

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МЕНЕДЖМЕНТУ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістр

(освітній ступінь)

на тему:

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ОБМЕЖЕННЯМ ПОТУЖНОСТЕЙ ГЕНЕРАЦІЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

08-17.МКР.006.01.021 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, гр. ЕСЕ-20м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Слободян В.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент каф. ЕСЕЕМ
Степура О.В.
(прізвище та ініціали)

« » _____ 2021 р.

Опонент:

(прізвище та ініціали)
« » _____ 2021 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.
(прізвище та ініціали)

« » _____ 2021 р.

Вінниця – 2021 року

Вінницький національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

проф. М. Й. Бурбело

“ 24 ” вересня 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Слободяну Владиславу Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Система керування обмеженням потужностей генерації фотоелектричної станції

керівник роботи Степура Олексій Вікторович к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 24 ” вересня 2021 року № 277

2. Термін подання студентом роботи “ 15 ” грудня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи: План інженерних мереж (додаток Б); головна схема електричних з'єднань ФЕС. (Додаток Б)

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Характеристики промислових фотоелектричних станцій. Визначення оптимальних параметрів системи електропостачання. Аналіз систем керування обмеженням потужностей генерації фотоелектричної станції. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Структурна схема ФЕС. Схема РП – 10 кВ станції. Наукова робота. Техніко-економічні характеристики СЕП.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Степура О.В., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		
Економічна частина	Шулле Ю.А., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., зав. кафедри БЖДПБ, д.пед.н., професор		

7. Дата видачі завдання 24.09.2021

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика промислових ФЕС	17.09.21	
2	Визначення оптимальних параметрів системи електропостачання	10.10.21	
3	Аналіз системи керування обмеженням потужності ФЕС	04.11.21	
4	Науково дослідна частина	26.11.21	
5	Економічна частина	30.11.21	
6	Охорона праці	07.12.21	
7	Графічна частина	16.12.21	

Студент _____ Слободян В.С.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Степура О.В.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	5
ВСТУП.....	7
1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОМИЛОВИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІ	9
1.1 Аналіз основного обладнання фотоелектричних станцій.....	9
1.2 Аналіз використання інверторів в системі керування ФЕС	10
1.3 Аналіз систем керування фотоелектричними станціями.....	13
2 ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ	
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	16
2.1 Кабельні зв'язки ФЕС.....	18
2.2 Розрахунок трьохфазного струму КЗ на шинах РП-10 кВ.....	19
2.3 Вибір оптимального обладнання для встановлення в РП-10 кВ	22
2.4 Розрахунок кабелю від ПС до РП 10 кВ	32
2.5 Релейний захист схеми РП – 10 кВ	36
3 АНАЛІЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОБМЕЖЕННЯМ ПОТУЖНОСТЕЙ	
ГЕНЕРАЦІЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ.....	38
3.1 Аналіз основного обладнання в СКО фотоелектричної станції.....	39
3.2 Алгоритми та принципи роботи СКО ФЕС	41
3.3 Оптимальний алгоритм управління заряду та розряду АКБ	48
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ.....	52
4.1 Техніко-економічне обґрунтування роботи.....	52
4.2 Термін окупності панелей	59
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	60
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання	61
5.1.1 Вимоги до організації робочих місць оперативного персоналу	61
5.1.2 Електробезпека.....	63

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	67
5.2.1 Мікроклімат.....	67
5.2.2 Склад повітря робочої зони	68
5.2.3 Виробниче освітлення.....	69
5.2.4 Виробничий шум.....	71
5.2.5 Психофізіологічні фактори.....	72
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи електричних станцій в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій	74
5.3.1 Дослідження стійкості роботи ФЕС в умовах дії іонізуючих випромінювань	75
5.3.2 Дослідження стійкості роботи ФЕС в умовах дії електромагнітного імпульсу	76
ВИСНОВКИ	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	82
Додаток А – Технічне завдання	
Додаток Б – Структурна схема ФЕС	
Додаток В – Схема РП – 10 кВ станції	
Додаток Г – Принципові схеми інверторів задіяних на ФЕС	
Додаток Д – Техніко-економічні показники СЕП	
Додаток Є – Оптимальний алгоритм управління заряду та розряду акумуляторних батарей	
Додаток Ж – Алгоритми та принципи роботи СКО ФЕС	

АНОТАЦІЯ

Слободян Владислав Сергійович. Система керування обмеженням потужностей генерації фотоелектричної станції. МКР. Спеціальність 141 – Вінниця: ВНТУ, ФЕЕМ, кафедра ЕСЕЕМ, 2021 - 85 с.

В магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто питання щодо оптимізації системи електропостачання, процесу генерації потужності а також використання сучасних систем керування обмеженнями на ФЕС.

Магістерська кваліфікаційна робота розроблена на основі даних, отриманих підчас проходження практики на підприємстві.

В роботі розглянуті питання по розрахунку внутрішнього та зовнішнього електропостачання підприємства, вибір оптимальних ліній сполучення елементів станції, захист та автоматика.

В науково-дослідній частині роботи було здійснено аналіз системи керування обмеженням потужностей генерації фотоелектричної станції. Проаналізовано алгоритм та принципи роботи СКО, а також алгоритми виконання СКО диспетчерським пунктом. Оптимізовано алгоритм управління заряду та розряду акумуляторних батарей ФЕС.

Розраховано основні техніко-економічні показники роботи станції.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: електричні мережі, електропостачання, інвертор, фотопанель.

ANNOTATION

Slobodyan Vladislav Sergeevich. Control system for limiting the generation capacity of a photovoltaic power plant. MCR. Specialty 141 - Vinnitsa: VNTU, FEEM, Department of ESEM, 2021 - 95 p.

In his master's qualification work, he looks at the issues of optimization of the power supply system, the process of generating power and also the use of modern constraint management systems at FES

Master's qualification work is developed on the basis of data obtained during internship at the enterprise

In the robotic presentation of power for drawing the internal and external power supply of the enterprise, the choice of optimal interface lines for the station elements, protection and automation

In the research part of the work, an analysis of the control system for limiting the power generation of a photovoltaic station was carried out. The algorithm and principles of RMS, as well as algorithms for performing RMS by despatch switching, have been analyzed. Optimized the algorithm for controlling the charge and discharge of FES batteries

The main technical and economic indicators of the BOT of the station have been calculated.

The issues of labor protection and safety in emergency situations are presented.

figures - 28

tables - 32

libraries - 35

Ke

ВСТУП

Актуальність теми. Використання відновлюваних джерел енергії на сьогодні є важливим напрямком розвитку енергетики України [2]. З одного боку рівень забезпеченості власними первинними енергоносіями не дозволяє говорити про енергетичну незалежність країни, а з іншого – Україна має великий потенціал у галузі відновлюваної енергетики [2].

На сьогодні практично всі провідні країни світу розробляють принципово нову ідеологію побудови та функціонування енергетичної галузі з метою надання безпечного, надійного, економічно доцільного та екологічно прийняттого енергозабезпечення споживачів. Зазначена ідеологія базується на активній інформатизації та інтелектуалізації енергетичних об'єктів, широкому використанні розосередженої генерації, в першу чергу, на рівні розподільних електричних мереж середньої та низької напруги, створенні та впровадженні провідних енергоефективних технологій у сфері генерації, акумулювання, розподілу енергії, систем зв'язку та телекомунікацій, засобів керування та захисту, формуванні нової тарифної та регуляторної політики.

Система зовнішнього та внутрішнього електропостачання стааній повинна задовольняти слідуючим вимогам: економічність, безпечна експлуатація, надійність, можливість подальшого розвитку без суттєвих змін, забезпечення нормативної якості електроенергії.

Мета і задачі дослідження. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є аналіз системи керування обмеженням потужностей генерації фотоелектричної станції.

Об'єкт дослідження. Об'єктом магістерської роботи є організація системи внутрішнього та зовнішнього електропостачання для фотоелектричної станції.

Предмет дослідження. Предметом роботи є методи та засоби для створення оптимальної, ефективної системи внутрішнього та зовнішнього електропостачання фотоелектричної станції.

Методи досліджень. Для аналізу внутрішньої та зовнішньої системи електропостачання використовуються методи розрахунку електричних навантажень, загальні закони електротехніки, а також сучасні методики, що широко використовуються в проектній практиці.

Наукова новизна. Запропоновано заходи щодо комплексного підвищення надійності системи електропостачання об'єкту, які відрізняються впровадженням автоматизації в її ланки і дозволяють комплексно керувати електропостачанням з забезпеченням максимальної його якості. Здійснено аналіз оптимальних алгоритмів роботи СКО, а також оптимальний порядок виконання СКО диспетчерським пунктом. Проаналізовано оптимальний алгоритм управління заряду та розряду акумуляторних батарей ФЕС.

Практична цінність. Впровадження на фотоелектричних станціях заходів щодо комплексного підвищення надійності і економічності системи електропостачання об'єкту дозволить підвищити енергетичну і функціональну ефективність підприємства. Завдяки запровадженню розроблених алгоритмів автоматизації забезпечується висока якість процесів електропостачання і енерговикористання.

1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОМИЛОВИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІ

1.1 Аналіз основного обладнання фотоелектричних станцій

Безпосередня технічна реалізація окремих модулів та підсистем сонячної електростанції може змінюватись, проте їх функціональне призначення, як правило, залишається незмінним. Сонячна електростанція складається з декількох обов'язкових елементів рисунок 1.1 без яких неможливий процес перетворення сонячної енергії в електричну.

