рекомендації при заряджанні таких батарей — забезпечення типового значення напруги на кожному елементі 2,30...2,45 В. При цьому напруга заряду  $U_z$ , що буде прикладена до АКБ, становитиме 13,5...13,8 В. Це відповідає параметру напруги буферного заряду вибраного типу АКБ, що вказано в Таблиця 3.2.3. Рекомендації щодо сили зарядного струму, в загальному випадку, для АКБ такого типу — 0,1 від значення номінальної ємності. Вважаючи те, що батарея має ємність  $C_{акб} = 12 \text{ А} \cdot \text{год}$ , то номінальний струм заряду відповідно становить:

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | РТ71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 33   |
| Зм. | Лист | № док-м. | Підпис | Дата |                    |      |

$$I_3 = 0,1C_{\text{акб}} = 0,1 \cdot 12 = 1,2 \text{ А}$$

Оскільки СП в режимі максимальної потужності може віддавати струм, що дорівнює 1,15 А, то сила зарядного струму не буде перевищувати вказаного значення (а в більшості випадків буде значно меншою), що забезпечить оптимальний режим заряду АКБ.

В процесі експлуатації АКБ свинцево-кислотного типу необхідно також контролювати ступінь розряду самої батареї, оскільки дуже глибокий розряд призводить до сульфатації пластин. Це процес, при якому активна речовина, з яких складаються пластини акумулятора, вкривається шаром сірчанокиислого свинцю. В більшості випадків цей процес незворотній і за рахунок цього зменшується активна площа пластин, що призводить з часом до втрати ємності АКБ. Хоча свинцево-кислотні АКБ типу GEL або AGM менш схильні до впливу процесу сульфатації, у порівнянні з класичними видами свинцево-кислотних АКБ з рідким електролітом, необхідно в КН забезпечити функцію вимикання АКБ при досягненні певного нижнього порогового значення напруги на ньому. Для даного типу АКБ показником повного розряду є значення напруги на окремому елементі рівному 1,6 В [3, с.83], що для батареї з шести елементів становитиме  $U_{\min} = 9,6 \text{ В}$ .

У розділі 3.2 при обґрунтуванні вибору буферного накопичувача було отримано значення його ємності. При визначенні даного параметру було введено коефіцієнт використання ємності, що дорівнює  $k_e = 0,7$  і який вказує, на скільки буде використовуватись ємність АКБ. Враховуючи, що напруга повного заряду батареї становить  $U_{\max} = 13,2 \text{ В}$ , то мінімальне порогове значення напруги на АКБ  $U_{\text{пор}}$ , при якій повинен спрацювати КН, становить:

$$U_{\text{пор}} = (1 - k_e)(U_{\max} - U_{\min}) + U_{\min} = (1 - 0,7)(13,2 - 9,6) + 9,6 = 10,68 \text{ В}$$

Отже, проаналізувавши всі ці параметри, можна встановити наступні вимоги, які повинен забезпечувати КН:

— забезпечити постійну зарядну напругу на АКБ  $U_{\text{ном}} = 13,8 \text{ В}$ ;

|     |      |          |        |      |                    |            |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------------|
|     |      |          |        |      | РТ71.436121.001 ПЗ | Лист<br>34 |
|     |      |          |        |      |                    |            |
| Зм. | Лист | № док-м. | Підпис | Дата |                    |            |

— забезпечити вимкнення АКБ з кола живлення СМСЕ при досягненні мінімально допустимої порогової напруги  $U_{\text{пор}} = 10,68 \text{ В}$ ;

Реалізацію даного контролера можна здійснити за допомогою схеми, що представлена на Рисунок 4.1.1

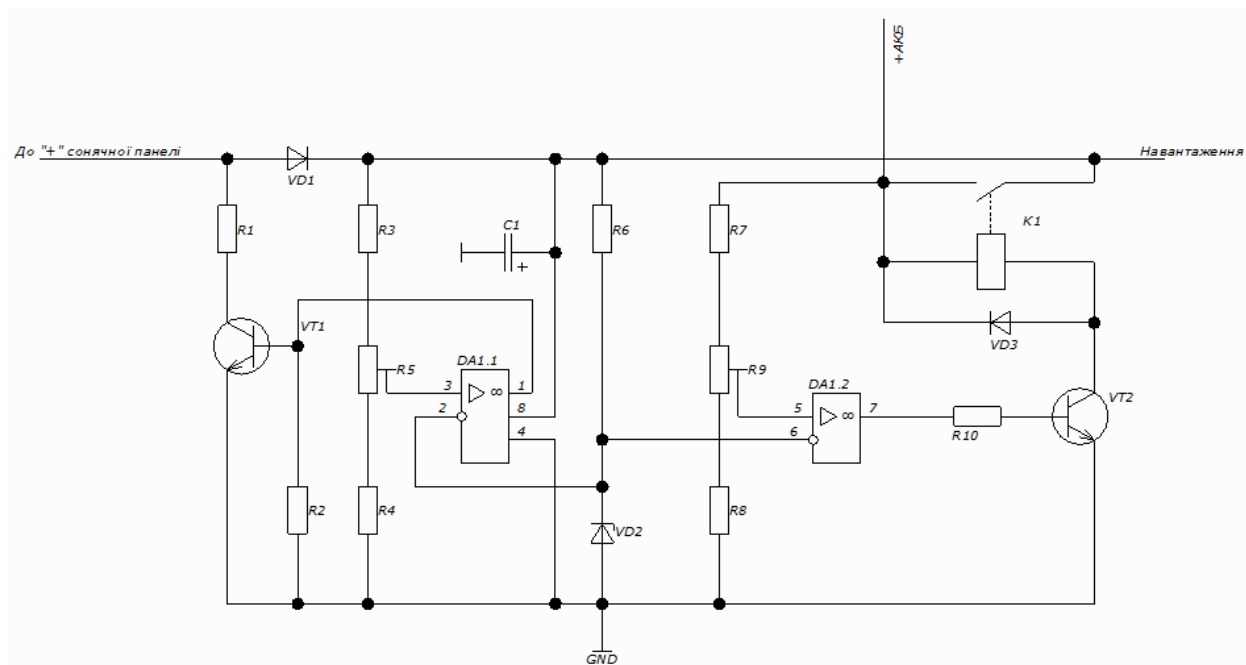


Рисунок 4.1.1— Схема електрична принципова контролера напруги.

В даній схемі відстежування постійної напруги заряду та мінімально допустимої порогової напруги АКБ здійснюється за допомогою двох компараторів. Резистор R6 та стабілітрон VD2 утворюють опорне джерело напруги зі значенням  $U_{\text{оп}} = 5 \text{ В}$ . Компаратор, побудований на мікросхемі DA1.1, під'єднаний інвертуючим входом до цього опорного джерела, а на неінвертуючому вході, через дільник, що побудований на резисторах R3 та R4, відбувається відстеження параметру номінальної напруги  $U_{\text{ном}}$ . Встановлення порогу спрацювання здійснюється за допомогою підстроювального резистора R5. Як тільки напруга на неінвертуючому вході стане вище встановленого значення, на виході компаратора з'явиться напруга, що буде відкривати транзистор VT1. При цьому струм, що надходить від СП, частково протікає через резистор R1, який в даному випадку відіграє роль навантаження. Це спричиняє падіння напруги в колі живлення АКБ до значення  $U_{\text{ном}} = 13,8 \text{ В}$ .

Діод VD1 повинен мати низьке значення падіння напруги при прямому включенні та призначений для розв'язки кола навантаження від кола живлення АКБ, що дозволяє уникнути розряду батареї через резистор R1.

Відстеження нижнього порогового значення напруги АКБ здійснюється за допомогою компаратора DA1.2. Компаратор порівнює значення опорної напруги, що поступає на інвертуючий вхід, з напругою, що утворюється на дільнику, побудованому на резисторах R7 та R8. Підстроювальним резистором R9 встановлюється рівень перемикання компаратора. За звичайних умов рівень напруги на неінвертуючому вході більший, ніж на неінвертуючому. При цьому на виході компаратора присутній рівень напруги, що відкриває транзистор VT2, який подає живлення на реле K1. При цьому контакти реле замкнуті і АКБ під'єднаний до загального кола. При падінні напруги на АКБ, коли значення  $U_{пор}$  стане нижче за 10,68 В, напруга на неінвертуючому вході стане нижче, ніж на інвертуючому, що в свою чергу змінить стан на виході компаратора і транзистор VT2 закриється. При цьому контакти реле K1 розімкнуться і АКБ від'єднається від загального кола живлення.

Діод VD3 вмикається паралельно обмотці реле та призначений для гасіння зворотного струму, що виникає в результаті ЕРС самоіндукції при зникненні струму в котушці реле, для запобігання виходу з ладу транзистора VT2.

#### **4.1.1 Електричні розрахунки контролера напруги**

Для початку необхідно провести розрахунок джерела опорної напруги. Це дозволить задатися умовами для розрахунку дільників та правильного вибору компаратора з необхідними характеристиками. За умовою, напруга опорного джерела повинна бути  $U_{ref} = 5$  В. Для забезпечення такої напруги можна використати опорний діод LM336Z–5.0. Його основні характеристики вказані в Таблиця 4.1.1.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | РТ71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 36   |
| Зм. | Лист | № док-м. | Підпис | Дата |                    |      |

Таблиця 4.1.1

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS <sup>(1)</sup>**

|                                            |             |    |
|--------------------------------------------|-------------|----|
| Reverse Current                            | 15          | mA |
| Forward Current                            | 10          | mA |
| Storage Temperature                        | -60 to +150 | °C |
| Operating Temperature Range <sup>(2)</sup> |             |    |
| LM136-5.0                                  | -55 to +150 | °C |
| LM236-5.0                                  | -25 to +85  | °C |
| LM336-5.0                                  | 0 to +70    | °C |
| Soldering Information                      |             |    |
| TO-92 Package (10 sec.)                    | 260         | °C |
| TO Package (10 sec.)                       | 300         | °C |
| SOIC Package                               |             |    |
| Vapor Phase (60 sec.)                      | 215         | °C |
| Infrared (15 sec.)                         | 220         | °C |

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

| Parameter                             | Conditions                                                                                                                  | LM136A-5.0/LM236A-5.0 |      |      | LM336B-5.0 |      |     | Units    |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------|------|------------|------|-----|----------|
|                                       |                                                                                                                             | Min                   | Typ  | Max  | Min        | Typ  | Max |          |
| Reverse Breakdown Voltage             | $T_A=25^{\circ}\text{C}$ , $I_R=1\text{ mA}$                                                                                |                       |      |      |            |      |     |          |
|                                       | LM136-5.0/LM236-5.0/LM336-5.0                                                                                               | 4.9                   | 5.00 | 5.1  | 4.8        | 5.00 | 5.2 | V        |
|                                       | LM136A-5.0/LM236A-5.0, LM336B-5.0                                                                                           | 4.95                  | 5.00 | 5.05 | 4.90       | 5.00 | 5.1 | V        |
| Reverse Breakdown Change With Current | $T_A=25^{\circ}\text{C}$ ,<br>$600\text{ }\mu\text{A} \leq I_R \leq 10\text{ mA}$                                           |                       | 6    | 12   |            | 6    | 20  | mV       |
| Reverse Dynamic Impedance             | $T_A=25^{\circ}\text{C}$ , $I_R=1\text{ mA}$ , $f=100\text{ Hz}$                                                            |                       | 0.6  | 1.2  |            | 0.6  | 2   | $\Omega$ |
| Temperature Stability <sup>(2)</sup>  | $V_R$ Adjusted 5.00V<br>$I_R=1\text{ mA}$ , (Figure 15)<br>$0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$ (LM336-5.0) |                       |      |      |            | 4    | 12  | mV       |

Як видно з представлених характеристик, даний діод має струм стабілізації  $I_{\text{CT}} = 10\text{ mA}$ . Напруга, що повинна падати на баластному резисторі R6, при мінімальній вхідній напрузі, становить:

$$U_{R6} = U_{\text{пор}} - U_{\text{ref}} = 10,68 - 5 = 5,68\text{ В}$$

Визначимо опір R6:

$$R6 = \frac{U_{R6}}{I_{\text{CT}}} = \frac{5,68}{0,01} = 568\text{ Ом}$$

З стандартного ряду E24 можна обрати номінал  $R6 = 560\text{ Ом}$

Потужність, що розсіюється на резисторі становить:

$$P_{R6} = I_{\text{CT}}^2 \cdot R6 = 0,01^2 \cdot 560 = 0,056\text{ Вт}$$

Навантаженням даного стабілізатора буде ОП, що в загальному випадку має дуже низький струм споживання, тому потужність резистора можна вибрати з стандартного ряду, округливши в більшу сторону, рівною  $P_{R6} = 0,125\text{ Вт}$ .

В якості мікросхеми DA1 доцільно обрати найбільш поширений здвоєний операційний підсилювач LM358 виробництва Texas Instrumental. Згідно характеристикам виробника, дана мікросхема може житися в широкому діапазоні напруги від 3 В до 32 В, що повністю задовольняє умовам по живленню, оскільки діапазон напруги, який буде присутній під час роботи СМСЕ, значно менший, та не виходить за ці рамки. Структурна схема даної ІМС представлена на Рисунок 4.1.2.

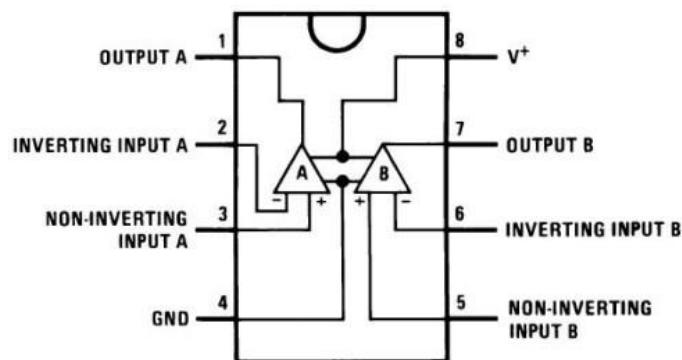


Рисунок 4.1.2 — Структурна схема LM358.

Деякі основні характеристики представлені в Таблиця 4.1.2

Таблиця 4.1.2

| PARAMETER                       | TEST CONDITIONS                                                                                            | LM358                                                                                                                          |     |             | LM2904 |     |             | UNIT                         |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|--------|-----|-------------|------------------------------|
|                                 |                                                                                                            | MIN                                                                                                                            | TYP | MAX         | MIN    | TYP | MAX         |                              |
| Input Offset Voltage            | See <sup>(2)</sup> , $T_A = 25^\circ\text{C}$                                                              |                                                                                                                                | 2   | 7           |        | 2   | 7           | mV                           |
| Input Bias Current              | $I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_{CM} = 0 \text{ V}$ , See <sup>(3)</sup> |                                                                                                                                | 45  | 250         |        | 45  | 250         | nA                           |
| Input Offset Current            | $I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$ , $V_{CM} = 0 \text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$                                |                                                                                                                                | 5   | 50          |        | 5   | 50          | nA                           |
| Input Common-Mode Voltage Range | $V^+ = 30 \text{ V}$ , See <sup>(4)</sup> (LM2904, $V^+ = 26 \text{ V}$ ), $T_A = 25^\circ\text{C}$        | 0                                                                                                                              |     | $V^+ - 1.5$ | 0      |     | $V^+ - 1.5$ | V                            |
| Supply Current                  | Over Full Temperature Range                                                                                |                                                                                                                                |     |             |        |     |             |                              |
|                                 | $R_L = \infty$ on All Op Amps                                                                              |                                                                                                                                |     |             |        |     |             |                              |
|                                 | $V^+ = 30 \text{ V}$ (LM2904 $V^+ = 26 \text{ V}$ )                                                        |                                                                                                                                | 1   | 2           |        | 1   | 2           | mA                           |
|                                 | $V^+ = 5 \text{ V}$                                                                                        |                                                                                                                                | 0.5 | 1.2         |        | 0.5 | 1.2         | mA                           |
| Large Signal Voltage            | $V^+ = 15 \text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$                                                            |                                                                                                                                |     |             |        |     |             |                              |
| Gain                            | $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$ , (For $V_O = 1 \text{ V}$ to $11 \text{ V}$ )                                | 25                                                                                                                             | 100 |             | 25     | 100 |             | V/mV                         |
| Common-Mode Rejection Ratio     | $T_A = 25^\circ\text{C}$                                                                                   | 65                                                                                                                             | 85  |             | 50     | 70  |             | dB                           |
|                                 | $V_{CM} = 0 \text{ V}$ to $V^+ - 1.5 \text{ V}$                                                            |                                                                                                                                |     |             |        |     |             |                              |
| Power Supply Rejection Ratio    | $V^+ = 5 \text{ V}$ to $30 \text{ V}$                                                                      | 65                                                                                                                             | 100 |             | 50     | 100 |             | dB                           |
|                                 | (LM2904, $V^+ = 5 \text{ V}$ to $26 \text{ V}$ ), $T_A = 25^\circ\text{C}$                                 |                                                                                                                                |     |             |        |     |             |                              |
| Amplifier-to-Amplifier Coupling | $f = 1 \text{ kHz}$ to $20 \text{ kHz}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Input Referred), See <sup>(5)</sup>    | -120                                                                                                                           |     |             | -120   |     |             | dB                           |
| Output Current                  | Source                                                                                                     | $V_{IN}^+ = 1 \text{ V}$ , $V_{IN}^- = 0 \text{ V}$ , $V^+ = 15 \text{ V}$ , $V_O = 2 \text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$    |     | 20          | 40     | 20  | 40          | mA                           |
|                                 |                                                                                                            | $V_{IN}^- = 1 \text{ V}$ , $V_{IN}^+ = 0 \text{ V}$ , $V^+ = 15 \text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_O = 2 \text{ V}$    |     | 10          | 20     | 10  | 20          | mA                           |
|                                 |                                                                                                            | $V_{IN}^- = 1 \text{ V}$ , $V_{IN}^+ = 0 \text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_O = 200 \text{ mV}$ , $V^+ = 15 \text{ V}$ |     | 12          | 50     | 12  | 50          | $\mu\text{A}$                |
|                                 |                                                                                                            | $T_A = 25^\circ\text{C}$ , See <sup>(6)</sup> , $V^+ = 15 \text{ V}$                                                           |     | 40          | 60     | 40  | 60          | mA                           |
|                                 |                                                                                                            | See <sup>(2)</sup>                                                                                                             |     |             |        |     | 10          | mV                           |
|                                 | Sink                                                                                                       | $R_S = 0 \Omega$                                                                                                               |     | 7           |        | 7   |             | $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ |
|                                 |                                                                                                            | $I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$                                                                                                        |     |             | 150    | 45  | 200         | nA                           |
|                                 |                                                                                                            | $R_S = 0 \Omega$                                                                                                               |     | 10          |        | 10  |             | $\text{pA}/^\circ\text{C}$   |
|                                 |                                                                                                            | $I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$                                                                                              |     | 40          | 500    | 40  | 500         | nA                           |
|                                 |                                                                                                            | $T_A = 25^\circ\text{C}$ , See <sup>(6)</sup> , $V^+ = 15 \text{ V}$                                                           |     | 40          | 60     | 40  | 60          | mA                           |

Для розрахунку опорів дільника компаратора DA1.1 необхідно знайти максимальний струм на його вході за допомогою параметрів Input Bias Current max ( $I_{bc}$ ) та Input Offset Current max ( $I_{oc}$ ), обчисливши їх суму:

$$I_{in.1} = I_{bc} + I_{oc} = 200 \cdot 10^{-9} + 500 \cdot 10^{-9} = 700 \cdot 10^{-9} \text{ А}$$

Через резистивний дільник повинен протікати струм, що на порядок більший за отримане значення, який можна обрати в 10 разів більшим  $I_{in.1} = 7 \cdot 10^{-6} \text{ А}$ . Сума номіналів резисторів дільника повинна бути менше:

$$(R3 + R4) < \frac{U_{BX}}{I_{in.1}} = \frac{13,8}{7 \cdot 10^{-6}} = 1,97 \cdot 10^6 \text{ Ом}$$

Враховуючи те, що на неінвертуючому вході повинна бути напруга близька до  $U_{ref}$ , то можна визначити, що:

$$R3 = \frac{U_{BX} - U_{ref}}{I_{in.1}} = \frac{13,8 - 5}{7 \cdot 10^{-6}} = 1,257 \cdot 10^6 \text{ Ом}$$

$$R4 = \frac{U_{ref}}{I_{in.1}} = \frac{5}{7 \cdot 10^{-6}} = 714,3 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

У відповідності до номінального ряду E24 опори резисторів можна обрати:

$$R3 = 1,2 \text{ МОм}$$

$$R4 = 680 \text{ кОм}$$

Потужність, яка буде виділятися на кожному з цих резисторів:

$$P_{R3} = I_{in.1}^2 \cdot R3 = (7 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 1,2 \cdot 10^6 = 58,8 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}$$

$$P_{R4} = I_{in.1}^2 \cdot R4 = (7 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 680 \cdot 10^3 = 33,32 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}$$

Отже потужність даних резисторів можна обрати рівною 0,125 Вт

Для можливості регулювання порогу спрацювання компаратора у дільнику між резисторами R3 та R4 необхідно ввести підстроювальний резистор R5 з номіналом 100 кОм.

