

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

Електрозахист сонячної електростанції

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

спеціальності 141 Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Шевчук О.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис) Андрійчук В.А.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис) Мовчан Л.Т.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис) Тарасенко М.Г.
(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис) Шелестовський Б.Г.
(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Тарасенко М.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Шевчук Олександр Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Електрозахист сонячної електростанції

Керівник роботи Андрійчук Володимир Андрійович, д.т.н., проф.

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

Затверджені наказом ректора від «23» січня 2023 року № 4/7-47.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 14.06.23

3. Вихідні дані до роботи Сонячна електростанція, основні елементи та їх характеристики.

Засоби електричного захисту СЕС. Контур захисного заземлення. Засоби захисту від імпульсних перенапруг. Блискавкозахист.

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

1. Структура сонячної електростанції, характеристика її основних елементів.

2. Електричний захист сонячної електростанції.

3. Захист лінії постійного та змінного струму.

4. Зовнішня та внутрішня системи блискавкозахисту

5. Розрахунок захисного заземлення

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

1. Структурна схема мережевої сонячної електростанції.

2. Будова сонячної панелі Сонячна фотоелектрична батарея.

3. Зовнішній вигляд та схема підключення контролера заряду.

4. Інвертор в сонячній енергетичній системі

5. Принципова електрична схема інвертора

6. Схема контурного та виносного заземлення. Схема зовнішнього заземлюючого контуру

7. Розрахунок зовнішнього заземлюючого контуру.

8. Схема захисту обладнання СЕС при розташуванні фотоелектричних модулів у зоні ПУБ

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці			
Нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналітичний огляд за напрямком кваліфікаційної роботи	з 17.01.2022 по 20.02.2022	
2.	Підготовка основної частини пояснювальної записки кваліфікаційної роботи	з 21.02.2022 по 21.04.2022	
3.	Підготовка розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	з 21.05.2022 по 28.05.2022	
4.	Складання переліку використаних літературних джерел	з 29.05.2022 по 05.06.2022	
5.	Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату	з 06.06.2022 по 10.06.2022	
6.	Підготовка, оформлення та друк графічного матеріалу кваліфікаційної роботи	з 11.06.2022 по 13.06.2022	
7.	Отримання відгуку та рецензії на кваліфікаційну роботу, підготовка доповіді на захист	з 13.06.2022 по 14.06.2022	

Студент

_____ (підпис)

Шевчук О.С.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Андрійчук В.А.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТс-41. -Т.: ТНТУ. 2023.

Стор. 64; рис. 16; табл. 7; джерел 8.

Кваліфікаційна робота на тему: **«Електрозахист сонячної електростанції»**.

Метою даної кваліфікаційної роботи було: на основі детального аналізу будови сонячної електростанції та існуючих технічних засобів електрозахисту запропонувати систему захисту від ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу та захисту структурних елементів електростанції від коротких замикань та імпульсних перенапруг, які можуть виникнути в результаті удару блискавки.

Ключові слова:

СОНЯЧНІ МОДУЛІ, КОНТРОЛЕР ЗАРЯДУ, МЕРЕЖЕВИЙ ІНВЕРТОР, ПРИСТРІЙ ЗАХИСНОГО ВІДКЛЮЧЕННЯ, ОБМЕЖУВАЧ ПЕРЕНАПРУГИ, КОНТУР ЗАЗЕМЛЕННЯ.

ЗМІСТ

СКРОРОЧЕНІ ПОЗНАЧЕННЯ	7
ВСТУП	8
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	10
1.1. Сонце як джерело енергії	10
1.2 Структура сонячної електростанції	10
1.2.1 Будова сонячних панелей	12
1.2.2 Сонячні модулі	16
1.2.3. Контролер заряду	16
1.2.4 Акумулятори	20
1.2.5 Блок постійної напруги	21
1.2.6 Інвертор	21
1.2.7 Лічильник	27
1.2.8 Підтримувальні металоконструкції	27
Висновки до розділу 1	28
2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	29
2.1 Електричний захист сонячної електростанції	29
2.1.1 Засоби електричного захисту СЕС	29
2.1.2 Захист лінії постійного струму	30
2.1.3 Захист СЕС по змінному струму	31
2.2 Блискавкозахист	33
2.2.1. Зовнішня система блискавкозахисту	33
2.2.2 Внутрішня система захисту від блискавки	34
2.3 Захист основних структурних елементів СЕС	35
2.3.1 Захист інвертора	35
2.3.2 Захист системи акумуляування заряду	36
Висновки до розділу 2	37
3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	38
3.1 Розрахунок захисного заземлення	38
3.2 Захист сонячних електростанцій від імпульсних перенапруг (блискавкозахист)	45

3.2.1 Вибір класу захисту ПЗП	46
3.2.2 Вибір максимально тривалої робочої напруги ПЗП	47
3.2.3 Максимально можлива напруга фотоелектричного модуля	47
3.2.4 Спрощений розрахунок максимально можливої напруги сонячної фотоелектричної батареї	49
3.2.5 Розміщення ПЗП	51
Висновки до розділу 3	54
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	55
4.1. Організація охорони праці на підприємстві	55
4.2 Заходи безпеки при обслуговуванні електроустановок	57
4.3 Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок	60
Висновки до розділу 4	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	63
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	64

СКОРОЧЕНІ ПОЗНАЧЕННЯ

AM - (Air Mass) повітряна маса;

СЕС – сонячна електростанція;

ШІМ - широтно-імпульсна модуляція;

EVA – етиленвінілацетатна плівка;

MPPT - відстеження точки максимальної потужності;

АКБ – акумуляторна батарея;

АН – ємність акумулятора в Ампер-годинах;

TV_{oc} - Температурний коефіцієнт напруги відкритого контуру.

V_{oc} - напруга відкритого контуру модуля;

ПЗП – пристрої захисту від імпульсної перенапруги;

ПУБ – блискавковий удар;

ВАХ - вольт-амперна характеристика.

ВСТУП

В останні десятиліття в усьому світі, відбувається “екологізація” більшості виробничих процесів. Пов’язаний такий тренд з суттєвою деградацією стану навколишнього середовища. Виходом з екологічної кризи є перехід на альтернативну енергетику, адже процес виробництва “зеленої енергії” мінімізує негативний вплив на довкілля. В Україні ця проблема також є досить гострою. Через різні причини реальний процес розгляду та роботи над вирішенням вищезгаданої кризової ситуації в нашій державі розпочався лише на початку XXI століття. На сьогодні в Україні ухвалено Національну екологічну концепцію, яка передбачає використання енергії сонця, вітру, води, біогазів тощо для виробництва тепло- та електроенергії. В цій програмі важливе місце відводиться сонячній енергетиці.

Останнім часом набули поширення пристрої, що використовують безпосередньо сонячне світло як джерело енергії. Сонячні елементи дешевшають у середньому на 4% на рік, що пояснює зростаючий інтерес у їх використанні. Сонячні елементи поєднують у великі сонячні батареї, які називаються сонячними модулями, їх використовують для отримання електроенергії у великих масштабах. Значення фотоелектрики дедалі більше зростає, враховуючи зростання цін на традиційні джерела енергії. Один раз, заплативши за обладнання, можна довго отримувати енергію від сонця, так як експлуатаційні витрати дуже малі і енергію, що отримується, можна вважати майже безкоштовною.

Для повноцінного використання фотоелектричних установок в Україні цілком достатньо сонячних ресурсів для цілорічної роботи сонячної електростанції, а на півдні країни сонячних ресурсів ще більше. У Німеччині сонячної енергії менше, ніж у Тернопільській області. Держава розвиває сонячну енергетику, через кредити на купівлю сонячних електростанцій і купівлю енергії за підвищеними тарифами. Країни Європейського Союзу планують довести виробництво електроенергії від альтернативних та відновлюваних джерел до 20% від усієї виробленої енергії до 2025 року.

У деяких частинах території України, особливо в її гірській частині, існує проблема дефіциту потужностей, інколи ж просто немає можливості, щоб підвести енергію до нових об'єктів. Тому останнім часом все більше використовують автономні сонячні електростанції та пристрої безперебійного електропостачання з живленням від сонячної енергії.

З впровадженням сонячних електростанцій постає проблема їх електричного захисту як від короткого замикання, так і від імпульсних перенапруг, які виникають в результаті удару блискавки. Метою даної кваліфікаційної роботи було: на основі детального аналізу будови сонячної електростанції та існуючих технічних засобів запропонувати систему захисту від ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу та захисту структурних елементів електростанції від коротких замикань та імпульсних перенапруг, які можуть виникнути в результаті удару блискавки. Завданням, яке ставилось при виконанні даної роботи було: запропонувати методику розрахунку зовнішнього контуру заземлення сонячної електростанції з опором до 4 Ом та розглянути схеми встановлення засобів блискавкозахисту як окремих елементів, так і електростанції в цілому.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Сонце як джерело енергії

Джерело сонячної енергії – це термоядерна реакція на Сонці, внаслідок якої щосекунди на Сонці близько $6 \cdot 10^{11}$ кг водню перетворюється на гелій. При цьому виділяється $4 \cdot 10^{20}$ Дж. Енергії. Основна частина цієї енергії виділяється як електромагнітного випромінювання в діапазоні 0,2–3 мкм. При проходженні через атмосферу світло змінює свою інтенсивність через часткове поглинання парами води та озоновим шаром, а також розсіянням на аерозолях і частинках пилу. Показник атмосферного впливу позначається АМ і визначається як секанс кута між Сонцем та зенітом [1-3].

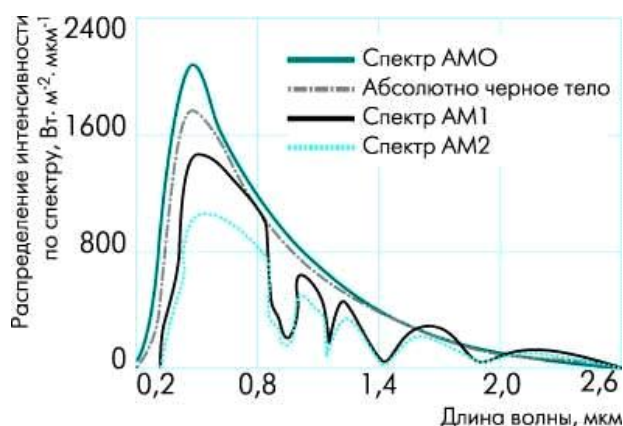


Рисунок 1.1 - Спектральний розподіл інтенсивності сонячного випромінювання

На рис.1.1, для різних умов, показано спектральне розподілення інтенсивності сонячного випромінювання. Таким чином, з використанням високоефективних методів перетворення енергії випромінювання Сонця, воно може забезпечувати потреби у ній практично вічно [1-3].

Для побудови автономної сонячної електростанції необхідно проаналізувати та спробувати розрахувати сумарну потужність обладнання, яке буде живитись від цієї електростанції, з урахуванням пускових струмів та бажане споживання у кВт-годинах на день або місяць. При цьому важливо враховувати, що під час цілорічної експлуатації особливо взимку в деяких областях значно

зменшується кількість сонячної енергії, що надходить. Пускові струми деякого обладнання можуть перевищувати номінальні до 10-12 разів, що також треба брати до уваги.

Важливо знати рівень сонячного випромінювання там, де планується експлуатація сонячної електростанції. Ці дані можна знайти в інтернеті або в гідрометеоцентрі. Маючи ці дані і знаючи ККД пристроїв, що входять до сонячної електростанції, можна розрахувати необхідну кількість сонячних модулів, параметри контролера заряду, потужність інвертора, ємність акумуляторів, необхідність та потужність додаткового джерела енергії та зарядного пристрою.

Багато всі компоненти системи розраховувати із надлишком, так як природні явища, до яких належить інсоляція, можуть сильно різнитися у різні роки. Якщо не врахувати пускові струми при виборі потужності інвертора, то при включенні обладнання можливі відключення через навантаження і навіть вихід з ладу дорогого електронного блоку [1-3,7].

1.2 Структура сонячної електростанції

На рис.1.2. приведена структурна схема типової мережевої сонячної електростанції.

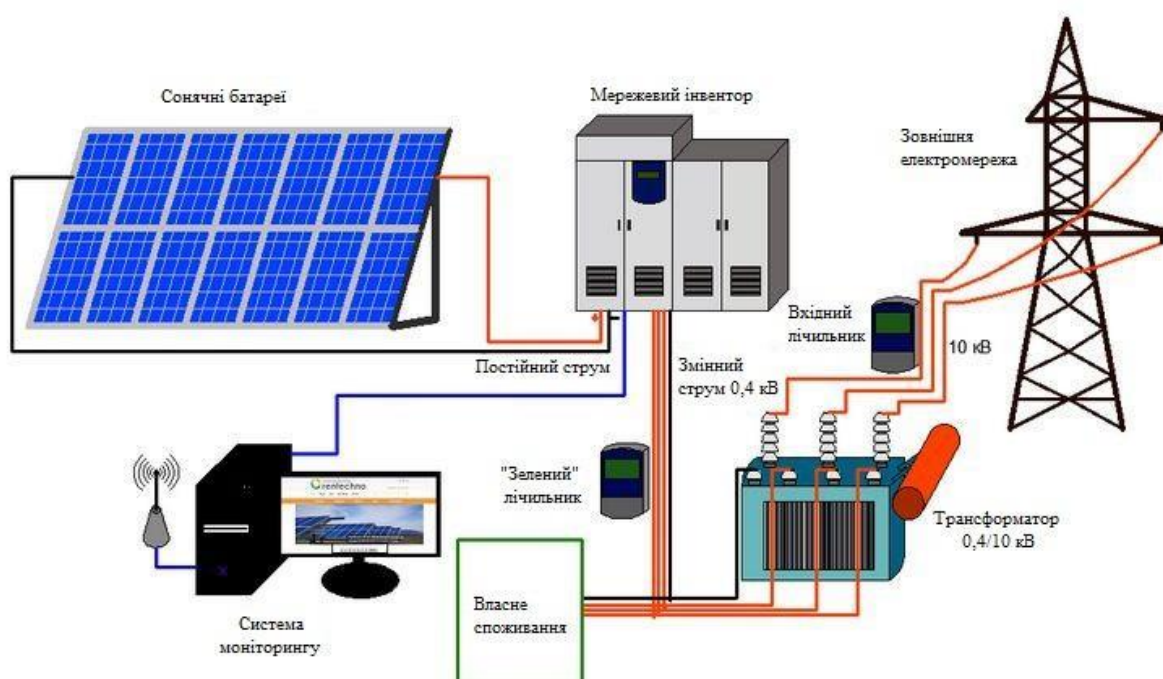


Рисунок 1.2 - Структурна схема типової мережевої сонячної електростанції.