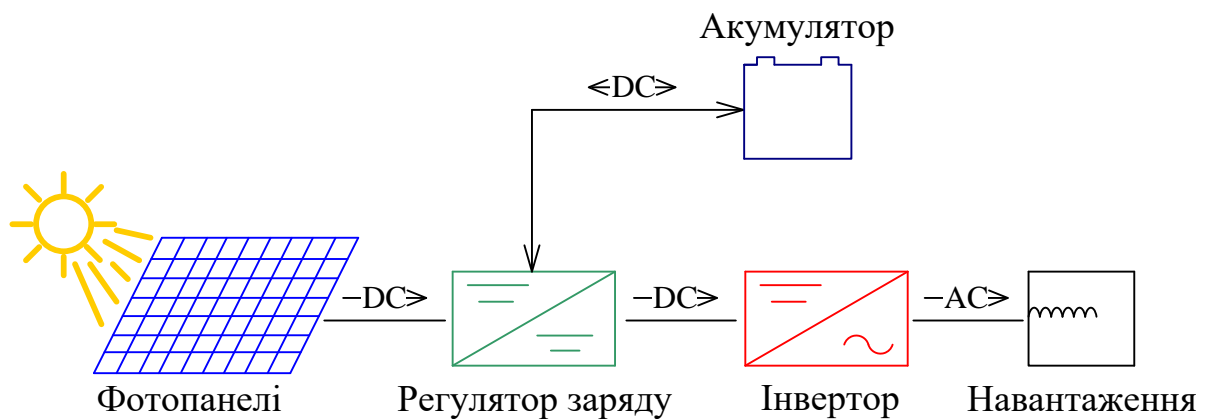


Рисунок 1.1 – Принципова схема роботи ФЕС

- фотопанель – ключовий елемент, що відрізняє сонячну електростанцію від інших видів систем виробництва електричної енергії. Служить первинним перетворювачем світлової енергії сонячного випромінювання на електричну. Матеріал, типи, розміри та кількість сонячних панелей в одній електростанції можуть змінюватись, причому нерідко оптимальне проектне рішення пов'язане з комбінацією різних сонячних панелей в одній станції.

- акумулятори – пристрої, необхідні для накопичення електроенергії від сонячних панелей. В силу низки причин сонячні панелі далеко не завжди можуть видавати стабільні вихідні характеристики, що обумовлює використання акумуляторних батарей у будь-яких системах виробництва електричної енергії. Більш того, у темний або похмурий час доби використання фотогальванічних

елементів неможливо, тому споживачі повинні отримувати заздалегідь запасену у світлий час доби електричну енергію.

- регулятор заряду – основний контрольний пристрій, необхідний для керування режимом роботи фотогальванічних елементів, заряду та розряду акумуляторів, підтримання заданого рівня вихідної напруги та інших функцій. Від вибору алгоритму управління та контролю залежить ефективність усієї фотоелектричної системи загалом.

- інвертор - пристрій, що перетворює постійний струм фотоелементів на змінний. Зважаючи на те, що основне навантаження більшості споживачів розраховане на 220 В змінної напруги промислової частоти 50 Гц, інвертор практично завжди є обов'язковим елементом будь-якої сонячної електростанції. В окремих випадках, якщо є навантаження, розраховане на постійну напругу, електрична схема проектується з урахуванням окремої гілки, розрахованої на живлення DC-споживачів.

- навантаження – власне споживачі електричної енергії.

Проблема вибору обладнання, що забезпечує максимальне використання сонячної енергії та функцію автоматичного обмеження генерації потужності, часто виникає у процесі розробки автономних систем електроживлення, побудованих на базі сонячних батарей.

Щодо проблеми вибору обладнання, то тут важливою особливістю фотогальванічних систем є той факт, що сонячна енергія повинна не тільки ефективно перетворюватися на електричну та надаватися споживачам, але в тому числі необхідно забезпечити ефективну акумуляцію надлишкової електричної енергії.

1.2 Аналіз використання інверторів в системі керування фотоелектричної станції

Інвертор (DC/ACconverter) - пристрій призначений для здійснення перетворення постійного струму в змінний струм. Також використання інвертора

дає змогу регулювати величину частоти а вихідної напруги. Конструктивно, інвертор, виконаний як джерело, яке генерує періодичну напругу, форма графіка такої напруги наближається до параметрів синусоїди [30]. У сонячній електростанції є одним з головних елементів. Так як ККД сонячної панелі не перевищує 20-30%, то використання інвертора з невеликим ККД знизить ефективність СЕС до нерентабельної. Інвертори напруги можуть застосовуватись у вигляді окремого пристрою або входити до складу джерел та систем безперебійного живлення апаратури електричною енергією змінного струму. Методи технічної реалізації інверторів та особливості їх роботи.

1. Ключі інвертора повинні бути керованими.

2. Регулювання вихідної напруги інверторів досягається зміною площі імпульсу напівхвилі.

3. Порушення симетрії напівхвиль вихідної напруги супроводжує побічні продукти перетворення з частотою нижче за основну, включаючи можливість появи постійної складової напруги, неприпустимої для ланцюгів, що містять трансформатори [30].

4. Ключі інвертора та алгоритм управління ключами повинні забезпечити послідовну зміну структур силового ланцюга, які називаються прямим, коротко замкнутим та інверсним [30].

5. Миттєва потужність споживача $p(t)$ пульсує з подвоєною частотою. Первинне джерело живлення має допускати роботу з пульсуючими і навіть змінюючими знак струму споживання. Змінні складові первинного струму визначають рівень перешкод на затискачі джерела живлення [30]

По конструктивному виконанню наявна велика кількість варіантів побудови схем інверторів. Раніше інвертори були механічні, але з розвитком технологій їх замінили напівпровідникові інвертори та схеми. Як правило, виділяють три основні схеми підключення інверторів:

- мостовий ІН без трансформатора. Зазвичай область застосування це джерела безперебійного живлення потужністю 500 ВА, або установки високої напруги рисунок 1.2 (від 220 до 360 В).

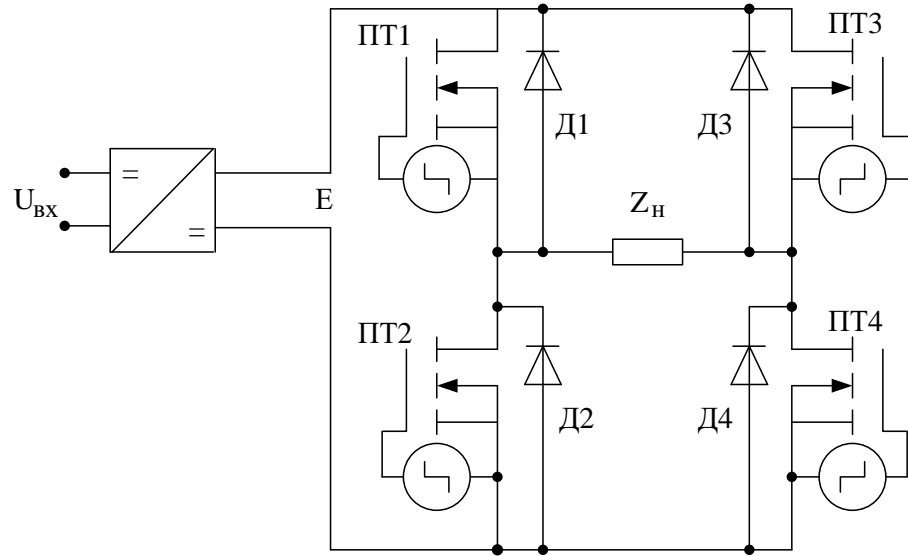


Рисунок 1.2 – Мостовий інвертор без трансформатора

- з нульовим виведенням трансформатора. Область застосування: найчастіше комп'ютерні джерела безперебійного живлення потужністю від 250 до 500 ВА, але при низьких значеннях напруги (від 12 до 24 В), також перетворювачі напруги для рухомих систем радіозв'язку (рисунок 1.3).

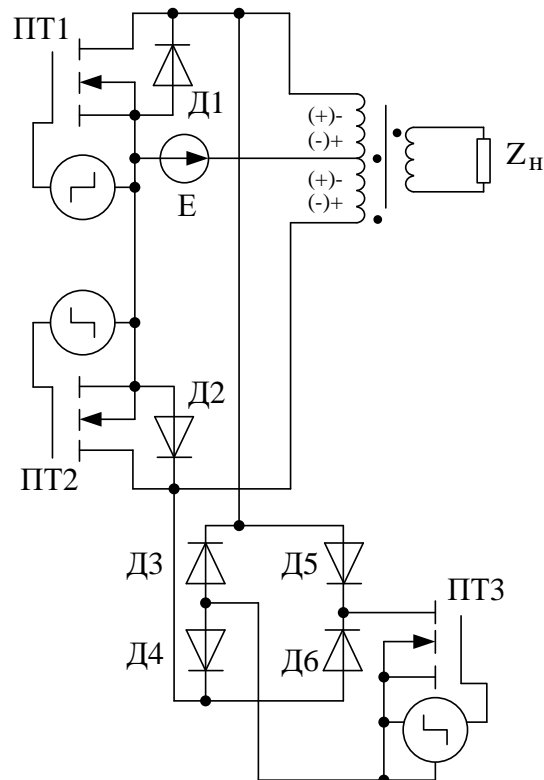


Рисунок 1.3 – Інвертор з нульовим виведенням трансформатора

- схема з трансформатором. Застосовується в пристроях безперебійного живлення з досить широким діапазоном потужностей, як від 1 так і до десятків кВА (рисунок 1.4).