Для розрахунку опорів дільника компаратора DA1.2 аналогічним чином необхідно знайти максимальний струм на його вході за допомогою параметрів Input Bias Current max ( $I_{bc}$ ) та Input Offset Current max ( $I_{oc}$ ), обчисливши їх суму:

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 39   |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

$$I_{in.1} = I_{bc} + I_{oc} = 200 \cdot 10^{-9} + 500 \cdot 10^{-9} = 700 \cdot 10^{-9} \text{ А}$$

Через резистивний дільник повинен протікати струм, що на порядок більший за отримане значення, який можна обрати в 10 разів більшим  $I_{in.1} = 7 \cdot 10^{-6} \text{ А}$ . Сума номіналів резисторів дільника повинна бути менше:

$$(R7 + R8) < \frac{U_{пор}}{I_{in.1}} = \frac{10,68}{7 \cdot 10^{-6}} = 1,526 \cdot 10^6 \text{ Ом}$$

Враховуючи те, що на неінвертуючому вході повинна бути напруга близька до  $U_{ref}$ , то можна визначити, що:

$$R7 = \frac{U_{пор} - U_{ref}}{I_{in.1}} = \frac{10,68 - 5}{7 \cdot 10^{-6}} = 811 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$R8 = \frac{U_{ref}}{I_{in.1}} = \frac{5}{7 \cdot 10^{-6}} = 714,3 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

У відповідності до номінального ряду E24 опори резисторів можна обрати:

$$R7 = 750 \text{ кОм}$$

$$R8 = 680 \text{ кОм}$$

Потужність, яка буде виділятися на кожному з цих резисторів:

$$P_{R7} = I_{in.1}^2 \cdot R7 = (7 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 750 \cdot 10^3 = 3,67 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}$$

$$P_{R8} = I_{in.1}^2 \cdot R8 = (7 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 680 \cdot 10^3 = 33,32 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}$$

Отже потужність даних резисторів можна обрати рівною 0,125 Вт

Для можливості регулювання порогу спрацювання компаратора у дільнику між резисторами R7 та R8 необхідно ввести підстроювальний резистор R9 з номіналом 100 кОм.

Резистор R1 являється частковим навантаженням для сонячної панелі і на ньому буде падати частина напруги. Номінал даного резистора можна обрати рівним 3 Ом. Можна вважати, що максимальний струм, який буде протікати через нього — це максимальний струм, що може віддати сонячна панель в режимі максимальної потужності і дорівнює  $I_{сп} = 1,15 \text{ А}$ . Тоді потужність, що буде виділятися на ньому, становить:

$$P_{R1} = I_{сп}^2 \cdot R1 = 1,15^2 \cdot 3 = 3,967 \text{ Вт}$$

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 40   |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Потужність з стандартного номінального ряду для R1 можна обрати рівною 5 Вт.

Транзистор VT1 повинен забезпечувати протікання струму колектора  $I_C > 1,15$  А та вважаючи те, що максимальний струм на виході ОП LM358  $I_O = 20$  мА, то коефіцієнт  $\beta_{VT1}$  повинен бути не менше ніж:

$$\beta_{VT1} = \frac{I_C}{I_O} = \frac{1,15}{0,02} = 57,5$$

В якості силового транзистора доцільно обрати транзистор Дарлінгтона TIP140, оскільки серед звичайних потужних біполярних транзисторів досить складно підібрати транзистор з великим коефіцієнтом  $\beta$ . Основні характеристики транзистора TIP140 наведено в Таблиця 4.1.3

Таблиця 4.1.3 — Характеристики транзистора TIP140

| Rating                                                | Symbol         | TIP140<br>TIP145 | TIP141<br>TIP146 | TIP142<br>TIP147 | Unit             |
|-------------------------------------------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Collector – Emitter Voltage                           | $V_{CEO}$      | 60               | 80               | 100              | Vdc              |
| Collector – Base Voltage                              | $V_{CB}$       | 60               | 80               | 100              | Vdc              |
| Emitter – Base Voltage                                | $V_{EB}$       | 5.0              |                  |                  | Vdc              |
| Collector Current<br>– Continuous<br>– Peak (Note 1)  | $I_C$          | 10<br>15         |                  |                  | Adc              |
| Base Current – Continuous                             | $I_B$          | 0.5              |                  |                  | Adc              |
| Total Power Dissipation<br>@ $T_C = 25^\circ\text{C}$ | $P_D$          | 125              |                  |                  | W                |
| Operating and Storage<br>Junction Temperature Range   | $T_J, T_{stg}$ | –65 to +150      |                  |                  | $^\circ\text{C}$ |

#### THERMAL CHARACTERISTICS

| Characteristic                             | Symbol          | Max  | Unit               |
|--------------------------------------------|-----------------|------|--------------------|
| Thermal Resistance,<br>Junction-to-Case    | $R_{\theta JC}$ | 1.0  | $^\circ\text{C/W}$ |
| Thermal Resistance,<br>Junction-to-Ambient | $R_{\theta JA}$ | 35.7 | $^\circ\text{C/W}$ |

Як видно з представлених характеристик, параметри транзистора відповідають по допустимій напрузі колектор-емітер та максимально допустимому струмі колектора.

Оскільки даний транзистор буде керувати навантаженням, необхідно також визначити, яка потужність буде розсіюватись на ньому при максимально можливому струмі

Нижче, на Рисунок 4.1.3, представлено графік характеристик, за допомогою якого можна визначити потужність, що буде розсіюватися на транзисторі.

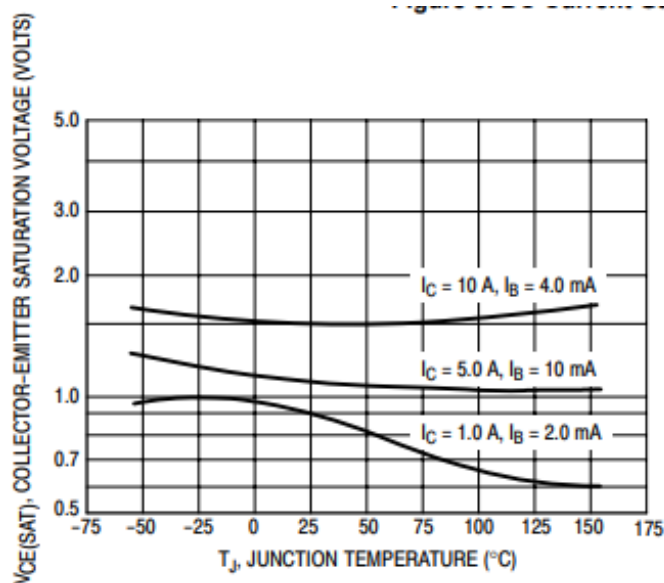


Рисунок 4.1.3 — Сімейство характеристик транзистора TIP140 які вказують на параметр  $V_{CE(sat)}$ .

Аналізуючи даний графік можна вибрати значення, що при  $I_B = I_o = 0,02$  мА та струмі, що протікатиме через колектор рівному  $I_C = 1,15$  А, параметр  $V_{CE(sat)} = 1$  В. При цьому потужність, що буде розсіюватись на транзисторі:

$$P_{D.VT1} = V_{CE(sat)} \cdot I_C = 1 \cdot 1,15 = 1,15 \text{ Вт}$$

Враховуючи те, що параметр теплового опору транзистора кристал-повітря  $R_{\theta JA} = 35,7$  °C/W, то при такій потужності температура кристалу транзистора становитиме:

$$t_{VT1} = R_{\theta JA} \cdot P_{D.VT1} = 35,7 \cdot 1,15 = 41,055 \text{ °C}$$

Отримана в результаті розрахунку температура значно нижча максимально допустимої, що дозволяє використовувати транзистор без його встановлення на додатковий радіатор, що в свою чергу дозволить мінімізувати розміри корпусу самого блоку.

Резистор R2, що ввімкнений в коло бази забезпечує «підтяжку» бази транзистора VT1 до від'ємного потенціалу. Він забезпечує захист від завад, що

|     |      |          |        |      |                    |            |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист<br>42 |
| Зм. | Лист | № док.м. | Підпис | Дата |                    |            |

можуть виникнути в колі бази, а також у випадках, коли на виході компаратора DA1.1 може виникнути невизначений стан. Його значення можна прийняти рівним 1 кОм. При спрацюванні компаратора та подачі керуючого сигналу на базу транзистора, через цей резистор буде частково протікати струм. Але враховуючи те, що транзистор Дарлінгтона має досить високе значення коефіцієнта підсилення (мінімальне значення  $\beta=500$ ), це не буде впливати на функціональність і транзистор, при подачі керуючого сигналу буде повністю відкритий.

Діод VD1 необхідно обрати з максимально допустимим прямим струмом не менше 2А та з низьким падінням напруги на переході. В даному випадку доцільно обрати діод Шоткі SR240L, оскільки діоди такого типу мають досить низьке значення падіння напруги на переході. В Таблиця 4.1.4 вказано основні характеристики.

Таблиця 4.1.4

■ **Maximum Ratings** ( $T_a=25^\circ\text{C}$  Unless otherwise specified)

| PARAMETER                                                                                       | SYMBOL    | UNIT             | SR240L     | SR260L     | SR2100L |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------|------------|------------|---------|
| Device marking code                                                                             |           |                  | SR240L     | SR260L     | SR2100L |
| Repetitive Peak Reverse Voltage                                                                 | $V_{RRM}$ | V                | 40         | 60         | 100     |
| Average Rectified Output Current<br>@60Hz sine wave, Resistance load, $T_a$ (FIG.1)             | $I_O$     | A                | 2.0        |            |         |
| Forward Surge Current (Non-repetitive)<br>@60Hz Half-sine wave, 1 cycle, $T_a=25^\circ\text{C}$ | $I_{FSM}$ | A                | 35         |            |         |
| Storage Temperature                                                                             | $T_{stg}$ | $^\circ\text{C}$ | -55 ~ +150 |            |         |
| Junction Temperature                                                                            | $T_j$     | $^\circ\text{C}$ | -55 ~ +125 | -55 ~ +150 |         |

■ **Electrical Characteristics** ( $T_a=25^\circ\text{C}$  Unless otherwise specified)

| PARAMETER                                                         | SYMBOL | UNIT | TEST CONDITIONS         | SR240L | SR260L | SR2100L |
|-------------------------------------------------------------------|--------|------|-------------------------|--------|--------|---------|
| Maximum instantaneous forward voltage drop per diode              | $V_f$  | V    | $I_{FM}=2.0\text{A}$    | 0.45   | 0.48   | 0.75    |
| Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage per diode | $I_R$  | mA   | $T_a=25^\circ\text{C}$  | 0.2    |        |         |
|                                                                   |        |      | $T_a=100^\circ\text{C}$ | 20     |        |         |
| Typical junction capacitance <sup>(1)</sup>                       | $C_j$  | pF   |                         | 120    | 110    | 80      |

Потужність, що буде розсіюватися на даному діоді, при максимально можливому струмі, становить:

$$P_{VD1} = I_{max} V_f = 1,15 \cdot 0,45 = 0,517 \text{ Вт}$$

Враховуючи те, що параметр  $R_{\theta JA} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$ , при такій потужності розсіювання температура переходу становитиме:

$$t_{VD1} = R_{\theta JA} \cdot P_{D.VT1} = 45 \cdot 0,517 = 23,28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Для визначення параметрів транзистора VT2, необхідно в першу чергу встановити характеристики реле K1. Реле повинно мати одну пару нормально розімкнутих контактів та бути розраховане на комутацію струму, який буде споживатися найпотужнішим споживачем. У розділі «Аналіз технічного завдання» було встановлено, що цим споживачем являється водяний насос, що має потужність  $P_{BH} = 18 \text{ Вт}$ . При номінальній напрузі  $U_{ном} = 12 \text{ В}$ , струм споживання становитиме:

$$I_{BH} = \frac{P_{BH}}{U_{ном}} = \frac{18}{12} = 1,5 \text{ А}$$

Для застосування в даному КН можна обрати реле підвищеної чутливості BSC-SS-112L, що має характеристики, вказані в Таблиця 4.1.5

Таблиця 4.1.5

| Coil Sensitivity | Nominal Voltage (VDC) | Nominal Current (mA) | Coil Resistance (±8%) | Power Consumption (W) | Pull-In Voltage (VDC) | Drop-Out Voltage (VDC) | Maximum Allowable Voltage (VDC) |
|------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|
| BSC-D<br>BSC-DM  | 3                     | 66.7                 | 45                    | Abt. 0.2              | 75%<br>Maximum        | 10%<br>Minimum         | 130%                            |
|                  | 5                     | 40                   | 125                   |                       |                       |                        |                                 |
|                  | 6                     | 33.7                 | 180                   |                       |                       |                        |                                 |
|                  | 9                     | 22.5                 | 400                   |                       |                       |                        |                                 |
|                  | 12                    | 16.7                 | 720                   |                       |                       |                        |                                 |
| 24               | 8.3                   | 2880                 | Abt. 0.15             |                       |                       |                        |                                 |
| BSC-L<br>BSC-LM  | 3                     | 50                   |                       | 60                    |                       |                        |                                 |
|                  | 5                     | 29.9                 |                       | 167                   |                       |                        |                                 |
|                  | 6                     | 25                   |                       | 240                   |                       |                        |                                 |
|                  | 9                     | 16.7                 |                       | 540                   |                       |                        |                                 |
|                  | 12                    | 12.5                 |                       | 960                   |                       |                        |                                 |
|                  | 24                    | 6.3                  | 3840                  |                       |                       |                        |                                 |

Як видно з вказаних характеристик, реле може комутувати струм до 2 А та має номінальну робочу напругу 12 В. Також важливим параметром даного реле є те, що воно може працювати при напрузі живлення, що перевищує номінальну на 130%.

Номінальний струм для даного реле становить  $I_{ном.K1} = 0,0125 \text{ А}$ , тому транзистор, що буде керувати даним реле, повинен бути розрахований на

комутацію такого струму, та задовольняти по параметрам напруги. В якості керуючого можна обрати малопотужний транзистор широкого застосування 2N5551, основні електричні характеристики якого вказано в Таблиця 4.1.6

Таблиця 4.1.6

| Characteristic                                                                                                                                                                                                                                                           | Symbol        | Min                                      | Max                                    | Unit                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|
| <b>OFF CHARACTERISTICS</b>                                                                                                                                                                                                                                               |               |                                          |                                        |                                 |
| Collector–Emitter Breakdown Voltage (Note 1)<br>( $I_C = 1.0 \text{ mAdc}$ , $I_B = 0$ )                                                                                                                                                                                 | $V_{(BR)CEO}$ | 140<br>160                               | –<br>–                                 | Vdc                             |
| Collector–Base Breakdown Voltage<br>( $I_C = 100 \text{ } \mu\text{Adc}$ , $I_E = 0$ )                                                                                                                                                                                   | $V_{(BR)CBO}$ | 160<br>180                               | –<br>–                                 | Vdc                             |
| Emitter–Base Breakdown Voltage<br>( $I_E = 10 \text{ } \mu\text{Adc}$ , $I_C = 0$ )                                                                                                                                                                                      | $V_{(BR)EBO}$ | 6.0                                      | –                                      | Vdc                             |
| Collector Cutoff Current<br>( $V_{CB} = 100 \text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ )<br>( $V_{CB} = 120 \text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ )<br>( $V_{CB} = 100 \text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $T_A = 100^\circ\text{C}$ )<br>( $V_{CB} = 120 \text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $T_A = 100^\circ\text{C}$ ) | $I_{CBO}$     | –<br>–<br>–<br>–                         | 100<br>50<br>100<br>50                 | nAdc<br><br><br>$\mu\text{Adc}$ |
| Emitter Cutoff Current<br>( $V_{EB} = 4.0 \text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ )                                                                                                                                                                                                     | $I_{EBO}$     | –                                        | 50                                     | nAdc                            |
| <b>ON CHARACTERISTICS (Note 1)</b>                                                                                                                                                                                                                                       |               |                                          |                                        |                                 |
| DC Current Gain<br>( $I_C = 1.0 \text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}$ )<br><br>( $I_C = 10 \text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}$ )<br><br>( $I_C = 50 \text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}$ )                                                             | $h_{FE}$      | 60<br>80<br><br>60<br>80<br><br>20<br>30 | –<br>–<br><br>250<br>250<br><br>–<br>– | –                               |
| Collector–Emitter Saturation Voltage<br>( $I_C = 10 \text{ mAdc}$ , $I_B = 1.0 \text{ mAdc}$ )<br><br>( $I_C = 50 \text{ mAdc}$ , $I_B = 5.0 \text{ mAdc}$ )                                                                                                             | $V_{CE(sat)}$ | –<br>–<br>–                              | 0.15<br><br>0.25<br>0.20               | Vdc                             |
| Base–Emitter Saturation Voltage<br>( $I_C = 10 \text{ mAdc}$ , $I_B = 1.0 \text{ mAdc}$ )<br><br>( $I_C = 50 \text{ mAdc}$ , $I_B = 5.0 \text{ mAdc}$ )                                                                                                                  | $V_{BE(sat)}$ | –<br>–<br>–                              | 1.0<br><br>1.2<br>1.0                  | Vdc                             |

Для спрацювання реле необхідно забезпечити протікання через колектор транзистора струму, величиною 20 мА. При цьому струм бази транзистора повинен становити:

$$I_6 = \frac{I_c}{\beta} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{80} = 250 \text{ мкА}$$

Значення струмообмежуючого резистора R10 складатиме:

$$R_{10} = \frac{U_{\text{пор}} - 0,78}{I_6} = \frac{10,68 - 0,78}{250 \cdot 10^{-6}} = 39600 \text{ Ом}$$

Номінал R10 можна прийняти рівним 39 кОм.

|     |      |          |        |      |                    |            |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист<br>45 |
|     |      |          |        |      |                    |            |
| Зм. | Лист | № докum. | Підпис | Дата |                    |            |

Діод VD3 увімкнений паралельно обмотці реле та призначений для гасіння струму самоіндукції під час відключення реле, що в свою чергу створює захист для транзистора VT2. Діод повинен бути розрахований на протікання струму більш ніж 12 мА (максимальний робочий струм через реле). Оскільки струм має невелике значення, то в якості шунтуючого діода можна використати любий малопотужний випрямний діод, наприклад діод широкого застосування 1N4007, характеристики якого вказано в Таблиці 4.1.7

Таблиця 4.1.7

|                                                                                                 |                                                                                  |                                                           |                |                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------|
| Max. average forward rectified current, R-load<br>Dauergrenzstrom in Einwegschaltung mit R-Last |                                                                                  | $T_A = 75^{\circ}\text{C}$<br>$T_A = 100^{\circ}\text{C}$ | $I_{FAV}$      | $1\text{ A}^{1)}$<br>$0.8\text{ A}^{2)}$                     |
| Repetitive peak forward current – Periodischer Spitzenstrom                                     | $f > 15\text{ Hz}$                                                               | $T_A = 75^{\circ}\text{C}$                                | $I_{FRM}$      | $5.4\text{ A}^{3)}$                                          |
| Peak forward surge current<br>Stoßstrom in Fluss-Richtung                                       | Half sine-wave<br>Sinus-Halbwelle                                                | 50 Hz (10 ms)<br>60 Hz (8.3 ms)                           | $I_{FSM}$      | 27 A<br>30 A                                                 |
| Rating for fusing – Grenzlasterintegral                                                         |                                                                                  | $t < 10\text{ ms}$                                        | $i^2t$         | $3.6\text{ A}^2\text{s}$                                     |
| Junction temperature – Sperrschichttemperatur<br>Storage temperature – Lagerungstemperatur      |                                                                                  |                                                           | $T_J$<br>$T_S$ | $-50...+175^{\circ}\text{C}$<br>$-50...+175^{\circ}\text{C}$ |
| Forward voltage – Durchlass-Spannung                                                            | $T_J = 25^{\circ}\text{C}$                                                       | $I_F = 1\text{ A}$                                        | $V_F$          | $< 1.1\text{ V}$                                             |
| Leakage current<br>Sperrstrom                                                                   | $T_J = 25^{\circ}\text{C}$<br>$T_J = 100^{\circ}\text{C}$                        | $V_R = V_{RRM}$                                           | $I_R$          | $< 5\text{ }\mu\text{A}$<br>$< 50\text{ }\mu\text{A}$        |
| Typical junction capacitance<br>Typische Sperrschichtkapazität                                  |                                                                                  | $V_R = 4\text{ V}$                                        | $C_J$          | 15 pF                                                        |
| Reverse recovery time<br>Sperrverzögerung                                                       | $I_F = 0.5\text{ A}$ through/über<br>$I_R = 1\text{ A}$ to $I_R = 0.25\text{ A}$ |                                                           | $t_{rr}$       | typ. 1500 ns                                                 |
| Thermal resistance junction to ambient<br>Wärmewiderstand Sperrschicht – Umgebung               |                                                                                  |                                                           | $R_{thA}$      | $< 45\text{ K/W}^{1)}$                                       |
| Thermal resistance junction to leads<br>Wärmewiderstand Sperrschicht – Anschlussdraht           |                                                                                  |                                                           | $R_{thL}$      | $< 15\text{ K/W}$                                            |

Як видно з вказаних даних, діод за своїми параметрами повністю відповідає умовам використання.

## 4.2. Імпульсний перетворювач напруги

Призначення даного функціонального вузла — формування змінної напруги прямокутної форми з номінальним значенням 310 В, для живлення ультразвукової пральної машини. Враховуючи те, що на вході ППН будуть присутні коливання напруги (від 10,68 В до 13,8 В), викликані різними режимами живлення (СП чи АКБ), необхідно забезпечити стабілізацію напруги на виході.