Основними елементами сонячної електростанції є: сонячні елементи та модулі на їх основі з підтримувальними конструкціями, акумулятори з контролером заряду, мережевий інвертор, система моніторингу, лічильник, трансформатор 0,4/10 кВ, зовнішня електромережа. Розглянемо будову та основні функції кожного із елементів [1,2].

1.2.1 Будова сонячних панелей

Сонячні панелі складаються з сонячних елементів, з'єднаних між собою в батареї, які кріпляться до металевих конструкцій. Найпростіша конструкція сонячного елемента (СЕ) показана на рис. 1.3. На поверхні кремнієвої пластини р-типу створено р-n-перехід з металевим контактом. На зворотній стороні пластини знаходиться другий металевий контакт. До них під'єднанні вивідні електроди.

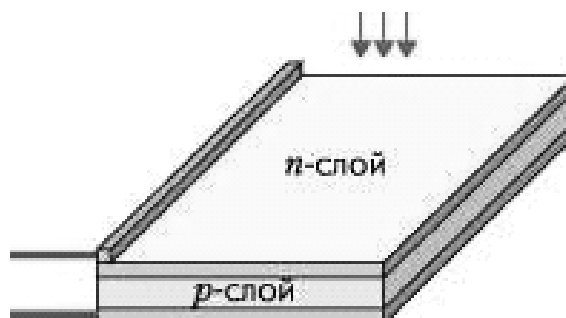


Рисунок 1.3 - Конструкція сонячного елемента

При освітленні СЕ, поглинуті фотони генерують нерівноважні електрон-діркові пари. Генерація їх відбувається в тонкому при поверхневому р-шарі р-n-переходу. При цьому електрони, під дією електричного поля р-n-переходу, переносяться в n-область. Надлишкові дірки залишаються в р-шарі. В результаті в n-шарі появляється додатковий негативний заряд, а р-шарі - позитивний. Вольтамперна характеристика (ВАХ) сонячного елемента при освітленні переходу випромінюванням постійної інтенсивності приведена на (рис.1.4).

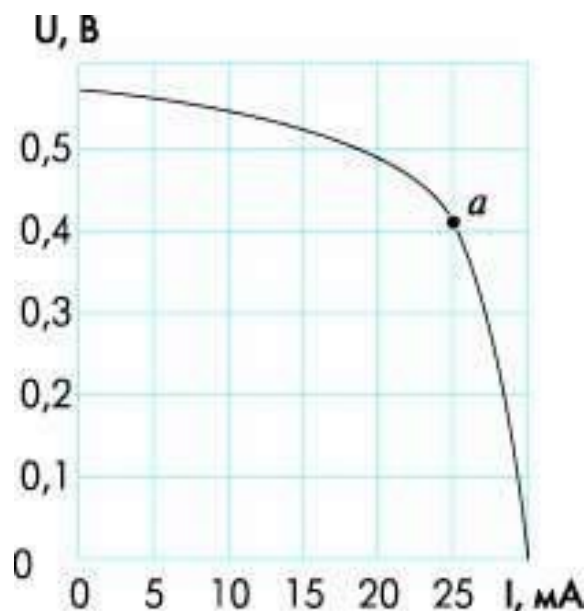


Рисунок 1.4 - Вольтамперна характеристика сонячного елемента

Вигляд ВАХ залишається таким же при освітленні сонячного елемента світлом довільного спектрального складу, при цьому змінюється лише значення фотоструму [1-3]. Максимальна потужність споживається у тому випадку, коли сонячний елемент перебуває в режимі, позначеному точкою *a* (див. рис. 1.4).

Максимальна потужність, що знімається з 1 см^2 , дорівнює:

$$P = K_z \cdot I_{кз} \cdot U_{хх} ,$$

де K_z – коефіцієнт форми або коефіцієнт заповнення вольтамперної характеристики, $I_{кз}$ – струм короткого замикання, $U_{хх}$ – напруга холостого ходу.

Окрім фотоелемента, в склад сонячної панелі входять металеві струмознімачні доріжки, під'єднанні до розподільчої коробки. Від перегрівання коробка захищена діодами Шоткі.. Сонячний елемент ламінують EVA – шаром, який його не тільки ізолює, але захищає від впливу навколишнього середовища. Зовнішня скляна пластина зміцнює конструкцію та захищає її від зовнішнього впливу. Алюмінієва рама, закріплює це все в одну конструкцію, котру можна монтувати на землі або даху будинку. Будова сонячної панелі приведена на рис. 1.5.

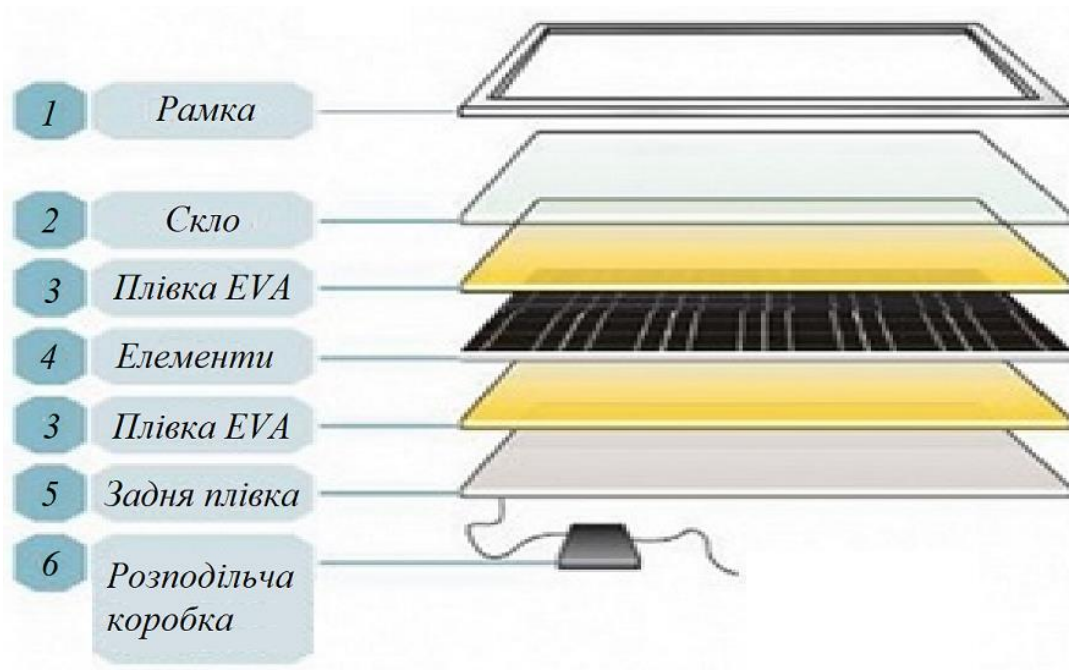


Рисунок 1.5 - Будова сонячної панелі

1. Рама з алюмінієвого сплаву

Його роль полягає в захисті ламінованої поверхні та герметизації і підтримці сонячного елемента.

2. Загартоване скло

Роль загартованого скла полягає в тому, щоб захистити основну частину сонячної батареї. Коефіцієнт пропускання загартованого скла повинен бути високим і, як правило, досягати більше 91%, і воно має бути ультра білим і загартованим.

3. Плівка EVA (етиленвінілацетат).

У сонячній промисловості найпоширенішою є інкапсуляція за допомогою зшиваючого етиленвінілацетату (EVA). Матеріал прозорого EVA безпосередньо впливає на термін служби компонентів. EVA під впливом повітря схильний до старіння та пожовтіння, що впливає на пропускання світла та якість генерації електроенергії модуля. Окрім якості самого EVA, важливим фактором є також процес ламінування компонентів. Наприклад, адгезія EVA не відповідає стандартам, EVA та загартоване скло, міцність адгезії заднього листа недостатня,

це призведе до передчасного старіння EVA та вплине на термін служби компонентів [1].

4. Сонячні елементи

Основними сонячними елементами на ринку є кристалічні кремнієві сонячні елементи та тонкоплівкові сонячні елементи. Обидва мають свої переваги та недоліки. Виробниче обладнання для кристалічних кремнієвих сонячних елементів є відносно низьким, споживання матеріалу настільки велике, що вартість сонячного елемента висока, але його ефективність фотоелектричного перетворення також висока. Вартість виробництва тонкоплівкових сонячних елементів низька, але їх ефективність фотоелектричного перетворення не висока. Вони мають хороший ефект генерації електроенергії при слабкому освітленні, а також може генерувати електрику при звичайному освітленні, наприклад сонячних батарей на калькуляторах [1-3].

5. Задня плівка

Основна функція заднього листа - герметизація, теплоізоляція та гідроізоляція. Зазвичай використовуються TPT, TPE та інші матеріали, які повинні бути стійкими до старіння, більшість виробників компонентів мають 25-річну гарантію, загартоване скло та рама з алюмінієвого сплаву, як правило, не є проблемою, ключ знаходиться на задній панелі, а силікон може відповідати вимогам. .

6. Розподільна коробка

Вся система генерації електроенергії захищена і функціонує як станція передачі струму. У разі короткого замикання компонента розподільна коробка автоматично від'єднує короткозамкнену стрічку сонячних елементів, щоб запобігти спалюванню всієї системи. Найважливіша частина розподільної коробки - підбір діода. За типом сонячної батареї в модулі відповідний діод не є однаковим.

7. Силікагель

Силікагель використовується для функції ущільнення, він використовується для ущільнення компонентів і алюмінієвої рами, розподільної коробки до сонячної панелі.

1.2.2 Сонячні модулі

Сонячні фотоелектричні модулі являють собою батарею сонячних елементів, об'єднану в єдину конструкцію. Для лицьової поверхні модуля в даний час використовують спеціальне просвітлене і загартоване скло з поверхнею антивідблиску або прозорий полікарбонат. Елементи герметизуються у вакуумній камері пластичними матеріалами. Найбільшого поширення набули модулі із застосуванням полі- та монокристалів кремнію. Також використовується аморфний кремній та напівпровідники не на кремнієвій основі. Елементи з'єднані послідовно та/або паралельно для отримання потрібних параметрів струму та напруги. Зазвичай для надання додаткової міцності модуль обрамляється у рамку алюмінієвого профілю. Контакти виводяться у герметичну коробку на задній поверхні модуля. Для побудови сонячної електростанції модулі розташовують на каркасі під оптимальним кутом до сонячних променів, для кожної пори року та місцевості цей кут має різне значення. Іноді застосовують спеціальні пристрої для автоматичного позиціонування модулів на сонці - трекери, це дозволяє збільшити добове вироблення енергії на 20-50%. Модулі з'єднують у загальну систему проводами, для зменшення втрат довжина проводів має бути якнайменше, а їх перетин якнайбільшим [1-3].

1.2.3. Контролер заряду

Електрична енергія постійного струму, яку виробляють сонячні модулі, надходить на пристрій, який називається контролером. Якщо система автономна, то контролер є контролером заряду і не допускає виходу з ладу від перезаряду акумуляторів, у яких накопичується енергія, якщо її виробляється більше, ніж споживається. Існує безліч конструкцій контролерів заряду, найбільш ефективні - імпульсні ШІМ (використовують широтно-імпульсну модуляцію) і використовують функцію MPPT (Maximum Power Point Tracker) - відстеження точки максимальної потужності. Справа в тому, що вироблення енергії фотоелектричним модулем залежить від освітленості, а при зарядці акумуляторів і від їх ступеня заряду. Контролер MPPT відстежує ці параметри та забезпечує максимальну ефективність фотоелектричної системи.

Сонячний контролер заряду — це по суті контролер напруги або струму для заряджання акумулятора та запобігання перезаряду електричних елементів. Він спрямовує напругу та струм, що надходять від сонячних панелей, до електричного елемента. Як правило, плати/панелі на 12 В видають напругу від 16 до 20 В, тому, якщо немає регулювання, електричні елементи пошкоджуються від перезаряду. Як правило, електричні накопичувачі потребують приблизно від 14 до 14,5 В, щоб повністю зарядитися. Сонячні контролери заряду доступні з усіма характеристиками, вартістю та розмірами. Діапазон контролерів заряду від 4,5А до 60-80А.

Типи контролерів сонячних зарядних пристроїв:

Існує три різних типи контролерів сонячного заряду:

1. Просте 1- або 2-ступеневе керування
2. ШІМ (широтно-імпульсна модуляція)
3. Відстеження точки максимальної потужності (MPPT)

Прості 1 або 2 елементи керування: він має шунтові транзистори для керування напругою в один або два етапи. Цей контролер просто замикає сонячну панель, коли досягається певна напруга. Основним справжнім паливом для збереження такої сумнозвісної репутації є їхня непохитна якість – у них небагато сегментів, і їх дуже мало можна зламати.

ШІМ (широтно-імпульсна модуляція): це традиційний тип контролера заряду, наприклад, сибірська виразка, блакитне небо тощо. Зараз це, по суті, галузевий стандарт.

Пульт моніторингу для житлових систем Попередньо налаштована панель моніторингу для сегмента «Сонячні» додатки сприяє підвищити ефективність фотоелектричних систем шляхом ретельного та пунктуального керування інверторами, виробничі лічильники та датчики, що нормально супроводжувати ці типи систем.

Моніторинг даних і контроль обладнання дозволяє мати повний огляд того, що відбувається в системі з можливістю отримання попередження у режимі реального часу електронною поштою або текстовим повідомленням про початок будь-яких проблем або перевищення лімітів запрограмованих.

Завдяки внутрішньому модему, який можна оснастити SIM-картою даних і порталом можливий віддалений Інтернет, наданий АВВ переглядати повний огляд усіх систем замовника з аналізом на ПК, смартфоні чи планшеті деталізовані в графічній або табличній формі основні з них інформація про індивідуальне встановлення.

З веб-порталу нарешті можна буде вибрати ред експортувати дані контрольованих кількостей у файл Excel протягом точного часового вікна, якщо це дозволяє провести статистичний аналіз, необхідний для покращення продуктивності.

Відстеження точки максимальної потужності (MPPT): контролер сонячного заряду MPPT є блискучою зіркою сучасних сонячних систем. Ці контролери справді визначають найкращу робочу напругу та силу струму експоната сонячної панелі та узгоджують її з банком електричних елементів. Результатом є додаткові 10-30% більше енергії від вашого сонячно-орієнтованого кластера порівняно з контролером ШІМ. Зазвичай це варте спекуляцій для будь-яких сонячних електричних систем потужністю понад 200 Вт.