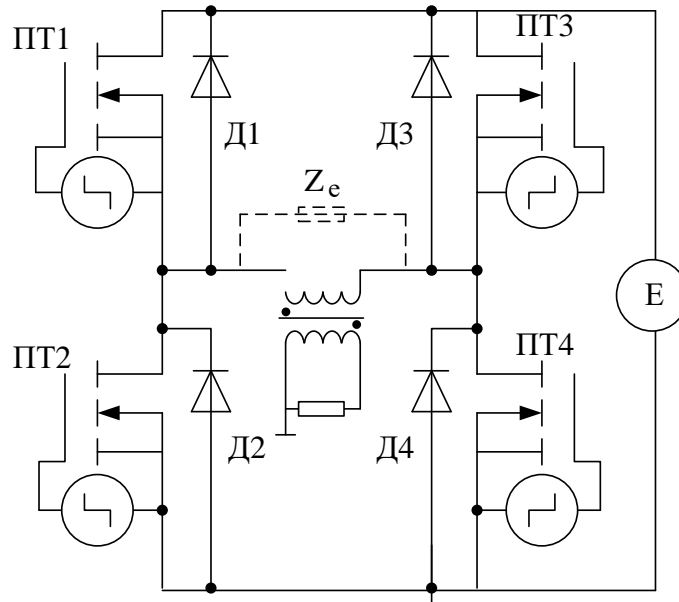


Рисунок 1.4 – Мостова схема інвертора з трансформатором

Принцип побудови інверторів поділяють на:

- Інвертори з прямокутною формою вихідної напруги;
- Інвертори напруги зі ступінчастою формою кривої вихідної напруги;
- Інвертори з синусоїдальною формою вихідної напруги;

1.3 Аналіз систем керування фотоелектричними станціями

В останні роки ведеться активне опрацювання концепції smart grid (інтелектуальних мереж), що передбачають перехід у майбутньому від мережі з централізованою генерацією електроенергії до мережі з розподіленою генерацією. Побудова таких мереж неможлива без використання систем накопичення енергії (СНЕ). Нижче наведено основні функції СНЕ:

- Інтеграція відновлюваних джерел енергії у загальну мережу. Майже всі відновлювані джерела електроенергії (сонячні батареї, вітрогенератори) мають

виражені піки генерації, які не збігаються з графіком споживання електроенергії. Застосування СНЕ дозволяє узгодити графіки генерації та споживання. [14].

- Вирівнювання графіків навантаження у мережі. Накопичення електричної енергії у періоди її надлишку та видача на навантаження у періоди дефіциту дозволяє знизити необхідну настановну потужність для споживача та використовувати електроенергію переважно у період дії пільгового тарифу. Крім того, характер навантаження для деяких технологічних процесів (робота ліфтів, потужних підйомних кранів, станції зарядки електромобілів тощо) має яскраво виражений піково-короткочасний характер. Застосування СНЕ дозволяє згладити ці вершини.

- Забезпечення динамічної стійкості локальних електричних мереж за різких змін навантаження. Однією з важливих проблем у локальних електричних мережах кінцевої потужності («м'яких» мережах) є забезпечення їх стійкості при різких змінах режимів роботи навантаження (скидання/накидання навантаження), а також регулювання параметрів цих мереж (частоти). Як правило, для цих цілей застосовуються додаткові джерела генерації, більшу частину часу, що знаходяться в резерві. Застосування СНЕ є найефективнішим рішенням.

- оптимізація режиму роботи локального генератора; Застосування СНЕ дозволяє використовувати локальні генератори у найбільш оптимальному режимі, що дозволяє збільшити ККД установки та знизити шкідливі викиди.

- покращення параметрів електричної мережі (підвищення коефіцієнта потужності, поліпшення коефіцієнта гармонійних спотворень);

- зняття або суттєве скорочення нерегулярних коливань у міжсистемних лініях електропередачі, підвищення пропускної спроможності ліній електропередачі;

- забезпечення безперебійного живлення особливо відповідальних споживачів.

Однією з технологічних передумов для створення СНЕ стала розробка останніми роками потужних силових напівпровідникових пристроїв – двонаправлених інверторів, що забезпечують передачу електричної енергії з мережі в накопичувальний елемент (акумуляторну батарею) та видачу її назад у мережу чи навантаження (рисунок 1.1). Дані перетворювачі використовують так звану

технологію ШІМ-перетворення, при якій величина напруги, що формується на його виході, визначається тривалістю комутації силових ключів, розташованих у різних плечах інвертора. Як силові ключі зазвичай використовують потужні IGBT-транзистори або IGCT-тиристри. Величина і напрямок енергії, що передається визначається сигналами, що формуються системою керування.

До складу пристроїв системи керування входить універсальний керуючий контролер (УКК), що забезпечує реалізацію алгоритмів управління, плату узгодження, узгоджувальні сигнали з датчиків струму та напруги та вхідні рівні сигналів для УКК, а також вихідні сигнали УКК та вхідні сигнали для драйверів силових ключів. Крім того в систему управління входять плата дискретних входів з програмованим реле (всього 8 входів), плата панелі оператора, джерело безперебійного живлення УКК. [4].

Датчики струму та напруги вимірюють величини напруги на вході інвертора, вихідних фазних напруг і струмів, а також величина постійної напруги та струму на вході в силовий модуль та змінний струм на виході з нього. За час, що не перевищує один період мережі (20 мс), система управління вимірює амплітудні та діючі значення напруг і струмів за основною та вищою гармонікою та формує сигнал, що передається на вхід плат драйверів транзисторів. Завдяки тому, що вимір проводиться не тільки на основний, але і на вищих гармоніках, а також завдяки застосуванню спеціально розробленого алгоритму адаптації коефіцієнтів ПД-регуляторів в ланцюзі зворотного зв'язку в залежності від виміряного сигналу досягається більша швидкодія системи управління порівняно з відомими аналогами.

Особливості роботи системи керування:

- Для дискретизації аналогового сигналу ланки постійного струму використовується 16-розрядний АЦП з точністю до 0,3%.
- реалізовано регулювання параметрів вихідного струму за величиною зворотної послідовності струму навантаження;
- реалізований алгоритм компенсації вищих гармонік струму навантаження;
- забезпечується висока швидкість синхронізації при ступінчастій зміні керуючого впливу.

2 ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

На ФЕС 14 МВА передбачено встановлення 14 підвищуючих ТП для видачі потужності в систему. Трансформатори розподілено на чотири групи, в яких трансформатори об'єднані між собою та слідом під'єднані до шин РП 10 кВ через високовольтні вимикачі. Дана структурна схема ФЕС представлений на рисунку 2.1.

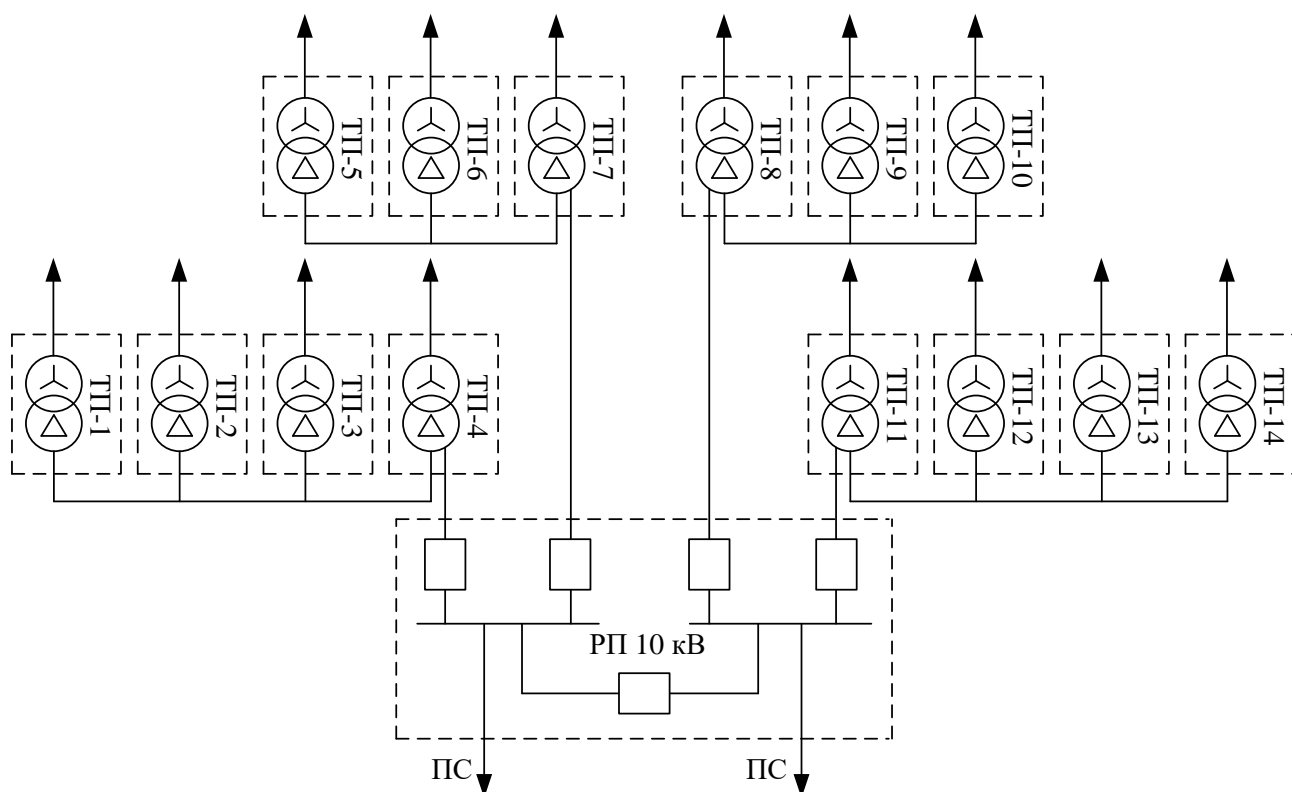


Рисунок 2.1 – Структурна схема фотоелектричної станції

Проведемо розрахунок величини тривалого допустимого струму для лінії живлення яка сполучає ТП-11 та РП- 10 кВ:

$$I_{\text{норм.розр}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \phi};$$

$$I_{\text{норм.розр}} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,9} = 286,6 \text{ A}.$$

Отже для наступних необхідні перевірок для даної лінії живлення необхідно обрати кабель з перерізом жил 185 мм². Таких кабелів необхідно в кількості три

штуки, по одному кабелі на кожен фазу. Матеріал струмопровідної жили – алюміній.

