

**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)

(ініціали, прізвище)

“ ___ ” _____ 2020 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код та назва спеціальності)

на тему: Малогабаритна сонячна електростанція _____

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи РТ-г61-1

(шифр групи)

Пташніченко Владислав Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник старший викладач Антоненко Олександр Миколайович

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

_____ (підпис)

Консультант ох. праці

(назва розділу)

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

_____ (підпис)

Рецензент _____

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

_____ (підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Київ – 2020 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)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
С.Я. Жук
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект (роботу) студенту
Пташніченку Владиславу Анатолійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Малогабаритна сонячна електростанція _____

керівник проекту (роботи) Антоненко Олександр Миколайович _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «21» травня 2020 р. № 1126-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 5 червня 2020р. _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) 1. Джерело електричної енергії – сонячні панелі, 2. Споживачі – мобільний телефон з ємністю акумуляторної батареї 4000 мА·год, електричний ліхтар 4 В 0,32 А, радіоприймач 3 В 0,1 А. _____

4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) 1. Розробити структурну схему електростанції. 2. Розрахувати електричну принципову схему зарядного пристрою акумулятора. 3. Розробити друковану плату зарядного пристрою. _____

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) 1. Структурна схема електростанції. 2. Електрична принципова схема зарядного пристрою. 3. Кресленик друкованої плати зарядного пристрою. _____

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорони праці			

7. Дата видачі завдання 13 квітня 2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз ТЗ. Огляд аналогів	21.04.2020 р.	Виконано
2	Розробка структурної схеми	28.04.2020 р.	Виконано
3	Електричні розрахунки	06.05.2020 р.	Виконано
4	Розробка друкованої плати	15.05.2020 р.	Виконано
5	Охорона праці	25.05.2020 р.	Виконано
6	Графічна частина	03.06.2020 р.	Виконано
7	Подання проекту	05.06.2020 р.	Виконано

Студент

_____ (підпис)

В.А. Пташніченко
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)

_____ (підпис)

О.М. Антоненко
(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка: 63 с., 14 рис., 2 табл., 3 додатків., 9 джерела.

Актуальність теми зумовлена активним розвитком альтернативної енергетики для задоволення потреби в електроенергії однієї або декількох людей віддалених від мереж електропостачання.

Метою проекту є розробка конструкції мобільної малогабаритної сонячної електростанції на основі кремнієвих фотоперетворювачів сонячної енергії з вбудованим буферним накопичувачем енергії та оформлення необхідної конструкторської документації, розрахунок DC-DC перетворювача та розробка конструкції друкованої плати до нього.

Ключові слова: енергетика, сонячна панель, електростанція, енергозбереження, акумулятор, портативні сонячні батареї.

ANNOTATION

Course work: 63 pages, 14 figures, 2 tables, 3 attachments, 9 sources.

The urgency of the topic is due to the active development of alternative energy to meet the electricity needs of one or more people remote from the power grid.

The purpose of the work is to develop the design of a mobile small solar power plant based on silicon photoconverters of solar energy with a built-in buffer energy storage and design of the necessary design documentation, calculation of DC-DC converter and PCB design.

Key words: energy, solar panel, power plant, energy saving, accumulator, portable solar batteries.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломного проекту

на тему: “Малогабаритна сонячна електростанція”

Київ — 2020 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень	3
Вступ	4
1 Аналіз технічного завдання	7
1.1 Постановка задачі	7
1.2 Орієнтовна оцінка потужності електростанції	8
1.3 Вибір сонячних панелей	10
2 Огляд аналогів.....	15
3 Розробка структурної схеми електростанції.....	19
3.1 Розробка загальної концепції побудови електростанції.....	19
3.2 Вибір буферного накопичувача енергії (акумуляторної батареї).....	20
3.3 Особливості та рекомендації щодо заряду та розряду літій-полімерних акумуляторів	23
3.4 Структурна схема сонячної електростанції	25
4 Розробка електричної принципової схеми.....	27
4.1 Розрахунок понижуючого DC-DC перетворювача на 20 Вт.....	27
4.1.1 Передпроектна оцінка «чорного ящика»	29
4.1.2 Проектування індуктора	30
4.1.3 Вибір ключа та обмежуючих діодів	31
4.1.4 Розрахунок вхідного та вихідного конденсаторів	32
4.1.5 Розрахунок струмового резистора R_{CS}	33
4.1.6 Розрахунок резисторів R_3 і R_8	34
4.1.7 Розрахунок резисторів R_7 і R_6	35
4.1.8 Компенсаційні компоненти	35
4.2 Моніторинг температури акумулятора	36
4.3 Індикація стану зарядки	37

PT61.564111.001 ПЗ				
<i>ЗМ.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>
<i>Розро-</i>		<i>Пташніченко В.А</i>		
<i>Переві-</i>		<i>П.І.Б.</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>П.І.Б.</i>		
<i>Затвер-</i>		<i>П.І.Б.</i>		
			<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>
			1	<i>Листів</i>
PT-г61-1 РТФ				

4.4 Розрахунок понижуючого перетворювача на 10 Вт.....	38
4.4.1 Передпроектна оцінка	39
4.4.2 Розрахунок індуктора.....	40
4.4.3 Вибір ключа та обмежуючого діода	40
4.4.4 Розрахунок вхідного та вихідного фільтрів.....	40
4.4.5 Встановлення робочої частоти ШІМ-контролера	41
4.4.6 Розрахунок резистора зчитування струму (R_1)	41
4.4.7 Розрахунок резисторного подільник напруги (R_3 та R_4)	42
4.4.8 Компенсаційні компоненти	42
4.4.9 Компенсація контуру зворотнього зв'язку за напругою.....	42
5 Охорона праці.....	46
5.1 Визначення основних потенційно шкідливих небезпечних виробничих факторів.....	46
5.2 Виконання вимог безпеки при проведенні технологічного процесу пайки друкованих плат.....	47
5.3 Пожежна безпека	48
5.4 Електробезпека у виробничих приміщеннях	50
5.5 Заходи безпеки пов'язанні з експлуатацією та технічним обслуговуванням акумуляторних батарей	51
Висновки.....	54
Перелік джерел посилань.....	56
Додаток А. Технічне завдання.....	57
Додаток Б. Перелік елементів.....	59
Додаток В. Специфікація на електронний модуль	61

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

МСЕ – малогабаритна сонячна електростанція

ДП – друкована плата

СП – сонячна панель

АКБ – акумуляторна батарея

ККД – коефіцієнт корисної дії

РВ – Power Bank

БНЕ – буферний накопичувач енергії

					<i>РТ61.564111.001 ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		3

ВСТУП

Основним напрямком розвитку енергетики останніх десятиліть є альтернативна енергетика. Причиною цього є усвідомлення загрози масштабних енергетичних та екологічних проблем які проявляються в наші дні і можуть стати неминучими в майбутньому. Енергетичні проблеми можуть виникнути внаслідок вичерпання традиційних викопних енергетичних ресурсів таких як вугілля, сира нафта, торф та природний газ. Екологічні проблеми зумовлені високим ростом забруднення атмосфери продуктами спалення вуглеводнів що призводить до аномально різкої зміни клімату та парникового ефекту. Збільшення промислового виробництва та темпів росту кількості населення призводить до більших потреб в електроенергії, що в свою чергу погіршує і так критичне становище, яке є зараз. Тому, на даний момент, використання відновлюваної енергії, зокрема сонячної, є однією з можливих вирішень даних проблем. Головною перевагою такого виду енергетики над традиційними видами полягає в тому що її вистачить на мільйони років.

На сьогоднішній день, будуються великі сонячні електростанції потужність яких становить десятки, а подеколи і сотні мегават. Дані електростанції можуть забезпечувати потреби в електроенергії велику кількість будинків під'єднаних до мережі електропостачання. Але вони не забезпечують потреби людей які по різних причинах віддалені від мереж електропостачання. В цій роботі ми розглянемо один з варіантів малогабаритної сонячної електростанції, яка може бути використана для забезпечення мінімальних потреб в електроенергії однієї людини або невеликих груп людей.

Малогабаритна сонячна електростанція – це ефективна та діюча система яка дозволяє перетворювати енергію сонця в електричну енергію для живлення портативної електронної апаратури та забезпечення потреб малогабаритних електричних пристроїв в моменти відсутності доступу до стаціонарної електромережі та інших елементів живлення (батареєнок, акумуляторів, генераторів). Така система, при використанні достатньої кількості сонячних

					<i>РТ61.564111.001 ПЗ</i>	Лист 4
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

перетворювачів, зможе забезпечити зарядку будь-яких типів акумуляторів. Дана система дозволяє задовольнити потреби в електроживленні для людей, які віддалені від осередків електрифікації, невеликих туристичних груп, рятувальних служб ДСНС та ін.

В якості споживачів для малогабаритної сонячної електростанції можуть бути використані буферний накопичувач енергії (акумуляторна батарея), мобільний телефон, ліхтар, радіоприймач, ноутбук, MP3-плеєр, фотокамера, інвертори 12 В – 220 В та ін.

Особливу цінність дана система може отримати у військових через її досить незначні габарити, простоту використання та обслуговування. В порівнянні з електрогенераторами на дизельному або бензиновому паливі, дана система не залежить від наявності пального та не створює ніякого шуму, що в свою чергу покращує замаскованість позицій на передовій і при цьому забезпечує їх електроенергією.

Перевагами такої електростанції є те, що:

- така електростанція не має рухомих механічних елементів, тому вона простіша в експлуатації та обслуговуванні;
- можливість отримання електроенергії в будь-якому місці;
- невичерпність джерела сонячного світла;
- вона є екологічно чистою, не виділяє шкідливих газів та не створює шуму;
- термін експлуатації сонячних панелей становить близько 30 – 50 років;
- є автономною системою електроживлення і не залежить від централізованого постачання електроенергії;
- може діяти автоматично без участі людини;

Недоліком такої станції є:

- залежність її від погодних умов та кількості сонячного випромінювання;
- необхідність додаткових елементів (АКБ, інвертор, контролер заряду);
- не зважаючи на екологічну чистоту виробленої енергії, самі фотоперетворювачі можуть містити в собі небезпечні речовини такі як свинець, кадмій, миш'як та ін.

Основним та найважливішим недоліком є періодичність її роботи та залежність потужності електростанції від часу доби, що можна усунути за рахунок використання буферного накопичувача електричної енергії.

					<i>РТ61.564111.001 ПЗ</i>	Лист 6
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Постановка задачі

Розробка малогабаритної сонячної електростанції викликана необхідністю забезпечити живленням засоби зв'язку такі як мобільний телефон, портативна радіостанція, планшет та інші малогабаритні мобільні пристрої з малим споживання енергії (невеликий ліхтар, портативний зарядний пристрій (Power Bank) та ін.), особам, які з причини своєї діяльності – військові, геологи, лісники, рибалки, туристи – можуть кілька тижнів, а то і місяців знаходитись у місцях, де відсутнє електропостачання. В нашому випадку сонячна електростанція буде експлуатуватися в польових умовах і крім підтримання в робочому стані заряду акумуляторної батареї мобільного телефону $4 \text{ A} \cdot \text{год}$ необхідно ще забезпечити живленням радіоприймача напругою 3В зі струмом споживання 0.1 A та світлодіодного ліхтаря ($U = 4 \text{ В}, I = 0.32 \text{ A}$). Кожний з цих пристроїв має свої характеристики та особливості споживання енергії. Оскільки в мобільному телефоні є своя акумуляторна батарея, для живлення якої потрібно окреме стабільне джерело живлення через порт USB, то її можна підзаряджати портативним зарядним пристроєм (Power Bank). В портативному зарядному пристрої є плата захисту, яка може відключити подачу енергії, якщо споживання струму на його виході менше певного порогового рівня, тому його використання для живлення деяких типів радіоприймачів неефективне через припинення живлення. Для усунення цієї проблеми було вирішено використовувати окрему акумуляторну батарею для живлення радіостанції та ліхтаря. Також ця батарея буде використовуватися як буферний накопичувач енергії для живлення вище вказаних пристроїв у темну пору доби та похмурими днями, коли ефективність сонячних панелей буде мінімальною. Використовуючи буферний накопичувач енергії в парі з портативним зарядним пристроєм, ми збільшуємо кількість енергії яку можна накопичити, що дає нам можливість менше залежати від зміни погодних умов, які можуть впливати на освітленість. При розробці сонячної елект-

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
7

ростанції особливу увагу необхідно приділити мінімізації масогабаритних показників пристрою.

1.2 Орієнтовна оцінка потужності електростанції

Потужність електростанції визначається потужністю споживачів електричної енергії і є підставою для вибору сонячних панелей з необхідними параметрами. Легко підрахувати, що радіоприймач з ліхтарем одночасно можуть споживати потужність 1.58 Вт при струмі 0.42 А і то це лише до однієї години в нічний час, тому основним споживачем буде акумуляторна батарея мобільного телефону. Для оцінки енергетичних показників роботи електростанції проведемо дослідження режиму зарядки АБ мобільного телефону від мережі 230В 50Гц від стандартного джерела живлення 5В 2А, якими комплектуються сучасні мобільні телефони. Схема вимірювання приведена на рисунку 1.1.