Функція контролера сонячного заряду. Найважливіший контролер заряду в основному контролює напругу пристрою та розмикає ланцюг, зупиняючи зарядку, коли напруга акумулятора піднімається до певного рівня. Більшість контролерів заряду використовували механічне реле для розмикання або замикання ланцюга, зупиняючи або починаючи подачу електроенергії до накопичувачів електроенергії [1-3].

Як правило, сонячні системи живлення використовують батареї 12 В. Сонячні батареї можуть передавати набагато більше напруги, ніж потрібно для зарядки акумулятора. Напруга заряду може підтримуватися на найкращому рівні, а час, необхідний для повної зарядки накопичувачів електроенергії, зменшується. Це дозволяє сонячним системам постійно працювати оптимально. Підвищуючи напругу в проводах від сонячних панелей до контролера заряду, розсіювання потужності в проводах істотно зменшується.

Контролери сонячного заряду також можуть контролювати зворотний потік енергії. Контролери заряду можуть розрізняти, коли сонячні батареї не надходять

від електроенергії, і розмикати ланцюг, що відокремлює сонячні батареї від акумуляторних пристроїв і зупиняє зворотний потік струму.

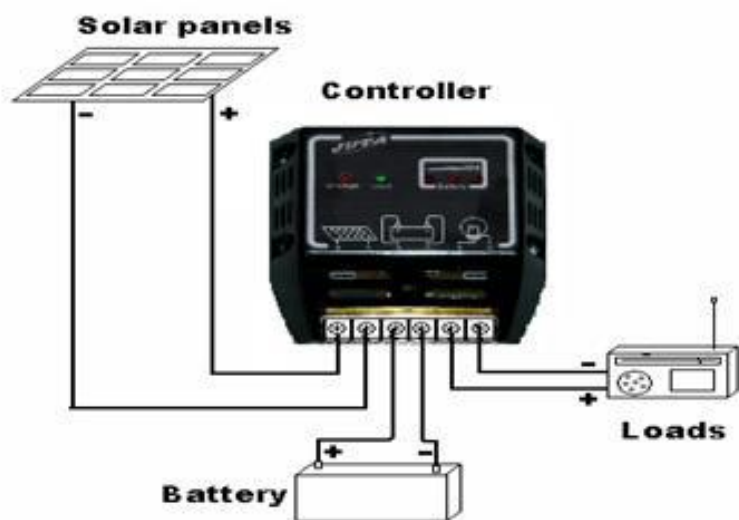


Рисунок 1.6 - Схема підключення контролера.

Існують два основних типи контролерів заряду: MPPT і PWM. Зовнішній вигляд їх приведений на рис.1.7 та 1.8.



Рисунок 1.7 - Зовнішній вигляд контролера заряду MPPT



Рисунок 1.8 - Зовнішній вигляд контролера заряду PWM

Сучасні контролери працюють наступним чином: спочатку він регулює вхідну напругу, щоб отримати максимальну потужність від сонячної батареї, а потім її передає до АКБ. Для нормальної роботи такого типу контролерів напруга від сонячного елемента повинна бути більшою від напруги АКБ. Такими контролерами є контролери MPPT [1-3].

1.2.4 Акумулятори

Батареї використовуються для накопичення електроенергії, виробленої сонячними електростанціями. Компоненти накопичувача є найважливішим компонентом електростанції для задоволення попиту та зміни навантаження. Цей компонент особливо використовується, коли сонця немає протягом кількох днів.

Ємність батареї - це кількість електроенергії, яку вона може зберігати. Ємність акумуляторів вимірюється в ампер-годинах (АГ).

Наприклад, батарея ємністю 100 АГ може забезпечити струм 1 Ампер протягом 100 годин або струм 100 Ампер протягом 1 години.

Для тривалого терміну служби акумулятора ніколи не потрібно розряджати його повністю. А у випадку, якщо акумулятор повністю розряджений, ніколи не зберігати повністю розряджений акумулятор надовго.

На ємність акумулятора впливає температура. З кожним градусом Цельсія підвищення температури більше ніж на 25°C ємність зменшується на 0,6%.

У сонячній електростанції використовуються два типи батарей;

- свинцево-кислотний акумулятор
- нікель-кадмієвий акумулятор

Для автономних систем застосовуються герметичні, акумулятори, що не обслуговуються, зібрані за технологіями GEL і AGM, з тривалим терміном служби. В окремих випадках допустиме застосування лужних акумуляторів, що не мають ефекту «пам'яті», у тих пристроях, де споживається постійний струм. Застосування кислотних стартерних акумуляторів є недоцільним, так як такі акумулятори можуть швидко вийти з ладу через сульфатацію та розшарування електроліту [1,2].

1.2.5 Блок постійної напруги

Блок постійної напруги має регульоване джерело стабілізованої напруги (ДР) 0 ... 25В, струм до 1А і джерело нерегульованої напруги (ДН) $20 \pm 1,6$ В, струм до 1А. На лицевій панелі блока знаходяться (зліва направо): вихід ДР, тумблер і індикаторна лампа живлення, вихід ДН, вольтметр і амперметр, які контролюють вихідні параметри ДР, а, також, ручка регулювання напруги ДР. Обидва джерела мають пристрої електричного захисту, який вимикає джерело при перенавантаженні. При спрацьовуванні захисту засвічується сигнальна лампа.

1.2.6 Інвертор

Основним елементом сонячної електростанції є інвертор. Він перетворює постійний струм, який поступає від сонячного модуля та акумулятора у змінний струм напругою 220 або 380 В. Від його роботи залежить продуктивність сонячної електростанції.

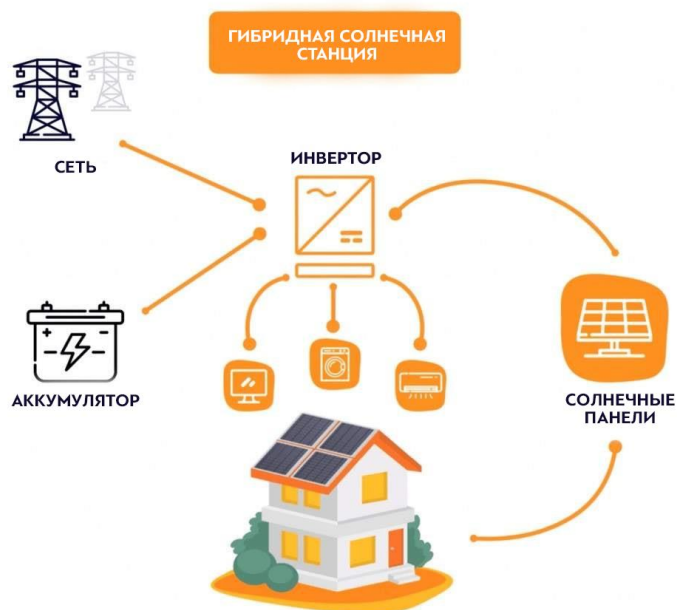


Рисунок 1.9 - Інвертор - ключовий елемент в сонячній енергетичній системі.

За своїм призначенням сонячні інвертори бувають мережевими, гібридними та автономними.

Мережевий інвертор має такі налаштування, що дозволяють йому працювати тільки з приціуючою мережею. Мережева сонячна електростанція, не буде передавати електроенергію в мережу, коли мережа відключена.



Рисунок 1.7 - Зовнішній вигляд інвертора.

Фірни HUAWEI, SOLIS, FRONIUS, SMA, SOLAR EDGE, ABB в світі виробляють найбільше мережевих сонячних інверторів.

Гібридні інвертори працюють з мережею і без неї. Це прилад, в якому поєднані функції мережевого та автономного інвертора. Виробників таких інверторів є мало, хоча вони користуються популярністю, особливо в країнах де дорога електрика і держава не дає дотацій.

Автономні інвертори працюють тільки від акумуляторів. Заряд від сонячних батарей поступає на акумулятори та на живлення обладнання. Дані інвертори вимагають строгого дотримання техніки та умов експлуатації, порушення яких може привести до виходу з ладу як акумуляторів, так і самого інвертора.

Принципова схема інвертора приведена на (рис.1.8). Вона забезпечує вихід змінного струму (AC) від батареї джерела живлення, але для заряджання батарея повинна мати постійне джерело постійного струму. Вхідне живлення змінного струму має забезпечувати ці схеми, тому лише вихід змінного струму може бути доступним із цієї схеми.

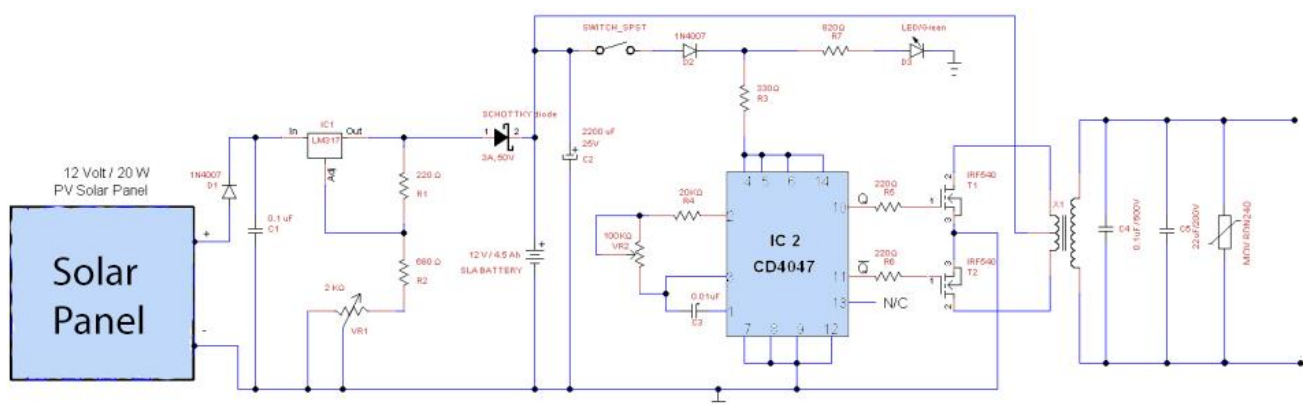


Рисунок 1.8 - Принципова електрична схема інвертора

Трививодний плавно регульований стабілізатор позитивної напруги LM317 забезпечить діапазон вихідної напруги від 1,25 В до 37 В з номінальним струмом більше 1,5 А. Акумулятор SLA ємністю 12/4,5 Аг забезпечує кінцевий вихід регулятора та забезпечує зсув постійного струму для інвертора.

Основним компонентом сонячного інвертора є вихідний каскад; тут трансформатор X1 використовує вторинну обмотку трансформатора з центральним відводом, реверсивну з такими характеристиками, як основна напруга 230 В, 9 В-0-9 В / 1,5 А. Електронні пристрої, підключені до виходу, захищені MOV (металооксидним варистором).

Вихідна напруга сонячної панелі подається безпосередньо на ланцюг позитивного регулятора LM317. Він налаштований на вихідну напругу 12 вольт батарею, підключену діодом Шоткі (3A, 50V).

Коли ми вмикаємо перемикач SPST, він починає коливатися, і CD404 7 IC підключається та налаштовується як мультивібратор Astable. Вихідні сигнали Q' і Q' подаються безпосередньо у вторинний МОП-транзистор IRF540 & X1 обмотки перемикачності потужності трансформатора, де струм протікає протягом певного часу. Напруга змінюється залежно від кількості обмоток і вихідної частоти перемикачності[1].

Напругу можна регулювати в мережі змінного струму залежно від системи. Сонячний інвертор використовується тільки для перетворення постійного струму в змінний, оскільки сонячні панелі виробляють постійний струм. Інвертор може генерувати прямокутні або синусоїдальні хвилі, які допомагають працювати вогникам, телевізорам, ліхтарям, двигунам тощо.

Типи інверторів. Струнні інвертори також називають центральними інверторами. Це найпоширеніші та найстаріші сонячні інвертори, які використовуються. Інвертор прямої ланцюга з'єднується з ланцюгом сонячних панелей, а потім вони перетворюють вхідний постійний струм у змінний.

Струнні інвертори надійні, оскільки вони є одними з найстаріших сонячних інверторів на ринку. Крім того, вони найдешевші на ринку.

Для легкого доступу для моніторингу, заміни або ремонту інвертора струнні інвертори розташовані в центрі біля землі або збоку від будинку.

Струнні інвертори менш ефективні порівняно з іншими, оскільки інвертори підключені до всієї ланцюга сонячних панелей. Якщо штора приховує хоча б одну панель, вихідна потужність усієї нитки буде відключена.

Струнні інвертори пропонують лише моніторинг усієї системи, тоді як інші сонячні інвертори пропонують моніторинг від панелі до панелі, що є великим недоліком під час діагностики сонячного виробництва та може бути невдалим для власників будинків із сонячними панелями, які бажають високорівневої системи моніторингу.

Переваги:

- Кілька струнних інверторів можуть бути використані в проєкті за розумною ціною, і якщо один виходить з ладу, його легко замінити новим. Оскільки рухомих компонентів небагато, технічне обслуговування просте.

- Конфігурації струнного інвертора можуть отримати переваги від відповідних аксесуарів, таких як комбінаторні ящики.

Струни можна з'єднати в об'єднувальній коробці, зменшуючи кількість струн, необхідних для з'єднань панель-панель.

- Оптимізований струнний інвертор

Є оптимізатори потужності, розташовані на задній стороні кожної панелі, і вони працюють разом із струнним інвертором. Вони роблять це, кондиціонуючи постійний струм від кожної панелі, а потім надсилаючи його на струнний інвертор для перетворення в змінний струм.

Ця функція може зменшити вплив затінення, оскільки оптимізатори живлення обумовлюють постійний струм, вироблений окремою панеллю. Це означає, що якщо одна з панелей частково затінена, то це не вплине на всю сітку, яка була б у іншому випадку.

Оптимізатори потужності дорожчі, ніж просто струнний інвертор, але вони дешевші, ніж мікроінвертори.

переваги

- Можна побудувати свій масив у частково затіненій частині або розділити рядки по всьому корисному простору даху.

- Оптимізатори гарантують, що кожна панель у системі забезпечує найвищий результат.

- Оптимізатори забезпечують моніторинг окремої панелі.

Мікроінвертор. Мікроінвертори є останніми на ринку, і вони працюють шляхом безпосереднього перетворення постійного струму в змінний. На задній панелі кожної сонячної панелі не потрібен струнний інвертор, оскільки струм випрямляється на місці.

Спільний доступ мінімально впливає на систему, оскільки поточний параметр змінюється на кожній панелі. Якщо штора частково покриває панель, то

лише ця панель вироблятиме меншу вихідну потужність, залишаючи всю систему незмінною.