Реалізацію даного ІПН можна виконати за схемою, представленою на Рисунок 4.2.1

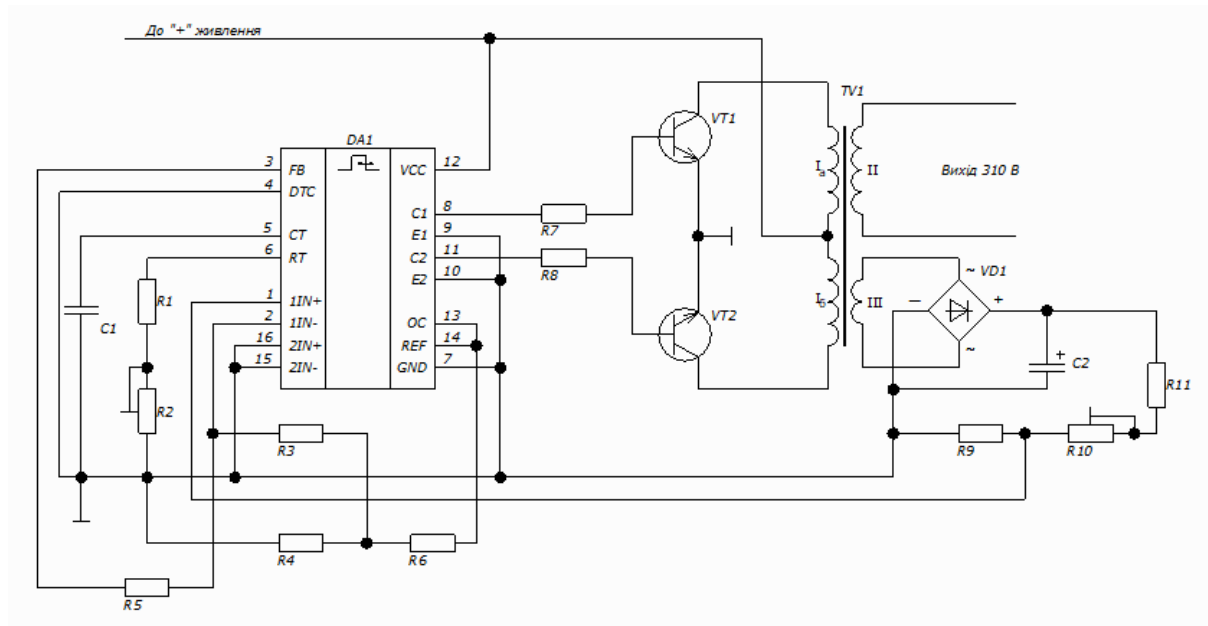


Рисунок 4.2.1 — Схема електрична принципова імпульсного перетворювача напруги.

Схема побудована за топологією push-pull і у ній використовується спеціалізована мікросхема ШІМ-контролера, що керує силовими ключами. Оскільки на виході ІПН є підвищена напруга, то коло зворотного зв'язку, що використовується для стабілізації напруги ІПН, має гальванічну розв'язку з входом керування ШІМ-контролера. Для цього в трансформаторі використовується додаткова малопотужна обмотка зв'язку

#### 4.2.1 Електричні розрахунки імпульсного перетворювача напруги

Для забезпечення умов правильної роботи ІПН необхідно обрати відповідний ШІМ-контролер, що буде задовольняти наступним умовам:

- забезпечити функціонування блоку при діапазоні напруги живлення 10,68...13,8 В;
- забезпечення роботи ключових транзисторів в двотактному режимі;
- здатність працювати на якомога меншій частоті генерації;
- містити в своїй схемі вхід зворотного зв'язку, для забезпечення стабілізації напруги на виході.

В якості мікросхеми контролера для ІПН доцільно обрати ШІМ-контролер TL494C, основні характеристики якого представлені в Таблиця 4.2.1

Таблиця 4.2.1

|                  |                                            |        | MIN  | MAX                 | UNIT |
|------------------|--------------------------------------------|--------|------|---------------------|------|
| V <sub>CC</sub>  | Supply voltage                             |        | 7    | 40                  | V    |
| V <sub>I</sub>   | Amplifier input voltage                    |        | -0.3 | V <sub>CC</sub> - 2 | V    |
| V <sub>O</sub>   | Collector output voltage                   |        |      | 40                  | V    |
|                  | Collector output current (each transistor) |        |      | 200                 | mA   |
|                  | Current into feedback terminal             |        |      | 0.3                 | mA   |
| f <sub>OSC</sub> | Oscillator frequency                       |        | 1    | 300                 | kHz  |
| C <sub>T</sub>   | Timing capacitor                           |        | 0.47 | 10000               | nF   |
| R <sub>T</sub>   | Timing resistor                            |        | 1.8  | 500                 | kΩ   |
| T <sub>A</sub>   | Operating free-air temperature             | TL494C | 0    | 70                  | °C   |
|                  |                                            | TL494I | -40  | 85                  |      |

| PARAMETER                                   | TEST CONDITIONS <sup>(1)</sup> | TL494C, TL494I |                    |      | UNIT |
|---------------------------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------|------|------|
|                                             |                                | MIN            | TYP <sup>(2)</sup> | MAX  |      |
| Output voltage (REF)                        | I <sub>O</sub> = 1 mA          | 4.75           | 5                  | 5.25 | V    |
| Input regulation                            | V <sub>CC</sub> = 7 V to 40 V  |                | 2                  | 25   | mV   |
| Output regulation                           | I <sub>O</sub> = 1 mA to 10 mA |                | 1                  | 15   | mV   |
| Output voltage change with temperature      | ΔT <sub>A</sub> = MIN to MAX   |                | 2                  | 10   | mV/V |
| Short-circuit output current <sup>(3)</sup> | REF = 0 V                      |                | 25                 |      | mA   |

Як видно з технічної специфікації на даний ШІМ-контролер, його характеристики повністю відповідають заданим умовам.

Для забезпечення функціонування блоку живлення УЗПМ в ІПН необхідно встановити мінімально допустиму частоту генерації, що для даного ШІМ-контролера становить 1000 Гц. Частота генератора встановлюється за допомогою зміни ємності C1 та опору R1, які відповідно під'єднані до виводів C<sub>T</sub> та R<sub>T</sub> ШІМ-контролера. Користуючись номограмою, що представлена на Рисунку 4.2.2 оберемо значення  $C_{T.const} = 0,1 \mu F$ . Для розрахунку необхідно скористатися формулою, що наведена в технічній специфікації. Для двотактного режиму роботи ШІМ-контролера частота генератора  $f_r$  обчислюється за формулою:

$$f_r = \frac{1}{2R_1C_1},$$

тоді

$$R_1 = \frac{1}{2C_1f_r} = \frac{1}{2 \cdot 100 \cdot 10^{-9} \cdot 1000} = 5000 \text{ Ом}$$

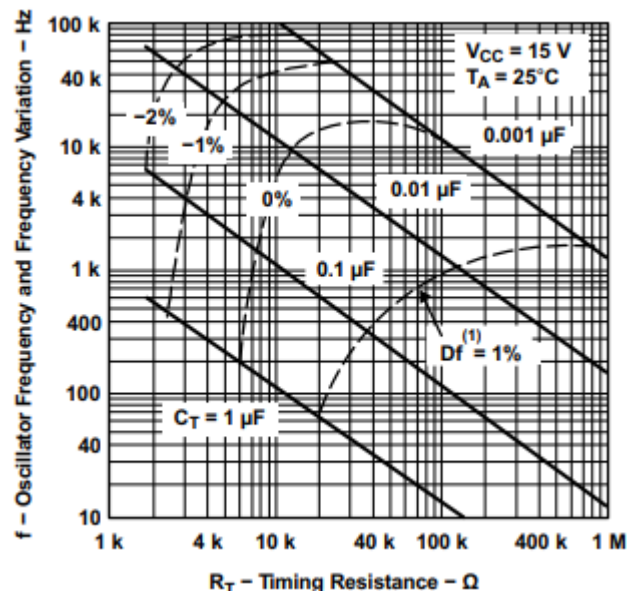


Рисунок 4.2.2 — Номограма для визначення номіналів частотозадавальної ланки TL494.

Користуючись значеннями опорів номінального ряду E24, оберемо значення  $R_1=4700$  Ом, та значення підстроювального резистора  $R_2=330$  Ом. Це дозволить провести коригування робочої частоти генератора у встановлених межах.

Для вибору ключових транзисторів необхідно визначити струм, що буде протікати в первинній обмотці трансформатора. Для нормального функціонування УЗПМ, необхідно забезпечити потужність на вторинній обмотці  $P_{II} = 15$  Вт. Потужністю, що буде споживатися на вторинній обмотці трансформатора, яка використовується для зворотного зв'язку, незначна та для полегшення розрахунку можна прийняти рівною  $P_{III} = 1$  Вт. Тоді загальна потужність вторинних обмоток становитиме:

$$P_2 = P_{II} + P_{III} = 15 + 1 = 16 \text{ Вт}$$

Користуючись графіком, який представлений на Рисунку 4.2.3 можна встановити, що ККД імпульсного трансформатора в такому режимі приблизно становитиме  $\eta_{\text{тр}} = 0,85$ . Тоді потужність в первинній обмотці, а відповідно і загальна потужність трансформатора, становитиме:

$$P_{\text{тр}} = \frac{P_2}{\eta_{\text{тр}}} = \frac{16}{0,85} = 18,82 \text{ Вт}$$

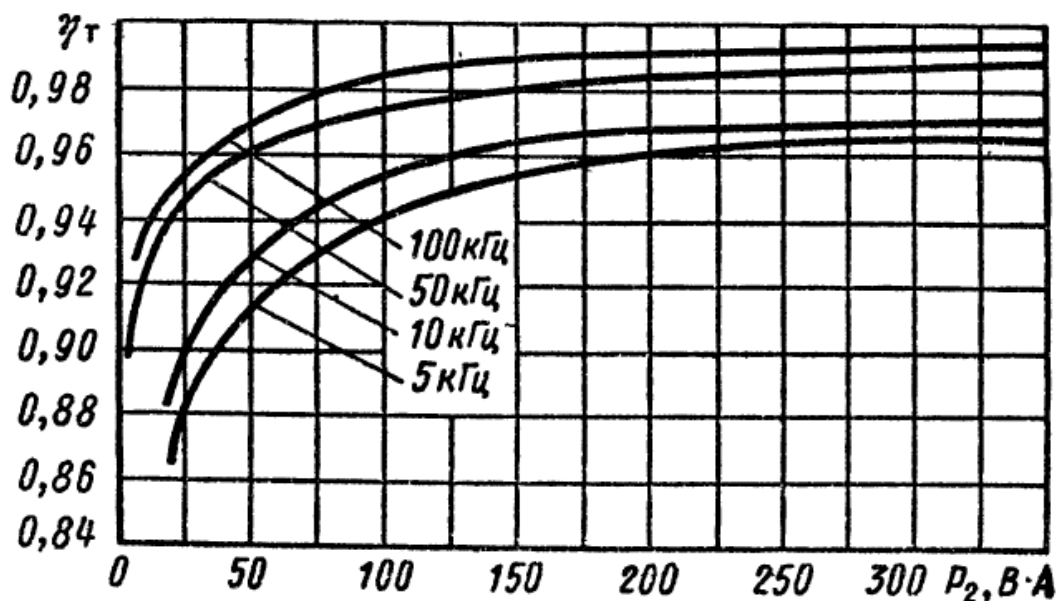


Рисунок 4.2.3 — Залежність ККД імпульсного трансформатора від частоти роботи та потужності [9].

При середній напрузі живлення  $U_{\text{сер}} = 12$  В, струм в первинній обмотці становитиме:

$$I_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{тр}}}{U_{\text{сер}}} = \frac{18,82}{12} = 1,57 \text{ А}$$

Ключові транзистори будуть використовуватися в двотактній схемі, тому необхідно врахувати те, що напруга, прикладена до колектор-емітер транзистора, буде дорівнювати подвійній напрузі живлення, за рахунок наявності індуктивності розсіювання трансформатора. Максимально можлива напруга живлення може становити  $U_{\text{ж}} = 13,8$  В, тоді:

$$U_{\text{ке}} = 2 \cdot U_{\text{ж}} = 2 \cdot 13,8 = 27,6 \text{ В}$$

Враховуючи отримані дані, в якості ключових транзисторів можна використати біполярні транзистори п-р-п структури TIP41A, що відповідають по параметрам напруги та допустимого колекторного струму. Деякі технічні характеристики даних транзисторів вказані в Таблиця 4.2.2.

Враховуючи мінімально можливий коефіцієнт підсилення даного транзистора  $\beta = 30$ , можна визначити, що струм бази повинен становити:

$$I_6 = \frac{I_K}{\beta} = \frac{1,57}{30} = 0,052 \text{ A}$$

Таблиця 4.2.2.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_C = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

| Characteristic                                                                                                                                                            | Symbol                                             | Min            | Max             | Unit                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------|-----------------|--------------------------------------|
| <b>OFF CHARACTERISTICS</b>                                                                                                                                                |                                                    |                |                 |                                      |
| Collector-Emitter Sustaining Voltage (1)<br>( $I_C = 30 \text{ mAdc}$ , $I_B = 0$ )                                                                                       | TIP41A, TIP42A<br>TIP41B, TIP42B<br>TIP41C, TIP42C | $V_{CEO(sus)}$ | 60<br>80<br>100 | —<br>—<br>—<br>Vdc                   |
| Collector Cutoff Current<br>( $V_{CE} = 30 \text{ Vdc}$ , $I_B = 0$ )<br>( $V_{CE} = 60 \text{ Vdc}$ , $I_B = 0$ )                                                        | TIP41A, TIP42A<br>TIP41B, TIP41C<br>TIP42B, TIP42C | $I_{CEO}$      | —<br>—<br>—     | 0.7<br>0.7<br>0.7<br>mAdc            |
| Collector Cutoff Current<br>( $V_{CE} = 60 \text{ Vdc}$ , $V_{EB} = 0$ )<br>( $V_{CE} = 80 \text{ Vdc}$ , $V_{EB} = 0$ )<br>( $V_{CE} = 100 \text{ Vdc}$ , $V_{EB} = 0$ ) | TIP41A, TIP42A<br>TIP41B, TIP42B<br>TIP41C, TIP42C | $I_{CES}$      | —<br>—<br>—     | 400<br>400<br>400<br>$\mu\text{Adc}$ |
| Emitter Cutoff Current ( $V_{BE} = 5.0 \text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ )                                                                                                         |                                                    | $I_{EBO}$      | —               | 1.0<br>mAdc                          |
| <b>ON CHARACTERISTICS (1)</b>                                                                                                                                             |                                                    |                |                 |                                      |
| DC Current Gain ( $I_C = 0.3 \text{ Adc}$ , $V_{CE} = 4.0 \text{ Vdc}$ )<br>( $I_C = 3.0 \text{ Adc}$ , $V_{CE} = 4.0 \text{ Vdc}$ )                                      |                                                    | $h_{FE}$       | 30<br>15        | —<br>75<br>—                         |
| Collector-Emitter Saturation Voltage ( $I_C = 6.0 \text{ Adc}$ , $I_B = 600 \text{ mAdc}$ )                                                                               |                                                    | $V_{CE(sat)}$  | —               | 1.5<br>Vdc                           |
| Base-Emitter On Voltage ( $I_C = 6.0 \text{ Adc}$ , $V_{CE} = 4.0 \text{ Vdc}$ )                                                                                          |                                                    | $V_{BE(on)}$   | —               | 2.0<br>Vdc                           |
| <b>DYNAMIC CHARACTERISTICS</b>                                                                                                                                            |                                                    |                |                 |                                      |
| Current-Gain — Bandwidth Product ( $I_C = 500 \text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$ , $f_{test} = 1.0 \text{ MHz}$ )                                                  |                                                    | $f_T$          | 3.0             | —<br>MHz                             |
| Small-Signal Current Gain ( $I_C = 0.5 \text{ Adc}$ , $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )                                                                 |                                                    | $h_{fe}$       | 20              | —<br>—                               |

(1) Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300 \mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$ .

Номінали струмообмежуючих резисторів в колі бази обох транзисторів рівні ( $R_7=R_8$ ). Опір резистора одного плеча становить:

$$R_7 = \frac{U_{ном} - U_{be}}{I_6} = \frac{12 - 0,7}{0,052} = 217 \text{ Ом}$$

Вибираючи з номінального ряду E24 опір резистора  $R_7$  та  $R_8$  можна прийняти рівним 200 Ом.

Потужність, що буде розсіюватися на кожному з цих резисторів становить:

$$P_{R7} = I_6^2 R_7 = 0,052^2 \cdot 200 = 0,54 \text{ Вт}$$

Керуючись стандартними значеннями потужності для резисторів, потужність резисторів  $R_7$  та  $R_8$  можна обрати рівною 1 Вт.

Для ключових транзисторів необхідно обчислити потужність, що буде розсіюватися на кожному з них під час роботи. На Рисунок 4.2.4 представлено графік залежності параметру  $V_{CE(sat)}$  транзистора в залежності від струму бази та колектора.

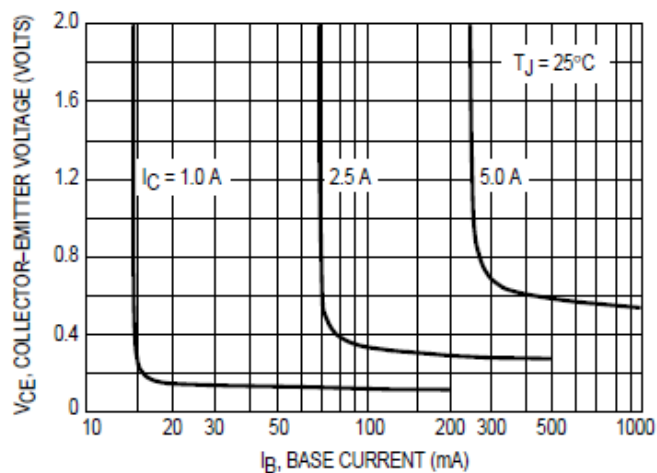


Рисунок 4.2.4 — Сімейство характеристик транзистора TIP41A які вказують на параметр  $V_{CE(sat)}$ .

Проаналізувавши даний графік можна встановити, що при базовому струмі  $I_B = 0,054$  мА та струмі, що протікатиме через колектор рівному  $I_C = 1,57$  А, параметр приблизно буде становити  $V_{CE(sat)} = 0,4$  В. При цьому потужність, що буде розсіюватись на транзисторі:

$$P_{D.VT1} = V_{CE(sat)} \cdot I_C = 0,4 \cdot 1,15 = 0,628 \text{ Вт}$$

Враховуючи те, що параметр теплового опору транзистора кристал-повітря  $R_{\theta JA} = 62,5$  °C/W, то при такій потужності розсіювання температура кристалу транзистора становитиме:

$$t_{VT1} = R_{\theta JA} \cdot P_{D.VT1} = 62,5 \cdot 0,46 = 39,25 \text{ °C}$$

Отримана в результаті розрахунку температура значно нижча максимально допустимої, що дозволяє використовувати ключові транзистори без їх встановлення на додатковий радіатор.

Як було вказано вище, стабілізація напруги на виході ПН організована за допомогою додаткової вторинної обмотки зв'язку. Напруга на виході після випрямляча повинна становити 5 В. В якості випрямляча можна скористатися малопотужним діодним випрямним мостом B40C800DM, основні характеристики якого вказані в Таблиця 4.2.3.