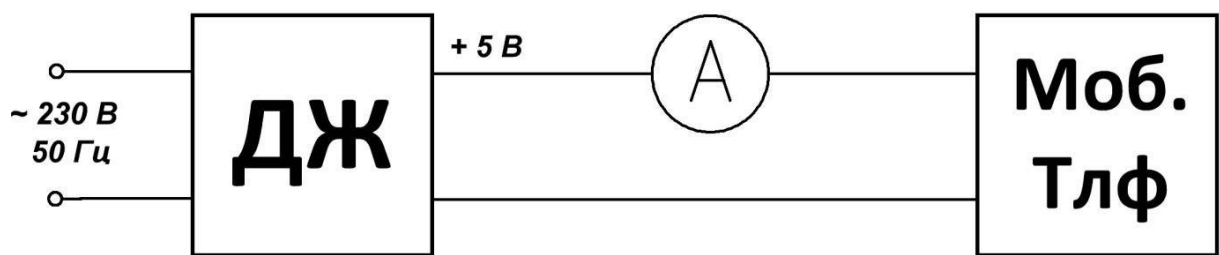


Рисунок 1.1 — Схема вимірювання

Дослідження проводилось протягом 2.5годин через кожні 15 хвилин. При цьому вимірювалися струм заряду та ємність АБ. Початкова ємність становила 30%. За отриманими даними побудовані графіки на рисунку 1.2.

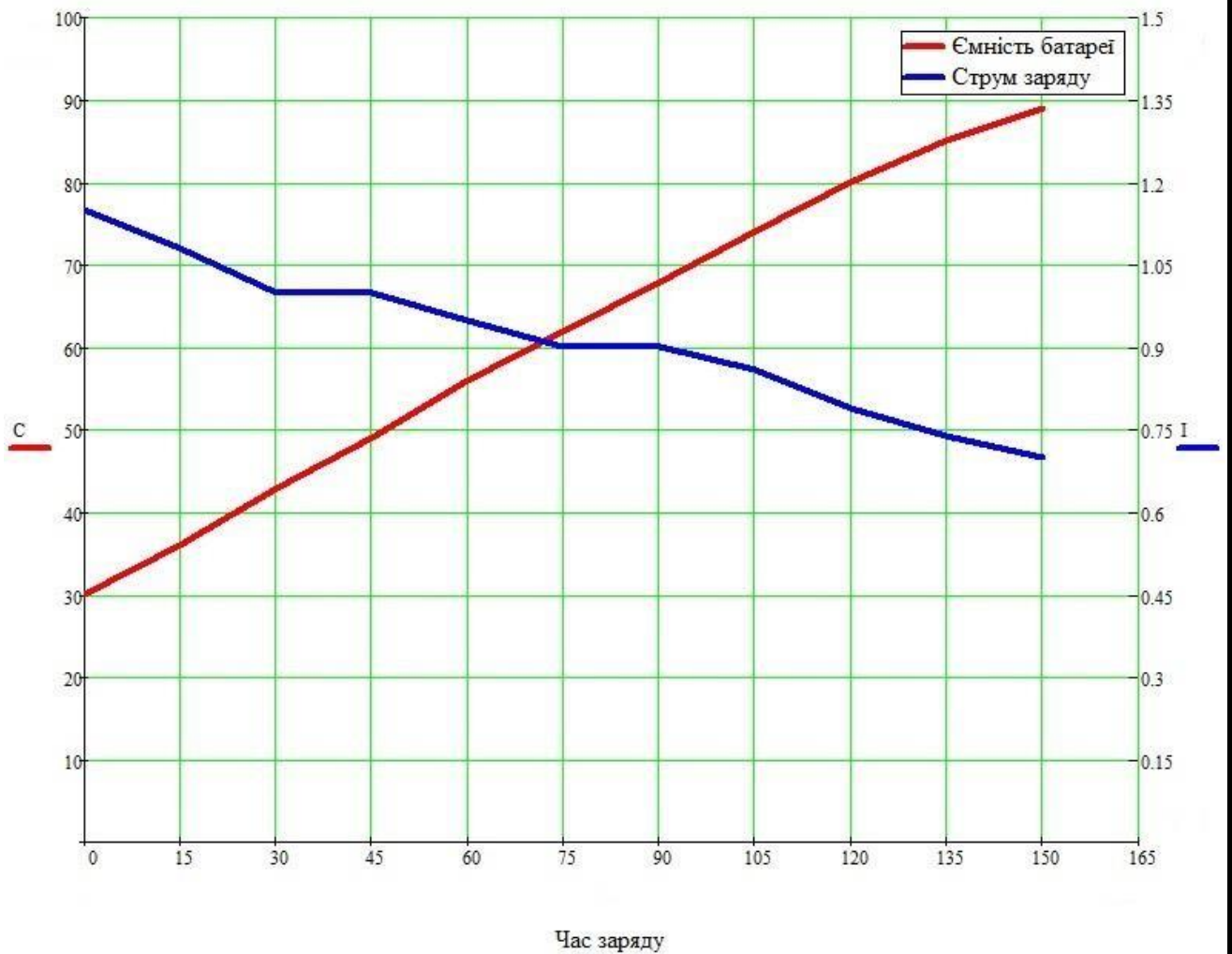


Рисунок 1.2 — Струм та ємність АБ

Таблиця 1.1 — Значення струму та ємності показані на графіку:

Час фіксації значень, хв.	Ємність батареї, %	Струм заряду, А
0	30	1,15
15	36	1,08
30	43	1,0
45	49	1,0
60	56	0,95
75	62	0,9

90	68	0,9
105	74	0,86
120	80	0,79
135	85	0,74
150	89	0,7

Із графіків видно, що приблизно 1 годину 45 хвилин АБ заряджається великим струмом 0.86...1.15А і за цей час ємність зростає на 44% (з 30% до 74%). Потім струм плавно зменшується до 0.7А і за наступні 45 хвилин ємність збільшується лише на 15% (з 74%до 89%). З цього можна зробити висновки, що спочатку від джерела живлення відбирається потужність

$$P = 5 \text{ В} \cdot 1.15 \text{ А} = 5.75 \text{ Вт.}$$

Через 1 годину 45 хвилин потужність дорівнює:

$$P = 5 \text{ В} \cdot 0.86 \text{ А} = 4.3 \text{ Вт.}$$

В кінці зарядки потужність зменшується до 3.5 Вт. Тому, враховуючи ККД зарядних пристроїв який в гіршому випадку може становити 0.5, так що, беручи це до уваги, визначаємо, що для нашої електростанції необхідно вибрати сонячні панелі з сумарною потужністю не менше ніж 15Вт.

1.3 Вибір сонячних панелей

Сонячне випромінювання перетворюється в електроенергію за рахунок фотоефекту у напівпровідникових фотоперетворювачах (фотоелементах) з р-п переходами. Сонячні панелі конструктивно являють собою збірки фотоелементів і найчастіше використовуються у вигляді плоских панелей захищених металевою рамкою та покриті захисною прозорою плівкою. Кількість фотоелементів в такій панелі може варіюватися від кількох штук до декількох сотень або тисяч штук. Енергетичні показники фотоперетворювачів ви-

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
10

значаються властивостями напівпровідникових матеріалів використаних для їх виробництва.

За методом виробництва та структурою фотоперетворювачів сонячні панелі можна розділити на два типи (рисунок 1.3):

- Панелі з монокристалічною структурою фотоперетворювачі;
- Панелі з полікристалічною структурою фотоперетворювачі;



Рисунок 1.3 — Типи сонячних панелей

Перевагами сонячних панелей з використанням монокристалів є те що такі панелі виготовляються з надчистого кремнію який не містить домішок, це призводить до збільшення ККД панелі який може становити близько 22 %. Недоліком такої панелі є складність її виробництва що збільшує її вартість.

Панелі з полікристалів є простішими та дешевими у виробництві, але вони мають менший ККД який становить близько 18 % і також вони менш стійкі до впливу високих температур ніж монокристалічні панелі.

При проектуванні малогабаритної сонячної електростанції визначальною характеристикою для вибору виду сонячних панелей є ефективність на одиницю площі панелі, тому важливо вибрати панель з максимально великим коефіцієнтом корисної дії. Але такий коефіцієнт можливий тільки при вико-

ристанні панелі в ідеальних умовах, а саме, в ясний сонячний день коли панель знаходилася під прямим кутом до сонячного світла і при температурі навколишнього середовища 22 – 25 °С. Звісно, що досягти таких умов можливо лише на короткий термін декілька разів на рік і більшість часу електростанція буде працювати в малохмарну або похмуру погоду. Коли небо затягнуте хмарами, до фотомодулів, як правило, потрапляє розсіяне світло. Тому пристрої продовжують працювати, але із низькою ефективністю. Зниження продуктивності станції залежить від щільності хмар. Невеличка хмара яка тимчасово закриває сонце може зменшити ефективність сонячних панелей на третину. Якщо небо щільно затягнуте хмарами то ефективність панелі падає на 95%. Зважаючи на це, при виборі сонячних панелей, потрібно враховувати ефективність панелі при розсіяному освітлені.

Також, важливим фактором є маса та габарити панелей. Тому основною задачею при виборі панелей є максимізація потужності при мінімізації розмірів та ваги всієї конструкції. Дана електростанція повинна буди досить легкою щоб її могла транспортувати без особливих труднощів одна людина, але при цьому гарантовано видавати свою номінально розраховану потужність. Іншими не менш важливими факторами які можуть вплинути на вибір панелей є стійкість до пошкоджень, термін служби (стійкість до деградації фотоелементів), ремонтпридатність в польових умовах з використанням мінімальної кількості інструментів, вартість, модульність конструкції, якість виробництва та наявність антивідблискового покриття, стійкість до перегріву.

Зважаючи на всі вище перераховані фактори було прийнято рішення вибрати для малогабаритної електростанції дві панелі з полікристалічною структурою моделі Ахіота АХ-10Р структура та габарити яких показані на рисунку 1.4.

					<i>РТ61.564111.001 ПЗ</i>	Лист 12
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

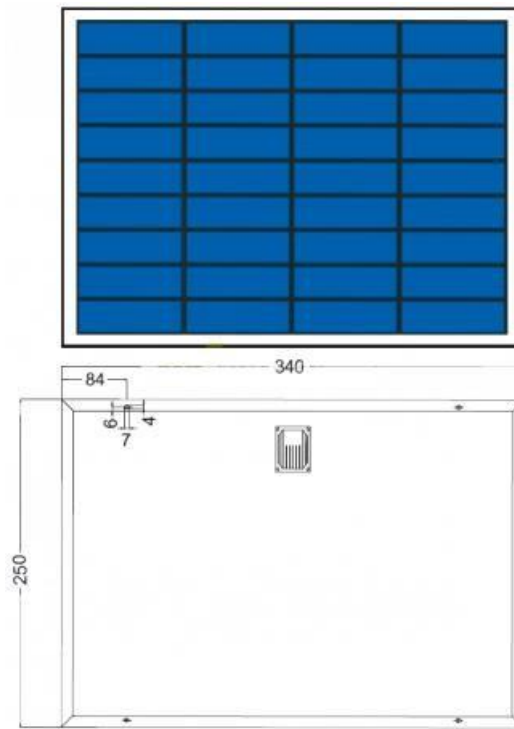


Рисунок 1.4 — Сонячна панель Ахіота АХ-10Р

Рама панелей виготовлена із анодованого алюмінію. Фотоелементи захищені ударостійким гартованим склом товщиною в 3 міліметри з антивідблисковим покриттям. Задня частина панелі виготовлена з надійних полімерів EVA (етиленвінілацетат) і ТРТ (тедлар-поліестер-тедлар), куди виведена багатофункціональна вологозахисна, стійкістю до ультрафіолетового випромінювання розподільна коробка (рисунок. 5).



Рисунок 1.5 — Структура сонячної панелі Ахіота АХ-10Р

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Технічні характеристики сонячної панелі:

- номінальна потужність: 10 Вт;
- допустиме відхилення потужності фотомодуля: $\pm 3\%$;
- робоча напруга: 12 В;
- номінальна напруга: 17,5 В;
- номінальний струм: 0,58 А;
- напруга при розімкнутому контурі: 22,0 В;
- струм короткого замикання: 0,62 А;
- максимальна напруга в колі, зібраної з даних панелей: 715 В;
- тип роз'єму: клемна коробка «+» і «-»;
- робочі параметри навколишнього середовища ($^{\circ}\text{C}$): - 40 ... + 85;
- вітрове навантаження: до 2400Па;
- кількість фотоелементів: 36 шт (2 \times 18);
- розміри фотоелементів: 156 \times 12мм;
- габарити панелі (Д \times Ш \times В): 240 \times 335 \times 17 мм;
- вага: 0,9 кг.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
14

2 ОГЛЯД АНАЛОГІВ

В даному розділі розгляним можливі аналоги малогабаритної сонячної електростанції які можна придбати на сьогоднішній день. Розглянемо всі плюси та мінуси використання таких пристроїв та порівняємо їх з нашою розробкою.