Мікроінвертори також пропонують моніторинг системи по панелях, як і оптимізатори потужності, що дозволяє швидко та легко діагностувати проблеми на кожній панелі.

Мікроінвертори є найдорожчим варіантом в асортименті сонячних інверторів. Однак у деяких ситуаціях переваги мікроінверторів можуть переважити вартість, наприклад, проблема затінення.

Оскільки мікроінвертор встановлено позаду сонячної панелі, їх складніше замінити або відремонтувати.

Переваги

- Кожна комбінація панелі та мікроінвертора функціонує як автономна сонячна електрична система.
- Мікроінверторні системи можуть бути як малими, так і такими великими, а панелі можна створювати будь-якої форми та орієнтації.
- Мікроінвертори розділяють вихід кожної панелі та дозволяють контролювати рівень панелі.

- Гібридний інвертор

Як впливає з назви, гібридний сонячний інвертор – це комбінація акумуляторного інвертора та сонячного інвертора. Це єдине обладнання, яке може розумно керувати енергією від сонячних батарей, сонячних панелей і комунальних мереж одночасно.

Традиційний інвертор працює для перетворення електроенергії постійного струму, яка виробляється фотоелектричною системою до змінного струму. За живлення будинку відповідає змінний струм. Це також дозволяє передавати виробництво електроенергії в комунальну мережу.

Акумуляторний інвертор перетворює електроенергію постійного струму, що зберігається в накопичувачі сонячних батарей, на електроенергію змінного струму.

Ці функції об'єднані в одному пристрої, відомому як гібридний інвертор. Це покращує роботу традиційного сонячного інвертора.

Переваги

- Це допомагає зберігати надлишок сонячної енергії.
- Ця накопичена сонячна енергія може бути використана ввечері. Ця

процедура називається самостійним використанням або перенесенням навантаження.

- Резервне живлення завжди входить до складу гібридних інверторів.
- Попит на традиційні джерела енергії скорочується.

Система моніторингу СЕС, що дозволяє відстежувати параметри роботи сонячної електростанції;

1.2.7 Лічильник

Лічильник призначений для моніторингу системи генерації і продажу електроенергії.

Для СЕС використовуються двонаправлені електричні лічильники. Він визначає активну, реактивну і повну електричну потужність, а також визначає, скільки електроенергії поступає в мережу і скільки забирається назад. Різниця записується і перераховується у грошовий еквівалент.

1.2.8 Підтримувальні металоконструкції

Щоб розмістити сонячні батареї на поверхні землі або даху будівлі потрібні підтримувальні металоконструкції. Вони бувають не рухомими або стаціонарними та рухомими, які змінюють свій кут нахилу до горизонту із зміною положення сонця. Для їх виготовлення використовують:

- алюміній – для виробництва якісних направляючих та прижимів;
- оцинковану сталь – для виробництва наземних конструкцій, а також для бюджетних версій направляючих;
- Нержавіючу сталь – в першу чергу для виробництва “метизів” та кронштейнів.

Висновки до розділу 1

1. Подано спектральне розподілення інтенсивності сонячного випромінювання в різних положеннях сонця.

2. Приведена структурна схема типової мережевої сонячної електростанції та дано характеристику її структурних елементів.

3. Зроблено опис функцій контролера блоку накопичення сонячного заряду. Розглянуто основні типи контролерів сонячних зарядних пристроїв.

4. Описано принцип роботи мережевого сонячного інвертора та приведена його принципова електрична схема.

5. Дано опис підтримувальних металоконструкцій та підбір матеріалу для їх виготовлення.

2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Електричний захист сонячної електростанції

Навіть правильно спроектована сонячна електростанція (СЕС) піддається ризику аварії. Викликати поломку можуть порушення в роботі загальної електромережі, несприятливі погодні умови (блискавка, вітер, град), домашні тварини. Причиною аварії може бути прихований недолік обладнання або вандалізм людський фактор. Враховуючи, що СЕС – дорога інвестиція з великим терміном окупності, вона вимагає забезпечення належного захисту [4-6].

2.1.1 Засоби електричного захисту СЕС

Автоматичний вимикач, або «автомат», «пакежник» – контактний комутаційний апарат, в завдання якого входить убезпечити від перевищення встановленого номіналу струмів. У мережевих СЕС він встановлюється на вході і виході перетворювача струму [4,5].

Пристрій захисного відключення, або ПЗВ, диференціальне реле – елемент, що захищає людину від ударів струмом при дотику до елементів системи, що знаходяться під напругою. Існують також пристрої, що виконують одночасно функції і ПЗВ, і вимикача автомата. Вони називаються диференціальними автоматами, або дифавтоматами [4,5].

Обмежувач перенапруги – пристрій захисту інверторів від імпульсних перенапруг (ПЗП) [6].

Вимикач навантаження - ще один елемент захисту, який безпечно розриває ланцюг у разі необхідності заміни запобіжника, сонячної батареї і так далі.

При короткому замиканні відключення обладнання СЕС забезпечують плавкі елементи, звані фотоелектричними запобіжниками. Для захисту від короткого замикання використовують запобіжники.

Для сонячних панелей запобіжники з'єднуються послідовно і підключаються до роз'єму. Запобіжник реагує на коротке замикання,

відключаючи пристрій. Також використовують обмежувач перенапруги постійного струму, який захищає пристрій від імпульсів напруги, наприклад, блискавки. Обмежувач перенапруги поміщають безпосередньо в сонячну панель. При проведенні ремонтних робіт використовують додатковий ізолювальний вимикач, який забезпечує більший захист особового складу. Ізолюючим перемикачем можна вимкнути все коло постійного струму [4,5].

Для захисту інвертора від струмів, більших ніж допустиме номінальне значення, а також для запобігання короткому замиканню в колі змінного струму встановлюють автоматичні вимикачі.

Для запобігання струму витоку використовують захисний пристрій (PZV). Він спрацьовує, коли значення струму у фазовій лінії та нейтральному проводі не співпадають.

Для створення повної системи електрозахисту сонячної електростанції використовують контур заземлення. Його прокладають під землею і підключають до провідника що з'єднує всі сонячні панелі. Основною метою встановлення контуру заземлення є захист персоналу від струмів високої напруги, що поступає від компонентів системи, особливо від інвертора [4].

2.1.2 Захист лінії постійного струму.

Для захисту структурних елементів включених в лінію постійного струму від короткого замикання та перевантажень використовують плавкі запобіжники. У коло сонячних панелей запобіжник підключають з ними послідовно в з'єднувальних коробках. Запобіжник забезпечує видимий розрив лінії при різкому зростанні сили струму.

Для захисту лінії постійного струму від різкого збільшення напруги використовують обмежувач перенапруги по постійному струму (ОПН). Його встановлюють також для захисту пристроїв станції від наведених або ж прямих імпульсів напруги, зокрема, попадання блискавки. ОПН розміщують безпосередньо біля сонячних батарей і при попаданні в коло імпульсу високої напруги, він розмикає коло і направляє струм на землю.

Для більшого ступеня захисту при обслуговуванні станції та при проведенні інженерних робіт використовують додаткові роз'єднувачі. Додатковий роз'єднувач швидко знеструмлює лінію постійного струму. В роз'єднувач можна встановлювати запобіжники [4,5].

2.1.3 Захист СЕС по змінному струму.

В колі змінного струму для захисту від коротких замикань використовують автоматичні вимикачі. Вони використовуються для захисту інвертора від струмів, що перевищують допустиме номінальне значення.

Для захисту від витоку струму використовують ПЗВ. Це відбувається тоді, коли значення струмів у фазному й нульовому дротах мережі, неоднакові. В цьому випадку працівник може отримати пряме ураження струмом від пошкодженого апарату.

Для забезпечення блискавкозахисту по контуру змінного струму тут використовують ОПН, хоча це не є критично важливим.

Для повноцінного електрозахисту сонячної електростанції важливим компонентом є контур заземлення. Його прокладають під землею. До нього під'єднують провідник, який з'єднує всі фотомодулі. Це необхідно для захисту людини від ураження струмом високої напруги, який проходить через елементи системи,.

Часто для захисту використовують готові щити захисту, які містять необхідні компоненти відключення електричної системи.

Отже, не варто покладатися на ідеальну роботу електроприладів, бувають аварійні ситуації, які можуть вивести з ладу цілу систему. Також не треба нехтувати системою захисту в сонячних електростанціях на обох контурах (AC/DC) навіть маючи вбудовану систему захисту на самому інверторі. Вбудована система захисту в інверторі може перегоріти, і це приведе до затратних ремонтних робіт та заміни і встановлення нових захисних компонентів.

Таким чином система електрозахисту є неодмінний компонент якісної сонячної електростанції.

Різні елементи захисту існуючої сонячної фотоелектричної установки можна класифікувати трьома способами.

1. Залежно від типу струму.

Для постійного струму використовуються ті, які використовуються для захисту сонячних панелей та їх проводки. Зазвичай встановлюються роз'єднувачі, блискавкозахист, а якщо є кілька паралельних ліній, додаються запобіжники а також заземлення в несучій конструкції модулів.

Для частини змінного струму найбільш використовуваними елементами є автоматичні вимикачі, диференціали та захист від перенапруги.

2. За типом установки.

Поділяються на однофазні і трифазні. Захисти такі ж, як і в попередній класифікації, змінюється лише режим підключення [4,5].

3. Залежно від типу контакту.

Можуть бути прямими або непрямыми. Перші захищають людей від ризиків, пов'язаних із контактом із струмоведучими частинами установки. Зазвичай вони визначені в стандарті UNE 20.460-4-41. Другі - це ті, що виникають при дотику до елементів, які випадково були натягнуті. Вони регулюються ІТС-ВТ-08 і UNE 20.572-1.

Більшість різних засобів захисту зазвичай розташовуються для захисту лінії, яка з'єднує сонячні панелі з інвертором постійного/змінного струму. Ці елементи повинні бути розроблені для захисту від стрибків напруги, перевантажень і коротких замикань в установці. Його конфігурація залежить від розміру та типу кожної системи, і, крім того, слід враховувати такі фактори:

1. Номінальний циркуляційний струм в *струнах* (фотоелектричні сонячні панелі, з'єднані послідовно).

2. Загальна напруга, що створюється фотоелектричною установкою.

Таким чином, різні захисні елементи сонячних установок повинні вибиратися відповідно до того, чи здатні вони витримувати максимальну напругу системи, і повинні бути розроблені для розмикання або замикання ланцюгів у разі перевищення максимально допустимої напруги [4,5].

2.2 Блискавкозахист

Під час сезону дощів інсталювачі стурбовані штормами та ударами блискавок, оскільки вони є основною несправністю системи сонячних панелей. Час і кошти, понесені на відновлення пошкоджень через непрямі та прямі удари, є великими, тому попередній захист від цих пошкоджень вартий інвестицій.

Удари блискавки в основному класифікуються як прямі та непрямі. Прямі удари сильні, але рідкісні, призводять до оплавлення панелей і пошкодження інвертора, запобіжників і кабелю. Прямий удар створює високий струм у системі, що спричиняє перегрів і пошкодження системи. Непрямий удар відбувається частіше, він створює електромагнітну індукцію, яка створює високу напругу в сонячній системі та будинку. Генерована висока напруга проходить через проводку системи до компонентів, таким чином пошкоджуючи провідник, сонячні панелі, інвертор та інші підключені компоненти.

Основним рішенням для захисту від удару блискавки є заземлення. Заземлення є одним із основних методів, який використовується для відведення шляху блискавки від компонента прямо до землі. Для місць із випадковими ударами блискавки достатньо заземлення, щоб захистити фотоелектричну систему від блискавки та стрибків напруги (без додавання будь-якого іншого захисного обладнання). Хороше заземлення є дуже необхідним, навіть якщо ми використовуємо розрядники блискавки та захист від перенапруг, вони працюватимуть ефективно лише за належного заземлення[6].

2.2.1. Зовнішня система блискавкозахисту

Зовнішня система захисту яка використовується для захисту сонячної системи на даху від прямих ударів блискавки. Цей тип системи захисту активується лише тоді, коли блискавка вдаряє над сонячною системою, таким чином захищаючи сонячні панелі та інше пов'язане з нею обладнання [4,6].



Рисунок 2.1 - Система захисту

2. Система вентиляції

Система вентиляції встановлена для захисту будівлі від неконтрольованих ударів блискавки. Система складається з кабелів, протягнутих проводів і провідників. Правильний дизайн, розміри з більшою увагою до кутів і країв забезпечують кращий захист від блискавки.

3. Струмopрoвoди

Вiдвiдникoм виступає провiдний з'єднувач мiж систeмoю зaзeмлeння та елeмeнтaми СЕС. Це забезпечує проходження струму блискавки до системи заземлення та забезпечує найкоротший і найменш стійкий шлях для струму.

4. Система заземлення

Система заземлення встановлена, щоб уникнути підвищення напруги в системі СЕС, вона допомагає відводити імпульсний струм на землю. Для ефективного розряду рекомендується використовувати низькочастотний електрод із низьким опором та стійкістю до корозії [4,6].

2.2.2 Внутрішня система захисту від блискавки

Для захисту будівельної конструкції від непрямих ударів блискавки використовується внутрішній LPS.

Це здійснюється наступними способами:

1. Зрівнювання потенціалів блискавки – воно зменшує різницю потенціалів шляхом з'єднання різних ізольованих частин системи за допомогою провідників або пристроїв захисту від перенапруг згідно стандарту IEC 60364-4-41 (він

визначає основні вимоги щодо захисту від ураження електричним струмом, прямого та непрямого контакту людей і тварин). Небезпечне іскроутворення запобігає дотримання відповідної відстані між електропровідними компонентами та обладнанням для захисту від блискавки.

2. Пристрій захисту від перенапруги (блискавкозахисту). Пристрої захисту від перенапруги є частиною системи захисту від блискавки. Основною функцією SPD є обмеження перехідних перенапруг атмосферного походження нижче встановленого небезпечного значення та відведення хвиль струму на землю для захисту системи електроустановки. У системах сонячної енергетики SPD встановлюються в АСДВ (розподільна коробка змінного струму), а також вбудовані в інвертори [4,6].

2.3 Захист основних структурних елементів СЕС

2.3.1 Захист інвертора[1,4].

1. *Захист від перевантаження.* Інвертор повинен мати ланцюг захисту від перевантаження, який працює автоматично, щоб відключати всю схему від перевантаження живлення. Коли вхідна потужність досягає значення, що перевищує задане значення, ланцюг захисту від перевантаження повинен автоматично вмикати ланцюг постійного струму, а також вимикач на стороні змінного струму.