Дільник зворотного зв'язку забезпечує подачу напруги 2,5 В на неінвертуючий вхід підсилювача помилок ШІМ-контролера. Номінали

резисторів дільника можна обрати рівними 5,1 кОм, при цьому струм, що буде протікати через дільник становитиме:

$$I_d = \frac{U_{33}}{R_{d1} + R_{d2}} = \frac{5}{5100 + 5100} = 490 \text{ мкА}$$

Для можливості точної підстройки напруги доцільно в дільник додати підстроювальний резистор номіналом 510 Ом. Тоді опори резисторів становитимуть:

— R9 = 5,1 кОм

— R10 = 510 Ом

— R11 = 4,7 кОм

Таблиця 4.2.3

| MAXIMUM RATINGS (T <sub>A</sub> = 25 °C unless otherwise noted)                            |                                               |               |               |                |                |                |                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| PARAMETER                                                                                  | SYMBOL                                        | B40<br>C800DM | B80<br>C800DM | B125<br>C800DM | B250<br>C800DM | B380<br>C800DM | UNIT             |
| Maximum repetitive peak reverse voltage                                                    | V <sub>RRM</sub>                              | 65            | 125           | 200            | 400            | 600            | V                |
| Maximum RMS input voltage R- and C-load                                                    | V <sub>RMS</sub>                              | 40            | 80            | 125            | 250            | 380            | V                |
| Maximum average forward output current<br>for free air operation at T <sub>A</sub> = 45 °C | I <sub>F(AV)</sub><br>R- and L-load<br>C-load | 0.9           |               |                |                |                | A                |
|                                                                                            |                                               | 0.8           |               |                |                |                |                  |
| Maximum DC blocking voltage                                                                | V <sub>DC</sub>                               | 65            | 125           | 200            | 400            | 600            | V                |
| Maximum peak working voltage                                                               | V <sub>RWM</sub>                              | 90            | 180           | 300            | 600            | 900            | V                |
| Maximum non-repetitive peak voltage                                                        | V <sub>RSM</sub>                              | 100           | 200           | 350            | 650            | 1000           | V                |
| Maximum repetitive peak forward surge current                                              | I <sub>FRM</sub>                              | 10            |               |                |                |                | A                |
| Peak forward surge current single sine-wave on rated load                                  | I <sub>FSM</sub>                              | 45            |               |                |                |                | A                |
| Rating for fusing at T <sub>J</sub> = 125 °C (t < 100 ms)                                  | I <sup>2</sup> t                              | 10            |               |                |                |                | A <sup>2</sup> s |
| Minimum series resistor C-load at V <sub>RMS</sub> = ± 10 %                                | R <sub>T</sub>                                | 1.0           | 2.0           | 4.0            | 8.0            | 12.0           | Ω                |
| Maximum load capacitance<br>+ 50 %<br>- 10 %                                               | C <sub>L</sub>                                | 5000          | 2500          | 1000           | 500            | 200            | μF               |
| Operating junction temperature range                                                       | T <sub>J</sub>                                | - 40 to + 125 |               |                |                |                | °C               |
| Storage temperature range                                                                  | T <sub>STG</sub>                              | - 40 to + 150 |               |                |                |                | °C               |

| ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T <sub>A</sub> = 25 °C unless otherwise noted) |                 |                |               |               |                |                |                |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| PARAMETER                                                                  | TEST CONDITIONS | SYMBOL         | B40<br>C800DM | B80<br>C800DM | B125<br>C800DM | B250<br>C800DM | B380<br>C800DM |
| Maximum instantaneous forward voltage drop per diode                       | 0.9 A           | V <sub>F</sub> | 1.0           |               |                |                | V              |
| Maximum reverse current at rated repetitive peak voltage per diode         |                 | I <sub>R</sub> | 10            |               |                |                | μA             |

В якості фільтра використано електролітичний конденсатор C2, розрахункова ємність для нього становить:

$$C_2 = \frac{3200 I_d}{U_{33} K_{\Pi}} = \frac{3200 \cdot 490 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 0,1} = 3,13 \text{ мкФ}$$

Робоча напруга конденсатора становить:

$$U_{C2} = U_{33} \cdot \sqrt{2} = 5 \cdot \sqrt{2} = 7,07 \text{ В}$$

|     |      |          |        |      |                    |            |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист<br>53 |
|     |      |          |        |      |                    |            |
| Зм. | Лист | № докum. | Підпис | Дата |                    |            |

Керуючись значеннями номінального ряду E24, можна обрати ємність  $C2=3,3 \text{ мкФ} \times 10 \text{ В}$

На інвертуючий вхід підсилювача помилок від джерела опорної напруги  $U_{ref} = 5 \text{ В}$ , через дільник, подається напруга 2,5 В. Номінали резисторів дільника  $R4 = R6 = 5,1 \text{ кОм}$ . Таким чином підсилювач помилок буде порівнювати коливання напруги на обмотці зворотного зв'язку, яка являється сигналом помилки, з опорною напругою та керувати шириною вихідного імпульсу контролера. Виробником ШІМ-контролера рекомендується, для більшості випадків, зменшувати коефіцієнт підсилення підсилювача помилок. Це забезпечується введенням додаткового резистора на 3 вивід мікросхеми, що з'єднаний з інвертуючим входом підсилювача, утворюючи при цьому негативний зворотний зв'язок. Номінали даних резисторів (згідно рекомендаціям виробника)  $R3 = 510 \text{ Ом}$  та  $R5 = 51 \text{ кОм}$ . При цьому коефіцієнт підсилення становитиме:

$$K = \frac{R_5}{R_3} = \frac{51000}{510} = 100$$

Таким чином забезпечиться більш стабільна та надійна робота підсилювача помилок.

Вивід 13 мікросхеми необхідно з'єднати з виходом джерела опорної напруги, що забезпечить перемикання в двотактний режим роботи вихідних транзисторів ШІМ-контролера.

#### **4.2.2 Розрахунок силового імпульсного трансформатора**

У попередньому розділі, під час визначення параметрів ключових транзисторів, було визначено, що потужність силового імпульсного трансформатора становить  $P_{тр} = 18,82 \text{ Вт}$ .

Кількість витків обмоток трансформатора визначається напругами первинної та вторинної (чи кількох вторинних) його обмоток, а також параметрами, що характеризують магнітні властивості й геометрію магнітопроводу.

|     |      |          |        |      |                    |            |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------------|
|     |      |          |        |      | РТ71.436121.001 ПЗ | Лист<br>54 |
|     |      |          |        |      |                    |            |
| Зм. | Лист | № док-м. | Підпис | Дата |                    |            |

Площа перерізу дроту обмоток залежить від діючих значень струму та допустимої його густини, яка визначається класом нагрівостійкості ізоляції та умовами охолодження обмоток.

Типорозмір магнітопроводу визначається з урахуванням розміщення на його осерді та у вікні потрібної кількості витків дроту, необхідної товщини ізоляції (за вимогами електричної міцності між шарами обмоток і між обмотками). До того ж властивості матеріалу та розміри магнітопроводу взаємно впливають на кількість витків обмоток трансформатора.

У зв'язку з тим, що на розміри магнітопроводу впливають діючі значення напруги (визначає кількість витків) і струму (визначає переріз проводу), вводиться поняття розрахункової (габаритної) потужності.

Для визначення розміру осердя магнітопроводу, необхідно щоб виконувалась наступна умова :

$$S_{\text{по}} \cdot S_{\text{во}} \geq \frac{10^2 \cdot P_{\text{тр}}}{2 \cdot k_{\text{ф}} \cdot k_{\text{в}} \cdot \sigma \cdot f \cdot B_{\text{max}}} [\text{см}^4],$$

$S_{\text{по}}$  – площа осердя;

$S_{\text{во}}$  – площа вікна осердя;

$k_{\text{ф}}$  – коефіцієнт форми напруги ( для прямокутного форми  $k_{\text{ф}} = 1$ );

$k_{\text{в}}$  – коефіцієнт заповнення вікна активним матеріалом ( $k_{\text{в}} = 0,25$ )

$\sigma$  – густина струму ( $\sigma = 3,5 \text{ А/мм}^2$ );

$f$  – частота;

$B_{\text{max}}$  – магнітна індукція;

Для вказаних параметрів трансформатора, використовуючи при цьому ферит марки N87, що має параметр  $B_{\text{max}} = 0,25 \text{ Тл}$ :

$$\frac{10^2 \cdot P_{\text{тр}}}{2 \cdot k_{\text{ф}} \cdot k_{\text{в}} \cdot \sigma \cdot f \cdot B_{\text{max}}} = \frac{10^2 \cdot 18,82}{2 \cdot 1 \cdot 0,25 \cdot 3,5 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 0,25} = 4,302 \text{ см}^4$$

В якості осердя для трансформатора можна обрати феритове осердя E42×21×15 N87, основні характеристики якого представлені в Таблиця 4.2.4

|     |      |          |        |      |                    |            |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист<br>55 |
|     |      |          |        |      |                    |            |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                    |            |

Таблиця 4.2.4

**Ungapped**

| Material | A <sub>L</sub> value<br>nH | μ <sub>e</sub> | P <sub>V</sub><br>W/set                                             | Ordering code   |
|----------|----------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------|
| N30      | 7500 +30/-20%              | 3252           |                                                                     | B66325G0000X130 |
| N27      | 3500 +30/-20%              | 1510           | < 3.30 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)                                     | B66325G0000X127 |
| N87      | 3950 +30/-20%              | 1690           | < 9.00 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)                                    | B66325G0000X187 |
| N97      | 4100 +30/-20%              | 1778           | < 8.00 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)                                    | B66325G0000X197 |
| N95      | 5100 +30/-20%              | 2292           | < 9.60 (200 mT, 100 kHz, 25 °C)<br>< 8.70 (200 mT, 100 kHz, 100 °C) | B66325G0000X195 |

**Gapped** (A<sub>L</sub> values/air gaps examples)

| Material    | g<br>mm    | A <sub>L</sub> value approx.<br>nH | μ <sub>e</sub> | Ordering code<br>** = 27 (N27)<br>= 87 (N87) |
|-------------|------------|------------------------------------|----------------|----------------------------------------------|
| N27,<br>N87 | 0.10 ±0.02 | 1497                               | 647            | B66325G0100X1**                              |
|             | 0.25 ±0.02 | 759                                | 328            | B66325G0250X1**                              |
|             | 0.50 ±0.05 | 454                                | 196            | B66325G0500X1**                              |
|             | 0.64 ±0.05 | 378                                | 164            | B66325G0640X1**                              |
|             | 1.00 ±0.05 | 272                                | 118            | B66325G1000X1**                              |
|             | 1.50 ±0.05 | 201                                | 87             | B66325G1500X1**                              |

Розміри, що використовуються для розрахунку, представлені на Рисунок 4.2.5(половина осердя).

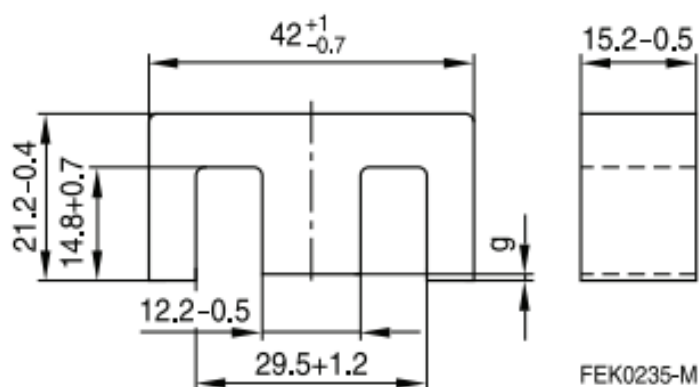


Рисунок 4.2.5 — Розміри для розрахунку.

Обчислимо площу перерізу осердя:

$$S_{\text{по}} = 1,22 \cdot 1,52 = 1,854 \text{ см}^2$$

Обчислимо площу вікна осердя:

$$S_{\text{во}} = 2 \cdot 1,48 \cdot \frac{2,95 - 1,22}{2} = 2,56 \text{ см}^2$$

Визначимо добуток площі перерізу осердя на площу його вікна:

$$S_{\text{по}} \cdot S_{\text{во}} = 1,854 \cdot 2,56 = 4,748 \text{ см}^4$$

Як видно з розрахунків, умова  $S_{\text{по}} \cdot S_{\text{во}} \geq \frac{10^2 \cdot P_{\text{тр}}}{2 \cdot k_{\phi} \cdot k_{\text{в}} \cdot \sigma \cdot f \cdot B_{\text{max}}}$  виконується.

Визначимо число витків первинної обмотки трансформатора для середнього значення  $U_{\text{ж}} = 12 \text{ В}$ :

$$W_1 = \frac{10^4 \cdot U_{\text{ж}}}{4 \cdot k_{\phi} \cdot S_{\text{по}} \cdot f \cdot B_{\text{max}}} = \frac{10^4 \cdot 12}{4 \cdot 1 \cdot 1,28 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 0,25} = 65 \text{ витків}$$

Оскільки блок живлення побудований за топологією push-pull, то первинна обмотка повинна складатися з двох однакових обмоток по 65 витків. Намотку первинної обмотки можна провести в два дроти, виконавши 65 витків. Один з кінців обмоток з'єднуються між собою, утворюючи середню точку первинної обмотки трансформатора. До цієї точки буде підведено живлення трансформатора.

Кількість витків для вторинних обмоток становить:

$$W_2 = \frac{10^4 \cdot U_{\text{вих.к}}}{4 \cdot k_{\phi} \cdot S_{\text{по}} \cdot f \cdot B_{\text{max}}} = \frac{10^4 \cdot 310}{4 \cdot 1 \cdot 1,28 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 0,25} = 1672 \text{ витки}$$

$$W_3 = \frac{10^4 \cdot U_{\text{пром.к}}}{4 \cdot k_{\phi} \cdot S_{\text{по}} \cdot f \cdot B_{\text{max}}} = \frac{10^4 \cdot 5}{4 \cdot 1 \cdot 1,28 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 0,25} = 27 \text{ витків}$$

Мінімальна площа перерізу дроту для кожної обмотки:

$$q_1 = \frac{I_I}{\sigma} = \frac{1,57}{3,5} = 0,449 \text{ мм}^2$$

$$q_2 = \frac{I_{II}}{\sigma} = \frac{0,068}{3,5} = 0,019 \text{ мм}^2$$

$$q_3 = \frac{I_{III}}{\sigma} = \frac{0,2}{3} = 0,057 \text{ мм}^2$$

Для отриманих даних діаметри обмотувальних дротів відповідно становлять:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot q_1}{\pi}} = 0,756 \text{ мм}$$

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | РТ71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 57   |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot q_2}{\pi}} = 0,157 \text{ мм}$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot q_3}{\pi}} = 0,27 \text{ мм}$$

Намотку трансформатора можна здійснити дротом ПЕВ-1, характеристики якого вказано в Таблиця 4.2.5

Таблиця 4.2.5 — Номінальні діаметри дротів ПЕВ-1.

| Номинальный диаметр проволоки | Минимальная диаметральная толщина изоляции провода марки |       | Максимальный наружный диаметр провода марки |       |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------|-------|
|                               | ПЭВ 1                                                    | ПЭВ-2 | ПЭВ 1                                       | ПЭВ 2 |
| 0,020                         | 0,002                                                    | —     | 0,025                                       | —     |
| 0,025                         | 0,004                                                    | —     | 0,031                                       | —     |
| (0,030)                       | 0,004                                                    | —     | 0,037                                       | —     |
| 0,032                         | 0,005                                                    | —     | 0,040                                       | —     |
| 0,040                         | 0,005                                                    | —     | 0,050                                       | —     |
| (0,045)                       | 0,005                                                    | —     | 0,056                                       | —     |
| 0,050                         | 0,006                                                    | 0,009 | 0,062                                       | 0,068 |
| (0,060)                       | 0,006                                                    | 0,009 | 0,074                                       | 0,081 |
| 0,063                         | 0,006                                                    | 0,009 | 0,078                                       | 0,085 |
| 0,071                         | 0,008                                                    | 0,010 | 0,088                                       | 0,095 |
| 0,080                         | 0,008                                                    | 0,010 | 0,098                                       | 0,105 |
| 0,090                         | 0,009                                                    | 0,012 | 0,110                                       | 0,117 |
| 0,100                         | 0,009                                                    | 0,012 | 0,121                                       | 0,129 |
| 0,112                         | 0,010                                                    | 0,015 | 0,134                                       | 0,143 |
| (0,120)                       | 0,010                                                    | 0,015 | 0,143                                       | 0,153 |
| 0,125                         | 0,010                                                    | 0,015 | 0,149                                       | 0,159 |
| (0,130)                       | 0,010                                                    | 0,015 | 0,155                                       | 0,165 |
| 0,140                         | 0,010                                                    | 0,015 | 0,166                                       | 0,176 |
| 0,150                         | 0,015                                                    | 0,020 | 0,177                                       | 0,188 |
| 0,160                         | 0,015                                                    | 0,020 | 0,187                                       | 0,199 |
| 0,170                         | 0,015                                                    | 0,020 | 0,198                                       | 0,211 |
| 0,180                         | 0,015                                                    | 0,020 | 0,209                                       | 0,222 |
| 0,190                         | 0,015                                                    | 0,020 | 0,220                                       | 0,234 |
| 0,200                         | 0,015                                                    | 0,020 | 0,230                                       | 0,245 |
| 0,210                         | 0,015                                                    | 0,020 | 0,243                                       | 0,258 |
| 0,224                         | 0,020                                                    | 0,030 | 0,256                                       | 0,272 |
| 0,236                         | 0,020                                                    | 0,030 | 0,269                                       | 0,285 |
| 0,250                         | 0,020                                                    | 0,030 | 0,284                                       | 0,301 |
| 0,265                         | 0,020                                                    | 0,030 | 0,300                                       | 0,319 |
| 0,280                         | 0,020                                                    | 0,030 | 0,315                                       | 0,334 |
| 0,300                         | 0,020                                                    | 0,030 | 0,337                                       | 0,355 |
| 0,315                         | 0,020                                                    | 0,030 | 0,352                                       | 0,371 |
| 0,335                         | 0,020                                                    | 0,030 | 0,374                                       | 0,393 |
| 0,355                         | 0,020                                                    | 0,030 | 0,395                                       | 0,414 |
| 0,380                         | 0,020                                                    | 0,030 | 0,421                                       | 0,441 |
| 0,400                         | 0,020                                                    | 0,030 | 0,442                                       | 0,462 |
| 0,425                         | 0,025                                                    | 0,035 | 0,469                                       | 0,489 |
| 0,450                         | 0,025                                                    | 0,035 | 0,495                                       | 0,516 |
| 0,475                         | 0,025                                                    | 0,035 | 0,521                                       | 0,543 |
| 0,500                         | 0,025                                                    | 0,035 | 0,548                                       | 0,569 |
| 0,530                         | 0,025                                                    | 0,035 | 0,579                                       | 0,601 |
| 0,560                         | 0,025                                                    | 0,035 | 0,611                                       | 0,632 |
| 0,600                         | 0,030                                                    | 0,040 | 0,653                                       | 0,676 |
| 0,630                         | 0,030                                                    | 0,040 | 0,684                                       | 0,706 |
| 0,670                         | 0,030                                                    | 0,040 | 0,726                                       | 0,749 |
| (0,690)*                      | 0,030                                                    | 0,040 | 0,747                                       | 0,770 |
| 0,710                         | 0,030                                                    | 0,040 | 0,767                                       | 0,790 |

Продовження Таблиця 4.2.5

| Номинальный диаметр проволоки | Минимальная диаметральная толщина изоляции провода марки |       | Максимальный наружный диаметр провода марки |       |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------|-------|
|                               | ПЭВ 1                                                    | ПЭВ 2 | ПЭВ 1                                       | ПЭВ 2 |
| 0,750                         | 0,030                                                    | 0,040 | 0,809                                       | 0,832 |
| (0,770)*                      | 0,030                                                    | 0,050 | 0,830                                       | 0,854 |
| 0,800                         | 0,030                                                    | 0,050 | 0,861                                       | 0,885 |
| (0,830)*                      | 0,030                                                    | 0,050 | 0,892                                       | 0,916 |
| 0,850                         | 0,030                                                    | 0,050 | 0,913                                       | 0,937 |
| 0,900                         | 0,030                                                    | 0,050 | 0,965                                       | 0,990 |
| (0,930)*                      | 0,030                                                    | 0,050 | 0,996                                       | 1,020 |
| 0,950                         | 0,030                                                    | 0,050 | 1,017                                       | 1,041 |
| 1,000                         | 0,035                                                    | 0,050 | 1,068                                       | 1,093 |
| 1,060                         | 0,035                                                    | 0,060 | 1,130                                       | 1,155 |
| (1,080)*                      | 0,035                                                    | 0,060 | 1,151                                       | 1,176 |
| 1,120                         | 0,035                                                    | 0,060 | 1,192                                       | 1,217 |
| 1,180                         | 0,040                                                    | 0,060 | 1,254                                       | 1,279 |
| 1,250                         | 0,040                                                    | 0,060 | 1,325                                       | 1,351 |
| 1,320                         | 0,040                                                    | 0,060 | 1,397                                       | 1,423 |
| 1,400                         | 0,040                                                    | 0,065 | 1,479                                       | 1,506 |
| (1,450)*                      | 0,040                                                    | 0,065 | 1,530                                       | 1,557 |
| 1,500                         | 0,040                                                    | 0,065 | 1,581                                       | 1,608 |
| (1,560)*                      | 0,040                                                    | 0,065 | 1,642                                       | 1,670 |
| 1,600                         | 0,040                                                    | 0,065 | 1,683                                       | 1,711 |
| 1,700                         | 0,040                                                    | 0,065 | 1,785                                       | 1,813 |
| 1,800                         | 0,050                                                    | 0,070 | 1,888                                       | 1,916 |
| 1,900                         | 0,050                                                    | 0,070 | 1,990                                       | 2,018 |
| 2,000                         | 0,050                                                    | 0,070 | 2,092                                       | 2,120 |
| 2,120                         | 0,055                                                    | 0,070 | 2,214                                       | 2,243 |
| 2,240                         | 0,055                                                    | 0,070 | 2,336                                       | 2,366 |
| 2,360                         | 0,055                                                    | 0,070 | 2,459                                       | 2,488 |
| (2,440)*                      | 0,055                                                    | 0,070 | 2,540                                       | 2,570 |
| 2,500                         | 0,055                                                    | 0,070 | 2,601                                       | 2,631 |

У відповідності до стандартних номінальних розмірів дроту, що представлені в даній таблиці, розмір обмотувальних дрітів можна обрати:

$$d_1 = 0,756 \text{ мм} = 0,8 \text{ мм}; \text{ при цьому } q_1 = 0,503 \text{ мм}^2$$

$$d_2 = 0,157 \text{ мм} = 0,16 \text{ мм}; \text{ при цьому } q_2 = 0,02 \text{ мм}^2$$

$$d_3 = 0,27 \text{ мм} = 0,28 \text{ мм}; \text{ при цьому } q_3 = 0,062 \text{ мм}^2$$

При цьому дійсна густина струму в обмотках становить:

$$\sigma_1 = \frac{I_I}{q_1} = \frac{1,57}{0,503} = 3,121 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{I_{II}}{q_2} = \frac{0,068}{0,02} = 3,4 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$$

$$\sigma_3 = \frac{I_{III}}{q_3} = \frac{0,2}{0,062} = 3,225 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$$

Як видно з отриманих даних, дійсна густина струму не перевищує встановлену при розрахунках, що забезпечить роботу трансформатора без перевищення теплового навантаження.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 59   |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

На Рисунок 4.2.6 показано геометричні розміри каркасу для вказаного типу осердя та нумерацію його виводів (вигляд з низу).