Для обраного кабелю необхідно здійснити корегування величини допустимого струму за допомогою поправочних коефіцієнтів. Дані коефіцієнти допомагають врахувати умови прокладання навколишнього середовища.

$$I_{\text{трив доп}}^{\text{роз}} = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_3 \cdot \kappa_4 \cdot \kappa_6 \cdot I_{\text{тр доп}} ;$$

$$I_{\text{трив доп}}^{\text{роз}} = 0,96 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 317 = 535,6 \text{ А};$$

$$I_{\text{трив доп}}^{\text{роз}} \geq I_{\text{норм розр}}$$

$$535,6 \text{ А} > 286,6 \text{ А}$$

Отже після виконання усіх необхідних перевірок кабельної лінії по тривалому допустимому струмові, приймаємо кабель з перерізом жил 185 мм² для лінії живлення яка сполучує ТП-11 та РП- 10 кВ. Для усіх інших необхідних приєднань розрахунок, вибір і перевірку проводимо аналогічним чином, а результати заносимо до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Розрахунок поперечного перерізу кабелю 10 кВ

№ вітки	Ділянка	Довжина, м	Потужність, кВт	Перетин, мм ²
1	ТП-1 – ТП-2	150	1000	185
	ТП-2 – ТП-3	100	2000	185
	ТП-3 – ТП-4	150	3000	185
	ТП-4 – РП-10	150	4000	185
2	ТП-5 – ТП-6	170	1000	120
	ТП-6 – ТП-7	90	2000	120
	ТП-7 – РП-10	150	3000	120
3	ТП-10 – ТП-9	130	1000	120
	ТП-9 – ТП-8	110	2000	120
	ТП-8 – РП-7	300	3000	120
4	ТП-14 – ТП-13	220	1000	150
	ТП-13 – ТП-12	270	2000	150
	ТП-12 – ТП-11	160	3000	150
	ТП-11 – РП-10	190	4000	150

2.1 Кабельні зв'язки ФЕС

Зважаючи на конструктивне виконання станції, зеднань її ключових вузлів, найбільш оптимальним буде варіант з такими кабельними зв'язками елементів та апаратів станції:

- послідовне з'єднання фотопанельей між собою у блоки панелей;
- радіальне з'єднання між блоками панелей та щитами з'єднань;
- від щитів з'єднань до інверторів встановлених на комплектних ТП;
- від комплектних ТП (1-14) до РП-10 кВ ФЕС;
- зеднання від РП-10 кВ до КТП 40 МВА власних потреб станції.

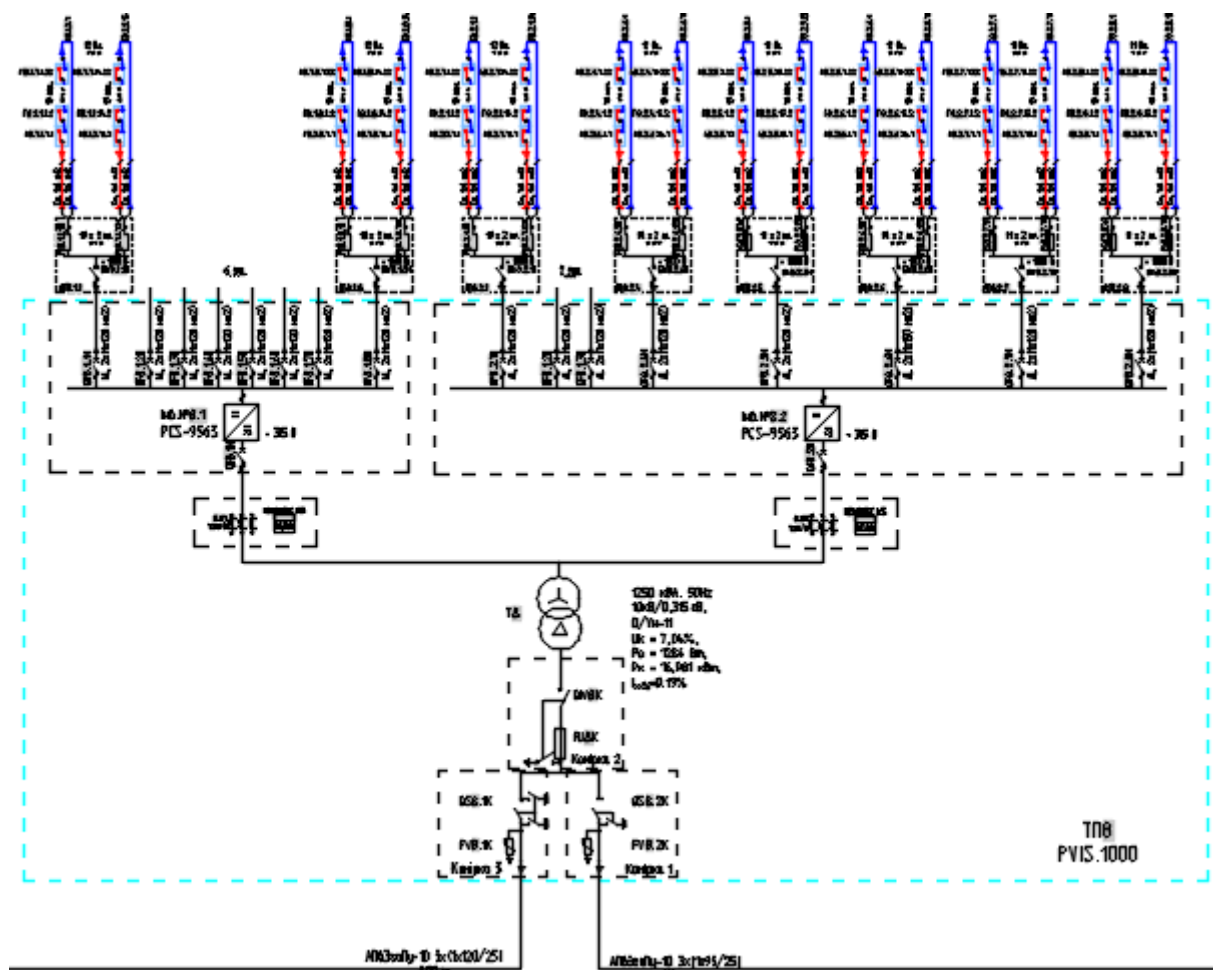


Рисунок 2.2 - Фрагмент головної схеми електричних з'єднань ФЕС

Блоки панелей з'єднані з ящиками з'єднань за допомогою двох мідних кабелів перерізом 6 мм^2 в зовнішній ізоляції, яка є вогнестійкою. Інверторні станції

з'єднані з ящиками з'єднань алюмінієвими кабелями перерізом 120 мм², 150 мм² та 185 мм² марки АВВГ.

Інверторні станції з'єднані з РП-10 кВ за допомогою кабелів з алюмінієвими струмопровідними жилами, ізоляцією із зшитого поліетилену, поздовжньою і поперечною герметизацією екрану і посиленою зовнішньою оболонкою з поліетилену типу АПвЭгаПу-10-3х(1х150/25), АПвЭгаПу-10-3х(1х120/25), АПвЭгаПу-10-3х(1х120/25) та АПвЭгаПу-10-3х(1х185/25) (виробництва Южкабель).

2.2 Розрахунок трьохфазного струму КЗ на шинах РП-10 кВ

Для перевірки вибраних апаратів на можливість їх функціонування при аварійних та післяаварійних режимах в мережах ФЕС необхідно провести розрахунок трьохфазного короткого замикання на шинах РП-10 кВ. Виконуємо даний розрахунок методом еквівалентної зміної, для цього складаємо схему заміщення рисунок 2.3 та проводимо необхідні розрахунки. [6].

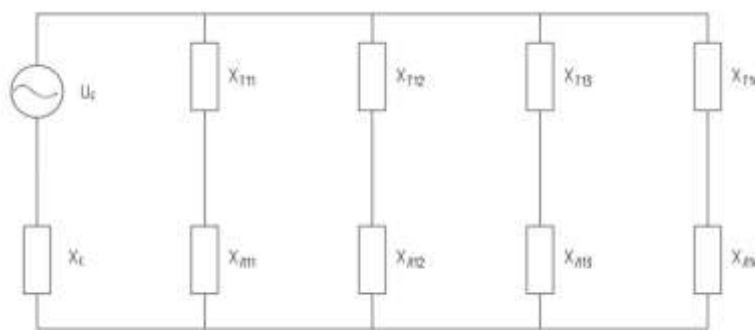


Рисунок 2.3 – Схема заміщення групи під'єднаних ТП до РП.