2. *Захист від перегріву.* Це називається системою теплового захисту. Коли потужність перевищує встановлене значення, внутрішні компоненти інвертора нагріваються і починають плавитися. Щоб запобігти цій проблемі, у коробі інвертора має бути присутнім належний датчик тепла.

3. *Захист від замикання на землю.* Заземлення є обов'язковим для всього електричного обладнання. Інвертор виступає в якості основного джерела для сонячної фотоелектричної установки. Його слід заземлити за допомогою двох окремих заземлюючих систем із відповідним розміром кабелю. Інвертор повинен відображатися на дисплеї, якщо в інверторі виникає замикання на землю.

4. *Захист від короткого замикання.* Ця проблема виникне або зі сторони постійного, або зі сторони змінного струму. Багато разів це матиме шанс статися на стороні DC. Через те, що деякі нетехнічні особи неправильно підключили, з'єднавши плюсовий провід з мінусовим, це призведе до проблеми короткого замикання. Інвертор автоматично відключатиме ланцюг, коли інвертор виявляє коротке замикання постійного або змінного струму.

5. *Захист по вихідній напрузі.* Більшість трифазних мережевих інверторів мають вихідну напругу змінного струму в діапазоні 350–415 В. Інвертор повинен автоматично вимкнути внутрішню схему, якщо відчуває проблему з перевищенням або зниженням напруги на вихідному кінці мережі. Інвертор повинен бути оснащений відповідним сигналом тривоги, особливо для проблеми низької та підвищеної напруги[4,6].

6. *Анти-острів.* Інвертор повинен автоматично відключати ланцюг, якщо підключення до мережі припинено. Інвертор не повинен подавати електроенергію, якщо мережа недоступна. Інвертор із функцією запобігання появи островів, яка проявляється під час припинення живлення та вимикає СЕС від мережі.

2.3.2 Захист системи акумуляування заряду.

Основним захисним елементом акумулятора є контролер заряду батареї.

Контролер заряду батареї - є одним з найбільш важливих елементів сонячної енергосистеми. Контролери заряду використовуються в автономних сонячних енергосистемах. Вони захищають акумуляторні батареї від глибокого розряду або перезаряду. Контролери заряду можуть розташовувати в інверторах або блоках безперебійного живлення. У ББЖ зазвичай вбудовуються і зарядні пристрої від генератора або мережі [4].

Основними функціями контролерів заряду є:

1. Регулювання і індикація процесів заряду і розряду сонячного модуля.
2. Запобігання перезаряду АКБ.
3. Запобігання глибокого розряду АКБ.

4. Відключення/включення навантаження, якщо воно підключене в коло контролера.

Для надійності роботи автономної сонячної енергосистеми вона повинна бути обладнана контролером заряду. Використання контролерів заряду забезпечить безпечні режими заряду/розряду для АКБ.

Процес контролю заряду/розряду АКБ, здійснюється як по величині зарядного струму, так і по напрузі акумуляторної батареї. Більшість сучасних контролерів обладнані світлодіодною індикацією. Вона показує ступінь зарядженості АКБ. Більшість контролерів мають достатню кількість ступенів захисту [1,4]:

1. Захист від неправильної полярності підключення СП, АКБ і навантаження
2. Захист від короткого замикання (КЗ) на вході СП;
3. Захист від перегріву;
4. Захист від КЗ в навантаженні;
5. Захист від обриву в колі АКБ;
6. Захист від блискавок варистором;
7. Захист навантаження від перенапруги на вході;
8. Електронний запобіжник;
9. Запобігання розряду АКБ через СБ в нічний час

Висновки до розділу 2

1. Дано характеристику зовнішнього і внутрішнього захисту сонячної електростанції.
2. Зроблено опис засобів електрозахисту сонячної електростанції.
3. Дано опис захисту інвертора СЕС від перевантаження, перегріву, замикання на землю, короткого замикання та захист по вихідній напрузі (перевищенням або зниженням напруги на вихідному кінці мережі).
4. Розглянуто основні ступені захисту контролера заряду акумуляторної батареї сонячної станції.

3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок захисного заземлення

Важливим є розрахунок захисного заземлення та його встановлення, що стало обов'язковим для всіх електроенергетичних об'єктів. Раніше при забезпеченні електроенергією житлових будинків використовували лише нульовий та фазний провід.

Для безпеки у виробничих приміщеннях використовували заземлення та занулення обладнання. У цих процесах лежить поняття нейтралі. Цим терміном в електротехніці позначають місце з'єднання трьох фаз, з'єднаних зіркою. Під'єднане до цього місця заземлення утворює глухозаземлену нейтраль. Щоб заземлити електроприлади, їх необхідно з'єднати з нейтраллю. Це робиться за допомогою спеціально привареної шини. З'єднання з нульовою шиною необхідне для занулення обладнання. Захисне заземлення створюють шляхом з'єднання із землею металевих частин конструкції, які не проводять електричний струм, але вони можуть опинитися під напругою. Таке заземлення є обов'язковим для електричних мереж [4,6].

Для побудови захисного заземлення використовують заземлювач або сукупність заземлювачів. Заземлювачем може бути металевий провідник або групи провідників, які знаходяться у безпосередньому зіткненні з ґрунтом. Для заземлення частин устаткування їх за допомогою заземлювальних провідників з'єднують із заземлювачами.

Заземлювачі бувають природні і штучні. Природні заземлювачі це різного типу металоконструкції, які мають хороший контакт із землею. Це трубопроводи, металеві оболонки кабелів, обсадні труби, арматура залізобетонних конструкцій, тощо. Штучні заземлювачі виконуються за допомогою спеціально влаштованих металоконструкцій. У першу чергу, для заземлення використовують природні заземлювачі [4,6].

Заземлення буває зосередженими і контурним або розподіленим. На рис. 3.1,а показано контурне заземлення. Тут заземлювачі розташовані по контуру вздовж периметру будівлі, де розташована сонячна електростанція і яку треба заземлити. Якщо ґрунт біля будівлі має високий питомий опір, економічно може бути доцільним влаштувати виносні заземлювачі, в більш провідних шарах землі (рис. 3.1, б).

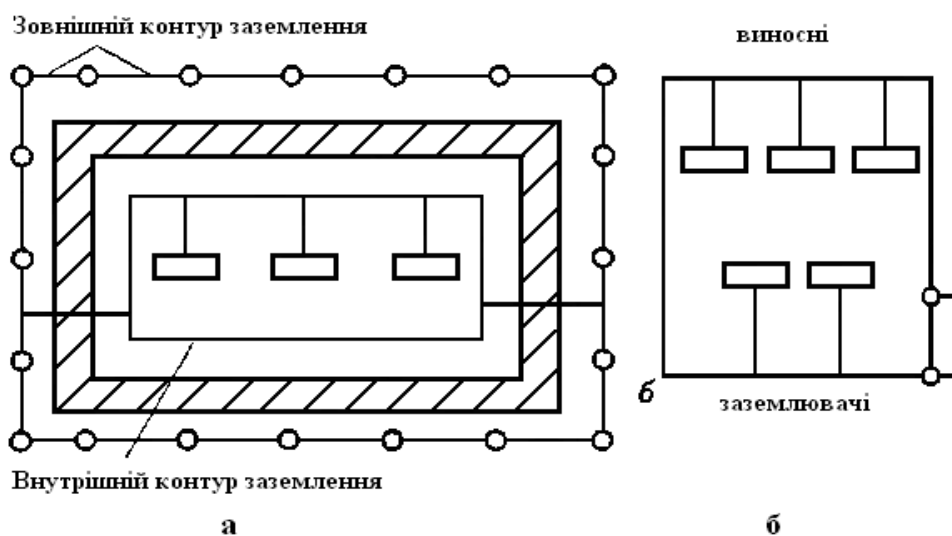


Рисунок 3.1 - Схема контурного та виносного заземлення

Ззовні будівель звичайно формують зовнішній заземлювальний контур (рис.3.2). Для цього навколо будинку викопують траншею глибиною 0,5...0,6 м. В ній вбивають вертикальні заземлювачі на віддалі 1...3 м один від одного. Після цього до них приварюють провідну горизонтальну шину, якою їх з'єднують між собою.. Таким чином утворюють замкнутий по периферії СЕС зовнішній контур, від якого до елементів станції та в середину її будівлі виводяться провідники. Зовнішній контур з'єднують з внутрішнім контуром.

До внутрішнього контуру, приєднуються корпуси елементів сонячної станції. З'єднання в конструкції заземлення повинно бути надійним.



Рисунок 3.2 - Схема зовнішнього заземлюючого контуру.

Опір розтікання струму горизонтального заземлюючого електрода визначають за формулою [6,7]:

$$R_{\text{гор}} = \frac{\rho}{2\pi L_{\text{гор}}} \cdot \ln \frac{2L_{\text{гор}}^2}{bh};$$

де ρ - питомий опір ґрунту, Ом·м;

b - ширина горизонтальної смуги, м;

h - глибина закладення горизонтальної сітки, м;

$L_{\text{гор}}$ – довжина горизонтального електрода, м.

Опір розтікання струму вертикального електрода визначають за формулою:

$$R_{\text{верт}} = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4T + L}{4T - L} \right);$$

де ρ – питомий опір ґрунту, Ом·м;

d – діаметр заземлювача, м;

T – відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача, м;

L – довжина заземлювача, м;

T визначається за формулою:

$$T = \frac{L}{2} + t;$$

де t – глибина траншеї, м (рис. 3.2).

Важливим параметром при побудови контурного заземлення є питомий опір ґрунту. Він залежить від вологи, температури повітря, вмісту в ньому розчинних речовин, від його структури. Питомий опір ґрунту змінюється сезонно. Питомий опір має найбільше значення засушливим літом і взимку, у великий мороз. Для заземлення найкращими є вологі ґрунти (торф, чорнозем, глина, садова земля). Найбільший опір має скелястий ґрунт.

Таблиця 3.1 - Питомий електричний опір ґрунту [4,6].

Ґрунт	Питомий електричний опір, Ом·м	
	Границя зміни	При вологості 10...20%
Чорнозем	9...53	20
Глина	8...70	40
Суглинок	40...150	100
Пісок	400...700	700
Супісок	150...400	300

Врахуванням коефіцієнта сезонності при визначенні питомого електричного опору ґрунту можна зробити за формулою:

$$\rho = \rho_s \cdot \eta_c$$

де ρ_s – вимірювальний питомий електричний опір, Ом·м;

η_c – коефіцієнт сезонності.

Коефіцієнт сезонності приведений в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Значення коефіцієнта сезонності для вертикального заземлювача та горизонтальної стрічки [4,6].

Вологість землі при вимірюванні		
підвищена	нормальна	мала
η_c для вертикального електрода $l=3$ м		
1,9	1,7	1,5
1,7	1,5	1,3
1,5	1,3	1,2
1,3	1,1	1,0
η_c для горизонтального електрода $l=10$ м		
9,3	5,5	4,1
5,9	3,5	2,5
4,0	2,5	2,0
2,5	1,5	1,1
η_c для горизонтального електрода $l=50$ м		
7,2	4,5	3,6
4,8	3,0	2,4
3,2	2,0	1,6
2,2	1,4	1,12

При груповому розташуванні вертикальних заземлювачів відбувається їх взаємне екранування, що спричиняє збільшення опору розтікання струму.

Враховуючи коефіцієнт екранування, опір розтікання струму можна розрахувати за формулою:

$$R_p = \frac{R_{mp}}{n \cdot \eta_e},$$

де R_{mp} – опір розтіканню струму одного заземлювача, Ом·м;

n – кількість заземлювачів, шт;

η_c – коефіцієнт екранування.

Значення коефіцієнта екранування вертикальних заземлювачів для контурного заземлення подано у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Значення коефіцієнта екранування [4,6].

Відношення віддалі між електродами до довжини електрода, ЛЛ	Число заземлювачів (труб)				
	4	6	10	20	40
1	0,66...0,72	0,58...0,65	0,52...0,58	0,44...0,50	0,38...0,44
2	0,76...0,80	0,71...0,75	0,66...0,71	0,61...0,66	0,55...0,61
3	0,83...0,86	0,78...0,82	0,74...0,78	0,68...0,73	0,64...0,69

Враховуючи коефіцієнти екранування та сезонності кількість вертикальних заземлювачів визначають за формулою:

$$n = \frac{R_{mp}}{R_d \cdot \eta_c \cdot \eta_e},$$

де $R_d = 4$ Ом – заданий опір розтікання струму заземлення;

R_{mp} – опір одного заземлювача, Ом.

Для визначення довжини з'єднувальної стрічки користуються формулою:

$$l_{cmp} = 1,05L(n - 1),$$

де L – віддаль між заземлювачами, м.

Опір розтіканню струму в з'єднувальній стрічці розраховують за формулою:

$$R_{cmp} = 0,366 \frac{\rho}{l_{cmp}} \lg \frac{2l_{cmp}^2}{h \cdot b \cdot \eta_{cmp}},$$

де ρ – питомий електричний опір ґрунту, Ом м;

h – глибина закладання з'єднувальної стрічки, м;

b – ширина з'єднувальної стрічки, м;

$\eta_{стр}$ – коефіцієнт екранування з'єднувальної стрічки;

$l_{стр}$ – довжина стрічки, м.

Значення коефіцієнта екранування з'єднувальної стрічки для контурного заземлення від кількості заземлювачів приведено в (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 - Значення коефіцієнта екранування для контурного заземлення [4,6].

Відношення віддалі між електродом (трубою) до довжини електрода, L/l	Число заземлювачів (труб)				
	4	6	10	20	40
1	0,45	0,40	0,34	0,27	0,23
2	0,55	0,48	0,40	0,32	0,25
3	0,70	0,64	0,56	0,45	0,40

Визначити загальний опір розтіканню струму вертикальних заземлювачів та з'єднувальної стрічки можна за формулами:

$$R_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_{мп}} + \frac{1}{R_{стр}}} \leq R_0, \text{ або}$$

$$R_3 = \frac{R_{мп} \cdot R_{стр}}{\frac{1}{R_{мп}} + \frac{1}{R_{стр}}} \leq R_0$$

Для зменшення питомого опору ґрунту можна внести кухонну сіль навколо вертикальних заземлювачів. Змінюючи шар солі і шар землі почергово вкладати в ґрунт на глибину 1/3 довжини заземлювача і поливати водою. Також можна зменшити питомий опір ґрунту використовуючи намочений водою шлак або розчин глини у воді.