Портативні зарядні пристрої (Power Bank) з вмонтованими сонячними панелями (рисунок 2.1). Такі пристрої поєднують в своєму корпусі як портативний акумулятор так і сонячну панель яка може заряджати мобільний телефон та невеликі мобільні пристрої. Час заряду АКБ мобільного телефону таким пристроєм залежить від сили струму, яку може забезпечити порт зовнішнього акумулятора.



Рисунок 2.1 — Портативний зарядний пристрій

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
15

Перевагами є досить компактний розмір, такий портативний зарядний пристрій може поміститися в невеликій кишені. Має дуже малу вагу що є важливим при використанні його в туристичних походах. Більшість таких пристроїв є вологозахищеними. Деякі з таких пристроїв мають вбудований ліхтар. Такі пристрої є досить універсальними через те що, у більшості випадків, крім зарядки від сонця, вони можуть заряджатися від електромережі.

Недоліком є те що зарядити від нього щось більше ніж мобільний телефон або планшет не вийде через його малу потужність. При збільшенні кількості сонячних панелей росте вага пристрою і його габарити. Ефективність таких пристроїв досить низька через використання в них неякісних комплектуючих і в деяких випадках ціна на такі пристрої не відповідає її якості.

Досить важливим недоліком є те що літій-іонні акумулятори, які використовуються в цих пристроях, близько розташовані до сонячних панелей. При потраплянні сонячного світла на панелі вони нагріваються і передають тепло акумуляторам. Збільшення температури не бажане для літій-іонних акумуляторів, тому що, це призводить до скорочення їхнього строку служби і прискорює їх дегдації. Це погіршується ще тим що вони знаходяться в герметичному непровітрюваному корпусі.

Рюкзак з вмонтованими сонячними панелями (рисунок 2.2) дозволяють заряджати мобільний телефон, MP3-плеєр, цифровий фотоапарат і багато інших пристроїв під час руху. Кілька сонячних модулів, розташованих на зовнішній поверхні рюкзака живлять електроенергією прилади які знаходяться всередині. Часто в сумці розташовується ще і компактний акумулятор, що заряджається під час прогулянок в сонячні дні і може заряджати електроприлади в пасмурну погоду коли ефективність панелей мінімальна.



Рисунок 2.2 — Рюкзак з вмонтованими сонячними панелями

Перевагами такого рюкзака є його компактність та габарити. Він поєднує в собі дві досить корисні речі для людей віддалених від осередків електрифікації, а саме портативну електростанцію і невеликий рюкзак в якому можна переносити свої речі.

Недоліком є недостатня потужність такої системи, вона є занадто малою щоб забезпечити наші потреби. Вирішенням цієї проблеми могло б стати збільшення розмірів сонячних панелей, але це неодмінно відзначилося б на масогабаритних показниках рюкзака і в кінцевому результаті його було б незручно носити за спиною. Сонячні панелі розміщені на рюкзаку не мають ніякого захисту від механічних пошкоджень, тому використовувати такий рюкзак потрібно дуже обережно. Також, якщо рухатися з таким рюкзаком в напрямку до сонця то світлові промені не потраплятимуть на поверхню сонячних панелей і в такому разі їх ефективність буде мінімальною.

Гнучкі портативні сонячні панелі (рисунок 2.3) є досить потужними щоб одночасно заряджати декілька невеликих портативних пристроїв, але не всі моделі можуть заряджати більш потужну техніку. Такий пристрій можна закріпити на будь-якій поверхні перпендикулярно до напрямку сонячного

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
17

світла для максимізації його ефективності. Можна закріпити на рюкзак що дозволяє заряджати мобільні пристрої на ходу.



Рисунок 2.3 — Гнучкі портативні сонячні панелі

Перевагою є значна компактність в складеному вигляді. Також цей пристрій має невелику вагу та зручна для транспортування, не займає багато місця. Він є водостійким і через свою гнучку конструкцію може витримувати падіння з невеликої висоти та інші незначні механічні пошкодження.

Недоліком такого пристрою є те що такий вид зарядного пристрою ефективний лише в сонячну погоду. Він не має в своїй конструкції вмонтованої акумуляторної батареї і не може накопичувати заряд. Через це цей пристрій є повністю не ефективним в темну пору доби і мало ефективним в хмарну погоду. Для збільшення ефективності можна збільшити кількість сонячних панелей що призведе до збільшення габаритних розмірів в розгорнутому вигляді що в деяких випадках може призвести до незручності використання цього пристрою.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
18

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

3.1 Розробка загальної концепції побудови електростанції

Враховуючи, що сонячна електростанція може працювати тільки в світлі пору доби, а в цей час працівник з телефоном може знаходитись на віддалі, то єдиним варіантом залишається вдень накопичувати електричну енергію у спеціальних пристроях, а вночі використовувати її для зарядки мобільного телефону або для освітлення. Найкраще для цього підходить Power Bank – це акумуляторна батарея певної ємності з вмонтованими зарядними пристроями та схемами контролю заряду і спеціально призначена для заряджання мобільних телефонів. Її ємність (10...25А*год) значно перевищує ємність АБ мобільного телефону, і одного заряду вистачає на декілька підзарядок телефону. Заряджається РВ, як і телефон, через microUSB-роз'єм від джерела 5В 2А. Тому найпростіше МСЕ реалізувати за схемою, приведеною на рисунку 3.1

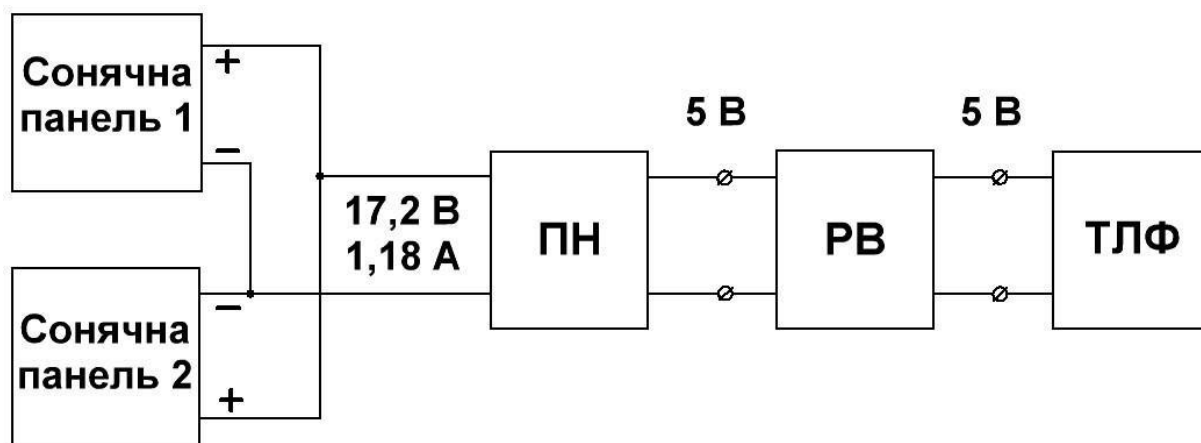


Рисунок 3.1 — Схема найпростішої МСЕ

СП виробляють напругу в номінальному режимі 17.2В, перетворювач напруги ПН видає 5В на зарядку РВ, а від РВ потім заряджається телефон. Але під час експериментальних досліджень було виявлено кілька суттєвих недоліків, які унеможливають її реалізацію.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
19

По-перше, при зарядці РВ від СП навіть короточасне затінення СП хмарою приводить до різкого зменшення зарядного струму, контролер РВ сприймає це як завершення зарядного процесу і вимикає РВ. Аналогічно веде себе і мобільний телефон. Тоді потрібно знову вмикати РВ, а з телефону виймати і знову вставляти роз'єм.

По-друге, при живленні від РВ приймача контролер також сприймає малий струм споживання в паузах як закінчення процесу зарядки і вимикається.

По-третє, струм зарядки як РВ, так і телефону не перевищує 2А, хоч там використовуються літій-іонні акумулятори, які допускають їх заряд струмом, що становить 30...50% від ємності. А це означає, що РВ на 16А*год. через стандартний адаптер буде заряджатися при безхмарній сонячній погоді 8 годин, хоч ті самі окремо взяті внутрішні акумулятори можна зарядити струмом 8А за 2 години, а це дуже важливо в умовах хмарної погоди. Тому структурну схему СЕ необхідно вдосконалити, використавши в якості накопичувача електричної енергії акумулятори.

3.2 Вибір буферного накопичувача енергії (акумуляторної батареї)

При використанні DC-DC перетворювача, сонячна панель може заряджати різні типи АКБ такі як:

- свинцево-кислотні акумулятори;
- гелеві акумулятори;
- нікель-кадмієві батареї;
- нікель-метал-гідридні батареї;
- літій-іонні акумуляторні батареї;
- літій-іонні полімерні акумуляторні батареї.

В даній роботі в якості основного буферного накопичувача енергії було вирішено вибрати літій полімерний акумулятор. Причиною такого вибору в порівнянні з іншими типами накопичувачі стало те що даний тип акумуляторів має досить малу вагу та малі габарити. Оскільки такий тип акумуляторів використовує гелієвий електроліт то вони можуть бути виготовлені будь-якої

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
20

форми. Вони мають тривалий термін служби (можуть працювати до 10 років) і придатні до переробки та повторного використання матеріалів які в них містяться.

Досить значною перевагою є те що цей тип акумуляторної батареї найефективніший по питомій щільності енергії, що запасається на одиницю власної маси (до 160 Вт*год/кг) і має малий струм розряду. Сучасні типи літій-полімерних акумуляторів мають хороші питомі характеристики і можуть витримувати досить значну кількість циклів заряд/розряд – близько 1000, що в свою чергу збільшує терміни використання нашої електростанції. Літій-полімерний акумулятор не використовує рідкий електроліт що в порівнянні з літій-іонним акумулятором робить його менш вибухонебезпечним при неправильній експлуатації.

Серед особливих переваг є те що розглянутий тип акумулятора не має ефекту пам'яті який притаманний нікель-кадмієвим батареям. Тобто джерело живлення віддає тільки заряд, отриманий в ході останньої підзарядки. Такий ефект розвивається при багаторазовому заряді недорозряджених батарей на основі нікелю.

Літій-полімерні акумулятори при однаковій вазі перевищують по енергоємності нікель-кадмієві в 4-5 разів, нікель-метал-гідридні в 3-4 рази.

Недоліком такого типу батарей є те, що їхні робочі електричні характеристики та щільності струму погіршуються при значних зниженнях температури через можливу кристалізацію полімеру. Також на характеристики та стабільність роботи батареї впливає однорідність використаного полімеру.

При тривалому використанні така батарея може сильніше нагрітися ніж літій-іонна батарея.

Характеристики літій-полімерних акумуляторів:

- температурний діапазон роботи: $-20\text{ }^{\circ}\text{C} - +50\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- номінальна напруга становить: $U_{\text{ном}} = 3.7\text{ В}$.

Отже, в якості буферного накопичувача енергії використано два літій-полімерних акумулятори виробництва компанії GENERAL ELECTRONICS

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
21

BATTERY CO., LTD., а саме модель GEB9059156 яка приведена на рисунку

3.2.



Рисунок 3.2 — Буферний накопичувач енергії

Характеристики даних акумуляторів:

- номінальна ємність: 10 А/год;
- номінальна напруга: 3,7 В;
- максимальна напруга заряду: 4,2 В;
- мінімальна напруга розряду: 3,0 В;
- максимальний струм заряду: 10 А/год;
- максимальний струм розряду: 20 А/год;
- робоча температура заряду: 0 – 45 °С;
- робоча температура розряду: - 20 – 30 °С;
- температура зберігання: - 20 – 35 °С;
- максимальне значення внутрішнього опору: 8 мОм;
- вага: 160 грамів;
- розміри: довжина 156 мм., ширина 59 мм., товщина 9 мм.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
22

Повний заряд акумулятора струмом в 10 А/год до напруги в 4,2 В. відбувається за 2,5 години. Потім струм заряду поступово зменшується до значення в 20 мА що є показником того що акумулятор повністю заряджений. Виробником зазначається, що після 500 циклів розряду та заряду ємність батареї не повинна зменшитися менше 80% від номінальної ємності.

3.3 Особливості та рекомендації щодо заряду та розряду літій-полімерних акумуляторів

Літій-полімерний акумулятор має свої особливості експлуатації як і будь-який інший електрохімічний накопичувач енергії. Застосування такого типу накопичувача в системі сонячної електростанції призводить до певних експлуатаційних особливостей, а саме правильного заряду та розряду даного накопичувача. В порівнянні з іншими типами акумуляторів для заряду літій-полімерних акумуляторів пред'являються досить жорсткі вимоги до величини напруги заряду.