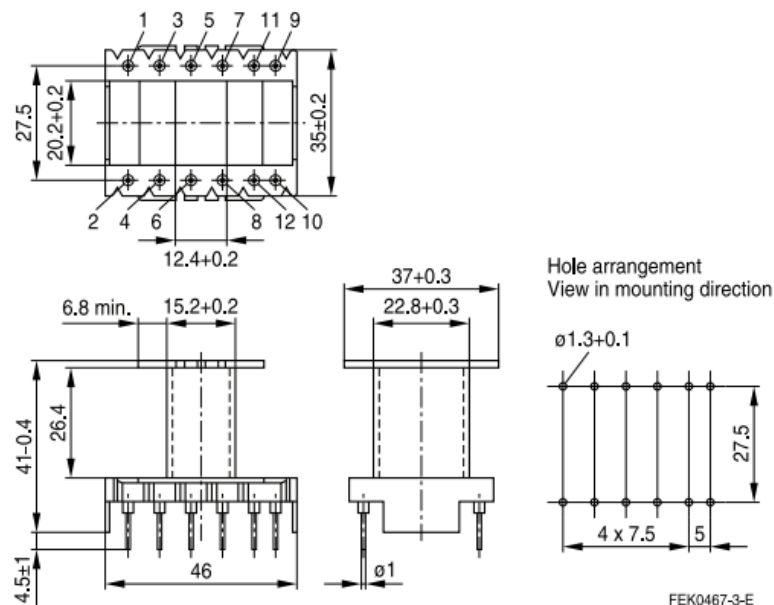


Рисунок 4.2.6 — Каркас для осердя Е-типу, та нумерація виводів.

В Таблиця 4.2.6 показано нумерацію та призначення виводів трансформатора.

Таблиця 4.2.6

| Номер виводу | Призначення                               |
|--------------|-------------------------------------------|
| 1            | Первинна обмотка I <sub>a</sub> , початок |
| 2            | Вторинна обмотка II, початок              |
| 3            | Не використовується                       |
| 4            | Не використовується                       |
| 5            | Первинна обмотка I <sub>a</sub> , кінець  |
| 6            | Вторинна обмотка II, кінець               |
| 7            | Первинна обмотка I <sub>b</sub> , початок |
| 8            | Не використовується                       |
| 9            | Первинна обмотка I <sub>b</sub> , кінець  |
| 10           | Вторинна обмотка III, кінець              |
| 11           | Не використовується                       |
| 12           | Вторинна обмотка III, початок             |

Компонування виводів трансформатора здійснено з урахуванням розташування виводів високовольтної обмотки, та зручності розміщення на ДП.

#### 4.3. DC-DC перетворювач

Даний функціональний вузол призначений для забезпечення стабільної напруги на порті USB, від якого будуть заряджатися мобільні пристрої. Основні вимоги до нього:

- забезпечення стабільної напруги на виході  $U_{out} = 5 \text{ В}$  з точністю 5% (у відповідності до специфікації USB коливання напруги в межах  $\pm 0,25 \text{ В}$ );
- забезпечення максимального вихідного струму  $I_{out} = 2 \text{ А}$ ;
- пульсації напруги на виході не повинні перевищувати  $U_p = 20 \text{ мВ}$

Максимальна вихідна потужність, яку повинен забезпечувати перетворювач на виході, становить:

$$P_{out} = U_{out} I_{out} = 5 \cdot 2 = 10 \text{ Вт}$$

Враховуючи ККД перетворювача, який в найгіршому випадку може становити  $\eta = 0,8$  (через втрати на силовому ключі та обмежувальному діоді), необхідна потужність на вході перетворювача становитиме:

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} = \frac{10}{0,8} = 12,5 \text{ Вт}$$

Оскільки на вході перетворювача будуть присутні коливання напруги, необхідно визначити струми, при різних режимах живлення. При максимальній вхідній напрузі  $U_{in.max} = 13,8 \text{ В}$ :

$$I_{in.max} = \frac{P_{in}}{U_{in.max}} = \frac{12,5}{13,8} = 0,906 \text{ А}$$

При максимальній вхідній напрузі  $U_{in.min} = 10,68 \text{ В}$ :

$$I_{in.min} = \frac{P_{in}}{U_{in.min}} = \frac{12,5}{10,68} = 1,17 \text{ А}$$

Реалізацію даного функціонального вузла можна виконати за допомогою схеми, представленої на Рисунок 4.3.1

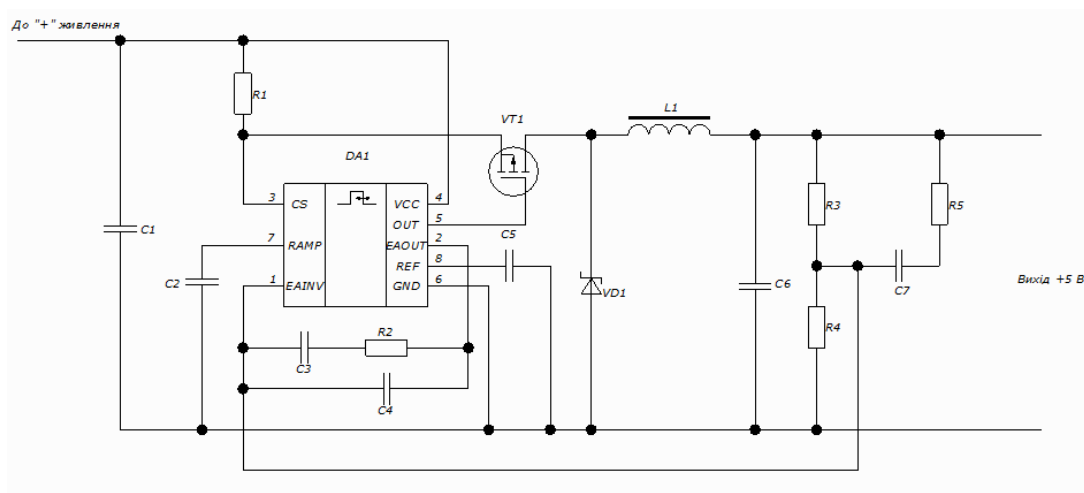


Рисунок 4.3.1 — Схема електрична принципова DC-DC перетворювача.

Перетворювач побудований за топологією прямоходового знижувального (buck) конвертера.

#### 4.3.1 Електричні розрахунки DC-DC перетворювача.

В якості контролера перетворювача доцільно обрати спеціалізований ШІМ-контролер UC3573. Даний контролер призначений саме для використання в таких схемах та має широкий діапазон напруги живлення, що дозволяє застосовувати його в подібних системах. Деякі основні характеристики контролера вказані в Таблиця 4.3.1

Таблиця 4.3.1 — Основні характеристики контролера UC3573.

| PARAMETER                               | TEST CONDITIONS                  | MIN   | TYP   | MAX   | UNITS |
|-----------------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Reference Section</b>                |                                  |       |       |       |       |
| 3VREF                                   |                                  | 2.94  | 3     | 3.06  | V     |
| Line Regulation                         | VCC = 4.75 to 30V                |       | 1     | 10    | mV    |
| Load Regulation                         | I <sub>3VREF</sub> = 0 to -5mA   |       | 1     | 10    | mV    |
| <b>Oscillator Section</b>               |                                  |       |       |       |       |
| Frequency                               | VCC = 5V, 30V                    | 85    | 100   | 115   | kHz   |
| <b>Error Amp Section</b>                |                                  |       |       |       |       |
| EAINV                                   | EAOUT = 2V                       | 1.45  | 1.5   | 1.55  | V     |
| IEAINV                                  | EAOUT = 2V                       |       | -0.2  | -1    | μA    |
| AVOL                                    | EAOUT = 0.5V to 3V               | 65    | 90    |       | dB    |
| EAOUT High                              | EAINV = 1.4V                     | 3.6   | 4     | 4.4   | V     |
| EAOUT Low                               | EAINV = 1.6V                     |       | 0.1   | 0.2   | V     |
| IEAOUT                                  | EAINV = 1.4V, EAOUT = 2V         | -350  | -500  |       | μA    |
|                                         | EAINV = 1.6V, EAOUT = 2V         | 7     | 20    |       | mA    |
| Unity Gain Bandwidth                    | T <sub>J</sub> = 25°C, F = 10kHz | 0.6   | 1     |       | MHz   |
| <b>Current Sense Comparator Section</b> |                                  |       |       |       |       |
| Threshold (referred to VCC)             |                                  | -0.39 | -0.43 | -0.47 | V     |
| Input Bias Current                      | CS = VCC                         |       | 150   | 800   | nA    |
| CS Propagation Delay                    |                                  |       | 400   |       | ns    |

Генератор контролера може працювати у широкому діапазоні частот (10-200 кГц), але рекомендоване виробником значення частоти генератора складає  $F = 100$  кГц. Частота генератора задається зміною значення ємності  $C2$ , що з'єднується з виводом 7 RAMP. При цьому ємність  $C2$  буде становити:

$$C2 = \frac{1}{15 \cdot 10^3 \cdot F} = \frac{1}{15 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^3} = 667 \text{ пФ}$$

У відповідності до номінального ряду E24 ємність можна обрати рівною 680 пФ.

При розрахунку індуктивності дроселя, необхідно врахувати найгірші умови експлуатації — підвищений рівень напруги на вході. При цьому індуктивність дроселя становитиме:

$$L = \frac{(U_{in.max} - U_{out})(1 - U_{out}/U_{in.max})}{1,4 I_{out.min} F} = \frac{(13,8 - 5)(1 - 5/13,8)}{1,4 \cdot 0,5 \cdot 100 \cdot 10^3} = 80,1 \text{ мкГн}$$

де:  $U_{in.max}$  — максимальна вхідна напруга;

$I_{out.min}$  — мінімальний очікуваний струм на виході

$U_{out}$  — вихідна напруга;

$F$  — робоча частота.

Для даних цілей можна використати дросель гантельного типу Coilcraft RFB1010-820L, характеристики якого вказані в Таблиця 4.3.2

Таблиця 4.3.2

| Part number <sup>1</sup> | Inductance <sup>2</sup><br>±10% | DCR<br>max<br>(Ohms) | SRF<br>typ <sup>3</sup><br>(MHz) | Isat <sup>4</sup><br>(A) | Irms (A) <sup>5</sup> |              |
|--------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------|
|                          |                                 |                      |                                  |                          | 20°C<br>rise          | 40°C<br>rise |
| RFB1010-100L             | 10 µH                           | 0.023                | 23                               | 6.10                     | 4.20                  | 6.00         |
| RFB1010-120L             | 12 µH                           | 0.025                | 20                               | 5.60                     | 4.00                  | 5.70         |
| RFB1010-150L             | 15 µH                           | 0.028                | 19                               | 5.00                     | 3.75                  | 5.40         |
| RFB1010-180L             | 18 µH                           | 0.030                | 16                               | 4.60                     | 3.50                  | 5.00         |
| RFB1010-220L             | 22 µH                           | 0.042                | 15                               | 4.10                     | 3.30                  | 4.70         |
| RFB1010-270L             | 27 µH                           | 0.046                | 12                               | 3.70                     | 3.00                  | 4.40         |
| RFB1010-330L             | 33 µH                           | 0.055                | 11                               | 3.40                     | 2.80                  | 4.10         |
| RFB1010-390L             | 39 µH                           | 0.075                | 10.3                             | 3.10                     | 2.60                  | 3.80         |
| RFB1010-470L             | 47 µH                           | 0.082                | 9.5                              | 2.80                     | 2.40                  | 3.50         |
| RFB1010-560L             | 56 µH                           | 0.090                | 8.6                              | 2.60                     | 2.20                  | 3.20         |
| RFB1010-680L             | 68 µH                           | 0.120                | 7.5                              | 2.30                     | 2.00                  | 2.80         |
| RFB1010-820L             | 82 µH                           | 0.140                | 7.0                              | 2.10                     | 1.90                  | 2.50         |
| RFB1010-101L             | 100 µH                          | 0.150                | 7.0                              | 1.90                     | 1.70                  | 2.20         |
| RFB1010-121L             | 120 µH                          | 0.210                | 6.0                              | 1.75                     | 1.60                  | 2.10         |
| RFB1010-151L             | 150 µH                          | 0.245                | 5.0                              | 1.60                     | 1.50                  | 1.90         |

Його габаритні розміри показано на Рисунок 4.3.2

## RFB1010

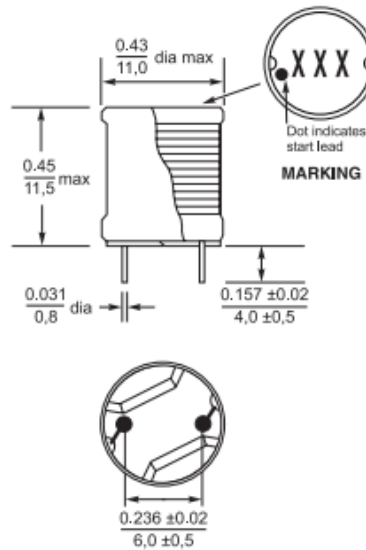


Рисунок 4.3.2 — Габаритні розміри дроселя RFB1010.

В якості ключового транзистора VT1 доцільно використати МДП-транзистор. Він повинен мати параметр напруги пробиття стік-витік, що перевищує 13,8 В, розрахований на максимальний струм більше ніж 2 А. Також необхідно забезпечити розсіювання теплової потужності  $P_D < 1$  Вт, тому параметр  $R_{DS}$  повинен бути нижчий чим значення

$$R_{DS(on)} = \frac{P_D}{I_{out}^2} = \frac{1}{2^2} < 250 \text{ мОм}$$

Для вказаних параметрів підходить МДП-транзистор IRF9Z30, який має наступні параметри, показані в Таблиці 4.3.3

Таблиця 4.3.3

| ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T <sub>C</sub> = 25 °C, unless otherwise noted) |                           |                         |                                   |               |      |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---------------|------|
| PARAMETER                                                                 |                           |                         | SYMBOL                            | LIMIT         | UNIT |
| Drain-Source Voltage                                                      |                           |                         | V <sub>DS</sub>                   | - 50          | V    |
| Gate-Source Voltage                                                       |                           |                         | V <sub>GS</sub>                   | ± 20          |      |
| Continuous Drain Current                                                  | V <sub>GS</sub> at - 10 V | T <sub>C</sub> = 25 °C  | I <sub>D</sub>                    | - 18          | A    |
|                                                                           |                           | T <sub>C</sub> = 100 °C |                                   | - 11          |      |
| Pulsed Drain Current <sup>a</sup>                                         |                           |                         | I <sub>DM</sub>                   | - 60          |      |
| Linear Derating Factor                                                    |                           |                         |                                   | 0.59          | W/°C |
| Inductive Current, Clamped                                                | L = 100 μH                |                         | I <sub>LM</sub>                   | - 60          | A    |
| Unclamped Inductive Current (Avalanche Current)                           |                           |                         | I <sub>L</sub>                    | - 3.1         | A    |
| Maximum Power Dissipation                                                 | T <sub>C</sub> = 25 °C    |                         | P <sub>D</sub>                    | 74            | W    |
| Operating Junction and Storage Temperature Range                          |                           |                         | T <sub>J</sub> , T <sub>stg</sub> | - 55 to + 150 | °C   |
| Soldering Recommendations (Peak Temperature)                              |                           |                         | for 10 s                          |               |      |

Для забезпечення мінімалізації втрат, в якості обмежувального діода VD1 доцільно обрати діод Шоткі, розрахований на прямий струм 3 А, та мати мінімальне значення падіння напруги. В даному випадку можна скористатися діодом Шоткі 1N5820, характеристики якого приведені в Таблиця 4.3.4

Таблиця 4.3.4

| Symbol              | Parameter                                |                                   | Value         |        |        | Unit |
|---------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|---------------|--------|--------|------|
|                     |                                          |                                   | 1N5820        | 1N5821 | 1N5822 |      |
| V <sub>RRM</sub>    | Repetitive peak reverse voltage          |                                   | 20            | 30     | 40     | V    |
| I <sub>F(RMS)</sub> | RMS forward current                      |                                   | 10            |        |        | A    |
| I <sub>F(AV)</sub>  | Average forward current                  | T <sub>L</sub> = 100°C<br>δ = 0.5 |               |        | 3      | A    |
|                     |                                          | T <sub>L</sub> = 110°C<br>δ = 0.5 | 3             | 3      |        | A    |
| I <sub>FSM</sub>    | Surge non repetitive forward current     | tp = 10 ms<br>Sinusoidal          | 80            |        |        | A    |
| T <sub>stg</sub>    | Storage temperature range                |                                   | - 65 to + 150 |        |        | °C   |
| T <sub>j</sub>      | Maximum operating junction temperature * |                                   | 150           |        |        | °C   |
| dV/dt               | Critical rate of rise of reverse voltage |                                   | 10000         |        |        | V/μs |

Значення ємності вихідного фільтра можна обчислити за формулою:

$$C6 = \frac{I_{out}(1 - U_{out}/U_{max})}{FU_p} = \frac{2 \cdot (1 - 5/13,8)}{100 \cdot 10^3 \cdot 0,03} = 425 \text{ мкФ}$$

Для зменшення загального ЕПО конденсатора, бажано використати з'єднані паралельно два конденсатори з ємністю 330 мкФ кожний.

Для обчислення значення ємності вхідного конденсатора необхідно знайти середньоквадратичне значення струму на вході. Оціночне значення RMS становить 1,1 А. Тоді ємність вхідного конденсатора можна обчислити за формулою:

$$C1 = \frac{P_{in}}{FI_{RMS}^2} = \frac{12,5}{100 \cdot 10^3 \cdot 1,1^2} = 103,3 \text{ мкФ}$$

В даному випадку, як і для вихідного конденсатора, доцільно об'єднати два паралельно увімкнених конденсатори з ємністю не нижчою, чим половина отриманого значення, що становить 56 мкФ.

У даному контролері вбудовано захист від перенавантаження, що реалізовано за допомогою відстеження рівня падіння напруги на резисторі R1.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 65   |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

У відповідності до даних технічної специфікації на контролер, спрацювання відбувається при перевищенні порогу падіння напруги  $U_{cs} = 0,4 \text{ В}$ . Враховуючи пікове значення струму  $I_p = 1,4 I_{out} = 2,8 \text{ А}$ , та враховуючи 25% поріг спрацювання захисту, критичне значення струму для спрацювання захисту становитиме:

$$I_{cs} = I_p + 0,25 I_p = 2,8 + 0,7 = 3,5 \text{ А}$$

Тоді значення R1 становить:

$$R1 = \frac{U_{cs}}{I_{cs}} = \frac{0,4}{3,5} = 0,11 \text{ Ом}$$

При цьому потужність, що буде розсіюватись на даному резисторі становить:

$$P_{R1} = I_{cs}^2 R1 = 3,5^2 \cdot 0,11 = 1,347 \text{ Вт}$$

Номінальне значення потужності даного резистора становить 2 Вт.

Номінали резисторів дільника зворотного зв'язку вибираються таким чином, щоб забезпечити напругу

$$U_d = U_{REF.EA} = 1,5 \text{ В}$$

де  $U_{REF.EA}$  — значення внутрішньої опорної напруги, що подається на підсилювач помилок, та становить 1,5 В.

Значення номіналу резистора R4, при орієнтовному струмі зчитування  $I_{EA} = 1 \text{ мА}$ , становить:

$$R4 = \frac{U_{EA}}{I_{EA}} = \frac{1,5}{1 \cdot 10^{-3}} = 1,5 \text{ кОм}$$

Значення R3 становить:

$$R3 = \frac{U_{out} - U_{EA}}{I_{EA}} = \frac{5 - 1,5}{1 \cdot 10^{-3}} = 3,5 \text{ кОм}$$

Для забезпечення можливості здійснювати налаштування напруги на дільнику, доцільно значення резистора R3 прийняти рівним 3,3 кОм, та ввімкнути його послідовно з пістроювальним резистором з опором 300 Ом.