3.2 Захист сонячних електростанцій від імпульсних перенапруг (блискавкозахист)

Основний недолік сонячних електростанцій – залежність від сонячного світла. Крім того, для подібного типу електростанцій є ризики виходу з ладу обладнання при впливі імпульсних перенапруг, викликаних прямими ударами блискавок у фотоелектричні модулі (панелі), з'єднані в сонячну фотоелектричну батарею, наведеннями від віддалених розрядів блискавок і перешкодами комутації.

Блискавкозахист фотоелектричних СЕС, як і будь-якого іншого об'єкта, складається із зовнішнього та внутрішнього блискавкозахисту.

Зовнішній блискавкозахист призначений для захисту сонячної фотоелектричної батареї від прямого удару блискавки та запобігання руйнівним наслідкам цього удару. Зовнішній блискавкозахист включає систему блискавкоприймачів, струмовідводів і заземлювальних пристроїв, покликаних відвести блискавку від об'єкта і направити її енергію в землю [6].

Внутрішній блискавкозахист призначений для безпосереднього захисту обладнання, підключеного до сонячної фотоелектричної батареї. Для внутрішнього захисту від блискавки застосовуються пристрої захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП) [4,6]..

В даному випадку це спеціальні ПЗІП силових ланцюгів фотоелектричних систем класу випробувань I+II+III та класу випробувань II (згідно з ДСТ У 51992-2011), які призначені для застосування в силових ланцюгах постійного струму. Для захисту силових ланцюгів фотоелектричних систем допускається застосовувати тільки ПЗІП обмежувального типу на базі варисторів і не допускається застосування ПЗІП типу, що комутує на базі розрядників. З огляду на особливості процесу комутації, в цих ланцюгах електрична дуга, що виникає в розряднику при його пробі імпульсом перенапруги, не гасне після закінчення імпульсу і підтримується джерелом, оскільки немає моменту переходу

напруги через нуль, як у ланцюгах змінного струму. Вибір класу випробувань ПЗІП проводиться з місця розташування фотоелектричної батареї.

3.2.1 Вибір класу захисту ПЗІП

Фотоелектричні модулі сонячної батареї розміщуються там, де найефективніші, тобто, на відкритій місцевості і тому далеко не завжди опиняються в зоні захисту блискавкоприймачів або вищих об'єктів (дерева, будинки, труби, щогли тощо). І тут фотоелектричні модулі виявляються у зоні 0А (ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010), тобто. це зона, не захищена від прямого удару блискавки (ПУМ) та електромагнітного поля грозових розрядів [6]..

На невеликих об'єктах фотоелектричні модулі можуть бути розміщені на антенно-щогольовій споруді, яке одночасно служить антеною та блискавкоприймачем. І тут вони опиняються у зоні 0в (ДСТ У МЭК 62305-1-2010), тобто. область, не схильна до прямих ударів блискавки, але в якій відбувається розтікання практично всього струму блискавки і ця область не захищена від його електромагнітного поля.

У всіх цих випадках застосовуються ПЗІП класу випробувань І+ІІ+ІІІ серії ГСВ123-*/3Ф, здатні відводити до 12.5 кА імпульсного струму блискавки (10/350 мкс).

Якщо фотоелектричні модулі перебувають у зоні захисту блискавкоприймачів чи вищих об'єктів, застосування ПЗІП доцільно, якщо довжина силового кабелю від сонячної фотоелектричної батареї до устаткування становить 15 метрів і більше. Джерелом імпульсних перенапруг, що впливають на обладнання в цьому випадку, можуть бути наведення, причинами яких є:

- віддалені розряди блискавки;
- міжмарні розряди;
- поруч високовольтні лінії, що проходять;
- попадання силового кабелю в зону розтікання струму блискавки.

Енергія цих впливів істотно менше енергії впливу при прямому ударі блискавки, але вона досить велика, щоб вивести з ладу обладнання. Незважаючи на те, що контролери заряду та інвертори нерідко оснащуються вбудованим

захистом від перенапруг, її за подібних впливів може виявитися недостатньо. Тому для захисту обладнання в цьому випадку рекомендується застосовувати ПЗП класу випробувань II серії ГСВ2-*/3Ф, здатні відводити наведені розрядні струми (8/20 мкс) до 40 кА [4,6].

3.2.2 Вибір максимально тривалої робочої напруги ПЗП

Всі ПЗП силових ланцюгів фотоелектричних систем одного класу не відрізняються за здатністю відводити імпульсні струми. Вибір конкретного типу ПЗП проводиться за максимально тривалою робочою напругою (U_c) - в діапазоні 200 ÷ 1000 В постійного струму - виходячи з максимально можливої напруги в силовому ланцюгу фотоелектричної системи. Оцінюючи значення максимально можливої напруги в силовій ланцюга можна керуватися двома методами.

Найбільш простий метод - просто орієнтуватися на максимальну вхідну напругу ($U_{вх.}$) устаткування, що захищається - контролера заряду батареї або інвертора - яке вказується в параметрах обладнання (якщо цей параметр не вказаний, необхідно його уточнити). Відповідно підбирається ПЗП, у якого $U_c \geq U_{вх.}$

Цей метод найбільш простий і підходить у випадку, якщо напруга сонячної фотоелектричної батареї може бути згодом збільшена під час модернізації.

Другий метод – орієнтуватися на розрахункове значення – максимально можлива напруга сонячної фотоелектричної батареї ($U_{MAX.BAT}$), яка досягається в режимі холостого ходу. Для цього необхідно розрахувати максимально можливу напругу одного фотоелектричного модуля (панелі) $U_{MAX.PANEL}$, а потім розрахувати максимально можливу напругу всієї сонячної фотоелектричної батареї $U_{MAX.BAT}$ та підібрати ПЗП, у якого $U_c > U_{MAX.BAT}$.

Цей метод дозволяє більш точно підібрати пристрій захисту і, можливо, зменшити рівень залишкової напруги на обладнанні, що захищається [4,6]..

3.2.3 Максимально можлива напруга фотоелектричного модуля

Для оцінки значення $U_{MAX.PANEL}$ фотоелектричного модуля необхідний такий параметр, як напруга холостого ходу або напруга відкритого контуру

модуля (V_{OC}). Це максимальна напруга фотоелектричного модуля без навантаження за стандартних умов випробувань:

- температура фотоелектричних елементів $+25^{\circ}\text{C}$;
- щільність потоку сонячної енергії 1000 Вт/м^2 .

Властивості фотоелектричних модулів (напруга, струм, потужність) залежить від температури. Характеризують ці залежності відповідні температурні коефіцієнти. Ці параметри дають усі провідні виробники фотоелектричних модулів.

Температурний коефіцієнт напруги відкритого контуру (TV_{OC}) показує зміну значення напруги V_{OC} при зміні температури на один градус Цельсія, і виражається, як правило, у відсотках напруги V_{OC} на один градус Цельсія і має негативне значення ($-\%/^{\circ}\text{C}$), оскільки із зростанням температури напруга, що видається фотоелектричним модулем, падає. Відповідно максимального значення напруга досягає за мінімально можливої температури для того регіону, де розташована сонячна фотоелектрична батарея, за сонячної погоди [4,6].

Температурний коефіцієнт фотоелектричних модулів лежить, як правило, в межах $-0,3$ $-0,39\%/^{\circ}\text{C}$. Якщо мінімально можливу температуру T_{MIN} для середніх широт взяти, наприклад -40°C , то різниця між цією температурою і температурою, за стандартних умов випробувань складе $T_{різн} = -40 - 25 = -65^{\circ}\text{C}$. Відповідно, при T_{MIN} напруга V_{OC} , залежно від температурного коефіцієнта напруги фотоелектричного модуля, збільшиться на:

$$T_{різн} \div TV_{OC} = 19,5 \div 25 \%$$

Таким чином, максимально можлива напруга фотоелектричного модуля становитиме, відповідно:

$$U_{MAX.PANEL} = 1,195 \div 1,25 \cdot V_{OC}$$

Для України мінімально можлива температура приймається $T_{MIN} = -30^{\circ}\text{C}$. Відповідно необхідно перерахувати максимально можливу напругу фотоелектричного модуля, яка може досягати в цьому випадку $U_{MAX.PANEL} = 1,33 V_{OC}$.

Іноді виробники фотоелектричних модулів виражають Температурний коефіцієнт напруги більш екзотичним способом - в мілівольтах/градус Цельсія (наприклад, $-60,5 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$) або вольтах/градус Кельвіна (наприклад, $-0,124 \text{ В/К}$).

3.2.4 Спрощений розрахунок максимально можливої напруги сонячної фотоелектричної батареї

Якщо температурний коефіцієнт T_{VOC} з якихось причин невідомий, або для спрощення розрахунків, максимально можливу напругу сонячної фотоелектричної батареї можна розрахувати з коефіцієнтом 1,3 (тобто 30%) таким чином:

$$U_{\text{МАХ-ВАТ}} = 1,3V_{\text{ОС-ВАТ}},$$

де $V_{\text{ОС-ВАТ}} = N \cdot V_{\text{ОС}}$ напруга холостого ходу (відкритого контуру) фотоелектричної батареї.

Максимально тривала робоча напруга ПЗП при цьому підбирається так:

$$U_c > U_{\text{МАХ-ВАТ}}$$

На практиці краще підбирати ПЗП, у якого максимальна тривала робоча напруга перевищує максимально можливу напругу сонячної фотоелектричної батареї, розраховану цим методом. Взимку, як правило, випадає сніг, причому білого кольору, і в сонячну погоду до сонячного світла додається світловий потік, відбитий від снігового покриву (особливо свіжого).

У зарубіжних джерелах для таких розрахунків може даватися коефіцієнт 1,2. Але тут не можна забувати, що закордонні зими, наприклад, європейські, відрізняються від українських.

На напругу фотоелектричної батареї негативно впливають (зниження напруги) такі чинники, як затінення і забруднення поверхні панелей. Тому необхідно вжити заходів до усунення затінення в різний час доби та в різні пори року та розташовувати сонячні панелі на висоті не менше 1,5 – 2 метрів над поверхнею землі.

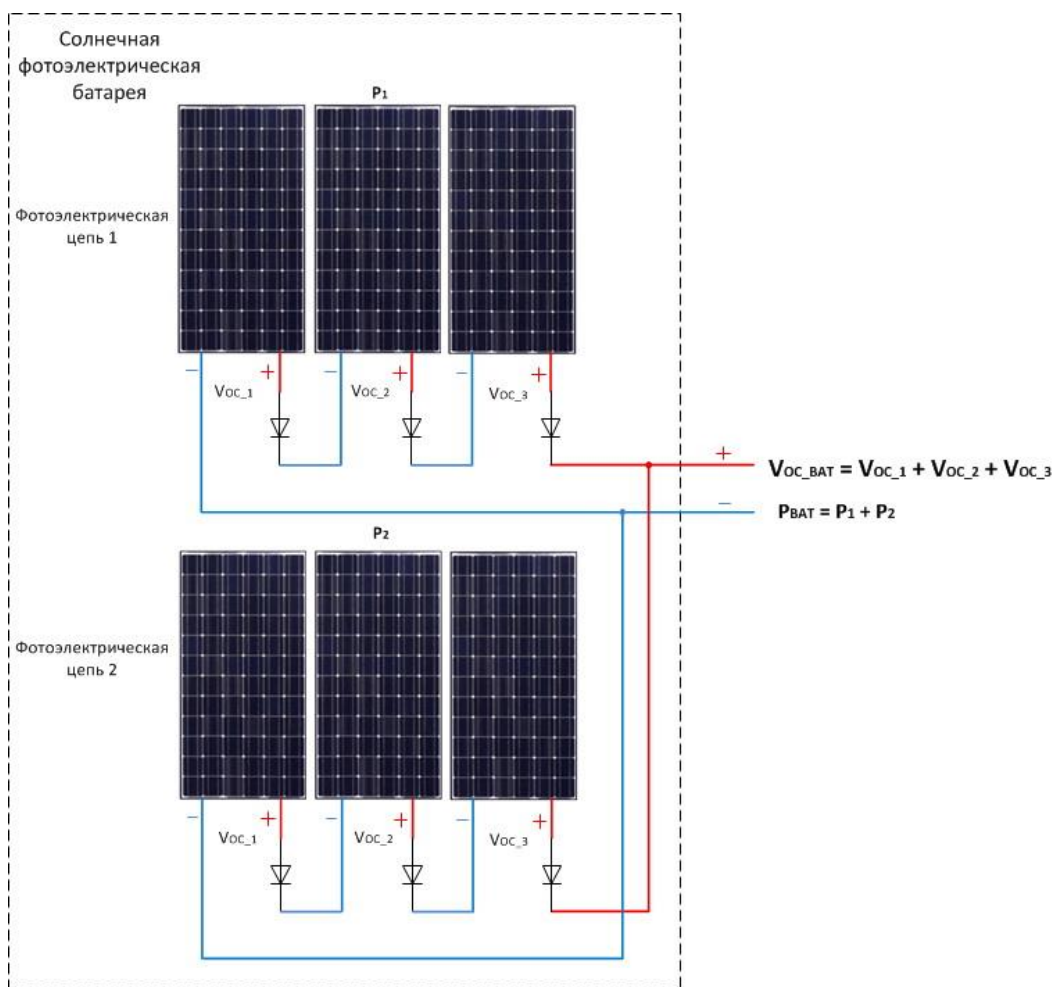


Рисунок 3.3 - Сонячна фотоелектрична батарея

Для запобігання забрудненню поверхні панелей їх необхідно розташовувати під таким кутом, щоб вони омивалися дощем, а пил, бруд і сніг не затримувалися на поверхні. Крім того, необхідно організувати конструкції, які перешкоджатимуть птахам сідати на фотоелектричні модулі та залишати на їх поверхні продукти своєї життєдіяльності [4,6].

Вибір типу ПЗП, виходячи з максимальної вхідної напруги обладнання та напруги холостого ходу (відкритого контуру) сонячної фотоелектричної батареї за спрощеного розрахунку представлений у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Таблиця підбору типів ПЗП [6].