Зарядка таких типів акумуляторів проходить у дві фази (метод CC-CV), що передбачає те, що на першому етапі зарядження батарея заряджається певним фіксованим струмом при поступовому зростанню напруги. Коли напруга досягає позначки в 4,2 В. то батарею заряджено приблизно на 95 %. Після цього починається другий етап. Для недопущення перезарядження, згубного для літій-полімерної акумуляторної батареї, струм заряду поступово знижується так, щоб напруга не перевищувала значення в 4,2 В. Таке значення напруги визначається хімічним складом літій-полімерної батареї і перевищення допустимого значення напруги може призвести до займання батареї. Так як другий етап додає лише 5 % заряду батареї, але є досить довготривалим і займає від половини до третини часу всього заряду, то при використанні даного типу батарей в системі малогабаритної сонячної електростанції при досягненні максимального значення напруги подальший заряд доцільніше припинити що значно може заощадити час.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
23

Не рекомендується допускати повної розрядки літій-полімерного акумулятора. Перед повторною зарядкою в ньому має залишатися близько 10-20%, інакше він швидко вийде з ладу.

При використанні літій-полімерної батареї не допустимо зниження напруги нижче 3 В. Якщо розрядити батарею нижче 2,5 В. то вона може «роздуватися» при цьому втрачаючи більше половини ємності і перестає віддавати номінальний струм розряду. У продовж деякого часу батарея втратить свою ємність повністю і вийде з ладу.

В цьому заключається особливість експлуатації даного типу батарей, які полягають в тому, що при зарядженні потрібно контролювати стабільність напруги заряду не допускаючи значних перепадів, а при розряді контролювати щоб батарея не розрядилася нижче допустимого мінімуму напруги.

Також при використанні збірок з таких батарей дуже важливо контролювати щоб при зарядженні та розрядженні напруга кожної батареї була приблизно однакового значення. Перезаряд однієї з батарей збільшує ризик самозаймання. Не допускається використання в таких збірках батарей з різною ємністю.

Струм заряду для літій-полімерних акумуляторів не повинний перевищувати ємності акумулятора, тобто при ємності акумулятора в 2500 мА/год струм заряду не має перевищувати 2,5 А.. При цьому, струм заряду менший половини ємності для такого типу акумуляторів не бажаний. Також при зарядженні акумуляторів не можна допускати їх нагрівання вище 60 градусів. Якщо нагрів все ж стався, перш ніж використовувати батарею, їй потрібно дати охолонути. Також не можна ставити на зарядку перегрітий накопичувач.

Струм розряду може бути будь-яким, але не більшим номінального вказаного на корпусі або етикетці акумулятора. Якщо досить часто розряджати акумулятор максимально допустимим струмом то життєвий цикл такої батареї може значно зменшитися що показує необхідність мати запас по струму батареї при виборі споживачі енергії.

Якщо акумулятор не планується використовувати то він повинний зберігатися в зарядженому стані і оптимально щоб його заряд становив 60 % від

					<i>PT61.564111.001 ПЗ</i>	Лист 24
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

його номінальної ємності. Зберігати потрібно в прохолодному сухому середовищі. При транспортуванні акумулятор повинний бути захищений від будь-яких предметів які можуть пошкодити його герметичність.

Використання літій-полімерних акумуляторів як буферного накопичувача енергії для малогабаритної сонячної електростанції дозволяє значною мірою подовжити роботу портативних пристроїв та розширити можливості використання даної системи. Але при цьому потрібно бути дуже уважним до умов експлуатації батарей.

3.4 Структурна схема сонячної електростанції

Через те, що було вирішено у якості накопичувача електричної енергії використовувати акумулятор з номінальною напругою 4.4В, а дві паралельно увімкнені СП мають напругу $U_{xx} = 21.6В$, то після СП необхідно встановити знижувальний DC-DC – перетворювач напруги. Заряджати мобільний телефон необхідно через підвищувальний DC-DC -перетворювач з 3.5...4.2В до 5В. Живлення ліхтаря та приймача можна безпосередньо здійснювати від акумулятора. Але при розобці МСЕ необхідно вирішити ще одну важливу проблему. Справа в тому, що в місцях нестійкого покриття мобільного зв'язку АБ телефону швидко розряджається через періодичне автоматичне вмикання телефону для пошуку мережі, і тому заряджати телефон потрібно майже щоденно. А якщо станеться, що протягом кількох днів, а то і тижнів буде стояти дощова хмарна погода, то акумулятор не зарядиться і це приведе до втрати зв'язку. Тому на такий випадок в запасі необхідно мати РВ необхідної ємності, який при сприятливих погодніх умовах можна підзарядити від МСЕ. З практики встановлено, що для цього підходить РВ РРВ – 2А2В ємністю 16А*год., заряду якого вистачає в економному режимі протриматися 1.5...2 тижні. Через те, що було вирішено використовувати в комплекті МЕС зовнішній акумулятор (РВ), то для його зарядки безпосередньо від СП необхідно встановити ще один DC-DC перетворювач. Структурна схема МСЕ приведена на рисунку 3.3.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
25

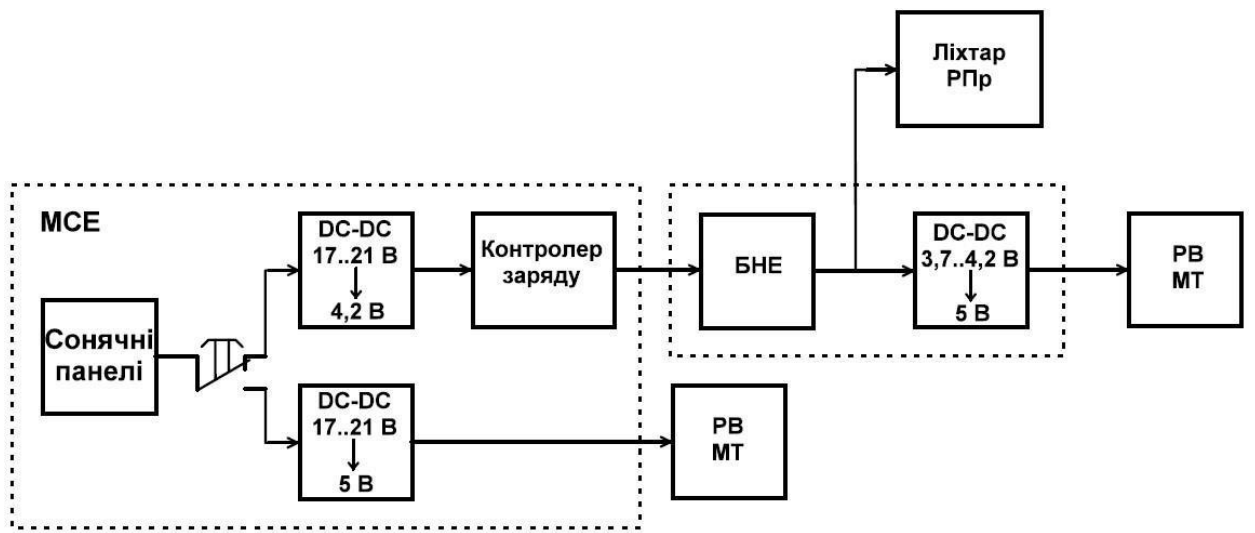


Рисунок 3.3 — Структурна схема МСЕ

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

4 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

Вихідна напруга використаних нами СП коливається в межах від 10 В до 22 В. Напруга яка потрібна для живлення акумулятора мобільного телефону та радіостанції становить 5 В. Максимально допустима напруга яка потрібна для заряду літій-полімерного акумулятора становить 4,2 В. Тому, щоб з'єднати СП із споживачами нам потрібно розробити два понижуючі перетворювачі постійної напруги (DC-DC перетворювачі).

Обидва перетворювачі будуть розроблені за імпульсною схемою з використанням ШІМ контролерів та стабілізацією вихідної напруги. Перший перетворювач, для живлення акумулятора мобільного телефону та радіостанції, розроблятиметься під максимальну вихідну потужність 10 Вт. Другий перетворювач, для зарядки літій-полімерного акумулятора, розроблятиметься під максимальну вихідну потужність 20 Вт. Також цей перетворювач повинний забезпечувати всі особливості заряду акумуляторів даного типу. Основним є максимізація вихідного струму для зменшення часу заряду БНЕ. Важливим, при розробці перетворювача, є наявність індикації заряду акумулятора та.

4.1 Розрахунок понижуючого DC-DC перетворювача на 20 ВТ.

Метою розрахунку є розробка конструкції DC-DC перетворювача, який буде використовуватися в якості перетворювача напруги сонячних панелей для підзарядки буферного накопичувача енергії. В основі даної схеми перетворювача лежить ШІМ контролер CN3722. Ця мікросхема є контролером заряду яка забезпечує заряд акумуляторних батарей від сонячних панелей. В своїй конструкції вона має функцію відстеження максимальної точки потужності СП. За допомогою цієї функції вдається мінімізувати час заряду акумуляторних батарей за рахунок максимізації струму заряду.

CN3722 (рисунок 4.1)розроблена спеціально для зарядки однієї або декількох літій-іонних та літій-полімерних накопичувачів енергії в режимі постійної напруги і постійного струму.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
27

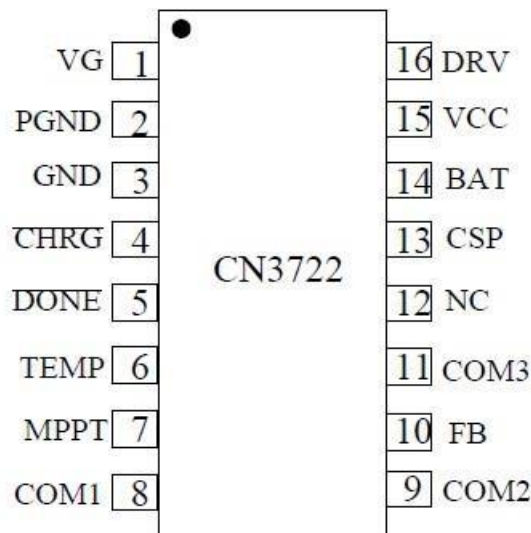


Рисунок 4.1 — Мікросхема CN3722

Режим постійного струму дозволяє заряджати глибоко розрядженні акумулятори за рахунок того що струм заряду таких акумуляторів складає 15 % від номінального струму, поки напруга акумулятора не зросте до 66,7 % від номінальної. Постійний струм заряду задається за допомогою одного резистора струму. У режимі постійної напруги, мікросхема припиняє свою роботу коли струм заряду зменшується до 9,5 % від номінального струму. Вона відновить заряд коли напруга батареї зменшиться до 95 % від встановленої напруги. У режимі постійної напруги, напруга регулювання за рахунок зовнішнього діляника з використанням змінних резисторів. CN3722 автоматично перейде в режим сну, коли напруга на вході мікросхеми буде нижче напруги акумулятора. Іншими важливими функціями мікросхеми є контроль розряду акумуляторної батареї, моніторинг температури та її стану.

Характеристики мікросхеми CN3722:

- вхідна напруга: від 7,5 до 28 В;
- струм заряду: до 5 А;
- частота комутації ШІМ: 300 кГц;
- робоча температура: від -40 °С до + 85 °С;

Вхідні дані для розрахунків:

- мінімальна вхідна напруга: $V_{in(min)} = 10$ В;
- максимальна вхідна напруга: $V_{in(max)} = 21,6$;

- вихідна напруга: $V_{out} = 4,2 \text{ В}$;
- максимальний вихідний струм: $I_{out(max)} = 3 \text{ А}$;
- вихідна напруга пульсацій: $V_{pul} = 30 \text{ мВ}$;
- стабілізація виходу: $\pm 1\%$;

4.1.1 Передпроектна оцінка «чорного ящика»:

Максимальна вихідна потужність:

$$P_{max} = V_{out} \cdot I_{out(max)} = 4,2 \text{ В} \cdot 3 \text{ А} = 12,6 \text{ Вт.}$$

Вхідна потужність (очікуваний ККД перетворювача – $\eta = 0,8$):

$$P_{out} = \frac{P_{max}}{\eta} = \frac{12,6 \text{ Вт}}{0,8} = 15,75 \text{ Вт.}$$

Втрати на ключі (очікуваний ККД ключа – $\eta = 0,4$):

$$(P_{out} - P_{max}) \cdot 0,4 = (15,75 \text{ Вт} - 12,6 \text{ Вт}) \cdot 0,4 = 1,26 \text{ Вт.}$$

Втрати на обмежуючому діоді (очікуваний ККД діодів – $\eta = 0,6$):

$$(P_{out} - P_{max}) \cdot 0,6 = (15,75 \text{ Вт} - 12,6 \text{ Вт}) \cdot 0,6 = 1,89 \text{ Вт}$$

Середнє значення вхідних струмів:

Вхідний сигнал низького рівня:

$$I_{in(low)} = \frac{P_{max}}{V_{in(min)}} = \frac{15,75 \text{ Вт}}{10 \text{ В}} = 1,58 \text{ А.}$$

Вхідний сигнал високого рівня:

$$I_{in(high)} = \frac{P_{max}}{V_{in(max)}} = \frac{15,75 \text{ Вт}}{21,6 \text{ В}} = 0,73 \text{ А}$$

Оцінка максимального струму:

$$I_{pk(est)} = 1,4 \cdot I_{out(max)} = 1,4 \cdot 3 \text{ А} = 4,2 \text{ А.}$$