Для розрахунку компенсаційного контуру зворотного зв'язку по напрузі, необхідно знайти резонанс (поліус) вихідного фільтра. Частоту резонансу можна знайти за формулою:

|     |      |          |        |      |                    |            |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист<br>66 |
|     |      |          |        |      |                    |            |
| Зм. | Лист | № док-м. | Підпис | Дата |                    |            |

$$f_{p0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_6}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{82 \cdot 10^{-6} \cdot 660 \cdot 10^{-6}}} = 684 \text{ Гц}$$

Додатковий резонанс (нуль), який зумовлений наявністю ЕПО конденсатора (два паралельно ввімкнених конденсатора по 0,150 Ом):

$$f_{z0} = \frac{1}{2\pi(ESR) \cdot C_6} = \frac{1}{2\pi \cdot 0,075 \cdot 660 \cdot 10^{-6}} = 3215 \text{ Гц}$$

Абсолютний коефіцієнт підсилення схеми живлення (внутрішній):

$$A_{DC} = \frac{U_{in}}{U_{ref}} = \frac{13,8}{3} = 4,6$$

$$G_{DC} = 20 \log(A_{DC}) = 13,25 \text{ дБ}$$

Для більшості випадків, частоту переходу підсилення необхідно вибрати в діапазоні 10 – 15 кГц (не більше 20% від робочої частоти перемикавання контролера):

$$f_{x0} = 10 \cdot 10^3 \text{ Гц}$$

Для досягнення частоти переходу в 10 кГц необхідно «припідняти» амплітудну характеристику:

$$G_{x0} = 20 \cdot \log(f_{x0}/f_{p0}) - G_{DC} = 20 \cdot \log(10 \cdot 10^3/684) - 13,25 = G_2 = +10,04 \text{ дБ}$$

$$A_{x0} = A_2 = 3,18$$

Для першого набору компенсаційних «нулів» підсилення складає:

$$G_1 = G_{x0} + 20 \cdot \log(f_{ez2}/f_{z0}) = 10,04 + 20 \cdot \log(342/3215) = -9,42 \text{ дБ}$$

$$A_1 = 0,338$$

Перший компенсаційний полюс на частоті ЕПО конденсатора:

$$f_{ep1} = 3215 \text{ Гц}$$

Другий компенсаційний полюс:

$$f_{ep2} = 1,5f_{x0} = 15 \cdot 10^3 \text{ Гц}$$

В результаті отриманих даних, можна обчислити номінали компенсаційного контуру:

$$C_4 = \frac{1}{2\pi f_{x0} \cdot A_2 \cdot R_3} = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 3,18 \cdot 3,5 \cdot 10^3} = 1,43 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 67   |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Приймаємо значення  $C_4 = 1,5 \text{ нФ}$

$$R_2 = A_1 \cdot R_3 = 0,338 \cdot 3,5 \cdot 10^3 = 1,183 \text{ Ом}$$

Приймаємо значення  $R_2 = 1,1 \text{ кОм}$

$$C_3 = \frac{1}{2\pi f_{ez1} \cdot R_2} = \frac{1}{2\pi \cdot 342 \cdot 1100} = 422,9 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

Приймаємо значення  $C_3 = 470 \text{ нФ}$

$$R_5 = \frac{R_2}{A_1} = \frac{1100}{0,338} = 3254 \text{ Ом}$$

Приймаємо значення  $R_5 = 3,3 \text{ кОм}$

$$C_7 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{ep2} \cdot R_5} = \frac{1}{2\pi \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 3300} = 3,215 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

Приймаємо значення  $C_7 = 3,3 \text{ нФ}$

Рекомендоване значення ємності конденсатора  $C_5$  на байпасі, у відповідності до технічної специфікації, що з'єднує 8 вивід REF з земляною шиною, становить 100 нФ.

#### 4.4. Створення схеми електричної принципової

У попередніх підрозділах було проведено всі необхідні електричні розрахунки окремих функціональних вузлів блоку контролю та перетворення напруги, а також представлено схеми електричні принципові кожного з них. Керуючись отриманими результатами та у відповідності до структурної схеми, що вказана в розділі 3.1 даної пояснювальної записки, вказані вузли можна об'єднати в одну схему. При цьому необхідно додати два вимикачі типу KLS7-013, для можливості незалежно керувати як водяним насосом, так і блоком перетворення напруги. Розробка схеми електричної принципової проводилась в середовищі проєктування Altium Designer 20, та її остаточний варіант представлено в додатку В та на машинному носії PT71.436121.001 ЕЗ.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № докum. | Підпис | Дата |                    | 68   |

## 5 РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ БЛОКУ КОНТРОЛЮ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ НАПРУГИ

При аналізі електричної принципової схеми та проведенні розрахунків можна встановити, що на друкованій платі не будуть встановлюватися компоненти, які мають великі теплові навантаження. Оскільки в розробці ДП пристрою використовуються вивідні елементи, то дана ДП може бути виготовлена односторонньою за допомогою субтрактивного методу без шару металізації. В якості матеріалу плати можна обрати фольгований склотекстоліт FR-4 High TG 50/0 Oz 1,5 mm S1190 фірми Shengyi. Враховуючи те, що щільність монтажу компонентів невисока, то клас точності ДП — 3.

### 5.1. Розрахунок діаметрів контактних майданчиків

Розрахуємо діаметри отворів вивідних елементів за формулою:

$$D_o = D_v + 0,2$$

де  $D_o$  — розміри отворів для вивідних елементів,

$D_v$  — розміри виводів.

Оскільки стандартний крок свердл становить 0,1 мм, при розрахунках необхідно округляти значення розміру отвору десятої частки міліметра в більшу сторону.

Розрахуємо розміри контактних майданчиків для вивідних елементів за формулою:

$$D_k = D_o + 2/3 D_o$$

Всі отримані значення зведені до Таблиця 5.1.1 (значення вказано в [мм]).

Таблиця 5.1.1 — Значення розмірів отворів та контактних майданчиків.

| Тип елемента              |  |  |  |  | $D_v$ | $D_o$ | $D_k$ |
|---------------------------|--|--|--|--|-------|-------|-------|
| Резистор MF-12 (0,125 Вт) |  |  |  |  | 0,55  | 0,8   | 1,3   |
| Резистор MF-25 (0,25 Вт)  |  |  |  |  | 0,6   | 0,8   | 1,3   |
| Резистор MF-100 (1 Вт)    |  |  |  |  | 0,8   | 1,0   | 1,6   |
| Резистор SQM-02 (2 Вт)    |  |  |  |  | 0,8   | 1,0   | 1,6   |

|     |      |          |        |      |                    |  |  |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|--|--|------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ |  |  | Лист |
| Зм. | Лист | № док.м. | Підпис | Дата |                    |  |  | 69   |

| Тип елемента                                    | $D_B$   | $D_o$   | $D_K$   |
|-------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| Резистор SQP-5W (5 Вт)                          | 0,8     | 1,0     | 1,6     |
| Резистор підстроювальний (SF-065)               | 0,94    | 1,2     | 1,8     |
| Конденсатор дисковий керамічний (1 пФ – 470 нФ) | 0,5     | 0,7     | 1,2     |
| Конденсатор електролітичний 3,3 мкФ             | 0,5     | 0,7     | 1,2     |
| Конденсатор електролітичний 56 мкФ – 330 мкФ    | 0,6     | 0,8     | 1,3     |
| Діод (ТО-92)                                    | 0,6     | 0,8     | 1,3     |
| Діод (DO-15)                                    | 0,88    | 1,1     | 1,9     |
| Діод (DO-21)                                    | 0,52    | 0,8     | 0,8     |
| Діод (DO-41)                                    | 0,86    | 1,1     | 1,9     |
| Транзистор (ТО-92)                              | 0,6     | 0,8     | 1,3     |
| Транзистор (ТО-220)                             | 0,98    | 1,2     | 1,8     |
| Транзистор (ТО-247)                             | 1,52    | 1,8     | 3,0     |
| Мікросхема (DFM)                                | 0,6     | 0,8     | 1,3     |
| Мікросхема (DIP-8)                              | 0,6     | 0,8     | 1,3     |
| Мікросхема (DIP-16)                             | 0,6     | 0,8     | 1,3     |
| Реле                                            | 0,6-0,7 | 0,8-0,9 | 1,3-1,5 |
| Трансформатор імпульсний                        | 1,0     | 1,2     | 2,0     |
| Дросель (RFB1010)                               | 0,8     | 1,0     | 1,7     |
| Клемник (ЕНК2V-02P)                             | 1,3     | 1,5     | 2,5     |
| Роз'єм (USB Type A)                             | 0,7-2,1 | 0,9-2,3 | 1,2-3,2 |
| Роз'єм (KLS1-2.50-02)                           | 1,5     | 1,7     | 2,8     |

В рядках, де вказано більше, ніж один розмір, компонент має виводи що розрізняються за діаметром.

## 5.2. Визначення габаритів друкованої плати

Для визначення площі плати необхідно розрахувати мінімально необхідну площу, що відповідає загальній площі всіх елементів, які будуть розміщуватися на ДП. Результати розрахунку зведено до Таблиця 5.2.1

Таблиця 5.2.1

| Компонент                                  | $S_e$   | $n$ | $k$ | $S_n$   |
|--------------------------------------------|---------|-----|-----|---------|
| Резистор MF-12 (0,125 Вт)                  | 25,659  | 16  | 1   | 410,544 |
| Резистор MF-25 (0,25 Вт)                   | 27,848  | 1   | 1   | 27,848  |
| Резистор MF-100 (1 Вт)                     | 116,143 | 2   | 1   | 232,286 |
| Резистор SQM-02 (2 Вт)                     | 86,25   | 1   | 1   | 86,25   |
| Резистор SQP-5W (5 Вт)                     | 254,555 | 1   | 1   | 254,555 |
| Резистор підстроювальний (SF-065)          | 57,547  | 5   | 1   | 287,735 |
| Конденсатор дисковий керамічний (Ø 3,5 мм) | 9,098   | 1   | 1   | 9,098   |
| Конденсатор дисковий керамічний (Ø 5 мм)   | 14,11   | 5   | 1   | 70,55   |
| Конденсатор електролітичний (Ø 13 мм)      | 65,61   | 6   | 1   | 391,66  |
| Діод (ТО-92)                               | 27,317  | 1   | 1   | 27,317  |
| Діод (DO-15)                               | 56,038  | 1   | 1   | 56,038  |
| Діод (DO-21)                               | 56,038  | 1   | 1   | 56,038  |
| Діод (DO-41)                               | 56,038  | 1   | 1   | 56,038  |
| Транзистор (ТО-92)                         | 27,317  | 1   | 1   | 27,317  |
| Транзистор (ТО-220)                        | 98,202  | 3   | 1   | 294,606 |
| Транзистор (ТО-247)                        | 84,364  | 1   | 1   | 84,364  |
| Мікросхема (DFM)                           | 79,7    | 1   | 1,1 | 87,67   |
| Мікросхема (DIP-8)                         | 105,193 | 2   | 1,5 | 315,579 |
| Мікросхема (DIP-16)                        | 222,879 | 1   | 1,6 | 356,606 |
| Реле                                       | 97,802  | 1   | 1,1 | 107,582 |

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 71   |
| Зм. | Лист | № док-м. | Підпис | Дата |                    |      |

| Компонент                | $S_e$    | $n$ | $k$ | $S_n$   |
|--------------------------|----------|-----|-----|---------|
| Трансформатор імпульсний | 1717,728 | 1   | 1,1 | 1889,5  |
| Дросель (RFB1010)        | 123,25   | 1   | 1   | 123,25  |
| Клемник (ЕНК2V-02Р)      | 115,362  | 4   | 1   | 461,448 |
| Роз'єм (USB Type A)      | 242,407  | 1   | 1   | 242,407 |
| Роз'єм (KLS1-2.50-02)    | 100      | 2   | 1   | 200     |
| Отвори для кріплення     | 100      | 4   | 1   | 400     |

де  $S_e$  — площа одного елемента;

$n$  — кількість однотипних елементів;

$k$  — коефіцієнт форми;

$S_n$  — площа однотипних елементів

Підсумувавши загальну площу однотипних елементів отримано, що мінімальна площа друкованої плати становить 6552,286мм<sup>2</sup>.

Обчислимо оптимальну площу плати, скориставшись формулою [11, с.90]:

$$S_{\text{опт}} = k_S S_{\text{мін}}$$

де  $k_S$  — коефіцієнт, що залежить від призначення та умов експлуатації апаратури ( $k_S = 1 - 3$ )

Оберемо  $k_S = 1,6$ , тоді оптимальна площа плати:

$$S_{\text{опт}} = 1,6 \cdot 6552,286 = 10483,6576 \text{ мм}^2$$

При цьому розміри плати можна обрати рівними 140 мм × 75 мм

### 5.3. Розрахунок ширини друкованих провідників

Аналізуючи електричну принципову схему та провівши розрахунки у попередніх розділах, можна виділити декілька класів мереж ДП, параметри напруги та струму яких будуть впливати на ширину друкованих провідників. У списку нижче представлено назви цих мереж та вказано максимально можливі значення напруги та струму в кожній із них. При цьому можна виділити 4 мережі:

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 72   |
| Зм. | Лист | № док.м. | Підпис | Дата |                    |      |

- Силова 1,  $U_{max} = 13,8 \text{ В}$ ,  $I_{max} = 1,57 \text{ А}$ ;
- Силова 2,  $U_{max} = 310 \text{ В}$ ,  $I_{max} = 0,048 \text{ А}$ ;
- Силова 3,  $U_{max} = 5 \text{ В}$ ,  $I_{max} = 0,2 \text{ А}$ ;
- Сигнальна 1,  $U_{max} = 13,8 \text{ В}$ ,  $I_{max} = 0,2 \text{ А}$ ;

В Таблиця 5.3.1 представлено залежність мінімально допустимої ширини друкованих провідників в залежності від класу точності ДП (у відповідності до ГОСТ23751-86)

Таблиця 5.3.1

| Условные обозначения элементов печатного монтажа | Класс точности ПП   |                     |            |            |            |
|--------------------------------------------------|---------------------|---------------------|------------|------------|------------|
|                                                  | 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      |
| $\gamma = d/H$                                   | 0,40                | 0,40                | 0,33       | 0,25       | 0,20       |
| $\Delta t$ , мм (без покрытия)                   | $\pm 0,15$          | $\pm 0,10$          | $\pm 0,05$ | $\pm 0,03$ | $0; -0,03$ |
| $\Delta t$ , мм (с покрытием)                    | $+0,25;$<br>$-0,20$ | $+0,15;$<br>$-0,10$ | $\pm 0,10$ | $\pm 0,05$ | $\pm 0,03$ |
| $T_1$ , мм (ОПП, ДПП, ГПК и МПП — наружные слои) | 0,15                | 0,10                | 0,05       | 0,03       | 0,03       |
| $T_2$ , мм (МПП — внутренние слои)               | 0,20                | 0,12                | 0,10       | 0,05       | 0,03       |

Для силової 1 мінімально допустима ширина друкованого провідника, з урахуванням падіння напруги на ньому (3%):

$$t_{min1.p1} = \frac{I_{max} l \rho}{0,03 h U_{max}} = \frac{1,57 \cdot 0,15 \cdot 0,0175}{0,03 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 13,8} = 0,199 \text{ мм}$$

де  $I_{max}$  — максимальний струм для даної мережі, А;

$l$  — максимальна довжина друкованого провідника (найдовша сторона ДП), м;

$\rho$  — питомий опір міді,  $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ ;

$h$  — товщина міді, мм;

$U_{max}$  — максимальна напруга для даної мережі, В.

Виходячи з цих даних, мінімальна допустима ширина для класу точності 3, у вузькому місці, становить:

$$t_3 = t + |\Delta t| = 0,25 + 0,05 = 0,3 \text{ мм}$$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника в широкому місці (за класом точності на один менше):

$$t_{min.2} = t + |\Delta t| = 0,45 + 0,1 = 0,55 \text{ мм}$$

При цьому, мінімально допустима ширина друкованого провідника, з урахуванням рівня струму на ньому:

$$t_{p1} = \frac{I_{max}}{hj} = \frac{1,57}{50 \cdot 10^{-3} \cdot 20} = 1,57 \text{ мм}$$

де  $j$ —допустима щільність струму в друкованому провіднику,  $\frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ .

Виходячи з цього, мінімальна ширина друкованого провідника не може бути менша ніж 1,57 мм.

Аналогічним методом проведемо розрахунки для інших класів мереж. Для силової 2:

$$t_{min1.p2} = \frac{I_{max} l \rho}{0,03 h U_{max}} = \frac{0,048 \cdot 0,15 \cdot 0,0175}{0,03 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 13,8} = 270 \cdot 10^{-6} \text{ мм}$$

$$t_{p2} = \frac{I_{max}}{hj} = \frac{0,048}{50 \cdot 10^{-3} \cdot 20} = 0,048 \text{ мм}$$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника для силової 2:

$$t_{min1.p2} = 0,35 \text{ мм}$$

Для силової 3:

$$t_{min1.p3} = \frac{I_{max} l \rho}{0,03 h U_{max}} = \frac{2 \cdot 0,15 \cdot 0,0175}{0,03 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 5} = 0,7 \text{ мм}$$

$$t_{p3} = \frac{I_{max}}{hj} = \frac{2}{50 \cdot 10^{-3} \cdot 20} = 2 \text{ мм}$$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника для силової 2:

$$t_{min1.p3} = 2 \text{ мм}$$

Для сигнальної 1:

$$t_{min1.s1} = \frac{I_{max} l \rho}{0,03 h U_{max}} = \frac{0,2 \cdot 0,15 \cdot 0,0175}{0,03 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 13,8} = 0,02 \text{ мм}$$

$$t_{s1} = \frac{I_{max}}{hj} = \frac{0,2}{50 \cdot 10^{-3} \cdot 20} = 0,2 \text{ мм}$$

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 74   |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Мінімальне значення ширини друкованого провідника для сигнальної 1:

$$t_{min1.s1} = 0,35 \text{ мм}$$

Отримані результати розрахунків занесемо до Таблиця 5.3.2

Таблиця 5.3.2

| Тип мережі  | Напруга,<br>В | Струм,<br>А | Ширина провідника, мм |            | Зазор, мм |
|-------------|---------------|-------------|-----------------------|------------|-----------|
|             |               |             | у вузькому            | у широкому |           |
| Силова 1    | 13,8          | 1,57        | 1,57                  | 1,57       | 0,35      |
| Силова 2    | 310           | 0,048       | 0,35                  | 0,55       | 0,35      |
| Силова 3    | 5             | 2           | 2                     | 2          | 0,35      |
| Сигнальна 1 | 13,8          | 0,2         | 0,35                  | 0,35       | 0,35      |

За результатами отриманих даних в середовищі проєктування Altium Designer 20 було створено друковану плату, зовнішній вигляд якої, технологічні шари показані в додатку Е.

## ВИСНОВКИ

В даному дипломному проєкті було проведено розробку спеціалізованої малогабаритної сонячної електростанції, за допомогою якої можливо забезпечувати живлення електроенергією спеціалізованих споживачів у місцях, де відсутнє стаціонарне електропостачання.

Основною задачею при розробці даного проєкту було спрощення конструкції електронного блоку контролю та перетворення напруги в порівнянні з аналогічними сонячними електростанціями подібного класу. При аналізі технічного завдання було встановлено, що спеціалізовані споживачі, які будуть під'єднуватися до сонячної електростанції, вимагають інші характеристики напруги живлення ніж у розглянутих аналогів сонячних електростанцій, що пропонують виробники на даному сегменті ринку. Це дозволило максимально спростити конструкцію перетворювача напруги.

В ході виконання роботи було проведено експериментальні дослідження по встановленню реальних характеристик по продуктивності та електричним параметрам водяного насоса, а також встановлено споживання електричної енергії під час заряджання мобільного телефону з батареєю ємністю 4000 мА·год. Це дозволило максимально точно визначити загальну необхідну потужність сонячної електростанції, провести правильний вибір сонячних панелей та провести всі необхідні електричні розрахунки блоку контролю та перетворення напруги.

Оскільки максимальна потужність даної сонячної електростанції не перевищує 20 Вт, а обрані активні елементи за своїми характеристиками дещо перевищують розраховані параметри (існуюча елементна база для використання в даному проєкті не має аналогів з нижчими характеристиками), їх встановлення на друкованій платі можливе без використання радіаторів для охолодження, що в свою чергу зменшує габаритні розміри як друкованої плати, так і корпусу для блоку в цілому.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | PT71.436121.001 ПЗ | Лист |
|     |      |          |        |      |                    | 76   |
| Зм. | Лист | № док-м. | Підпис | Дата |                    |      |

Після проведених розрахунків та вибору елементної бази .було розроблено друковану плату. Розробка проводилась за допомогою середовища проєктування Altium Designer 20. Також за допомогою даного середовища було створено конструкторську документацію, яка відповідає усім вимогам ЄСКД.

Проведена робота дозволяє зробити висновок, що розроблений пристрій у повній мірі задовольняє усім вимогам, які вказані в технічному завданні. При проєктування друкованої плати було враховано можливість використання розробленого блоку з сонячними панелями більшої потужності при незначній заміні елементної бази, використання фольгованого текстоліту з більшим шаром металізації, для збільшення товщини друкованих провідників, а також відповідній компоновці силових елементів, яка дозволить їх використання спільно з радіаторами для охолодження при розсіюванні більшої потужності.

Також хотілося б відзначити, що даний тип сонячної електростанції можна використовувати в зоні проведення ООС, оскільки на відміну від бензинових чи дизельних генераторів вона не потребує палива а також працює безшумно, що запобігає демаскуванню позиції.

Створено дослідний зразок розробленого проєкту спеціалізованої малогабаритної сонячної електростанції, який на даний момент проходить випробування в польових умовах. Зовнішній вигляд зразку представлено у додатку Ж.