Визначаємо реактивний опір системи:

$$X_C = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot I_{КЗ}^{(3)}};$$

Значення $I_{КЗ}^{(3)}$ отримано згідно даних станції рівне $I_{КЗ}^{(3)} = 8,62 \text{ кА}$.

$$X_C = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 8,62} = 0,703 \text{ (в.о.)};$$

Визначмо реактивний опір трансформатора:

$$X_T = \frac{U_{K\%} \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}};$$

$$X_T = \frac{7,04 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 1250} = 0,006 \text{ (в.о.)}.$$

Визначимо реактивний опір кабельної лінії:

$$X_{Л} = x_0 \cdot L$$

Найбільше навантаження припадає на групу до якої приєднано 4 ТП, які з'єднані між собою та під'єднані до РП за допомогою чотирьох КЛ 10 кВ.

Визначаємо значення x_0 для даних ліній живлення:

$$X_{Л1} = 3 \cdot 0,098 \cdot 0,22 = 0,065 \text{ (в.о.)};$$

$$X_{Л2} = 3 \cdot 0,107 \cdot 0,16 = 0,051 \text{ (в.о.)};$$

$$X_{Л3} = 3 \cdot 0,116 \cdot 0,27 = 0,094 \text{ (в.о.)};$$

$$X_{Л4} = 3 \cdot 0,123 \cdot 0,22 = 0,081 \text{ (в.о.)}.$$

Виконає перетворення схеми заміщення групи зєднань тарнсформаторів:

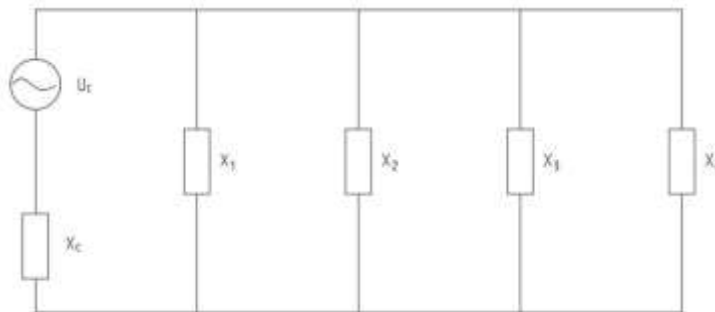


Рисунок 2.4 – Перше претворення схеми заміщення

Розрахуємо опори даної схеми:

$$X_1 = X_{T1} + X_{Л1} = 0,006 + 0,065 = 0,071 \text{ (в.о.)};$$

$$X_2 = X_{T2} + X_{Л2} = 0,006 + 0,051 = 0,057 \text{ (в.о.)};$$

$$X_3 = X_{T3} + X_{Л3} = 0,006 + 0,094 = 0,098 \text{ (в.о.)};$$

$$X_4 = X_{T4} + X_{Л4} = 0,006 + 0,081 = 0,087 \text{ (в.о.)}.$$

Виконаємо подальше спрощення схеми заміщення..

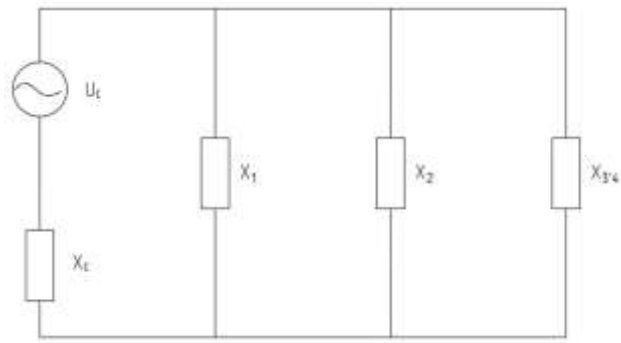


Рисунок 2.5 - Друге перетворення схеми заміщення

Розрахуємо опори схеми заміщення просумувавши опори віток, які увімкненні паралельно.

$$X_{34} = \frac{X_3 \cdot X_4}{X_3 + X_4} = \frac{0,087 \cdot 0,098}{0,087 + 0,098} = 0,047 \text{ (в.о.)}$$

Подальше перетворення схеми заміщення відбуватиметься наступним чином::

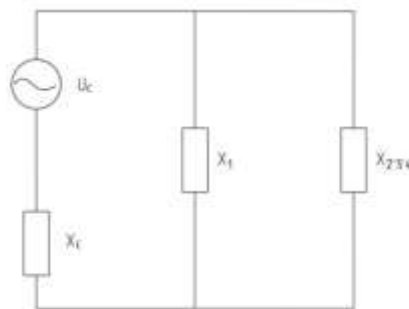


Рис 2.6 - Третє перетворення схеми заміщення

$$X_{234} = \frac{X_{34} \cdot X_2}{X_{34} + X_2} = \frac{0,047 \cdot 0,057}{0,047 + 0,057} = 0,026 \text{ (в.о.)}$$

Спростимо схему заміщення додавши два послідовних елемента опорів:

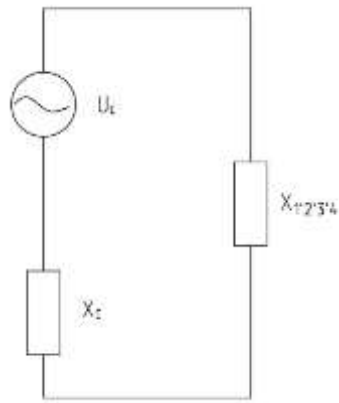


Рис – 2.7 - Четверте перетворення схеми заміщення

$$X_{1'2'3'4} = \frac{X_{2'3'4} \cdot X_1}{X_{2'3'4} + X_1} = \frac{0,026 \cdot 0,071}{0,026 + 0,071} = 0,019 \text{ (в.о.)}.$$

Виконаємо остаточне спрощення схеми заміщення:

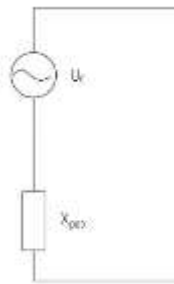


Рисунок 2.8 – П'яте перетворення схеми заміщення

$$X_{рез} = X_c + X_{1'2'3'4} = 0,019 + 0,703 = 0,722 \text{ (в.о.)}$$

Визначмо максимальне значення трьохфазного струму КЗ:

$$I_{КЗ}^{(3)} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot X_{рез}};$$

$$I_{КЗ}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,722} = 8,4 \text{ кА}.$$

Результат розрахунку максимального струму КЗ грппи ТП становить 8,4 кА.

2.3 Вибір оптимального обладнання для встановлення в РП-10 кВ

ФЕС передає потужність в мережу за допомогою двох ЛЕП 10 кВ, що дозволяє досягти більшу надійність електропостачання. Здійснимо розрахунок та

вибір необхідного обладнання, яке служить для захисту СЕП і встановлюється в комірці РП. [10].

Вибір високовольтних вимикачів проводимо наступним чином.

Для РП-10 кВ для лінійних та секційного вимикачів використовуємо вакуумний триполюсний вимикач 10 кВ типу ВВ/ВЛ 12-25/1000-У2.

Технічні характеристики обраного вакуумного вимикача представлено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики вимикача типу ВВ/ВЛ 12-25/1000-У2

Найменування параметра	Значення параметра
Номінальна робоча напруга [$U_{ном.в.}$], кВ	10
Найбільша робоча напруга [$U_{max.в.}$], кВ	12
Номінальний струм [$I_{ном.в.}$], А	1000
Номінальний струм відключення [$I_{відкл.в.}$], кА	25
Номінальний струм к.з, що витримується вимикачем протягом 3 с [$I_{терм.в.}$], кА	25
Пікове значення наскрізного струму к.з. [$I_{дин.в.}$], кА	62,5

Здійснимо усі необхідні перевірки даного вимикача:

По номінальній напрузі:

$$U_{ном.м} \geq U_{ном.р} ;$$

$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ} .$$

За найбільшою робочою напругою:

$$U_{max.м} \geq U_{max.р} ;$$

$$12 \text{ кВ} = 12 \text{ кВ} .$$

За максимальним робочим струмом:

$$I_{ном.роб} \geq I_{max.роб} .$$

$$I_{max.роб.} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \phi} ,$$

$$I_{max.роб.} = \frac{7000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,9} = 449,1 \text{ А} - \text{ ввідна комірка;} ,$$

$$630 A > 449,1 A.$$

По відключаючій здатності:

а) величина симетричного струму відключення:

$$I_{\text{Пт}} \leq I_{\text{відкл.в}};$$

$$10,943 \text{ кА} \leq 25 \text{ кА}.$$

б) можливість вимикача відключення аперіодичної складової струму КЗ:

$$i_{\text{ат}} \leq i_{\text{а.ном}};$$

$$i_{\text{а ном}} = \frac{\sqrt{2} \cdot \beta_{\text{н}} \cdot I_{\text{відкл.в}}}{100};$$

$$i_{\text{а ном}} = \frac{\sqrt{2} \cdot \beta_{\text{н}} \cdot I_{\text{відкл.в}}}{100};$$

$$\tau = \tau_{\text{з_min}} + t_{\text{св}} = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с.}$$

$$i_{\text{ат}} = \sqrt{2} \cdot 8,4 \cdot e^{\frac{0,05}{0,03}} = 2,2 \text{ кА};$$

$$i_{\text{а ном}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 60 \cdot 25}{100} = 21,2 \text{ кА};$$

$$2,2 \text{ кА} < 21,2 \text{ кА}.$$

Перевірка на електродинамічну стійкість:

а) по величині періодичної складової струму КЗ:

$$I_{\text{П0}} \leq I_{\text{відкл.в}};$$

$$8,4 \text{ кА} < 25 \text{ кА}.$$

б) по величині ударного струму КЗ;

$$i_{\text{уд}} \leq I_{\text{дин.в.}},$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{П0}} \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right);$$