Розробка нашого DC-DC перетворювача буде відбуватися на основі типової схеми для ШІМ контролер CN3722 показаної на рисунку 4.2.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
29

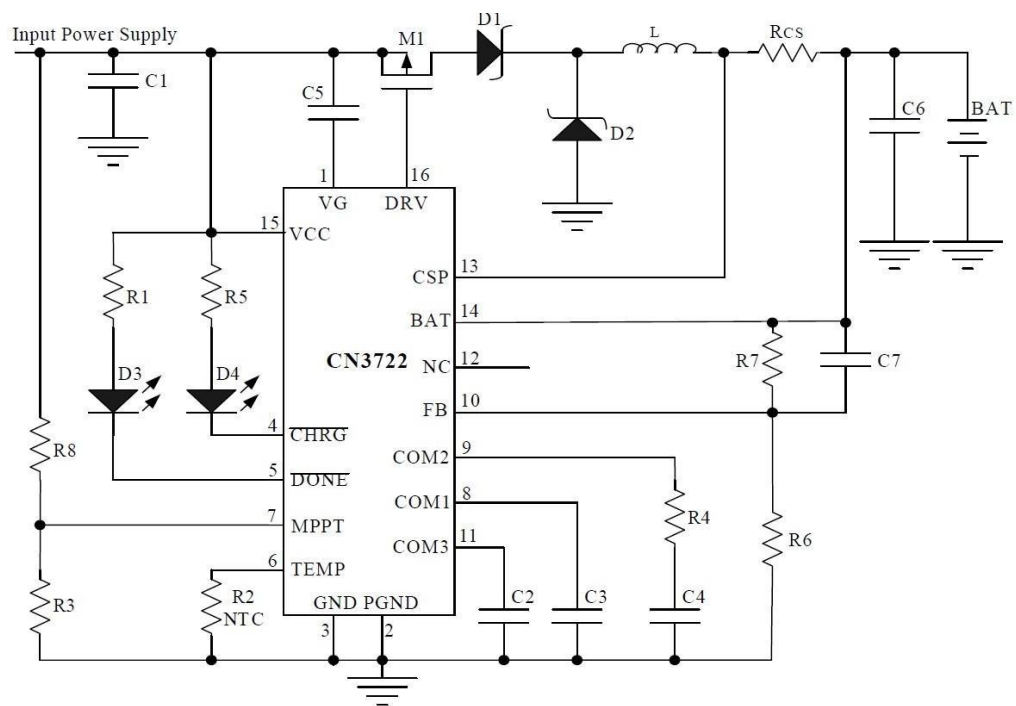


Рисунок 4.2 — Схема DC-DC перетворювача

4.1.2 Проектування індуктора

Найгірші умови експлуатації індуктора – при високій входній напрузі.

Індуктивність потрібного нам індуктора розраховується за формулою:

$$L_{min} = \frac{(V_{in(max)} - V_{out}) \cdot (1 - V_{out}/V_{in(max)})}{1,4 \cdot I_{out(min)} \cdot f_{sw}} \quad (4.1)$$

де $V_{in(max)}$ – максимально можлива входна напруга;

V_{out} – вихідна напруга;

$I_{out(min)}$ – мінімальний очікуваний струм навантаження;

f_{sw} – робоча частота.

Виходячи з формули (4.1) індуктивність дорівнює:

$$L_{min} = \frac{(21,6 \text{ В} - 4,2 \text{ В}) \cdot (1 - 4,2/21,6)}{1,4 \cdot 0,5 \text{ А} \cdot 300 \text{ кГц}} = 66,75 \text{ мкГн.}$$

Існують стандартні індуктори для поверхневого монтажу, які поставляються багатьма компаніями. В нашому випадку було вирішено обрати індуктор MSS1210-683MED виробництва компанії COILCRAFT. Цей індуктор був спеціально спроектований для схем керування електроживленням. Він має феритовий сердечник та екранований корпус.

Основні параметри даного індуктора:

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
30

- індуктивність: 68 мкГн;
- допуск номінальної індуктивності: $\pm 20 \%$;
- струм насичення: 3,8 А;
- середньоквадратичне значення струму: 4,3 А;
- максимальний опір: 0,084 Ом;
- температурний діапазон роботи: $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ до $125 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.1.3 Вибір ключа та обмежуючих діодів

В якості ключа повинний бути потужний польовий МДН-транзистор з каналом р-типу. Максимальна вхідна напруга – 21,6 В, звідси, задовільним буде номінал від +30 В і вище. Максимальний струм складає 4,2 А. Також бажано забезпечити розсіювання тепла менше 1 Вт, тому опір стік-витік транзистора (при закритому ключі) повинний бути нижче, чим значення яке розраховується за формулою:

$$R_{DS} = \frac{P_D}{(I_{pk(est)})^2} \quad (4.2)$$

де R_{DS} – опір стік-витік транзистора;

P_D – потужність розсіюваного тепла транзистором;

$I_{pk(est)}$ – значення короткочасного пікового струму.

Виходячи з формули (4.2) максимально можливе значення опору стік-витік транзистора дорівнює:

$$R_{DS} = \frac{1 \text{ Вт}}{(4,2 \text{ А})^2} < 56,7 \text{ мОм (максимум)}$$

В даному випадку було прийняти рішення вибрати досить поширений польовий МДН-транзистор виробництва компанії International Rectifier Si4435DY з опором в провідному стані 20 мОм в корпусі SO-8.

Основні параметри даного транзистора:

- гранично допустима напруга стік-витік: 30 В;
- гранично допустима напруга затвор-витік: 20 В;
- гранична напруга включення: 3 В;

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
31

- максимально допустимий постійний струм стоку: 8 А (при температурі транзистора 25 °С) та 6,4 А (при температурі транзистора 70 °С);
- максимально допустимий короткочасний імпульсний струм: 50 А;
- максимальна потужність що розсіюється: 2,5 Вт (при температурі транзистора 25 °С) та 1,6 Вт (при температурі транзистора 70 °С);
- температурний діапазон роботи транзистора: від – 55 °С до 150 °С;
- загальний заряд затвора: 40 нКл;
- опір стік-витік відкритого транзистора: 0,02 Ом;

В якості обмежуючих діодів повинні використовуватися діоди Шотки для мінімізації втрат на електропровідність і втрат перемикання. Задовільним падінням прямої напруги при максимальному струмі в 4,2 А характерно для діодів 50WQ03FN з падінням 0,46 В (при температурі +25°С).

4.1.4 Розрахунок вхідного та вихідного конденсаторів

Ємність вихідного конденсатора вираховується з наступної формули:

$$C_{out(min)} = \frac{I_{out(max)} \cdot (1 - V_{out}/V_{in(max)})}{f_{sw} \cdot V_{pul}} \quad (4.3)$$

де f_{sw} – робоча частота ШІМ-контролера;

Звідси, за формулою (4.3) ємність дорівнює:

$$C_{out(min)} = \frac{3 \cdot (1 - 4,2/21,6)}{300 \text{ кГц} \cdot 30 \text{ мВ}} = 268,5 \text{ мкФ}$$

В першу чергу для конденсатора як вхідного, так і вихідного фільтра потрібно визначити пульсуючий струм. В нашому випадку пульсуючий струм ідентичний змінному струму через індуктор. Максимальні межі струму через індуктор складають 4,2 А для I_{peak} ідесь половини максимального вихідного струму, або 1,5 А. Таким чином, подвійна амплітуда пульсуючого струму складає 2,7 А, а в оцінці середньоквадратичного значення струму – 0,9 А (біля третини подвійної амплітуди).

В нашому випадку повинні використовуватися танталові конденсатори для поверхневого монтажу, тому що вони зазвичай показують біля 50 % еквівалентного послідовного опору електролітичних конденсаторів. Крім цього,

					PT61.564111.001 ПЗ	Лист 32
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

номінали вибраних конденсаторів потрібно зменшити на 30 % при температурі навколишнього середовища +85°C.

Для нашого випадку найкращими є конденсатори у яких дуже низьке значення еквівалентного послідовного опору, і тому вони можуть справлятися з пульсуючим струмом великої сили.

Існує дуже небагато конденсаторів для поверхневого монтажу з потрібною ємністю, номіналом напруги і низьким значенням еквівалентного послідовного опору одночасно. Більш простішим рішенням буде включити два паралельних конденсатора з ємністю не менше, ніж половина бажаної величини, кожний. Це дозволить використовувати набагато більше доступніших конденсаторів і знизити значення еквівалентного послідовного опору. Тому було вирішено вибрати два конденсатора 597D157X9025F2T ємністю 150 мкФ і максимальною робочою напругою 25 В.

Вхідний конденсатор відчуває вплив тієї ж самої трапецеїдальної хвилі струму що і на ключі з початковим значенням струму біля 0,74 А і потім збільшується до 4,2 А. Умови експлуатації цього конденсатора є набагато складнішими ніж у вихідного. Оціним середньоквадратичне значення струму трапецеїдальної хвилі струму як кускове накладання двох хвиль: прямокутної з максимальним рівнем 0,74 А і трикутної з максимальним рівнем 4,2 А. Це дає оцінку значення середньоквадратичного значення струму – 1,1 А. Тоді ємність конденсатора можна визначити по формулі:

$$C_{in} = \frac{P_{in}}{f_{sw} \cdot V_{pul(in)}} \quad (4.4)$$

Звідси, за формулою (4.4) ємність дорівнює:

$$C_{in} = \frac{15,75 \text{ Вт}}{300 \text{ кГц} \cdot (1,1)^2} = 43,4 \text{ мкФ}$$

Виходячи з даних розрахунків було вирішено вибрати в якості вхідного фільтра танталовий конденсатор T521D476M020ATE040 з ємністю 47 мкФ та допустимою максимальною напругою в 20 В.

4.1.5 Розрахунок струмового резистора R_{cs}

Резистор R_{CS} приєднаний до позитивного виводу CSP і негативного виводу ВАТ мікросхеми які визначають падіння напруги на резисторі щоб забезпечити необхідний рівень вихідного струму в режимі постійного струму. Значення резистора для нашого випадку визначається за наступною формулою:

$$I_{out(max)} = \frac{200 \text{ мВ}}{R_{CS}}$$

Звідси R_{CS} дорівнює:

$$R_{CS} = \frac{200 \text{ мВ}}{I_{out(max)}} = \frac{200 \text{ мВ}}{3 \text{ А}} = 0,067 \text{ Ом.}$$

Найблищий стандартний номінал резистора з опором до 1 Ом дорівнює 0,1 Ом.

4.1.6 Розрахунок резисторів R_3 і R_8

Ці два резистора являють собою зовнішній дільник напруги для виводу МРРТ. Цей вивід відповідає за відстеження максимальної точки потужності сонячних панеле. В мікросхемі CN3722 це реалізовано за рахунок методу постійної напруги. З вольта-амперної характеристики сонячної панелі, при заданій температурі, напруга фотоелектричного елемента в точці максимальної потужності майже постійна, незалежно від різного рівня опромінювання. Таким чином, максимальну точку потужності можна відстежувати, якщо вихідна напруга фотоелектричного елемента регулюється постійною напругою. Але максимальна напруга точки живлення має температурний коефіцієнт приблизно - 0,4%/°C. При 25 °C напруга МРРТ-контакту CN3722 регулюється до 1,04 В з температурним коефіцієнтом - 0,4%/°C і для відстеження максимальної точки потужності використовується зовнішній подільник напруги (резистори R_3 і R_8). При 25 °C максимальна напруга живлення визначається наступним рівнянням:

$$V_{MPPT} = 1,04 \cdot \left(1 + \frac{R_8}{R_3}\right),$$

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
34

де, V_{MPPT} – максимальна напруга сонячної панелі (в нашому випадку це 17 В).

Виходячи з цієї формули:

$$\frac{R_8}{R_3} = \frac{V_{MPPT}}{1,04} - 1 = \frac{17}{1,04} - 1 = 15,346$$

Звідси $R_8 = 1,5$ кОм і $R_3 = 100$ Ом.

4.1.7 Розрахунок резисторів R_7 і R_6

Ці два резистора являють собою зовнішній дільник напруги для виводу FB. Цей вивід мікросхеми відповідає за рівень вихідної напруги в режимі постійної напруги за рахунок зворотного зв'язку акумуляторної батареї через подільник. CN3722 визначає стан заряду акумуляторної батареї на основі напруги на виводі FB. Коли напруга на виводі FB наближається до рівня в 2,416 В, зарядний пристрій переходить у режим постійної напруги. У цьому режимі струм заряду поступово зменшується, а напруга акумуляторної батареї залишається незмінною. Вихідна напруга в режимі постійної напруги визначається за наступним рівнянням:

$$V_{out} = 2,416 \cdot (1 + R_7/R_6) + I_B \cdot R_7,$$

де I_B – струм зміщення виводу FB, який для даної мікросхеми дорівнює $I_B = 50$ нА. З наведеного рівняння видно, що в розрахунки вводиться похибка $I_B \cdot R_7$ через наявність струму зміщення I_B .