По всі показникам роботи дана СМСЕ максимально наближена до теоретично розрахованих параметрів та задовольняє всім вимогам.

|            |             |                 |               |             |                           |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>РТ71.436121.001 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
|            |             |                 |               |             |                           | 77          |
| <i>Зм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докцм.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                           |             |

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Браун М. Источники питания. Расчет и конструирование. / Марти Браун. – Киев: МК-Пресс, 2007. – 288 с.
2. Хрусталев Д.А. Аккумуляторы. – М.: Изумруд, 2003. – 224 с.: ил.
3. Скоков Я.М. Химические источники тока. Стационарные аккумуляторы: Практик. пособие / Я.М. Скоков. – Ми.: ЗАО «Техноперспектива», 2004. – 102 с.
4. Sueker, Keith H. Power electronics design: a practitioner's guide / by Keith H. Sueker. – 1 st ed. p. cm.
5. Маниктала С. Импульсные источники питания от А до Z: Пер с англ. – Киев: МК-Пресс, 2008. – 256 с., ил.
6. Мэк Р. Импульсные источники питания. Теоритические основы проектирования и руководство по практическому применению / Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. – 272 с.: ил.
7. Варламов Р.Г. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования. – М.: Сов. радио, 1980. – 480 с., ил.
8. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: профессиональные решения. – Эл. изд. – Саратов: Профобразование, 2017. – 415 с.: ил.
9. Найвельт Г.С. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры: Справочник. – М.: Радио и связь, 1986. – 576 с., ил.
10. Вдовин С.С. Проектирование импульсных трансформаторов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. 1991. – 208 с.: ил.
11. Пирогова Е. В. Проектирование и технология печатных плат. Учебник. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. – 560 с.
12. Официальный сайт производителя «Ретон» [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://reton.com/usu-0708-retona.php>.
13. Ультразвуковая стиральная машинка «Марта» [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:

|     |      |          |        |      |                           |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>PT71.436121.001 ПЗ</i> | Лист |
|     |      |          |        |      |                           | 78   |
| Зм. | Лист | № док.м. | Підпис | Дата |                           |      |

<http://www.mirzdorovia.com.ua/ultrazvukovye-stiralnye-mashinki/ultrazvukovye-stiralnye-mashinki-marta.html>.

14.Монокристаллическая солнечная панель [Электронный ресурс] –

Режим доступа до ресурсу:

<https://www.solnechnye.ru/batareya/solnechnaya-batareya-Chinaland-CHN260-60M-260W.htm#prettyPhoto>.

15.Поликристаллическая солнечная панель [Электронный ресурс] –

Режим доступа до ресурсу:

<https://www.solnechnye.ru/batareya/solnechnaya-batareya-Chinaland-CHN250-60P-250W.htm#prettyPhoto>.

16.Солнечное зарядное устройство Allpowers X-Dragon 10000 orange

[Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:

<https://solpower.com.ua/catalogue/solnechnoe-zaryadnoe-ustrojstvo/solnechnoe-zaryadnoe-ustrojstvo-allpowers-x-dragon-10000-detail>

17.Туристична сонячна електростанція S-10 [Электронный ресурс] –

Режим доступа до ресурсу: <https://prom.ua/ua/p374784879-turisticheskaya-solnechnaya-elektrostantsiya.html>.

## ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

### НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіотехнічних пристроїв та систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Керівник дипломного проекту

\_\_\_\_\_ Т.В. Романенко

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

#### ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту Лизі Миколі Анатолійовичу.

Тема проекту: «Спеціалізована малогабаритна сонячна електростанція»

Розробити спеціалізовану малогабаритну сонячну електростанцію (далі в тексті СМСЕ) для експлуатації в польових умовах з наступними технічними та експлуатаційними характеристиками:

1 Кліматичні умови експлуатації – весняно-літня пора року(з травня по серпень включно).

2 СМСЕ повинна забезпечити надійне функціонування наступних споживачів:

1) Водяний насос з параметрами –  $U=12\text{ В}$ ,  $I=1,5\text{ А}$

Щоденна експлуатація – 2,16 год ;

2) Ультразвукова пральна машина з параметрами –  $U=220\text{ В}$ ,  $I=0.068\text{ А}$ .

Щоденна експлуатація – 1,5 год;

3) Мобільний телефон з акумуляторною батареєю ємністю 4000 мА·год, параметри зарядного пристрою –  $U=5\text{ В}$ ,  $I=2\text{ А}$ .

4) Маса СМСЕ не повинна перевищувати 6 кг.

Студент

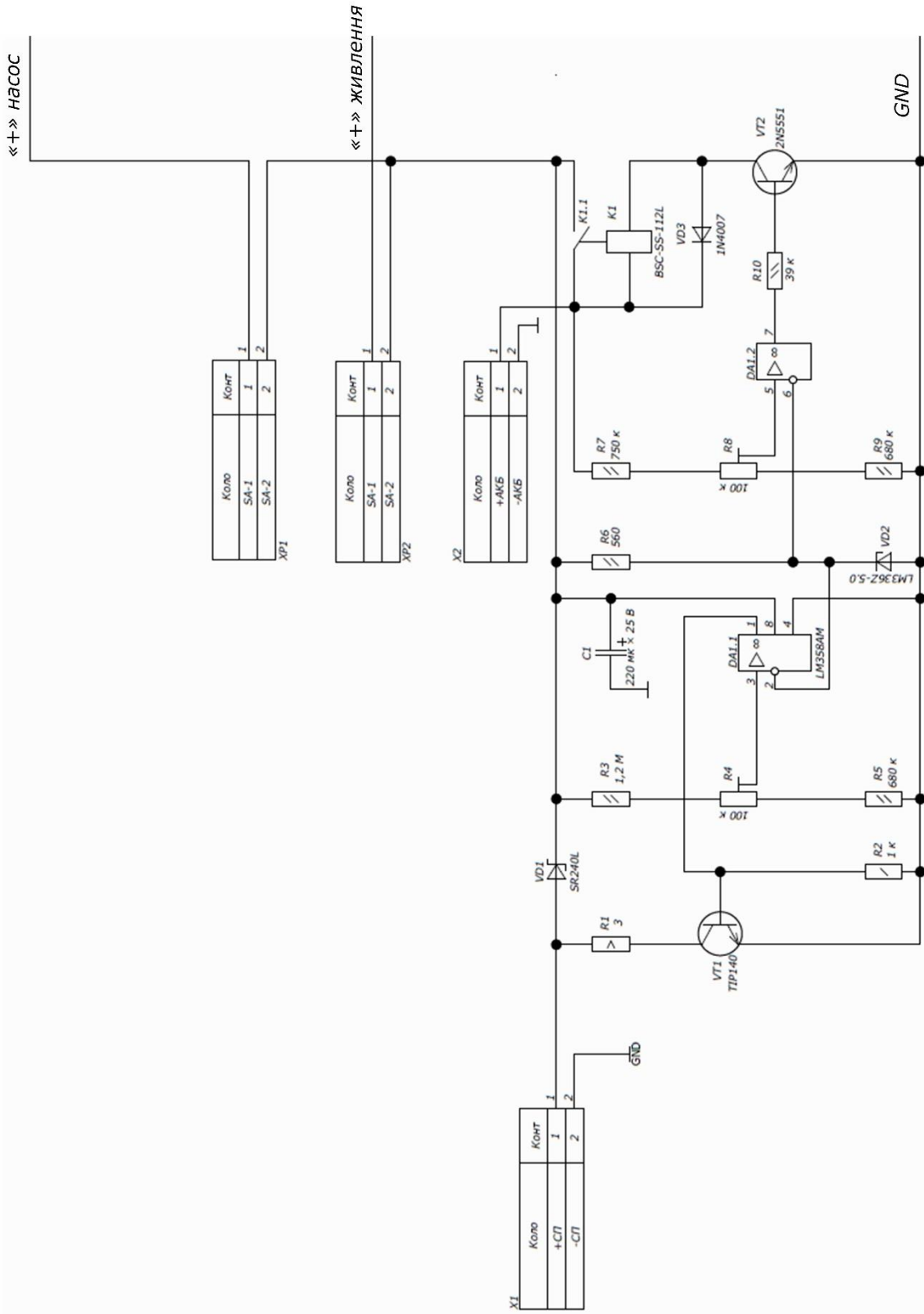
М.А. Лига

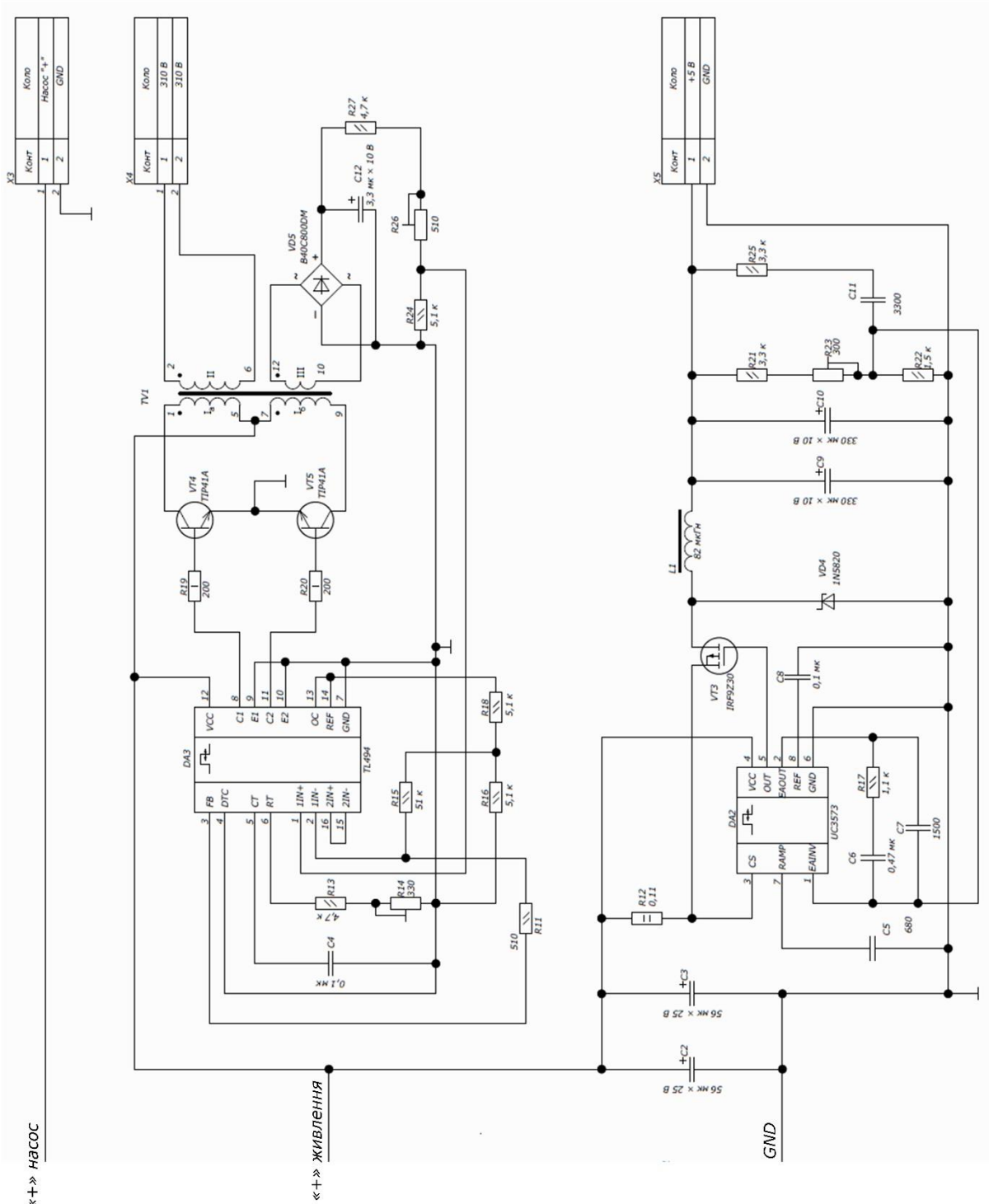
## ДОДАТОК Б. ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

| № з/п | Формат | Позначення         | Найменування                 | Кількість листів | Примітка |
|-------|--------|--------------------|------------------------------|------------------|----------|
| 1     | A4     |                    | Завдання на дипломний проєкт |                  |          |
| 2     | A4     | РТ71.436121.001 ПЗ | Пояснювальна записка         |                  |          |
| 3     | A1     | РТ71.436121.001 Е1 | Схема структурна             | 1                |          |
| 4     | A1     | РТ71.436121.001 Е3 | Схема електрична             | 1                |          |
|       |        |                    | принципова                   |                  |          |
| 5     | A1     | РТ71.758714.001    | Друкована плата              | 1                |          |
| 6     | A1     | РТ71.436121.001 СК | Складальний                  | 1                |          |
|       |        |                    | кресленик                    |                  |          |
|       |        |                    | електронного модуля          |                  |          |
|       |        |                    |                              |                  |          |
|       |        |                    |                              |                  |          |
|       |        |                    |                              |                  |          |
|       |        |                    |                              |                  |          |
|       |        |                    |                              |                  |          |
|       |        |                    |                              |                  |          |
|       |        |                    |                              |                  |          |
|       |        |                    |                              |                  |          |
|       |        |                    |                              |                  |          |
|       |        |                    |                              |                  |          |
|       |        |                    |                              |                  |          |
|       |        |                    |                              |                  |          |
|       |        |                    |                              |                  |          |

|           |           |       |      |                                    |                                                              |        |
|-----------|-----------|-------|------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------|
|           |           |       |      |                                    |                                                              |        |
|           | ПІБ       | Підп. | Дата |                                    |                                                              |        |
| Розробн.  | Лига М.А. |       |      | Відомість<br>дипломного<br>проєкту | Лист                                                         | Листів |
| Керівн.   | Романенко |       |      |                                    | 1                                                            | 1      |
| Консульт. |           |       |      |                                    | КПІ ім. Ігоря Сікорського<br>Каф. _____<br>Гр. <u>РТ-371</u> |        |
| Н.контр.  |           |       |      |                                    |                                                              |        |
| Зав.каф.  |           |       |      |                                    |                                                              |        |

ДОДАТОК В. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА





«+» НАСОС

«+» ЖИВЛЕНИЯ

GND

## **ДОДАТОК Г. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ.**

| Позн.                                                 | Найменування                                        | Кіл.    | Примітки       |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------|----------------|
|                                                       |                                                     |         |                |
|                                                       | <u>Конденсатори</u>                                 |         |                |
|                                                       |                                                     |         |                |
| C1                                                    | Aluminum Electrolytic Capacitor – ECR Series Hitano | 1       |                |
|                                                       | 220 мкФ 25 В ±20%                                   |         |                |
| C2, C3                                                | Aluminum Electrolytic Capacitor – EXR Series Hitano | 2       | Low ESR Series |
|                                                       | 55 мкФ 25 В ±20%                                    |         |                |
| C4                                                    | Ceramic Disc Capacitor – X5R Series Hitano          | 1       |                |
|                                                       | 0,1 мкФ 50 В ±15%                                   |         |                |
| C5                                                    | Ceramic Disc Capacitor – X5R Series Hitano          | 1       |                |
|                                                       | 680 нФ 50 В ±15%                                    |         |                |
| C6                                                    | Ceramic Disc Capacitor – X5R Series Hitano          | 1       |                |
|                                                       | 0,47 мкФ 50 В ±15%                                  |         |                |
| C7                                                    | Ceramic Disc Capacitor – X5R Series Hitano          | 1       |                |
|                                                       | 1500 нФ 50 В ±15%                                   |         |                |
| C8                                                    | Ceramic Disc Capacitor – X5R Series Hitano          | 1       |                |
|                                                       | 0,1 мкФ 50 В ±15%                                   |         |                |
| C9, C10                                               | Aluminum Electrolytic Capacitor – EXR Series Hitano | 2       | Low ESR Series |
|                                                       | 6 330 мкФ 10 В ±20%                                 |         |                |
| C11                                                   | Ceramic Disc Capacitor – X5R Series Hitano          | 1       |                |
|                                                       | 100 нФ 50 В ±15%                                    |         |                |
| C12                                                   | Aluminum Electrolytic Capacitor – ECR Series Hitano | 1       |                |
|                                                       | 3,3 мкФ 10 В ±20%                                   |         |                |
|                                                       |                                                     |         |                |
|                                                       | <u>Мікросхеми</u>                                   |         |                |
| DA1                                                   | LM358AM – Texas Instruments                         | 1       | DIP-8          |
| DA2                                                   | UC3573 – Texas Instruments                          | 1       | DIP-8          |
| DA3                                                   | TL494 – Texas Instruments                           | 1       | DIP-16         |
|                                                       |                                                     |         |                |
|                                                       |                                                     |         |                |
|                                                       |                                                     |         |                |
| Зм                                                    | Арк                                                 | № докум | Підпис         |
|                                                       |                                                     |         | Дата           |
|                                                       |                                                     |         |                |
| Розробив                                              | Лиза М. А.                                          |         |                |
| Перевір.                                              |                                                     |         |                |
| Реценз                                                |                                                     |         |                |
| Н. Кантр                                              |                                                     |         |                |
| Затверд                                               |                                                     |         |                |
| <div>PT71.758714.001 ПЕ</div>                         |                                                     |         |                |
|                                                       |                                                     |         |                |
|                                                       |                                                     |         |                |
| <div>Блок контролю та перетворення напруги</div>      |                                                     |         |                |
|                                                       |                                                     |         |                |
|                                                       |                                                     |         |                |
| <div>КПІ ім. Ігоря Сікорського,<br/>РТФ, РТЗ-71</div> |                                                     |         |                |
|                                                       |                                                     |         |                |
|                                                       |                                                     |         |                |
| <div>Лім. Арк. Аркушів</div>                          |                                                     |         |                |
| <div>1 4</div>                                        |                                                     |         |                |

|     | Найменування                                        |         |        |      | Кіл.               | Примітки       |
|-----|-----------------------------------------------------|---------|--------|------|--------------------|----------------|
|     | <u>Реле</u>                                         |         |        |      |                    |                |
|     |                                                     |         |        |      |                    |                |
| K1  | BSC-SS-112L – KLS Electronics                       |         |        |      | 1                  |                |
|     |                                                     |         |        |      |                    |                |
|     | <u>Індуктивності</u>                                |         |        |      |                    |                |
|     |                                                     |         |        |      |                    |                |
| L1  | RFB1010 – Coilcraft, Inc.                           |         |        |      | 1                  |                |
|     | 82 мкГн ±10%                                        |         |        |      |                    |                |
|     |                                                     |         |        |      |                    |                |
|     | <u>Резистори</u>                                    |         |        |      |                    |                |
|     |                                                     |         |        |      |                    |                |
| R1  | SQP-5W – KLS Electronics 3 Ом ±5%                   |         |        |      | 1                  | Цементний 5 Вт |
| R2  | Metal Film Resistor MF-25 – UniOhm 1 кОм ±5%        |         |        |      | 1                  |                |
| R3  | Metal Film Resistor MF-12 – UniOhm 1,2 МОм ±5%      |         |        |      | 1                  |                |
| R4  | WH06-2A Rotary Carbon Potentiometer KLS Electronics |         |        |      | 1                  |                |
|     | 100 кОм ±20%                                        |         |        |      |                    |                |
| R5  | Metal Film Resistor MF-12 – UniOhm 680 кОм ±5%      |         |        |      | 1                  |                |
| R6  | Metal Film Resistor MF-12 – UniOhm 560 Ом ±5%       |         |        |      | 1                  |                |
| R7  | Metal Film Resistor MF-12 – UniOhm 750 Ом ±5%       |         |        |      | 1                  |                |
| R8  | WH06-2A Rotary Carbon Potentiometer KLS Electronics |         |        |      | 1                  |                |
|     | 100 кОм ±20%                                        |         |        |      |                    |                |
| R9  | Metal Film Resistor MF-12 – UniOhm 680 кОм ±5%      |         |        |      | 1                  |                |
| R10 | Metal Film Resistor MF-12 – UniOhm 39 кОм ±5%       |         |        |      | 1                  |                |
| R11 | Metal Film Resistor MF-12 – UniOhm 510 Ом ±5%       |         |        |      | 1                  |                |
| R12 | SQM-02 – KLS Electronics 0,11 Ом ±5%                |         |        |      | 1                  | Цементний 2Вт  |
| R13 | Metal Film Resistor MF-12 – UniOhm 4,7 кОм ±5%      |         |        |      | 1                  |                |
| R14 | WH06-2A Rotary Carbon Potentiometer KLS Electronics |         |        |      | 1                  |                |
|     | 330 Ом ±20%                                         |         |        |      |                    |                |
| R15 | Metal Film Resistor MF-12 – UniOhm 51 кОм ±5%       |         |        |      | 1                  |                |
| R16 | Metal Film Resistor MF-12 – UniOhm 5,1 кОм ±5%      |         |        |      | 1                  |                |
| R17 | Metal Film Resistor MF-12 – UniOhm 1,1 кОм ±5%      |         |        |      | 1                  |                |
|     |                                                     |         |        |      | PT71.758714.001 ПЕ |                |
|     |                                                     |         |        |      |                    |                |
| Зм  | Арк.                                                | № докум | Підпис | Дата |                    |                |
|     |                                                     |         |        |      |                    | Арк.<br>2      |

|          | Найменування                                                       | Кіл. | Примітки       |
|----------|--------------------------------------------------------------------|------|----------------|
| R18      | Metal Film Resistor MF-12 – UniOhm 5,1 кОм ±5%                     | 1    |                |
| R19, R20 | Metal Film Resistor MF-100 – UniOhm 200 Ом ±5% <sup>1</sup>        | 2    |                |
| R21      | Metal Film Resistor MF-12 – UniOhm 3,3 кОм ±5%                     | 1    |                |
| R22      | Metal Film Resistor MF-12 – UniOhm 1,5 кОм ±5%                     | 1    |                |
| R23      | WH06-2A Rotary Carbon Potentiometer KLS Electronics<br>300 Ом ±20% | 1    |                |
| R24      | Metal Film Resistor MF-12 – UniOhm 5,1 кОм ±5%                     | 1    |                |
| R25      | Metal Film Resistor MF-12 – UniOhm 3,3 кОм ±5%                     | 1    |                |
| R26      | WH06-2A Rotary Carbon Potentiometer KLS Electronics<br>510 Ом ±20% | 1    |                |
| R27      | Metal Film Resistor MF-12 – UniOhm 4,7 кОм ±5%                     |      |                |
|          |                                                                    |      |                |
|          | <u>Вимикачі</u>                                                    |      |                |
|          |                                                                    |      |                |
| SA1, SA2 | KLS7-013                                                           | 2    |                |
|          |                                                                    |      |                |
|          | <u>Трансформатори</u>                                              |      |                |
|          |                                                                    |      |                |
| TV1      | EER42                                                              | 1    |                |
|          |                                                                    |      |                |
|          | <u>Діоди</u>                                                       |      |                |
|          |                                                                    |      |                |
| VD1      | SR240L – Microdiode Electronics Co., Ltd.                          | 1    |                |
| VD2      | LM336Z-5.0 – STMicroelectronics                                    | 1    | T0-92          |
| VD3      | 1N4007 – Fairchild Semiconductor                                   | 1    |                |
| VD4      | 1N5820 – Vishay Siliconix                                          | 1    |                |
| VD5      | B40C800DM – Vishay Siliconix                                       | 1    | Case style DFM |
|          |                                                                    |      |                |
|          | <u>Транзистори</u>                                                 |      |                |
|          |                                                                    |      |                |
| VT1      | TIP-140 – STMicroelectronics                                       | 1    |                |