№	$V_{OC.BAT}, B$	$U_{ВХ.ОБ.}, B$	ПЗП класу I+II+III	ПЗП класу II
1	<461	≤ 600	ГСВ123-600/3Ф (С)	ГСВ2-600/3Ф (С)
2	<615	≤ 800	ГСВ123-800/3Ф(С)	ГСВ2-800/3Ф(С)
3	<769	≤ 1000	ГСВ123-1000/3Ф(С)	ГСВ2-1000/3Ф(С)

3.2.5 Розміщення ПЗП

Розміщувати ПЗП рекомендується відразу під час введення силового кабелю. Небажано розташовувати ПЗП безпосередньо всередині устаткування, що захищається, або безпосередньо поряд з ним в одному обсязі з наступних причин:

- заноситься потенціал імпульсної перенапруги (ІСН) всередину приміщення, що захищається, або екранується, де розташовується обладнання, що захищається, що призводить до циркуляції в цьому приміщенні імпульсних і розрядних струмів, до електромагнітних впливів на обладнання та електричні проводки, що розміщуються в цьому приміщенні;

- заноситься потенціал ІСН всередину оболонки устаткування, що захищається, особливо це критично для чутливого електронного обладнання;

- незважаючи на те, що ПЗП силових ланцюгів фотоелектричних систем спеціально розроблені для силових ланцюгів постійного струму та мають спеціальну конструкцію терморозчеплювача, є ймовірність теплового пошкодження та виходу з ладу ПЗП при їх перевантаженні або деградації. І в цьому випадку виникає небезпека механічного і температурного впливу на розташоване поруч обладнання або на внутрішні елементи устаткування, що захищається [4,6].

У зв'язку з цим ПЗП рекомендується встановлювати в окремий заземлений металевий щиток - ЩЗП. У разі розміщення ЩЗП у вибухонебезпечній зоні, щиток повинен бути вибухозахищеним виконанням.

Схеми підключення ПЗП класу випробувань I+II+III для автономної фотоелектричної СЕС постійного струму у разі розміщення фотоелектричних модулів на антенно-щогольовій споруді наведено на рис. 3.4 для ізольованої системи, та на рис. 3.5 для заземленої системи [4,6].

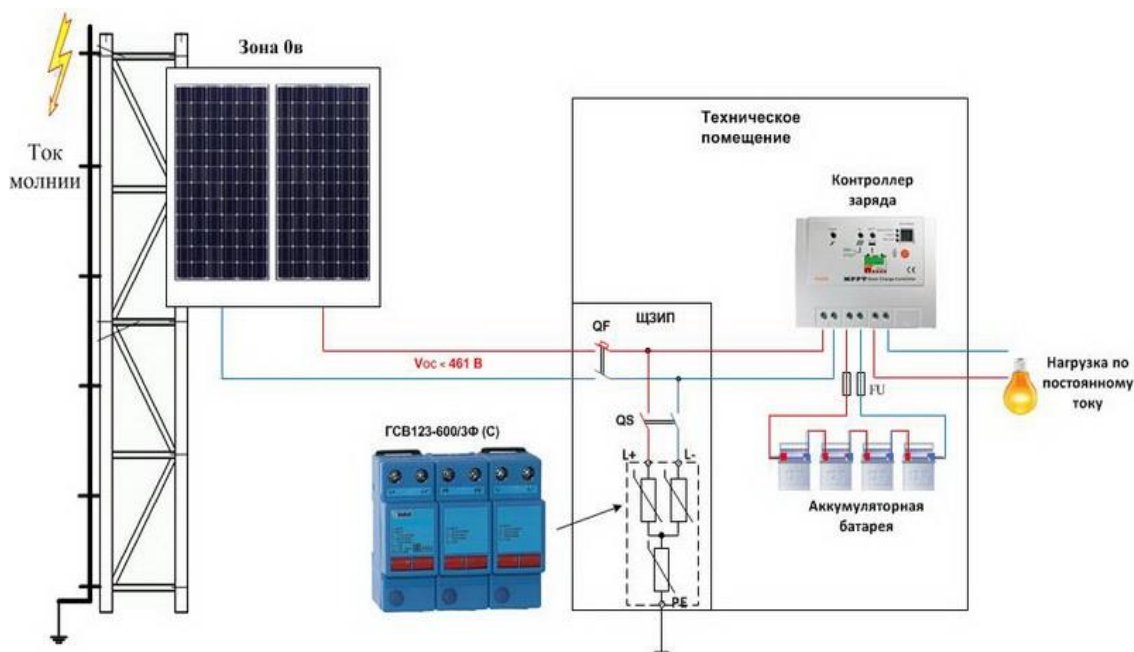


Рисунок 3.4 - Схема захисту обладнання автономної СЕС постійного струму при розташуванні фотоелектричних модулів у зоні розтікання струму блискавки (ізолювана система).

Схема підключення ПЗІП класу I+II для автономної фотоелектричної СЕС змінного струму у разі коли фотоелектричні модулі знаходяться в зоні можливого прямого удару блискавки, наведені на рис. 3.6 для заземленої системи [4,6].

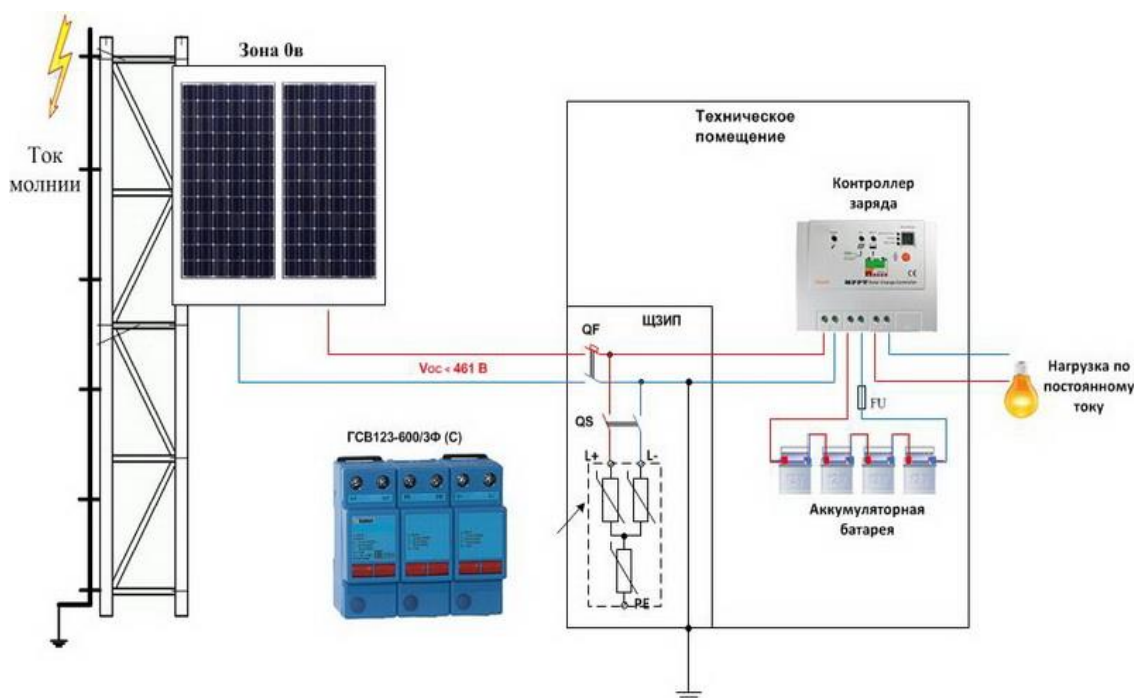


Рисунок 3.5 - Схема захисту обладнання автономної СЕС постійного струму при розташуванні фотоелектричних модулів у зоні розтікання струму блискавки (заземлена система).

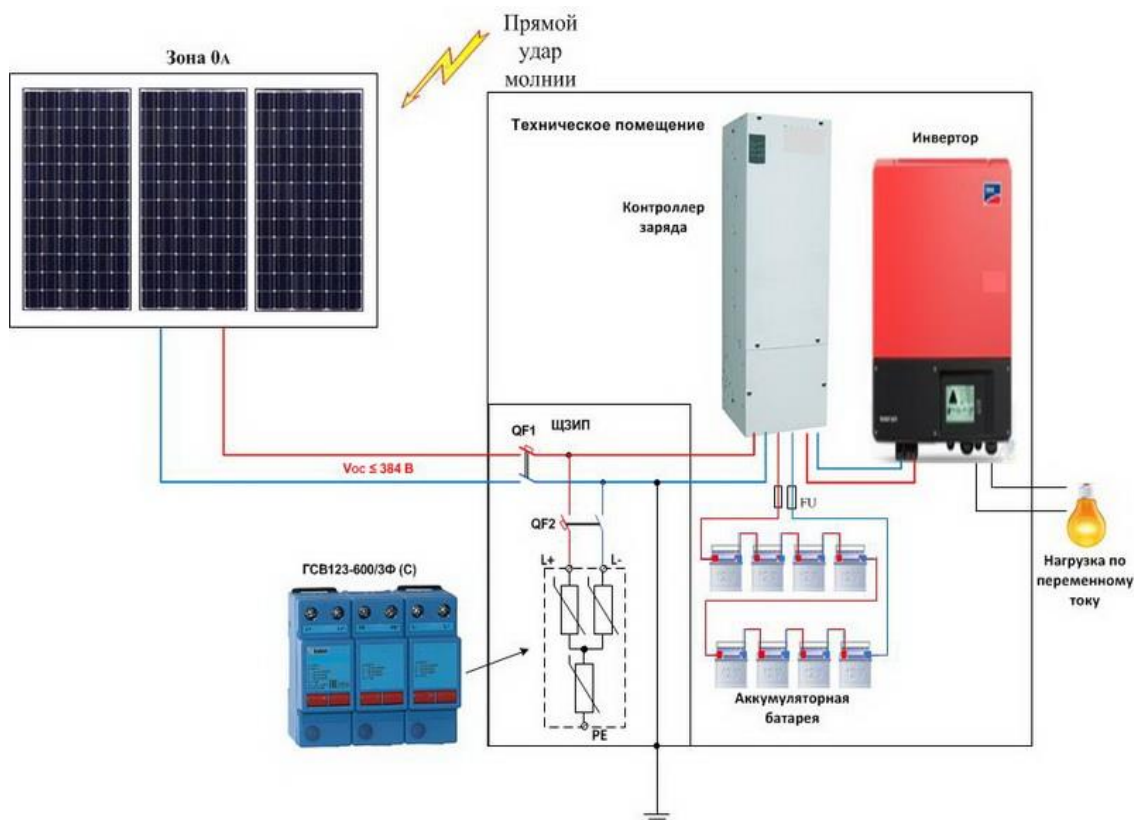


Рисунок 3.6 - Схема захисту обладнання автономної фотоелектричної СЕС змінного струму при розташуванні фотоелектричних модулів у зоні ПУБ (заземлена система).

Схема підключення УЗІП класу випробувань I+II+III для мережевих фотоелектричних СЕС, коли фотоелектричні модулі знаходяться у зоні можливого прямого удару блискавки, наведено на рис. 3.7. При довжині силового кабелю понад 20 м. рекомендується встановлювати ПЗІП з обох боків силової лінії.

Схеми підключення ПЗІП класу I+II для автономної фотоелектричної СЕС змінного струму у разі коли фотоелектричні модулі знаходяться в зоні можливого прямого удару блискавки, наведені на рис. 3.6, для ізольованої системи, та на рис. 3.7, для заземленої системи.

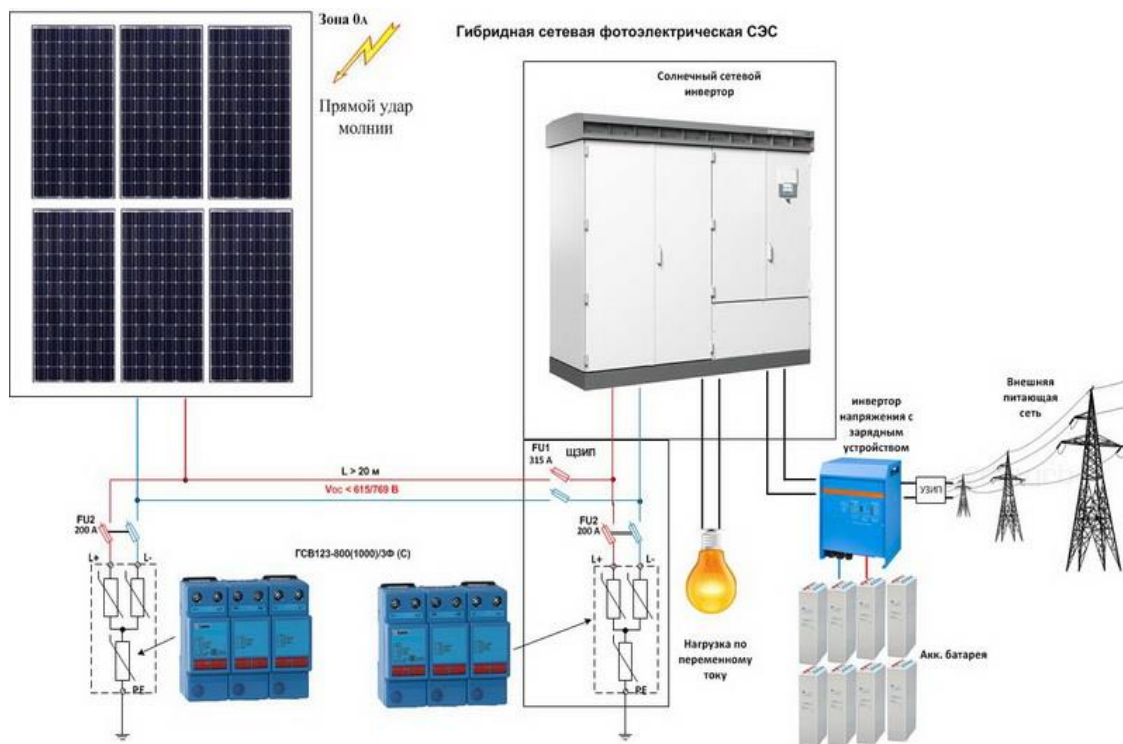


Рисунок 3.7 - Схема захисту обладнання мережевих фотоелектричних СЕС при розташуванні фотоелектричних модулів у зоні ПУБ

Висновки до розділу 3

1. Представлено опис різних типів заземлення сонячної електростанції.
2. Подано схеми контурного та виносного заземлення СЕС.
3. Приведена методика розрахунку контурного заземлення СЕС з використанням металевих виробів, які мають хороший контакт із землею.
4. Наведені електричні характеристики різного типу ґрунту та значення коефіцієнта сезонності для вертикального заземлювача та горизонтальної стрічки.
5. Наведені значення коефіцієнта екранування для контурного заземлення з різним числом заземлювачів та різною віддаллю між ними.
6. Зроблено опис типів блискавкозахисту сонячних електростанцій.
7. Представлено спрощений розрахунок максимально можливої напруги сонячної фотоелектричної батареї.
8. У вигляді таблиці представлено підбір типів пристроїв захисту елементів сонячної батареї від імпульсних напруг блискавки.
9. Розглянуто схеми захисту обладнання СЕС від імпульсних напруг блискавки.

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1. Організація охорони праці на підприємстві

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Дія закону “Про охорону праці” поширюється на всі підприємства не залежно від форм властивості та видів їх діяльності, а також на всіх громадян, які працюють на цих підприємствах [8].