Мікросхема CN3722 дозволяє встановлювати діапазон вихідних напруги від 3 В до 25 В. Вихідна напруга для нашого випадку $V_{out} = 4,2$ В. Для отримання такої напруги на виході було підібрано резистори номіналом $R_7 = 68$ кОм і $R_6 = 91$ кОм.

4.1.8 Компенсаційні компоненти

Для того щоб забезпечити стабільність струму та напруги типової схеми, необхідні наступні компенсаційні компоненти:

– конденсатор C_3 ємністю 470 пФ від виводу мікросхеми COM1 до GND;

					PT61.564111.001 ПЗ	Лист 35
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

- керамічний конденсатор C_4 ємністю 220 нФ та послідовно з ним резистор R_4 номіналом 120 Ом від виводу мікросхеми COM2 до GND;
- керамічний конденсатор C_2 ємністю 100 нФ від виводу мікросхеми COM3 до GND;
- конденсатор C_5 ємністю 100 нФ від виводу мікросхеми VG до VCC, який подає живлення затвору ключа;
- ємність конденсатор C_7 обчислюється за формулою (значення приймається в пФ):

$$C_7 = 8 \cdot (R_6/R_7) = 8 \cdot (91\text{кОм}/68\text{кОм}) \approx 10\text{ пФ}.$$

4.2 Моніторинг температури акумулятора

Термістор від'ємного температурного коефіцієнта (NTC), розташований поблизу акумуляторної батареї, може використовуватися для моніторингу температури акумулятора. Він не дозволить заряджати акумулятор, якщо його температура не буде в межах допустимого діапазону. Термістор підключається до мікросхеми між виводом TEMP і землею. Для високої температури в мікросхемі встановлено низький поріг напруги в 175мВ, що дорівнює 50 °С ($R_{NTC} \approx 3,5\text{ кОм}$). Для низької температури встановлено високий поріг напруги в 1,61В, що дорівнює 0 °С ($R_{NTC} \approx 32\text{ кОм}$).

Після того, як температура виходить за встановлені межі, цикл зарядження буде призупинено, і він відновиться, якщо температура повернеться до прийнятного діапазону. Струм підключення виходу TEMP становить близько 50 мкА, тому опір терморезистора NTC повинен бути 10 кОм при 25 °С, близько 3,5 кОм при верхній межі діапазону температури і близько 32 кОм при нижній межі діапазону температур. Термістори NTC, такі як TH11-3N103F, MF52 (10 кОм), QWX-103 та NCP18XH103F03RB, можуть добре працювати з мікросхемою CN3722. В нашому випадку моніторинг температури акумуляторної батареї не проводиться, тому замість терморезистора між виводом TEMP і землею підключено резистор з опором 10кОм.

4.3 Індикація стану зарядки

У мікросхемі CN3722 є 2 виходи з відкритим стоком: CHRГ і DONE. Коли акумулятор заряджається вивід CHRГ має низький опір, а вивід DONE знаходиться в стані високого опору. Коли заряд припиняється вивід CHRГ переходить в стан високого опору, а вивід DONE – низького. Якщо акумулятор відсутній, зарядний пристрій швидко заряджає вихідний конденсатор до регулюючої напруги. Тоді напруга виходу ВАТ повільно зменшується. Тим часом, вивід CHRГ видає імпульси, які свідчать про відсутність акумулятора.

Для нашого перетворювача на схемі передбачено два світлодіоди які будуть показувати індикацію. Один з них червоного кольору, а інший зеленого. До мікросхеми вони підключені через обмежуючі резистори R_1 та R_5 номіналом в 1 кОм.

У таблиці 3.1 наведено два стани індикаторів та відповідний стан зарядки акумулятора. Передбачається, що червоний світлодіод підключений до CHRГ виводу, а зелений - до DONE виводу.

Таблиця 4.1 — Індикація стану зарядки

CHRГ вивід	DONE вивід	Опис стані
Низький (червоний світлодіод увімкнено)	Високий опір (зелений світлодіод вимкнено)	Зарядка
Високий опір (червоний світлодіод вимкнено)	Низький (зелений світлодіод увімкнено)	Припинення зарядки
Імпульсний сигнал	Імпульсний сигнал	Батарея не підключена
Високий опір (червоний світлодіод вимкнено)	Високий опір (зелений світлодіод вимкнено)	Можливі три стани: – напруга на виводі VCC менша за вихідну напругу; – напруга на виводі VCC менша за напругу акумулятора; – температура акумуля-

		тора виходить за заданий діапазон.
--	--	------------------------------------

4.4 Розрахунок понижуючого DC-DC перетворювача на 10 ВТ.

Для розрахунку цього перетворювача спочатку потрібно вибрати мікросхему на основі якої він буде створюватися. Наший перетворювач буде створено за прямоходовою однотоктною схемою. Особливості, які повинні задовольняти мікросхема понижуючого перетворювача:

- можливість працювати на пряму від вхідної напруги;
- між імпульсне обмеження перевантаження за струмом;
- драйвери з двотоктним каскадом на польових транзисторах.

Схема даного перетворювача буде розроблятися на основі ШІМ контролер UC3573. Вибір цієї простої мікросхеми зумовлений тим, що в її основі лежить лише організація системи управління імпульсами перетворювача і вона немає великої кількості додаткових схем захисту. Ця мікросхема оптимізована для роботи з одним індуктором і використанням в якості ключа польового МДН-транзистора з каналом р-типу. Дана мікросхема в своїй конструкції має генератор постійної опорної напруги яка подається на підсилювач помилок, що дозволяє працювати в режимі постійної напруги на виході перетворювача. Внутрішня опорна напруга яка подається на підсилювач помилки складає $1,5 \text{ В} \pm 2\%$. UC3573 включає в себе ланцюг блокування вхідної напруги коли напруга яка подається на вхід мікросхеми менша певного заданого рівня.

Характеристики даної мікросхеми:

- мінімальна вхідна напруга: 4,5 В;
- максимальна вхідна напруга: 30 В;
- діапазон робочої частоти: від 85 кГц до 115 кГц
- діапазон робочих температур: від $-65 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+150 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вхідні дані для розрахунків:

					<i>PT61.564111.001 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

- мінімальна вхідна напруга: $V_{in(min)} = 10 \text{ В}$;
- максимальна вхідна напруга: $V_{in(max)} = 21,6$;
- вихідна напруга: $V_{out} = 5 \text{ В}$;
- максимальний вихідний струм: $I_{out(max)} = 2 \text{ А}$;
- вихідна напруга пульсацій: $V_{pul} = 30 \text{ мВ}$;
- стабілізація виходу: $\pm 1\%$;

4.4.1 Передпроектна оцінка

Максимальна вихідна потужність:

$$P_{max} = V_{out} \cdot I_{out(max)} = 5 \text{ В} \cdot 2 \text{ А} = 10 \text{ Вт.}$$

Вхідна потужність (очікуваний ККД перетворювача – $\eta = 0,8$):

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

Втрати на ключі (очікуваний ККД ключа – $\eta = 0,4$):

$$(P_{out} - P_{max}) \cdot 0,4 = (12,5 \text{ Вт} - 10 \text{ Вт}) \cdot 0,4 = 1 \text{ Вт.}$$

Втрати на обмежувачу діоді (очікуваний ККД діода – $\eta = 0,6$):

$$(P_{out} - P_{max}) \cdot 0,6 = (12,5 \text{ Вт} - 10 \text{ Вт}) \cdot 0,6 = 1,5 \text{ Вт}$$

Середнє значення вхідних струмів:

Вхідний сигнал низького рівня:

$$I_{in(low)} = \frac{P_{max}}{V_{in(min)}} = \frac{12,5 \text{ Вт}}{10 \text{ В}} = 1,25 \text{ А.}$$

Вхідний сигнал високого рівня:

$$I_{in(high)} = \frac{P_{max}}{V_{in(max)}} = \frac{12,5 \text{ Вт}}{21,6 \text{ В}} = 0,58 \text{ А}$$

Оцінка максимального струму:

$$I_{pk(est)} = 1,4 \cdot I_{out(max)} = 1,4 \cdot 2 \text{ А} = 2,8 \text{ А.}$$

Розробка нашого перетворювача буде здійснюватися за наступною схемою показаною на рисунку 4.3

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
39

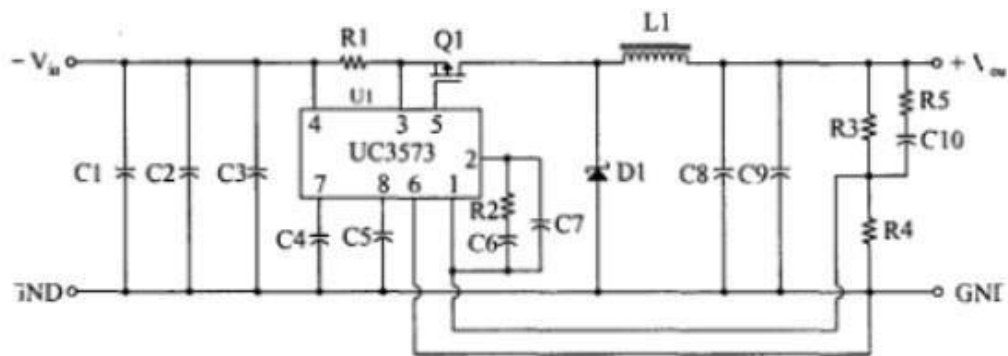


Рисунок 4.3 — Схема DC-DC перетворювача

4.4.2 Розрахунок індуктора

Розрахунок здійснюється з використання формули 4.1 при найгірших умовах експлуатації коли вхід напруга максимальна:

$$L_{min} = \frac{(21,6 \text{ В} - 5 \text{ В}) \cdot (1 - 5/21,6)}{1,4 \cdot 0,5 \text{ А} \cdot 100 \text{ кГц}} \approx 1 \text{ мГн.}$$

4.4.3 Вибір ключа та обмежуючого діода

Ключом для цього перетворювача, так як і для попереднього, має бути потужний польовий МДН-транзистор з каналом р-типу. Оскільки, максимальна вхідна напруга – 21,6 В, а максимальний струм складає 2,8 А. тому розсіювання тепла повинно складати не менше 1 Вт. Для розрахунку максимально допустимого опору стік-витік транзистора скористаємося формулою (4.2):

$$R_{DS} = \frac{1 \text{ Вт}}{(2,8 \text{ А})^2} < 127 \text{ мОм (максимум)}$$

В даному випадку було прийняти рішення вибрати досить поширений польовий МДН-транзистор виробництва компанії On Semiconductor FDS9435A.

Так як і для попереднього перетворювача в якості обмежуючого діода використовуватимемо діод Шотки для мінімізації втрат на електропровідність і втрат перемикання. Виберемо діод MBRD330 з падінням прямої напруги в 0,45 В при максимальному струмі в 3 А.

4.4.4 Розрахунок вхідного та вихідного фільтрів

Ємність вихідного конденсатора вираховується з формули (4.3) і вона дорівнює:

$$C_{out(min)} = \frac{2 \cdot (1 - 5/21,6)}{100 \text{ кГц} \cdot 30 \text{ мВ}} = 512 \text{ мкФ}$$

Для нашої схеми ми обрали два паралельно з'єднаних конденсатора. Ємність кожного повинна бути не меншою половини розрахованої ємності і складає 330 мкФ.

Ємність вхідного конденсатора вираховується з формули (4.4) і вона дорівнює:

$$C_{in} = \frac{12,5 \text{ Вт}}{100 \text{ кГц} \cdot (1,0)^2} = 125 \text{ мкФ}$$

Конденсатори які розраховані на більшу напругу мають більшу ємність. Тому, для нашого випадку, це мають два паралельно включені конденсатори ємністю 68 мкФ.

4.4.5 Встановлення робочої частоти ШІМ-контролера

Відповідно до дата-шиту мікросхеми UC3573 частота визначається за допомогою зовнішнього конденсатора C_3 ємність якого розраховується за формулою:

$$C_3 = \frac{1}{15 \text{ кГц} \cdot f_{sw}} \quad (4.5)$$

де f_{sw} – робоча частота ШІМ-контролера

Для нашого перетворювача вибрали частоту $f_{sw} = 100 \text{ кГц}$. Виходячи з формули (4.5) ємність конденсатора дорівнює:

$$C_3 = \frac{1}{15 \text{ кГц} \cdot 100 \text{ кГц}} = 666 \text{ пФ}$$

Найближче значення складає 680 пФ.

4.4.6 Розрахунок резистора зчитування струму (R_1)

У вибраній мікросхемі ШІМ-контролера використовується захист з допомогою між імпульсного моніторингу струму, при якому ключ відразу розмикається при перевищенні порога в 0,47 В. Допустимо що зазор між очікуваним максимумом струму і порогом захисного розімкнення складає 25%.

Таким чином, захист буде спрацьовувати при струмі $1,25 \cdot 2,8 \text{ A} = 3,5 \text{ A}$. Виходячи з цього, розраховуємо опір резистора R_1 :

$$R_1 = \frac{0,47 \text{ В}}{3,5 \text{ А}} = 0,134 \text{ Ом.}$$

Найближче стандартне значення опору дорівнює $0,1 \text{ Ом}$.