PT71.758714.001 ПЕ

Арк.  
Зм Арк № докум Підпис Дата

3

|             | Найменування                            |          |        |      | Кіл.               | Примітки  |
|-------------|-----------------------------------------|----------|--------|------|--------------------|-----------|
| VT2         | 2N5551 – ON Semiconductor               |          |        |      | 1                  |           |
| VT3         | IRF9Z30 – Vishay Siliconix              |          |        |      | 1                  |           |
| VT4,<br>VTC | TIP-41A – ON Semiconductor              |          |        |      | 2                  |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             | <u>Клемники</u>                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
| X1-X4       | EHK2V-002 – Dinkle Enterprise Co., Ltd. |          |        |      | 4                  |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             | <u>Роз'єми</u>                          |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
| X5          | USBA-1J (KLS-1-151W) – KLS Electronics  |          |        |      | 1                  |           |
| XP1, XP2    | KLS1-3,96-02                            |          |        |      | 2                  |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
|             |                                         |          |        |      | PT71.758714.001 ПЕ |           |
|             |                                         |          |        |      |                    |           |
| Зм.         | Арк.                                    | № докум. | Підпис | Дата |                    |           |
|             |                                         |          |        |      |                    | Арк.<br>4 |

## **ДОДАТОК Д. СПЕЦИФІКАЦІЯ.**

| Формат  | Зона      | Поз.     | 7 Позначення       |      |                                       | 8 Найменування                    |  |                              | Кількість | Прим.   |
|---------|-----------|----------|--------------------|------|---------------------------------------|-----------------------------------|--|------------------------------|-----------|---------|
|         |           |          |                    |      |                                       |                                   |  |                              |           |         |
|         |           |          |                    |      |                                       | <u>Документація</u>               |  |                              |           |         |
|         |           |          |                    |      |                                       |                                   |  |                              |           |         |
| A4      |           |          | PT71.436121.001 ПЗ |      |                                       | Пояснювальна записка              |  |                              | 1         |         |
| A1      |           |          | PT71.436121.001 E1 |      |                                       | Схема структурна                  |  |                              | 1         |         |
| A1      |           |          | PT71.436121.001 E3 |      |                                       | Схема електрична принципова       |  |                              | 1         |         |
| A1      |           |          | PT71.436121.001 СК |      |                                       | Складальний кресленик             |  |                              | 1         |         |
| A4      |           |          | PT71.436121.001 ПЕ |      |                                       | Перелік елементів                 |  |                              | 4         |         |
|         |           |          |                    |      |                                       |                                   |  |                              |           |         |
|         |           |          |                    |      |                                       | <u>Складальні одиниці</u>         |  |                              |           |         |
|         |           |          |                    |      |                                       |                                   |  |                              |           |         |
| A1      |           | 1        | PT71.758714.001    |      |                                       | Друкована плата                   |  |                              | 1         |         |
|         |           |          |                    |      |                                       |                                   |  |                              |           |         |
|         |           |          |                    |      |                                       | <u>Інші вироби</u>                |  |                              |           |         |
|         |           |          |                    |      |                                       |                                   |  |                              |           |         |
|         |           |          |                    |      |                                       | <u>Конденсатори</u>               |  |                              |           |         |
|         |           |          |                    |      |                                       | Aluminum Electrolytic Capacitor – |  |                              | 1         | С1      |
|         |           |          |                    |      |                                       | ECR 220 мкФ 25 В ±20%             |  |                              |           |         |
|         |           |          |                    |      |                                       | Aluminum Electrolytic Capacitor – |  |                              | 2         | С2, С3  |
|         |           |          |                    |      |                                       | EXR 55 мкФ 25 В ±20%              |  |                              |           |         |
|         |           |          |                    |      |                                       | Ceramic Disc Capacitor – X5R      |  |                              | 1         | С4      |
|         |           |          |                    |      |                                       | 0,1 мкФ 50 В ±15%                 |  |                              |           |         |
|         |           |          |                    |      |                                       | PT71.436121.002                   |  |                              |           |         |
|         |           |          |                    |      |                                       |                                   |  |                              |           |         |
| Зм.     | Арк       | № докум. | Підп               | Дата | Блок контролю та перетворення напруги |                                   |  | Літ.                         | Арк.      | Аркушів |
| Разрад. | Лига М.А. |          |                    |      |                                       |                                   |  |                              | 1         | 5       |
| Пров.   | Романенко |          |                    |      |                                       |                                   |  | НТУУ КПІ, РТФ,<br>зр. РТз-71 |           |         |
| Т.конт  |           |          |                    |      |                                       |                                   |  |                              |           |         |
| Н.конт  |           |          |                    |      |                                       |                                   |  |                              |           |         |
| Затв.   |           |          |                    |      |                                       |                                   |  |                              |           |         |

[illegible]

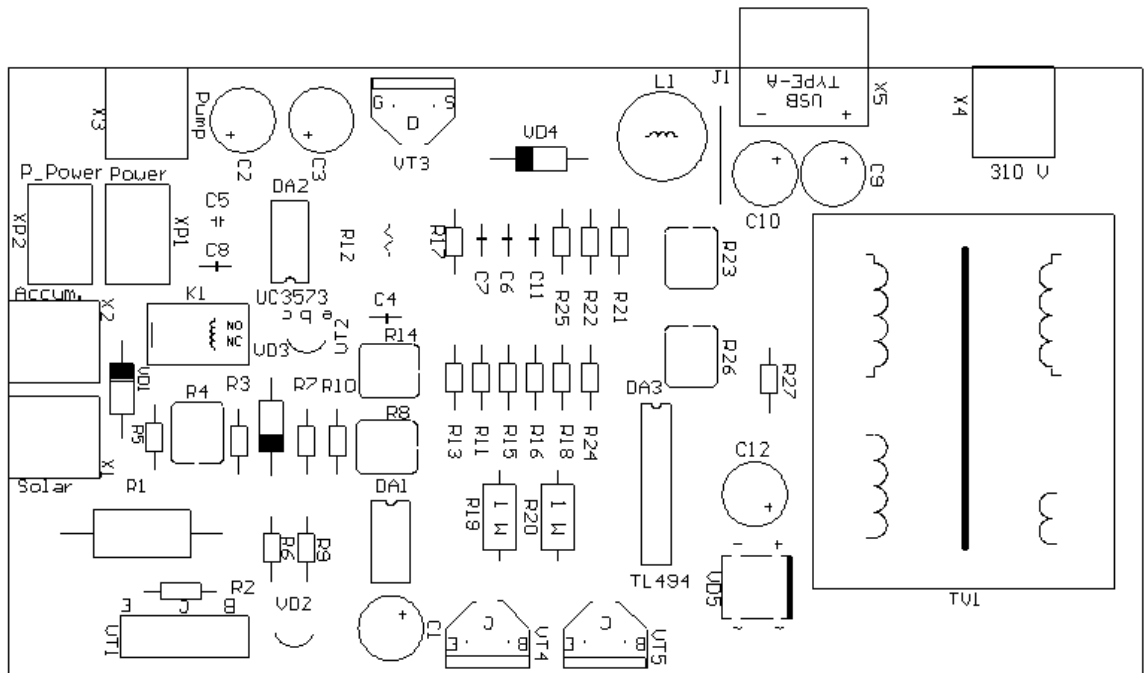
| Форм. | Зона | Поз.     | 11 Позначення |      |  | 12 Найменування                         | Кількість | Прим.   |
|-------|------|----------|---------------|------|--|-----------------------------------------|-----------|---------|
|       |      |          |               |      |  | <u>Індуктивності</u>                    |           |         |
|       |      |          |               |      |  | RFB1010                                 | 1         | L1      |
|       |      |          |               |      |  | 82 мкГн ±10%                            |           |         |
|       |      |          |               |      |  |                                         |           |         |
|       |      |          |               |      |  | <u>Резистори</u>                        |           |         |
|       |      |          |               |      |  | SQP-5W 3 Ом ±5%                         | 1         | R1      |
|       |      |          |               |      |  | MF-25 – UniOhm 1 кОм ±5%                | 1         | R2      |
|       |      |          |               |      |  | MF-12 – UniOhm 1,2 МОм ±5%              | 1         | R3      |
|       |      |          |               |      |  | WH06-2A 100 кОм ±20%                    | 1         | R4      |
|       |      |          |               |      |  | MF-12 – UniOhm 680 кОм ±5%              | 1         | R5      |
|       |      |          |               |      |  | MF-12 – UniOhm 560 Ом ±5%               | 1         | R6      |
|       |      |          |               |      |  | MF-12 – UniOhm 750 Ом ±5%               | 1         | R7      |
|       |      |          |               |      |  | WH06-2A 100 кОм ±20%                    | 1         | R8      |
|       |      |          |               |      |  | MF-12 – UniOhm 680 кОм ±5%              | 1         | R9      |
|       |      |          |               |      |  | MF-12 – UniOhm 39 кОм ±5%               | 1         | R10     |
|       |      |          |               |      |  | MF-12 – UniOhm 510 Ом ±5%               | 1         | R11     |
|       |      |          |               |      |  | SQM-02 0,11 Ом ±5%                      | 1         | R12     |
|       |      |          |               |      |  | MF-12 – UniOhm 4,7 кОм ±5%              | 1         | R13     |
|       |      |          |               |      |  | WH06-2A 330 Ом ±20%                     | 1         | R14     |
|       |      |          |               |      |  | MF-12 – UniOhm 51 кОм ±5%               | 1         | R15     |
|       |      |          |               |      |  | MF-12 – UniOhm 5,1 кОм ±5%              | 1         | R16     |
|       |      |          |               |      |  | MF-12 – UniOhm 1,1 кОм ±5%              | 1         | R17     |
|       |      |          |               |      |  | MF-12 – UniOhm 5,1 кОм ±5%              | 1         | R18     |
|       |      |          |               |      |  | MF-100 – UniOhm 200 Ом ±5% <sup>1</sup> | 2         | R19,R20 |
|       |      |          |               |      |  | MF-12 – UniOhm 3,3 кОм ±5%              | 1         | R21     |
|       |      |          |               |      |  | PT71.436121.002                         |           | 3       |
|       |      |          |               |      |  |                                         |           |         |
| Зм.   | Арк  | № докум. | Підп          | Дата |  |                                         |           |         |

| Форм. | Зона | Поз.     | 13 Позначення |      |  | 14 Найменування               | Кількість | Прим.    |   |
|-------|------|----------|---------------|------|--|-------------------------------|-----------|----------|---|
|       |      |          |               |      |  | MF-12 – UniOhm 1,5 кОм ±5%    | 1         | R22      |   |
|       |      |          |               |      |  | WH06-2A 300 Ом ±20%           | 1         | R23      |   |
|       |      |          |               |      |  | 15 MF-12 – UniOhm 5,1 кОм ±5% | 1         | R24      |   |
|       |      |          |               |      |  | MF-12 – UniOhm 3,3 кОм ±5%    | 1         | R25      |   |
|       |      |          |               |      |  | WH06-2A 510 Ом ±20%           | 1         | R26      |   |
|       |      |          |               |      |  | MF-12 – UniOhm 4,7 кОм ±5%    | 1         | R27      |   |
|       |      |          |               |      |  |                               |           |          |   |
|       |      |          |               |      |  | <u>Вимикачі</u>               |           |          |   |
|       |      |          |               |      |  | KLS7-013                      | 2         | SA1,SA2  |   |
|       |      |          |               |      |  |                               |           |          |   |
|       |      |          |               |      |  | <u>Трансформатори</u>         |           |          |   |
|       |      |          |               |      |  | EER42                         | 1         | TV1      |   |
|       |      |          |               |      |  |                               |           |          |   |
|       |      |          |               |      |  | <u>Діоди</u>                  |           |          |   |
|       |      |          |               |      |  | SR240L                        | 1         | VD1      |   |
|       |      |          |               |      |  | LM336Z-5.0                    | 1         | VD2      |   |
|       |      |          |               |      |  | 1N4007                        | 1         | VD3      |   |
|       |      |          |               |      |  | 1N5820                        | 1         | VD4      |   |
|       |      |          |               |      |  | B40C800DM                     | 1         | VD5      |   |
|       |      |          |               |      |  |                               |           |          |   |
|       |      |          |               |      |  | <u>Транзистори</u>            |           |          |   |
|       |      |          |               |      |  | TIP-140                       | 1         | VT1      |   |
|       |      |          |               |      |  | 2N5551                        | 1         | VT2      |   |
|       |      |          |               |      |  | IRF9Z30                       | 1         | VT3      |   |
|       |      |          |               |      |  | TIP-41A                       | 2         | VT4, VT5 |   |
|       |      |          |               |      |  | PT71.436121.002               |           |          | 4 |
|       |      |          |               |      |  |                               |           |          |   |
| Зм.   | Арк  | № докум. | Підп          | Дата |  |                               |           |          |   |

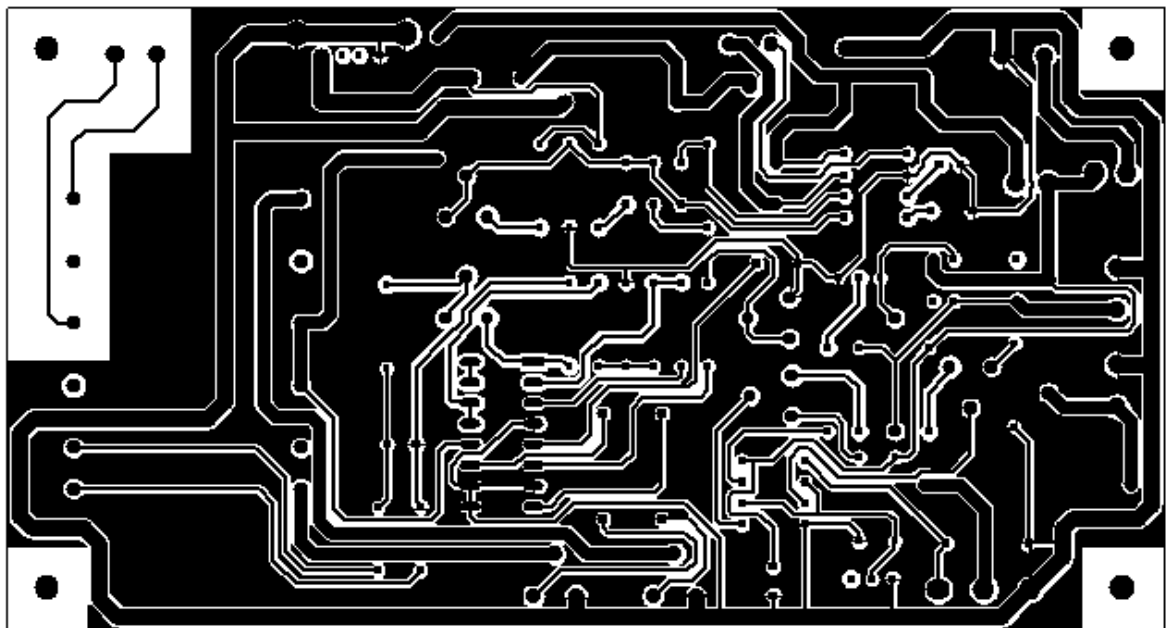
[illegible]

## ДОДАТОК Е. ТЕХНОЛОГІЧНІ ШАРИ

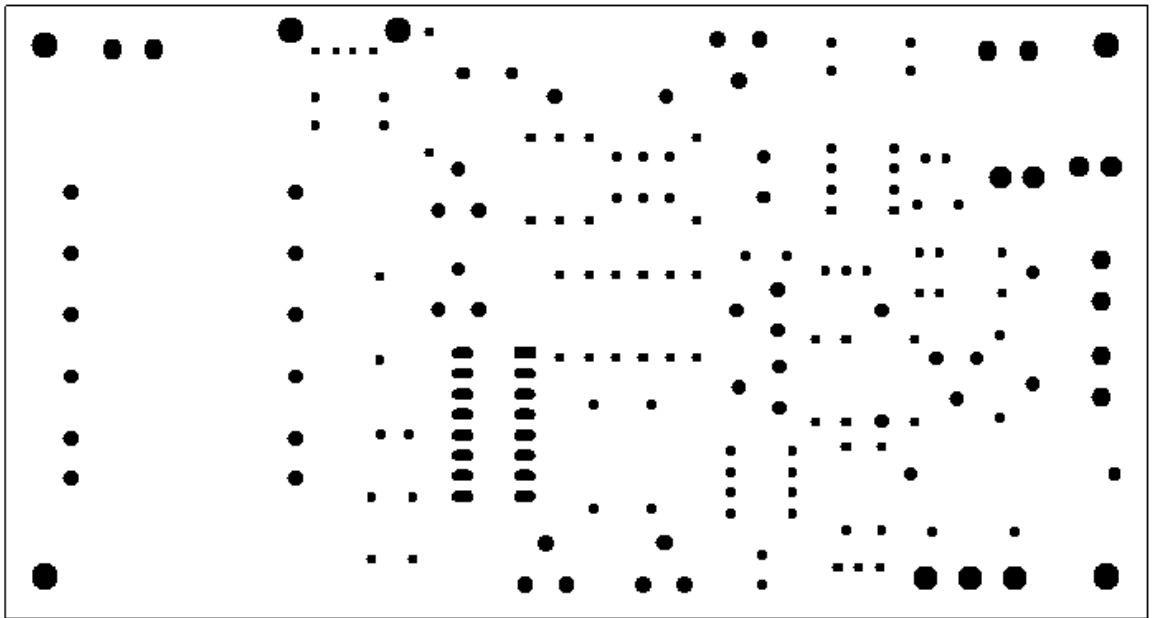
# Верхня шовкографія



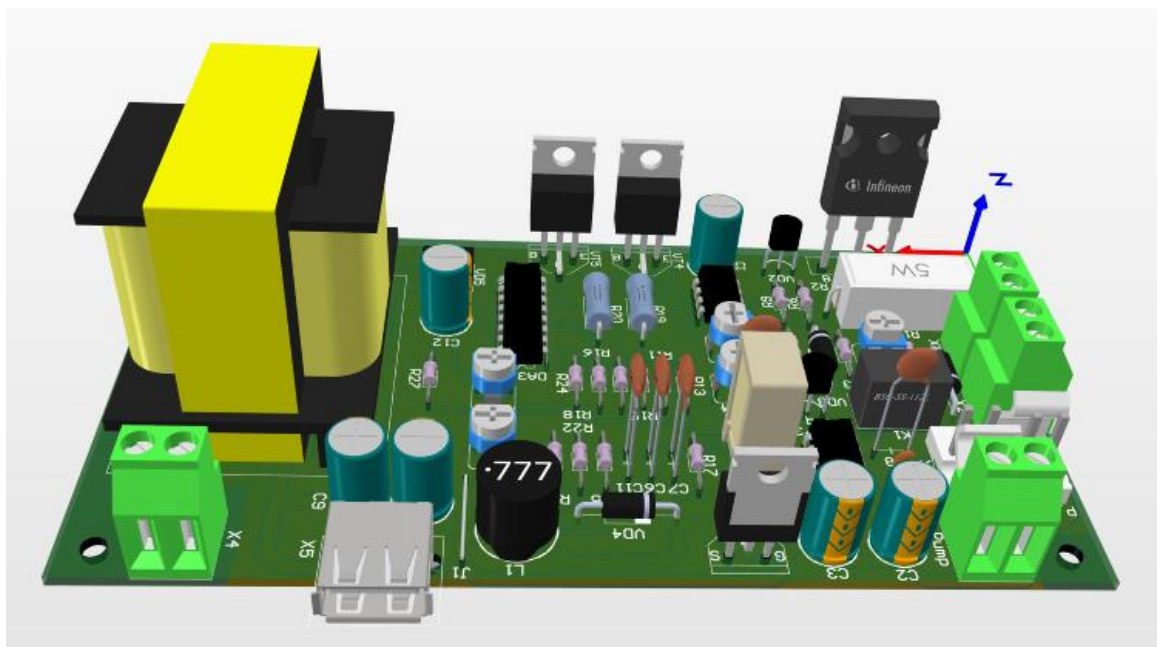
## Друковані провідники



### Нижня паяльна маска



Тривимірне зображення друкованої плати



## ДОДАТОК Ж.ДОСЛІДНИЙ ЗРАЗОК

Дослідний зразок спеціалізованої малогабаритної сонячної електростанції.