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot 8,4 \cdot \left(1 + e^{\frac{0,01}{0,03}} \right) = 20,4 \text{ кА};$$

$$20,4 \text{ кА} < 62,5 \text{ кА}.$$

Превіряється вимикача по тепловому імпульсу струму КЗ:

$$B_K \leq I_{\text{терм.в}}^2 \cdot t_{\text{терм.в}};$$

$$B_K = I_{\text{П0}}^2 \cdot (t_{\text{терм.в}} + T_a);$$

$$B_K = 8,4^2 \cdot (0,34 + 0,03) = 47,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$I_{\text{терм.в}}^2 \cdot t_{\text{терм.в}} = 25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$47,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Таблиця 2.3 – Результати перевірок роботи обраного вимикача в електричній мережі

Розрахункові параметри	Каталожні дані ВВ/VL 12-25/1000-У2
$U_{\text{ном.л}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.л}} = 10 \text{ кВ}$
$U_{\text{max.в}} = 12 \text{ кВ}$	$U_{\text{max.в}} = 12 \text{ кВ}$
$I_{\text{max.в}} = 449,1 \text{ А}$ – для ввідної	$I_{\text{ном.в}} = 1000 \text{ А}$
$I_{\text{П0}} = 10,943 \text{ кА}$	$I_{\text{відкл.в}} = 25 \text{ кА}$
$i_{y0} = 26,6 \text{ кА}$	$I_{\text{дин.в}} = 62,5 \text{ кА}$
$B_K = 47,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{терм.в}}^2 \cdot t_{\text{терм.в}} = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Проведемо вибір роз'єднувачів 10 кВ.

Передбачається встановлення в якості роз'єднувача ввідних комірок триполюсного роз'єднувача типу РВЗ-10/630-ІІ-УЗ, а для комірки секційного роз'єднувача та секційного вимикача триполюсного роз'єднувача типу РВЗ-10/630-ІІІ-УЗ. Технічні параметри роз'єднувача наведено в таблиці 2.4.

Передбачається встановлення в якості роз'єднувача лінійних комірок триполюсного роз'єднувача типу РВЗ-10/400-ІІ-УЗ. Технічні параметри роз'єднувача наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики роз'єднувачів 10 кВ

Найменування параметра	Значення параметра	
	PВ3-10/630	PВ3-10/400
Номинальний струм [$I_{ном.р.}$], А	630	400
Номинальна робоча напруга [$U_{ном.р.}$], кВ	10	10
Найбільша робоча напруга [$U_{max.р.}$], кВ	12	12
Струм термічної стійкості [$I_{терм.р.}$], кА	20	16
Кількість заземлюючих ножів	2 (1) ¹	1
Час протікання струму термічної стійкості, с:		
– для головних ножів	3	3
– для ЗН	1	1
Струм динамічної стійкості [$I_{дин.р.}$], кА	52	41

Допустимий тепловий імпульс для головних та заземлюючих ножів роз'єднувача PВ3-10/630-У3 становитиме:

$$B_k = 8,4^2 \cdot (0,34 + 0,03) = 47,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$\text{для головних ножів} - I_{терм.в}^2 \cdot t_{терм.в} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$\text{для ЗН} - I_{терм.в}^2 \cdot t_{терм.в} = 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$44,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$44,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Узагальнені результати розрахунків роз'єднувача наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Узагальнені результати перевірки триполюсного роз'єднувача

Розрахункові параметри	Каталожні дані	
	PВ3-10/630	PВ3-10/400
$U_{ном.м} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном.м} = 10 \text{ кВ}$	
$U_{ном.р} = 12 \text{ кВ}$	$U_{ном.р} = 12 \text{ кВ}$	
$I_{max.р} = 449,1 \text{ А}$	$I_{max.в} = 630 \text{ А}$	$I_{max.в} = 400 \text{ А}$
$i_{уд} = 26,57 \text{ кА}$	$I_{дин.в} = 52 \text{ кА}$	$I_{дин.в} = 41 \text{ кА}$
$B_k = 47,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	Для головних ножів: $I_{терм.в}^2 \cdot t_{терм.в} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	Для ЗН: $I_{терм.в}^2 \cdot t_{терм.в} = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Виконаємо вибір ТС 10 кВ для вимірювальних приладів.

В якості ТС 10 кВ, вибираємо типу ТОЛУ- 10 600/5 0,5с/0,5/10Р 2,5/5/10 ВА. (з приєднаною потужністю ТП $S_{ном} = 7000 \text{ кВм}$); для лінійних комірок №07, №08 РП-10 кВ встановлюється ТС типу ТОЛ-10 200/5 0,5с/10Р 5/10 ВА.

($S_{ном} = 3000 \text{ кВт}$); для лінійних комірок №05, №06 РП-10 кВ встановлюється ТС типу ТОЛ-10 300/5 0,5s/10P 5/10 ВА ($S_{ном} = 4000 \text{ кВт}$), для комірки СВ передбачається встановлення ТОЛ-10 600/5 0,5s/10P 5/10 ВА.

В комірках №10, №9 РП-10 кВ встановлюється ТС-10 кВ типу ТОЛУ-10 600/5 0,5s/0,5/10P 2,5/5/10 ВА технічні характеристики яких наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Технічні характеристики ТОЛУ-10 600/5 0,5s/0,5/10P 2,5/5/10

Найменування параметра	Значення параметра
Номинальна робоча напруга [$U_{ном.ТС}$], кВ	10
Найбільша робоча напруга [$U_{max\ TC}$], кВ	12
Номинальний первинний струм [$I_{ном}$], А	600
Номинальний вторинний струм [$I_{2ном}$], А	5
Кількість вторинних обмоток:	
· для захисту	1
· для вимірювань	2
Струм термічної стійкості [$I_{терм.ТС}$], кА	36
Час протікання струму термічної стійкості, с	1
Струм динамічної стійкості [$I_{дин.ТС}$], кА	90
Номинальні вторинні навантаження, ВА:	
а) обмотки для вимірювань:	
- 0,5s	2,5
- 0,5	5
б) обмотки для захисту:	
- 10P	10

По номінальній напрузі:

$$U_{ном.ТС} \geq U_{ном.м};$$

$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ}.$$

По найбільшій робочій напрузі:

$$U_{max.ТС} \geq U_{max.м};$$

$$12 \text{ кВ} = 12 \text{ кВ}.$$

За максимальним робочим струмом:

$$I_{\max.роб.} = \frac{7000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,9} = 449,1 \text{ A}$$

$$600 \text{ A} > 449,1 \text{ A.}$$

По електродинамічній стійкості до струмів КЗ:

$$i_{y\delta} \leq I_{дин.ТС.};$$

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot I_{п0} \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right);$$

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 8,4 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,03}} \right) = 20,4 \text{ кА};$$

$$20,4 \text{ кА} < 41 \text{ кА.}$$

Узагальнені результати перевірки обраних ТС-10 кВ наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Узагальнені результати перевірки ТС-10 кВ

Розрахункові параметри	Каталожні дані
$U_{ном.м} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном.ТС} = 10 \text{ кВ}$
$U_{max.м} = 12 \text{ кВ}$	$U_{max.ТС} = 12 \text{ кВ}$
$I_{max.р} = 449,1 \text{ A}$	$I_{ном.ТС} = 600 \text{ A}$
$i_{y\delta} = 20,4 \text{ кА}$	$I_{дин.ТС} = 90 \text{ кА}$

Виберемо ТН 10 кВ.

В якості ТН-10 кВ трансформатор напруги типу НТАМИ-10 УЗ: 10/0,1/0,1.

Технічні характеристики якоко представлені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 - Технічні характеристики трансформатора напруги 10 кВ.

Найменування параметра	Значення параметра
Номинальна робоча напруга $U_{ном.ТН}, \text{кВ}$	$10:\sqrt{3}$
Найбільша робоча напруга $U_{max,ТН}, \text{кВ}$	$12:\sqrt{3}$
Номинальна частота, Гц	50
Напруга основної вторинної обмотки, В	$100:\sqrt{3}$
Напруга додаткової вторинної обмотки, В	100:3
Клас точності	0,5/6P

Перевірка ТН 10 кВ відбувається за наступними показниками:

По номінальній напрузі:

$$U_{ном.ТН} \geq U_{ном.л} ;$$

$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ} .$$

По найвищій напрузі обладнання:

$$U_{max.ТН} \geq U_{max.л} ;$$

$$12 \text{ кВ} = 12 \text{ кВ}$$

Здійснимо вибір високовольтного нелінійного обмежувача перенапруг 10 кВ.

В якості обмежувачів перенапруг обираємо апарати типу ОПНп-10/12. Їх загальні технічні характеристики представлені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики обмежувача перенапруг 10 кВ

Найменування параметра	Значення параметра
Найбільша тривало допустима робоча напруга [U _{пр. опн}], кВ	12
Номінальна напруга [U _{ном опн}], кВ	10
Струм спрацювання противибухового пристрою ОПН [I _{зах.ОПН}], кА	10
Залишкова напруга при грозовому імпульсі струму 8/20 мкс, кВ, не більше ніж: - з амплітудою 5 кА	36
Залишкова напруга при комутаційному імпульсі струму 30/60 мкс, кВ, не більше ніж: - з амплітудою 500 А	31
Клас розряду лінії	2

Виконаєм перевірку обраного обмежувача перенапруг 10.