4.4.7 Розрахунок резисторного подільника напруги (R_3 та R_4)

Даний подільник регулює вихідну напругу перетворювача. Значення напруги яке зчитується з даного подільника порівнюється з опорною напругою мікросхеми.

Значення опору резистор R_4 визначається з формулою

$$R_4 = \frac{V_{osc}}{I_r} \quad (4.6)$$

де V_{osc} – опорна напруга (для мікросхеми UC3573 $V_{osc} = 1,5 \text{ В}$);

I_r – струм зчитування мікросхеми.

Звідси, R_4 дорівнює:

$$R_4 = \frac{1,5 \text{ В}}{1 \text{ мА}} = 1,5 \text{ кОм}$$

Значення опору резистор R_3 визначається з формулою

$$R_3 = \frac{V_{out} - V_{osc}}{I_r} \quad (4.7)$$

Звідси, R_3 дорівнює:

$$R_3 = \frac{5 \text{ В} - 1,5 \text{ В}}{1 \text{ мА}} = 3,5 \text{ кОм}$$

4.4.8 Компенсаційні компоненти

Для того щоб забезпечити стабільність струму та напруги типової схеми, необхідні наступні компенсаційні компоненти:

- конденсатор C_4 ємністю 680 пФ ;
- керамічний конденсатор C_5 ємністю 100 нФ .

4.4.9 Компенсація контуру зворотного зв'язку за напругою

ньо для більшості застосувань. Це дає тривалість перехідних процесів біля 200 нс.

$$f_{x0} = 15 \text{ кГц}$$

Перше, що потрібно прийняти, це те, що кінцевий ланцюг компенсації замкнутого контуру буде мати безперервний нахил -20 дБ/декаду. Щоб досягти частоти переходу в 15 кГц, підсилювач повинний додати підсилення вхідного сигналу і «припідняти» амплітудну характеристику на графіці Боде.

$$G_{x0} = 20 \cdot \log(f_{x0}/f_{fr}) - G_{DC} = 20 \cdot \log(15 \text{ кГц}/20 \text{ Гц}) - 17,15 \text{ дБ} = G_2 \\ = +40,35 \text{ дБ}$$

$$A_{x0} = A_2 = 104,11 \text{ (абсолютний еквівалент)}$$

Це підсилення потрібне на плато середнього діапазону G_2 для досягнення бажаної частоти переходу.

Підсилення на першому наборі компенсаційних «нулів», складає:

$$G_1 = G_2 + 20 \cdot \log(f_{ez2}/f_{ep1}) = +40,35 \text{ дБ} + 20 \cdot \log(10 \text{ Гц}/4020 \text{ Гц}) = G_2 \\ = -11,74 \text{ дБ}$$

$$A_1 = 0,26 \text{ (абсолютний еквівалент)}$$

Для компенсації двополюсного фільтра помістимо два «нуля» на половині частоти полюса фільтра:

$$f_{ez1} = f_{ez2} = 10 \text{ Гц}$$

Перший компенсаційний полюс буде розміщено на частоті еквівалентного опору конденсатора:

$$f_{ep1} = 4020 \text{ Гц}$$

Другий компенсаційний полюс використовується лише для підтримки високочастотної стійкості шляхом зменшення підсилення на частоті переходу:

$$f_{ep2} = 1,5 \cdot f_{x0} = 22,5 \text{ кГц}$$

Тепер можна починати розрахунок величин опорів та ємностей компонентів підсилювача похибки:

$$C_7 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{x0} \cdot A_2 \cdot R_3} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 15 \text{ кГц} \cdot 104,11 \cdot 3,5 \text{ кОм}} \approx 27 \text{ пФ}$$

$$R_2 = A_1 \cdot R_3 = 0,26 \cdot 3,5 \text{ кОм} = 900 \text{ Ом}$$

$$C_6 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{ez1} \cdot R_2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10 \text{ Гц} \cdot 900 \text{ Ом}} \approx 22 \text{ мкФ}$$

$$R_5 = \frac{R_2}{A_1} = \frac{900}{0,26} = 3,5 \text{ кОм}$$

$$C_{10} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{ep2} \cdot R_5} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 22,5 \text{ кГц} \cdot 3,5 \text{ кОм}} \approx 2,2 \text{ нФ}$$

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
45

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Даний розділ дипломного проекту присвячено розробці заходів щодо охорони праці при розробці та виготовленні малогабаритної сонячної електростанції. Необхідно визначити основні потенційно шкідливі чинники з точки зору факторів, що впливають на здоров'я і якість праці працівників. Необхідно проаналізувати та оцінити як кількісно, так і якісно кожний із потенційно можливих небезпечних та шкідливих факторів та знизити їх вплив до значень які є допустимими. Також необхідно розглянути питання пов'язані з електробезпекою, гігієною праці, виробничої санітарії на робочих місцях, визначення основних заходів з пожежної безпеки.

Одним із основних процесів проекту є розроблення друкованої плати, що змушує досить детально розглянути питання з охорони праці при виготовленні друкованих плат, та при виконанні пайки. Ці процеси супроводжуються рядом шкідливих та небезпечних факторів, розгляданням яких ми будемо займатися надалі.

Оскільки одним із основних елементів структури сонячної електростанції являється акумуляторна батарея тому потрібно розглянути заходи безпеки пов'язанні з експлуатацією та технічним обслуговуванням акумуляторних батарей.

5.1 Визначення основних потенційно шкідливих небезпечних виробничих факторів.

До основних шкідливих і небезпечних факторів, що можуть впливати на працівників, при технологічному процесі виробництва розробленого пристрою належать:

– Підвищені рівні електромагнітного поля (рівні випромінювань повинні відповідати ГОСТ 2.1.006-84);

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
46

– Недостатня освітленість робочої зони (необхідне виконання вимог освітленості виробничих приміщень повинні задовольняти нормам, які визначені у ДБН В 2.5-28-2006);

– Небезпека ураження електричним струмом через несправність електроінструменту та необережність;

– Небезпека опіку при необережному користуванні нагрівальним електроінструментом (паяльником та іншими інструментами що нагріваються);

– Вплив психофізіологічних факторів (фізичні перевантаження) та нервово-психічних перевантажень;

– Пожежна безпека;

– Незадовільні параметри мікроклімату (висока вологість, висока чи низька температура повітря) робочого приміщення (величини показників мікроклімату у виробничих приміщеннях повинні задовольняти нормам, які визначені у ГОСТ 12.1.005-88 і ДСН 3.3.6.042-99);

– Вміст (у повітрі робочої зони) шкідливих речовин різного характеру в небезпечних концентраціях, що перевищують гранично допустимі (граничнодопустима концентрація (ГДК) шкідливих речовин у повітрі робочої зони повинна задовольняти нормам, які визначені у ГОСТ 12.1.005-88 і ГОСТ 12.1.007-80);

– Підвищений рівень шуму на робочому місці (припустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку й еквівалентні рівні звуку на робочих місцях варто приймати відповідно до санітарних норм припустимих рівнів шуму на робочих місцях, які визначені у ДСН 3.3.6.037-99);

– Підвищена напруженість електричного поля промислової частоти на робочому місці (напруженість електричних полів промислової частоти на робочих місцях повинна задовольняти нормам, які визначені у ГОСТ 12.1.002-88).

Дотримання цих норм та правил техніки безпеки зменшують ризик отримання виробничих травм та зменшують вплив шкідливих речовин на здоров'я працівника.

					<i>PT61.564111.001 ПЗ</i>	Лист 47
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

5.2 Виконання вимог безпеки при проведенні технологічного процесу пайки друкованих плат.

Процес монтажу радіо-компонентів методом ручної пайки несе в собі такі характерні шкідливі та небезпечні фактори як хімічні, біологічні, фізіологічні та психофізичні фактори . Спільна дія їх може призвести до виникнення пожеж, вибухів та профзахворювання. Тому слід виділити основні небезпечні та шкідливі фактори які мають місце при процесі пайки:

- загазованість повітря та наявність у повітрі робочої зони шкідливих речовин;
- наявність інфрачервоного випромінювання від паяльника та розплавленого припою;
- незадовільна освітленість робочого місця чи підвищена яскравість;
- незадовільні метеорологічні умови у робочій зоні;
- можливість ураження бризками та каплями розплавленого припою;
- можливість ураження електричним струмом;

Ручна пайка супроводжується забрудненням повітряного середовища парами припою. Вплив цих парів залежить від хімічного складу припою. Більшість елементів, що входять до складу застосовуваних припоїв, є шкідливими для здоров'я та життя людини.

В процесі монтажу друкованої плати розробленого пристрою використовується припій ПОС–61 ГОСТ 21931–76. До складу припою входить 60-62% олова, а все інше свинець. Також використовується флюс склад якого складається з розчину соснової каніфолі в етиловому спирті (50% соснової каніфолі, 50% етилового спирту), розчинник флюсу — спирт етиловий. Пайка проводиться електропаяльником потужністю 36 Вт.

Температура приміщення в зоні де відбувається пайка елементів друкованих плат за рахунок джерел які випромінюють тепло, може перевищувати гранично допустимі межі. Для відведення зайвого тепла використовується локальна механічна вентиляція. У теплий період року використовується природна вентиляція через віконні отвори. Це дозволяє знизити температуру до

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
48

норми. У холодний період року може використовуватися система центрального опалення відповідно до вимог ДБН В.2.5 – 67:2013.

Робота зі шкідливими речовинами при застосуванні припоїв, флюсів, паст для пайки, розчинників повинна проводитися при діючій локальній вентиляції.

Роботи при проведенні ручної пайки мають відповідати згідно ДСН 3.3.6.042-99 відповідно категорії II, що являє собою сидячу роботу, з підняттям ваги до 1 кг.

Відходи виробництва друкованих плат повинні бути зібрані у спеціально відведених місцях та піддані утилізації, захороненню чи іншому виду обробки відповідно до нормативно-технічної документації на технологічні процеси, що враховують хімічний склад та фізичний стан цих відходів.

5.3 Пожежна безпека

При монтажі друкованої плати розробленого пристрою використовуються пожежонебезпечні та вибухонебезпечні матеріали. Пожежа може виникнути, якщо не дотримуватися правил пожежної безпеки. Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016 та СНиП 2.09.02-85 приміщення за пожежонебезпекою відповідають категорії В (вибухонебезпечні, горючі), тобто приміщення з горючими та важкогорючими рідинами, твердими горючими матеріалами та речовинами. Відповідно до класифікації пожежних зон (згідно з НПАОП 40.1-1.32-01 та ПУЕ) робоча зона належить до приміщень класу II-Па - зони пожежної небезпеки в приміщеннях.

Причиною пожежі може бути порушення ізоляції електропроводки та її перевантаження, коротке замикання, куріння в кімнаті, виготовлення флюсів та видалення їх залишків, порушення правил експлуатації електроприладів. У разі виникнення пожежі повинна бути забезпечена можливість безпечно евакуювати людей через евакуаційні виходи. Необхідна кількість виходів для евакуації з будівлі, з кожного поверху та приміщення, ширина проходів і вогнестійкість будівлі повинно бути відповідною до ДБН В.1.1.–7–2002. Відстань від найвіддаленішого робочого місця до найближчого евакуаційного ви-

<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

РТ61.564111.001 ПЗ

Лист
49

ходу з приміщення безпосередньо назовні або до сходової клітки не повинна перевищувати значення, що зазначені в СНиП 2.09.02-85.

Кількість, місце розташування та умови зберігання вогнегасників та пожежних гідрантів повинні відповідати вимогам НАПБ А.01.001-2014 . Відповідно до ISO 3941-77 на робочому місці необхідно встановити вуглекислотні вогнегасники марки ВВ-2, ВВ-5 або ВВ-8, оскільки вони використовуються для гасіння електроустановок та електричних мереж під напругою до 1000 В. Також потрібно встановити пінний хімічний вогнегасник ВХП-10 який використовується для гасіння початкових вогнищ легкозаймистих твердих матеріалів, а також різних горючих рідин.

Для запобігання пожежі і протипожежного захисту підприємства відповідно до правил ДБН В.2.5-56:2014 використовується електрична пожежна сигналізація (ЕПС), яка служить для швидкого повідомлення служби пожежної безпеки про пожежу в одному з приміщень або будівель підприємства.

Наступні заходи призначені для забезпечення пожежної безпеки:

- Постійний контроль та перевірка вогнегасників та іншими засобів пожежогасіння;
- Контроль за станом ізоляції дротів електроживлення;
- Заборона палити в приміщенні;
- Неприпустимість наявності в приміщенні горючих і вибухонебезпечних речовин;
- Встановлення пожежних сповіщувачів потрібного типу, які захистять всю виробничу площу.

5.4 Електробезпека у виробничих приміщеннях.

Відповідно до класифікації ДСТУ IES 61.140.2015, усе електрообладнання, яке знаходиться в приміщенні, можна визначити як 0І клас електричного захисту (обладнання з робочою ізоляцією, елементи заземлення та електродроти без заземлюючого провідника) та І клас електричного захисту (підключення обладнання до мережі електроживлення вилкою з трьома контактними елементами, один з яких підключений до заземленого контакту розетки).