Організацією охорони праці на підприємстві займається власник (керівник). Для цього він забезпечує функціонування систем управління охороною праці:

- 1) створює відповідні служби і призначає посадових осіб, відповідальних за вирішення питань з охорони праці;
- 2) забезпечує усунення причин, що призводять до нещасних випадків і профзахворювань;
- 3) здійснює постійний контроль за дотриманням працівниками правил експлуатації машин, механізмів, обладнання;
- 4) здійснює контроль за користуванням та індивідуальними засобами захисту;
- 5) при виникненні надзвичайних ситуацій і нещасних випадків, власник зобов'язаний вжити термінових засобів для допомоги потерпілим.

Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо директору підприємства і виконує наступні функції:

- проводить керівництво роботою з охорони праці;
- забезпечує інструкціями, стандартами та іншими нормативними документами;
- веде облік і аналіз нещасних випадків і профзахворювань;
- бере участь у розслідуванні нещасних випадків;

- забезпечує колективними та індивідуальними засобами захисту працюючих;

- забезпечує проведення навчання та інструктажів з охорони праці, своєчасне проведення атестацій і переатестацій робітників, які виконують роботи підвищеної небезпеки.

Навчання та інструктаж працівників з питань охорони праці проводиться з працівниками, які поступають на роботу, та в процесі їх трудової діяльності.

За характером і часом проведення інструктажі з питань охорони праці поділяються на: вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий [8].

Вступний інструктаж проводиться з усіма щойно прийнятими на роботу працівниками, з учнями та студентами, які проходять практику.

Первинний інструктаж проводиться на робочому місці з новоприйнятими працівниками, або з групою осіб однієї спеціальності.

Повторний інструктаж проводиться з усіма працівниками на робочому місці через певні проміжки часу.

Позаплановий інструктаж проводиться у випадках введення в дію нових актів про охорону праці, заміні або модернізації устаткування, при порушенні працівником вимог охорони праці.

Цільовий інструктаж проводиться з працівниками при виконанні разових робіт, які пов'язані з обов'язками за фахом.. Цільовий інструктаж фіксується наряд-допуском, що дозволяє проведення робіт.

Усі інструктажі проводяться керівником робіт (начальником дільниці, майстром).

Про проведення інструктажів, стажуванню та допуск до роботи особа, яка проводила інструктаж, робить запис у журнал. При цьому обов'язкові підписи того, хто проводить інструктаж, і того, хто інструктував. Журнали інструктажів повинні бути пронумерованими, прошнурованими і скріплені печаткою [8].

Керівник підприємства зобов'язаний видати працівникові примірник інструкції з охорони праці за його професією, або вивісити її на робочому місці.

Робоче місце – це зона обслуговування окремим робітником відповідно визначеного місця технологічного процесу. Розмір зони залежить від особливостей технологічного процесу.

З метою економії сил і часу робітника, підвищення його працездатності необхідно раціонально облаштувати робоче місце: раціонально розмістити засоби управління контролю виробничим процесом, забезпечити механізацією та автоматизацією праці.

4.2 Заходи безпеки при обслуговуванні електроустановок

При дослідженні систем живлення електроустановки трансформаторних підстанцій оглядаються без зняття з них напруги, на віддалі від струмоведучих частин. Дефекти виявляються візуально – оглядом і на слух. Право одноособового огляду електроустановки має черговий із кваліфікаційною групою не нижче III або адміністративно-технічний працівник, що має V групу в установках напругою вище 1000 В і IV групу в електроустановках напругою нижче 1000 В [4,8].

При оглядах діючих електроустановок не можна проходити за огороження, знімати їх і входити в камери розподільних пристроїв, що не мають бар'єрів. При необхідності дозволяється працівникові з кваліфікаційною групою не нижче IV увійти за огороження, але за умови, що струмоведучі частини недоступні, тобто нижні фланці ізоляторів знаходяться від сталі на відстані більше 2 м, а неогорожені струмоведучі частини - на відстані більше 2,75 м при напрузі 35 кВ і 3,5 м при напрузі 110 кВ.

При менших відстанях входити за огороження можна тільки в присутності другої особи, що має кваліфікаційну групу не нижче III, і за умови, що струмоведучі частини знаходяться на відстані зазначеному в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Допустимі відстані від місця проведення робіт до струмоведучих частин у залежності від їх напруги

Номінальна напруга електроустановки, <i>кВ</i>	Допустима відстань, <i>м</i>
до 15	0,7
від 15 до 35	1,0
від 35 до 110	1,5
154	2
220	2,5
330	3,5
400 і 500	4,5
750	6,4

Вимкнення і зміни в електричних схемах РЕМ здійснюються тільки за розпорядженням або з відома чергового персоналу, у керуванні або підпорядкуванні якого знаходиться устаткування. При пожежах, нещасних випадках або при стихійних лихах негайно потрібно вимикати електроустаткування без узгодження, з послідуочим записом у оперативному журналі.

Розпорядження вважається виконаним після того, як черговий повідомить особисто або телефоном черговому диспетчерові енергосистеми мереженого району, черговому інженерові, тобто особі, що дала розпорядження. Керуватися показами приладів та повідомленнями осіб не оперативного персоналу про виконання розпорядження не можна.

Особа, що віддає розпорядження про переключення, обов'язково перевіряє послідовність операцій за оперативною схемою. Черговий, який отримав розпорядження, зобов'язаний повторити його і записати в оперативний журнал.

За оперативною схемою або макетові цей черговий намічає порядок операції. Якщо переключення виконують дві особи, то перша особа є старшою, роз'ясняє другій (виконавцю) завдання і послідовність його виконання.

В електроустановках напругою вище 1000 В, не обладнаних повністю блокованими від неправильних операцій роз'єднувачів, складні переключення

проводяться за бланками. В бланку переключень виконується запис усіх операцій про увімкнення і вимкнення електрообладнання точно у тій послідовності, у якій ці операції повинні виконуватись.

Прості переключення на одному електричному приєднанні і переключення в електроустановках повністю обладнаних блокуванням роз'єднувачів від неправильної операції, можуть виконуватися без бланків.

Бланки переключень заповнює і підписує черговий який є безпосереднім виконавцем. Старший черговий контролюючий виконання операцій, перевіряє бланк і також його підписує. Старший черговий зачитує зміст операції виконавець повторює прочитане і приступає до виконання. Старший контролює дії виконавця і відразу відзначає в бланку виконання операції. При сумніві в правильності операцій робота припиняється до в'яснення правильного порядку переключень. Якщо черговий робить переключення одноосібно, то він зачитує послідовність операцій вказаних у бланку телефоном старшому черговому який віддав розпорядження. Цей черговий є контролюючою особою.

Дозвіл на переключення виконавець зобов'язаний одержати телефоном безпосередньо перед їх виконанням. Приєднання вмикають або вимикають з допомогою вимикачів.

Якщо роз'єднувач має ручний привід, то операції з ним виконують в діелектричних рукавицях з ізолюваною основою. Вимикати і вмикати потрібно швидко, рішуче і до упора. Увімкнення і вимкнення роз'єднувачів виконується, як правило без навантаження. Роз'єднувачами допускається розмикати струми замикання на землю і зарядні струми повітряних і кабельних ліній не вище наведених в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Залежність струму замикання на землю і зарядного струму від напруги

Напруга, кВ	Струм замикання на землю, А	Зарядний струм на фазу, А
3 – 6	7,5	2,5
10 – 20	3,0	1,0
35	1,5	0,5

Дозволяється вимикати навантажувальний струм лінії до $I \leq 15 A$ при напрузі $U \leq 10 \text{ кВ}$.

Роз'єднувачі необхідно вмикати ривком. Якщо при цьому виникає дуга, то ножі необхідно довести до кінця. У протилежному випадку зворотний хід ножа викличе виникнення дуги й нещасний випадок. Вимикати роз'єднувачі треба, навпаки, повільно, особливо в початковий момент. Якщо з'явиться дуга при відході ножів від губок, то роз'єднувач необхідно увімкнути назад.

Роз'єднувачі відключають (включають) у діелектричних рукавицях. Роз'єднувачі з пофазним керуванням і з вертикальним розташуванням – у діелектричних рукавицях, з використанням ізолюючих штанг і стоячи на ізолюючій підставці. Старшим може бути черговий, що має не меншу ніж IV кваліфікаційну групу. Прості перемикання на одному електричному приєднанні дозволяється виконувати оперативному персоналу, що має не нижче ніж IV кваліфікаційну групу, одноосібно.

Перевіряти відсутність напруги, накладати й знімати переносні заземлення дозволяється не менш ніж двом виконавцям.

В установках напругою до 1000 В апаратуру перемикає один працівник, що має III кваліфікаційну групу, якщо він черговий, IV кваліфікаційну групу, якщо він не є черговим.

Персонал, що виконує перемикання, повинен твердо знати, що у випадку зникнення напруги воно може бути подане знову без попередження як в умовах нормальної експлуатації, так і при аваріях.

4.3 Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок

При дослідженні систем живлення було виявлено що кабель, прокладений в землі чи в трубах відкрито, може при пошкодженні стати причиною пожежі.

Пожежа може виникнути внаслідок загоряння гарячих матеріалів, що знаходяться в кабельній споруді, при електричному розряді кабелю чи в момент випробувань, чи при ремонтних роботах із – за недотримання заходів пожежної безпеки [4,8].

В електричних мережах необхідно виконувати наступні вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок:

1) допускається гасіння пожежі водяними потоками на невимкнених електроустановках напругою до 10 кВ, відкритих тільки для огляду електрика. При цьому опору заземляють, а електрик – працює в діелектричних ботах та рукавицях. Не допускається гасіння пожеж ручними засобами ;

2) забороняється гасіння пожежі усіма видами пін з допомогою ручних засобів в електроустановках під напругою, так як піна і розчини піноутворювачів мають велику електропровідність. Тільки в окремих випадках при спеціальному закріпленні піногенераторів і надійному їх заземленні, а також заземленні насосів пожежних машин, дозволяється гасити пожежу повітряно – механічною піною в електроустановках напругою до 10 кВ, які знаходяться під напругою;

3) при пожежі трансформатор вимикається з обох сторін, після чого одразу ж приступають до його гасіння будь – якими засобами (повітряно – механічною піною, розпиленою водою, вогнегасниками). При гасінні пожежі в трансформаторах, які встановлені в приміщеннях , необхідно прийняти заходи щодо попередження розповсюдження пожежі через вентиляційні та інші канали. Вентиляція в приміщенні в цей період може умикатись тільки з вказівки пожежного підрозділу;

4) при загорянні кабелів необхідно при наявності стаціонарної системи пожежегасіння (повітряно – механічною піною, розпиленою водою) включити її в роботу. При гасінні горючих кабелів напругою вище 1000 В у кабельному тунелі, пожежник який працює з пожежним стволом, повинен направляти потоки води через дверний люк, не заходячи при цьому в відсік з горючими кабелями. Одночасно з гасінням пожежі кабелів потрібно прийняти заходи з швидкого зняття з них напруги;

5) щити управління станцій чи підстанцій напругою до 0,4 кВ являються найбільш важливою частиною електроустановок, тому найбільшу увагу при гасінні пожежі приділяється збереженню на них встановленої апаратури;

б) при загорянні кабелів, проводів і апаратів на панелях щитів управління

оперативний персонал повинен зняти напругу з панелей, не допускаючи переходу вогню на сусідні панелі. В цьому випадку застосовують вуглекислотні вогнегасники чи брометиллові, а також порошкові вогнегасники.

В розподільчих пунктах (РП) пожежі вкрай рідкісні із – за відсутності горючих матеріалів. Вибух та загоряння масла в бакових масляних вимикачах, встановлених в окремих камерах, не спричинять пошкоджень обладнання всього РП.

В трансформаторних підстанціях (ТП), де встановлені маслonaповнені трансформатори, при витіканні масла і виникненні внаслідок цього короткого замикання всередині трансформатора може виникнути пожежа.

При виявленні пожежі в РП чи ТП чергова бригада в першу чергу проводить всебічне вимкнення горючого обладнання від мережі та приступає до гасіння пожежі, застосовуючи порошковий вогнегасник чи пісок. В випадку необхідності чергова бригада викликає місцеву пожежну команду.

Висновки до розділу 4

1. Розглянуто комплекс правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів на підприємстві.

2. Зроблено опис заходів безпеки при обслуговуванні електроустановок на підприємстві.

3. Розглянуто вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок на підприємстві.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Описано структуру сонячної електростанції. Представлено будову та дано характеристики окремих структурних її елементів.
2. Зроблено детальний опис з схемним рішенням мережевого інвертора та контролера заряду акумуляторної системи СЕС.
3. Зроблено аналіз аварійних пошкоджень в структурі сонячної електростанції та дано опис існуючих засобів електричного захисту.
4. На основі аналізу систем внутрішнього та зовнішнього захисту СЕС запропоновано систему захисту мережевого інвертора від перевантажень та короткого замикання.
5. Представлено методику розрахунку контуру захисного заземлення сонячної електростанції.
6. Дано опис засобів та систем захисту СЕС від імпульсних перенапруг. Запропоновано систему блискавкозахисту обладнання СЕС.
7. Зроблено опис заходів по охорони праці на підприємстві та засобів безпеки при обслуговуванні електроустановок.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». — Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. — 340 с.
2. Андрійчук В.А., Наконечний М.С., Осадца Я.М., Філюк Я.О. Дослідження світлодіодних джерел світла при імпульсному живленні. «Технічна електродинаміка» 2021, вип.1, с.68-72.
3. Андрійчук В. А., Осадца Я. М., Філюк Я. О., Gao Xinzhong. Kinetics of leds white lighting under pulse power supply. International conference «Advanced Applied Energy and Information Technologies – 2021» (ICAAEIT-2021), Ternopil, Ukraine. 2021. P.33-39.
4. Панченко С. В., Акімов О. І., Бабаєв М. М. Електробезпека. Харків: УкрДУЗТ, 2018. 295 с.
5. ДНАОП 1.1.10 – 1.07. – 01. Правила експлуатації електрозахисних засобів (укр). Введ. 05.06.2001. – Харків: Форт, 2003. – 119 с.
6. Державні Будівельні Норми України. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд.
7. Байдак Ю.В. Основи теорії кіл. – К.: Вища шк.: Слово, 2009. – 271 с.
8. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці: підруч. / В. Ц. Жидецький. — 3-тє вид., перероб. і доп. — Львів : Укр. акад. друкарства, 2006. — 336 с. — ISBN 966-8013-11-5