Результати виконання перевірки обраних нелінійних обмежувачів перенапруги 10 кВ представлені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 - Узагальнені результати перевірки ОПН 10 кВ

Розрахункові значення	Каталожні дані ОПН-10/12
$U_{нр.опн} = 12 \text{ кВ}$	$U_{нр.опн} = 12 \text{ кВ}$
$U_{зал.зр} = 35,6 \text{ кВ}$	$U_{зал.зр} = 36 \text{ кВ}$
$U_{зал.к} = 29,7 \text{ кВ}$	$U_{зал.к} = 31 \text{ кВ}$
$I_{зах} = 9,2 \text{ кА}$	$I_{зах} = 10 \text{ кА}$

Проведемо розрахунок блоків фотопанелей станції.

Розрахуємо параметри блоків фотогальванічних панелей.

Згідно проекту на ФЕС встановлюються панелі типу RCM-270-6PB-4-SW_B1, параметри яких представлені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 - Параметри фотопанелей станції

Найменування показника	Значення
Максимальна потужність, Рм	270 Вт
Струм короткого замикання, Ік	9,13 А
Напруга холостого ходу, Uхх	39 В
Напруга в режимі видачі максимальної потужності, Uмп	31,18 В
Струм в режимі видачі максимальної потужності, Імп	8,66 А
Ефективність модуля (ККД)	16,5 %

На ФЕС блоки панелей будуть з'єднані послідовно по 22 шт панелей в ряді.

Електричні параметри блоків з панелей типу RCM-270-6PB-4SW_B1 потужністю 270 Вт: Рм = 5,940 кВт, Uмп = 685,96 В, Імп = 8,66 А.

Визначимо величину втрат напруги в лініях та порівняємо її з нормованою.

Втрати напруги в лініях визначаємо за наступною формулою:

$$\Delta U = I \cdot R;$$

Проведемо розрахунок втрат для найдовшої лінії сонячного кабелю PV ZZ 1x6 для блоків з фотогальванічних панелей типу RCM-270-6PB-4SW_B1 проходить між блоком Б12.2.3.6 та ящиком з'єднань ЯЗ12.2.3, та складає 120 м.

Втрати напруги для даного кабелю розраховуються таким чином:

$$\Delta R_{Б-ЯЗ} = R_{0PVZZ} \cdot I_{Б-ЯЗ} = 2 \cdot 3,39 \text{ Ом} / \text{км} \cdot 0,12 \text{ км} = 0,81 \text{ Ом};$$

$$I_{Б-ЯЗ} = 8,66 \text{ А};$$

Отже втрати напруги даної лінії живлення будуть складати:

$$\Delta U_{Б-ЯЗ} = I_{Б-ЯЗ} \cdot R_{Б-ЯЗ} = 8,66 \cdot 0,81 = 7,04 \text{ В};$$

або

$$\Delta U_{\% Б-ЯЗ} = \frac{\Delta U_{Б-ЯЗ}}{U_{\phi}} \cdot 100\% = \frac{7,04 \text{ В}}{685,96 \text{ В}} \cdot 100\% = 1,02\%;$$

Найдовша лінія кабелю АВВГ, складає 203 м (переріз КЛ 150 мм²).

Струм I на даній ділянці рівний:

$$I_{ЯЗ-інв} = 112,58 \text{ А};$$

Втрати напруги для ділянки "ЯЗ - інвертор" рівні наступній величині:

$$\Delta R_{ЯЗ-інв} = R_{АВВГ} \cdot I_{ЯЗ-інв} = 2 \cdot 0,164 \text{ Ом} / \text{км} \cdot 0,206 \text{ км} = 0,083 \text{ Ом};$$

Отже загальні втрати напруги для даної діляки будуть рівними:

$$\Delta U_{ЯЗ-інв} = I_{ЯЗ-інв} \cdot R_{ЯЗ-інв} = 112,58 \text{ А} \cdot 0,083 \text{ Ом} = 9,4 \text{ В};$$

або у відсотках:

$$\Delta U_{\% ЯЗ-інв} = \frac{\Delta U_{ЯЗ-інв}}{U_{\phi}} \cdot 100\% = \frac{9,4 \text{ В}}{685,96 \text{ В}} \cdot 100\% = 1,37\%;$$

Отже загальні втрати напруги для даної діляки будуть рівними сумі втрат усіх ділянок:

$$\Delta U_{\%} = \Delta U_{\% Б-ЯЗ} + \Delta U_{\% ЯЗ-інв} = 1,02 + 1,37 = 2,4\%;$$

Дані втрати є допустимими.

Визначимо величину очікуваного виробітку електричної енергії ФЕС протягом року.

Отримане значення річного виробітку – 13,381 млн кВт·год/рік. Згідно попереднього розрахунку в програмному комплексі PVSYST.

2.4 Розрахунок кабелю від ПС до РП 10 кВ

Передбачено будівництво двох кабельних ліній 10 кВ для передачі виробленої потужності ФЕС у розмірі 14 МВА в мережі 10 кВ ПС.

Однолінійна схема, яка є оптимальною по техніко-економічним зображена на рисунку 2.9.

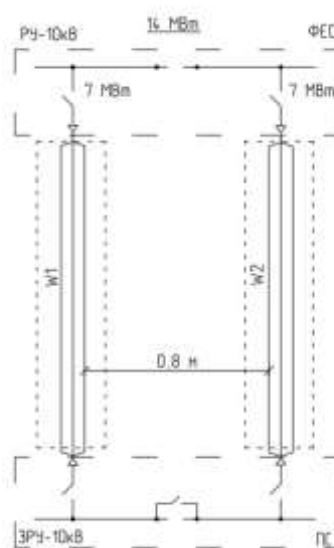


Рисунок 2.9 Структурна схема передачі потужності по КЛ

Кожна КЛ складається із трьох одножильних кабелів у ізоляції із ЗПЕ марки АПвЭгаПу-10:

Визначимо фактор навантаження для даних КЛ 10 кВ:

$$m = \frac{\sum_i P_i}{24 \cdot P_{\max}}$$

Для розрахунків використаємо прогнозні дані вироблення потужності ФЕС.

Погодинна генерація потужності ФЕС наведена в таблиці 2.12.

З таблиці визначаємо максимальну потужність в i -ту годину роботи ФЕС:

$$P_{\max} = 14000 \text{ кВт}, \text{ при } t=13:00$$

Таблиця 2.12 - Погодинна генерація потужності ФЕС

ЧЧ:ММ:РР Год	P _i , кВт
18.06.2021 1:00	0
18.06. 2021 2:00	0
18.06. 2021 3:00	0
18.06. 2021 4:00	0
18.06. 2021 5:00	413
18.06. 2021 6:00	3028
18.06. 2021 7:00	6693
18.06. 2021 8:00	10307
18.06. 2021 9:00	13439
18.06. 2021 10:00	14000
18.06. 2021 11:00	14000
18.06. 2021 12:00	14000
18.06. 2021 13:00	14000
18.06. 2021 14:00	14000
18.06. 2021 15:00	12406
18.06. 2021 16:00	9068
18.06. 2021 17:00	5386
18.06. 2021 18:00	1858
18.06. 2021 19:00	241
18.06. 2021 20:00	0
18.06. 2021 21:00	0
18.06. 2021 22: 0	00
18.06. 2021 23:00	0
19.06. 2021 00:00	0

Згідно даних таблиці 2.13, побудуємо графік погодинної генерації ФЕС в найбільш продуктивну добу.



Рисунок 2.10 – Графік генерації потужності ФЕС в продуктивну добу

З отриманих даних визначаємо фактор навантаження ФЕС:

$$m = \frac{132839}{24 \cdot 14000} = 0,395 \approx 0,4 ;$$

Приймаємо фактор навантаження рівним 0,5. Коефіцієнт згідно фактору навантаження приймаємо по рис. 1.3.1 ПУЕ:2014 та Рис. 8.14 СОУ-Н МЕВ 40.1-37471933-49:2011 рівним $Km = 1,6$.

Значення вихідних умов для проведення розрахунків наведені у таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 - Вихідні дані для розрахунків

№ з/п	Найменування параметру	Значення параметру
1.	Розрахункова температура ґрунту, °С	
	- у весняно-літній період	25
	- у осінньо-зимовий період	10
2.	Глибина прокладання кабелів в ґрунті, м	0,8 (1)
3.	Питомий тепловий опір ґрунту, К*м/Вт	1,2
4.	Найбільша робоча напруга, кВ	12
5.	Фактор навантаження	0,5
	Величина розрахункового навантаження, кВт	
6.	- на одну КЛ із трьох одножильних кабелів у <i>післяварійному режимі</i>	7000
7.	Струм трифазного короткого замикання на шинах 10 кВ ПС 110/10 кВ КА	12,021

Визначимо розрахунковий струм КЛ 10 кВ у нормальному режимі роботи:

$$I_{\text{норм.розр}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \phi},$$

$$I_{\text{норм.розр}} = \frac{14000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2 \cdot 1} = 404,15 \text{ A}$$

До даної лінії живлення приймаємо кабель із перетином алюмінієвої струмопровідної жили 400 мм^2 – по одному однофазному кабелю на одну фазу.

У таблиці 2.14 представлені нормальні умови для прокладки кабелів з ізоляцією виконаною із зшитого поліетилену напругою 10 кВ.