					PT61.564111.001 ПЗ	Лист 50
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Приміщення, в якому проводяться роботи, можна класифікувати як приміщення без підвищеного ризику ураження електричним струмом для персоналу, оскільки:

- підлога не є провідником електричного струму (лінолеум – діелектрик);
- відносна вологість повітря не перевищує 75%;
- температура в приміщенні не перевищує 35°C;
- виключаються випадки одночасного контакту людини з елементами конструкцій, з'єднаних із землею та металевими елементами електрообладнання;

Живлення електроприладів в робочому приміщенні здійснюється від трьохфазної мережі із заземленою нейтралю напругою 220 В і частотою 50 Гц із використанням автоматів струмового захисту. У приміщенні використовується схема занулення.

5.5 Заходи безпеки пов'язанні з експлуатацією та технічним обслуговуванням акумуляторних батарей.

Так як для даного пристрою передбачено використання літій-полімерних акумуляторних батарей, тому необхідно ознайомитися з правилами їх експлуатації та небезпеками які можуть виникнути.

Акумулятори безпечні у експлуатації в тому випадку, коли вони експлуатуються відповідним чином із дотриманням вказаних виробником параметрів. Особливо це стосується дотримання меж теплових навантажень під час зберігання та транспортування. Через неправильну експлуатацію або обставини, які призводять до неправильної роботи, може виникнути негерметичність та можуть витікати речовини акумулятора та продукти його розпаду.

Через контакт із речовинами акумулятора, що витікають, може виникати небезпека для здоров'я та навколишнього середовища. Тому при контакті із підозрілими акумуляторами (витікають речовини, деформація, зміна кольору, здуття та ін.) потрібен достатній захист поверхні тіла та дихання.

Якщо пошкоджено корпус акумулятора то з нього може витікати електроліт. В цьому випадку акумулятор слід помістити у резервуар, який герметично закривається та не горить, заповнений сухим піском, порошком крейди (CaCO₃) або вермикулітами. Таким чином хімічні речовини, які можуть ви-

					PT61.564111.001 ПЗ	Лист 51
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

тексти, будуть усмоктуватися. Сліди електроліту можна прибрати сухими паперовими серветками. При цьому слід уникати прямого контакту зі шкірою за допомогою використання захисних рукавичок.

Під час зберігання пошкоджених акумуляторів слід враховувати, що термічна реакція може виникнути з часом. Тому слід зберігати їх у безпечному місці.

Зарядні пристрої, які не допущені компанією виробником акумуляторів для їх підзарядки, можуть спричинити пожежі та вибухи. При використанні таких зарядних пристроїв можуть бути поранені люди, а також можливі матеріальні збитки. Акумулятори потрібно заряджати лише за допомогою зарядного пристрою, який допущений компанією виробником акумуляторів.

Наступні заходи та поради призначені для забезпечення безпечної експлуатації акумуляторних батарей:

- Електричні контакти акумулятора не поєднувати із металевими предметами та не замикати;
- Не встромлювати будь-які предмети в отвори акумуляторів;
- Не намагатися порушити герметичність акумуляторів;
- Акумулятори та зарядні пристрої ні в якому разі не дозволяється модифікувати або виконувати маніпуляції з ними.
- Щоб уникнути короткого замикання а також супутнього нагрівання акумулятори ніколи не дозволяється зберігати або транспортувати без захисту та упаковки.
- Захищати від потрапляння вологи та не занурювати їх у воду;
- Захищати від спеки та відкритого вогню;
- Дотримуватися допустимого діапазону температур акумулятора;
- Якщо помітно дим, перегрів, неприємний запах, шум чи деформацію – акумулятор від'єднати від пристрою та негайно відійти на безпечну відстань;
- Якщо акумулятори не використовуються то їх потрібно зберігати в чистому та сухому місці;
- Тримати акумулятори подалі від дітей, тому що вони можуть не оцінити та не розпізнати небезпеки, які пов'язані із акумулятором;

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PT61.564111.001 ПЗ

Лист
52

Отже, при відповідній експлуатації та дотриманні загально діючих санітарних норм акумулятори не несуть ніякої шкоди здоров'ю людей.

					<i>РТ61.564111.001 ПЗ</i>	Лист 53
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВКИ

В даній роботі було розроблено переносну сонячну електростанцію для польових умовах експлуатації в весняно-літню пору року. Розроблена МСЕ забезпечує надійне живлення та функціонування акумуляторної батареї мобільного телефона, електричного ліхтаря, радіоприймача. При розробці DC-DC перетворювача було використано ШІМ-контролер що відстежує точку максимальної потужності СП. Це дало можливість досягти максимізації струму заряду АК і мінімізувати час що потрібний для повної зарядки, навіть за низьких рівнів освітленості.

Використаний в якості БНЕ літій-полімерний акумулятор надає можливість значно подовжити роботу портативних пристроїв. Завдяки БНЕ можна підзаряджати пристрої навіть уночі. Але при цьому є важливим дотримання умов експлуатації таких типів АКБ. Недоліком таких АКБ є їх залежність від навколишньої температури.

Використані в даному проекті СП повністю задовольняють потреби в електроенергії для пристроїв прописаних в технічному завданні, при цьому їхні розміри залишаються досить компактними. Наявність захисного скла уможливорює використовувати СП в різних екстремальних умовах. Конструкція МСЕ є досить легкою і простою в експлуатації та транспортуванні. В результаті проведених досліджень були враховані недоліки деяких видів сучасних портативних зарядних систем на основі СП.

Дана МСЕ може бути взята за основу при конструюванні подібних систем для різної вихідної потужності. При збільшенні розмірів СП і розрахунку більш потужних DC-DC перетворювачі можна досягти вихідної потужності якої вистачило б на більш енергозатратні пристрої. Використовуючи подібну систему в парі з системою відстеження напрямку сонячного проміння можна досягти більшої ефективності СП. Такі системи можна було б використовувати стаціонарно для забезпечення живленням електроенергією невеликого будинку.

Розроблена МСЕ завдяки своїм масогабаритним характеристикам та вихідній потужності може використовуватися у військових підрозділах, рятувальних бригадах ДСНС, невеликих туристичних групах та окремими людьми для підзарядки одного або декількох електричних пристроїв та систем. Дана система може стати чудовим аналогом невеликих бензинових та дизельних генераторів, при цьому вона не виділяє шкідливих речовин під час своєї роботи.

					<i>РТ61.564111.001 ПЗ</i>	Лист 55
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Литовченко В.Г., Стріха М.В. Сонячна енергетика: порядок денний для світу й України. К.: К.І.С, 2015 – 40 с.
2. Оксанич А.П., Тербан В.А., Волохова С.О. Ключ М.І., Скришевський В.А., Костильов В.П., Макарова А.В. Сучасні технології виробництва кремнію та кремнієвих фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії. Кривий Ріг: Мінерал, 2010 – 266 с.
3. Багоцкий В.С., Скундин А.М. Химические источники тока. – М.: Энергоиздат, 1981. – 360 с.
4. Хоменко В. Г. Електрохімічні конденсатори на основі електропровідних полімерів: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.17.03 / В.Г. Хоменко; НТУУ «КПІ». – К., 2011 – 14 с.
5. Потупчик В.Г. Литий-полимерный (Li-Pol) аккумуляторы [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.rcdesign.ru/articles/engines/lipol>.
6. Ткачук К.Н., Зацарний В.В. та ін. Охорона праці та промислова безпека. Навчальний посібник. – К.: Лібра, 2010. – 559 с.
7. Методичні вказівки до розробки розділу “Охорона праці” в дипломних проектах/роботах/ для студентів РТФ освітнього рівня – бакалавр. Укладач: С.Ф.Каштанов - Київ НТУУ ”КПІ”, 2013 р., 34 с.
8. ЕСКД — gk-drawing.ru/ [Електронний ресурс] —Режим доступу: <http://gk-drawing.ru/plotting/>
9. Классы точности печатных плат (PCB) — microsin.net / [Електронний ресурс] —Режим доступу: <http://microsin.net/adminstuff/others/pcb-classes.html>

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РТ61.564111.001 ПЗ

Лист
56

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіотехнічних пристроїв та систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Керівник дипломного проекту

_____ О.М. Антоненць

14 квітня 2020 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту Пташніченку Владиславу Анатолійовичу.

Тема проекту: «Малогабаритна сонячна електростанція»

Розробити малогабаритну переносну сонячну електростанцію (далі в тексті МСЕ) 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. МСЕ повинна забезпечити надійне функціонування наступних споживачів:
 - 1) Акумуляторна батарея мобільного телефону ємністю 4000 мА*год з параметрами зарядного пристрою $U_z=5$ В, $I_z=2$ А при умові щоденного витрачення половини заряду ємності до 2000 мА*год;
 - 2) Електричний ліхтар з параметрами – $U=4$ В, $I=0.32$ А. Щоденна експлуатація до 2 годин;

3) Радіоприймач з параметрами – $U=3$ В, $I=0.1$ А. Щоденна експлуатація до 6 годин.

3. Габаритні розміри МСЕ у складеному вигляді не повинні перевищувати – $400*300*80$ мм*мм*мм.

4. Маса МСЕ не повинна перевищувати 4 кг.

Студент

В.А. Пташніченко

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки
<u>Конденсатори</u>			
C1	597D157X9025F2T-VISHAY 150 мкФ 25 В ± 20%	1	
C2	C0402X104K250NU-Hitano 100 нФ 25 В ± 10%	1	
C3	C0402N471J500NU-Hitano 470 нФ 50 В ± 5%	1	
C4	C0402X224M160NU-Hitano 220 нФ 16 В ± 20%	1	
C5	C0402X104K250NU-Hitano 100 нФ 25 В ± 10%	1	
C6	ZRB15XR61A475ME01D-Murata 47 мкФ 10 В ± 20%	1	
C7	C0402X103K500NU-Hitano 10 нФ 50 В ± 10%	1	
C8	597D157X9025F2T-VISHAY 150 мкФ 25 В ± 20%	1	
C9,C10	T491D686K010AT-Kemet 68 мкФ 10 В ± 10%	2	
C11	C0603B681K500NT-Hitano 680 нФ 50 В ± 10%	1	
C12	C0402X104K250NU-Hitano 100 нФ 25 В ± 10%	1	
C13	C0402N681J500NU-Hitano 680 нФ 50 В ± 5%	1	
C14	1210X226K160N1-Hitano 22 мкФ 16 В ± 10%	1	
C15	C0402N270J500NU-Hitano 27 нФ 50 В ± 5%	1	
C16,C17	TAJD337K006RNJ -AVX 330 мкФ 6,3 В ± 10%	2	
C18	C0402X222K500NU-Hitano 2,2 нФ 50 В ± 10%	1	
<u>Мікросхеми</u>			
DD1	CN3722	1	
DD2	SI4435DY	1	
DD3	UC3573	1	
DD4	FDS9435A	1	
<u>Резистори</u>			
R1	RS-1206-1K-5%-0.25W	1	
R2	RS-1206-10K-5%-0.25W	1	

РТ61.564111.001 ПЕ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Пташніченко В		
Перевір.				
Реценз.				
Н. Контр				
Затверд.		Антонець О.М.		

Малогабаритна
сонячна
електростанція

Лім.	Арк.	Аркушіє
	1	2
НТУУКПІ, РТФ, РТ-261-1		

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A1			PT61.564111.001 СК	Складальний кресленик		
A1			PT61.564111.001 Е1	Схема електрична структурна		
A1			PT61.564111.001 Е3	Схема електрична принципова		
A4			PT61.564111.001 ПЕ	Перелік елементів		
				<u>Деталі</u>		
A1		1	PT61.758734.001	Друкована плата	1	
				<u>Інші вироби</u>		
				<u>Конденсатори</u>		
		2		597D157X9025F2T-VISHAY 150мкФ 25В ±	1	С1
		3		C0402X104K250NU-Hitano 100нФ 25В ± 10%	1	С2
		4		C0402N471J500NU-Hitano 470 нФ 50 В ± 5%	1	С3
		5		C0402X224M160NU-Hitano 220нФ 16В ± 20%	1	С4
		6		C0402X104K250NU-Hitano 100нФ 25В ± 10%	1	С5
		7		ZRB15XR61A475ME01D-Murata 47мкФ 10В ± 20%	1	С6
		8		C0402X103K500NU-Hitano 10 нФ 50 В ± 10%	1	С7
		9		597D157X9025F2T-VISHAY 150мкФ 25В ±	1	С8
		10		T491D686K010AT-Kemet 68 мкФ 10 В ± 10%	2	С9,С10
		11		C0603B681K500NT-Hitano 680 нФ 50В ± 10%	1	С11
				PT61.564111.001		
		№ докум.	Підпис	Дата		
Розробив	ГташніченкоВ				Лім.	Арк.
Перевір.						Аркушів
Реценз.						1
Н. Контр					НТУУКПІ, РТФ, РТ-з61-1	
Затверд.	АнтонецьО.М.					
				Малогабаритна сонячна електростанція		3