Таблиця 2.14 - Стандартні умови прокладання кабелів у ізоляції із зшитого поліетилену напругою 10 кВ

№ з/п	Найменування параметру	Значення параметру
1	Максимально допустима температура жили, °С	90
2	Температура повітря, °С	30
3	Глибина прокладання в землі, м	0,8
4	Питомий тепловий опір ґрунту, К*м/Вт	1,5
5	Фактор навантаження	1
6	Питомий тепловий опір керамічних труб, К*м/Вт	1,2

Виконаємо коригування тривало-допустимого струму:

$$I_{\text{трив доп}}^{\text{роз}} = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_3 \cdot \kappa_4 \cdot \kappa_6 \cdot I_{\text{тр доп}} ;$$

$$I_{\text{трив доп}}^{\text{роз}} = 0,96 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 0,83 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 470 = 659,1 \text{ А}$$

$$I_{\text{трив доп}}^{\text{роз}} \geq I_{\text{норм розр}}$$

$$659,1 \text{ А} > 404,15 \text{ А}$$

$$I_{\text{трив доп}}^{\text{роз}} = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_3 \cdot \kappa_4 \cdot \kappa_6 \cdot I_{\text{тр доп}} ;$$

$$I_{\text{трив доп}}^{\text{роз}} = 0,96 \cdot 0,97 \cdot 1,1 \cdot 0,83 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 470 = 639,3 \text{ А}$$

$$I_{\text{трив доп}}^{\text{роз}} \geq I_{\text{норм розр}}$$

$$639,3 \text{ А} > 404,15 \text{ А}$$

$$I_{\text{трив доп}}^{\text{роз}} = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_3 \cdot \kappa_4 \cdot \kappa_6 \cdot I_{\text{тр доп}} ;$$

$$I_{\text{трив доп}}^{\text{роз}} = 0,96 \cdot 0,91 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot 1,6 \cdot 470 = 614,24 \text{ А}$$

$$I_{\text{трив доп}}^{\text{роз}} \geq I_{\text{норм розр}}$$

$$614,24 \text{ А} \geq 404,15 \text{ А}$$

Отже, переріз алюмінієвих струмопровідних жил кабелю КЛ 3хАПвЭгаПу-10-1х400 за вказаних умов прокладання – достатній.

Перевірка при післяаварійному режимі роботи:

Для кабелів, прокладених у траншеї за схемою "у трикутник":

$$I_{ав.дон.} = 1,17 \cdot 639,3 = 748 A$$

$$748 A > 404,15 A$$

Для кабелів, прокладених в траншеї у трубі за схемою "у трикутник" (кожен кабель в окремій трубі):

$$I_{ав.дон.} = 1,17 \cdot 654,7 = 766 A$$

$$766 A > 404,15 A$$

За режимом короткого замикання:

$$K_T \cdot I_{КЗ.дон.} > I_{КЗроз}^{(3)} ;$$

$$K_T = \frac{1}{\sqrt{t}},$$

$$K_T = \frac{1}{\sqrt{0,3}} = 1,82;$$

$$1,82 \cdot 37,6 = 68,43 \text{ кА};$$

$$68,43 \text{ кА} > 11,479 \text{ кА};$$

Отже, обрані кабельні лінії проходять перевірку на протидію струмамКЗ..

2.5 Релейний захист схеми РП – 10 кВ

Захист приєднань та автоматика для обладнання РП-10 кВ.

Управління ввідними та лінійними вимикачами 10 кВ виконується за допомогою пристроїв захисту та автоматики РС83-АВ2.

Захисти лінійних та ввідної комірки 10 кВ РП-10 кВ.

В якості захисту лінійних, ввідних та секційної комірок 10 кВ передбачається встановлення сучасних мікропроцесорних пристроїв (далі МП) типу РС83-АВ2 виробництва фірми "РЗА-СИСТЕМЗ" з наступними функціями:

Розглянемо захисти в ТП-1...ТП-14.

Захист силових трансформаторів по стороні 10 кВ в інверторних станціях здійснюється за допомогою запобіжників типу ПКТ-103-10-100-12,5-УЗ.

Розглянемо захист та автоматику ТН-10 кВ.

РС830-В2 застосовується для організації частотного захисту проектних комірок відхідних ліній з дією на вимкнення Л-10 кВ 1С (ТП-8, ТП-11) та Л-10 кВ 2С (ТП-4, ТП- 7) відповідно.

3 АНАЛІЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОБМЕЖЕННЯМ ПОТУЖНОСТЕЙ ГЕНЕРАЦІЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

Даний розділ магістерської кваліфікаційної роботи являє собою аналіз системи керування обмеженням (СКО) генерації потужності ФЕС 14 МВА.

СКО ФЕС – призначені для здійснення обмеження генерації потужності в електричну мережу, для забезпечення балансової рівноваги потужностей електричної системи. Схема передачі даних для керування обмеженням на ФЕС представлена на рисунку 3.1.

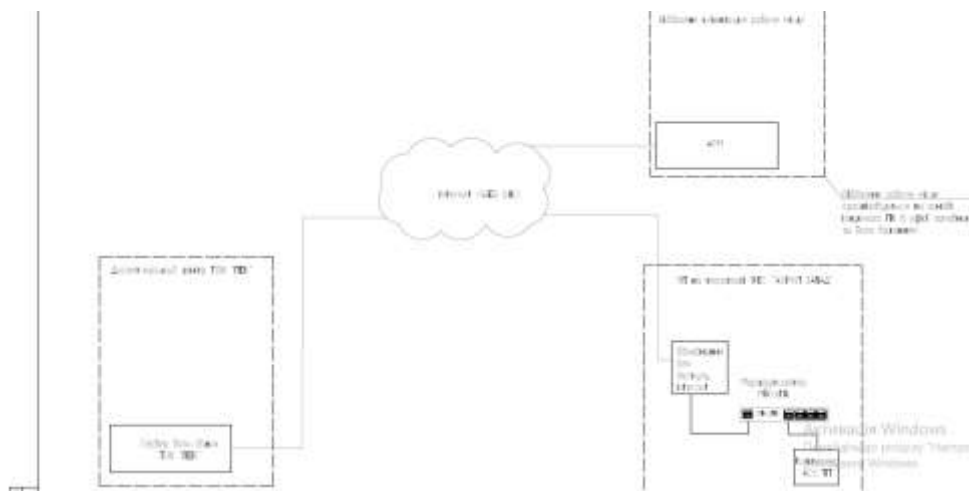


Рисунок 3.1 – Схема зв'язків між КРПЗ-10 ТП та диспетчерським пунктом

Під час розробки СКО для станцій, які будуть введені в експлуатацію замовники проекту можуть отримати такі опції як здійснення регулювання як окремого інвертора, так і об'єднаної групи так і всіх інверторів ФЕС разом. При найпростішому режимі роботи, а саме регулювання на рівні одного окремого інвертора, сам інвертор програмується слідувати за зміною режимів роботи залежно від величини яка генерується на його вихідних клеммах. Регулювання на рівні всієї ФЕС потребує допоміжного обладнання а саме центрального головного контролера за допомогою якого здійснюється регулювання величини реактивної потужності, або за допомогою напруги у вузлах приєднання потужностей підприємства до електромережі. [35].

3.1 Аналіз основного обладнання в СКО фотоелектричної станції

Акумуляторні батареї для фотоелектричних станцій це пристрої, призначені для накопичування надлишку виробленої потужності. Та віддачі накопиченого надлишку потужності в нічний час чи при похмурій погоді. Це забезпечує стабільне та безперебійне електропостачання споживачів ФЕС.

Система накопичення енергії (СНЕ) – battery energy storage system, реалізована на технології LFP (LiFePO₄), здатна за короткий проміжок часу накопичити або видати в мережу значний обсяг електроенергії рисунок 3.2.

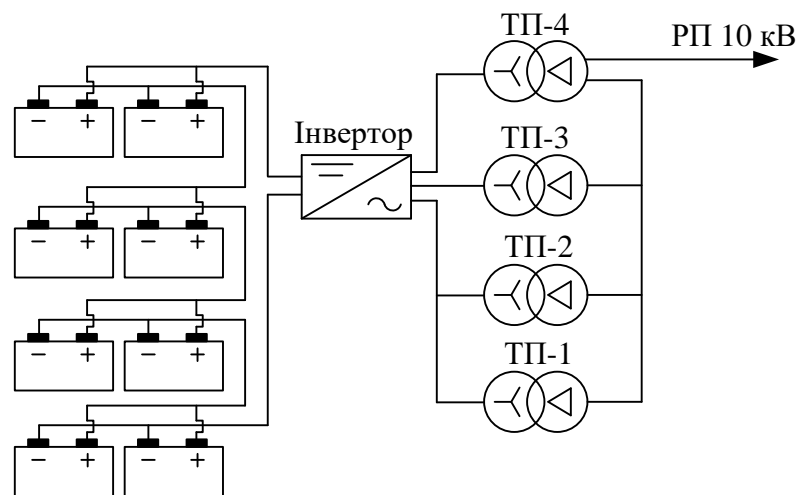


Рисунок 3.2 – Схема з'єднання акумуляторних батарей однієї із віток ФЕС

Для реалізації СНЕ на ФЕС використовуються літій-залізо-фосфатні акумуляторні батареї марки АКБ LiFePO₄ CHALLENGER LF12-200 Ah 12V 2,4 кВт у кількості 28.штук (по дві АКБ на одну ТП).

Основні технічні характеристики АКБ LiFePO₄ CHALLENGER LF12-200 Ah 12V 2,4к:

- прискорений заряд: до 90% заряду за годину;
- висока щільність та високоефективне перетворення енергії;
- стабільна робота при високих та низьких температурах;
- великий циклічний ресурс та тривалий термін служби: >2000 циклів при розряді глибиною 100%;

- інтелектуальний автоматичний захист від перезаряду, глибокого розряду та критичних температурних умов; [25].

- низька швидкість саморозряду <1,5% на місяць;

- дистанційний моніторинг та управління по інтерфейсу RS485;

- безпечні в експлуатації.

Інвертор комплектної трансформаторної підстанції КТПБ-інверторна PVCIS.1250/10/1,5 рисунок 3.3.

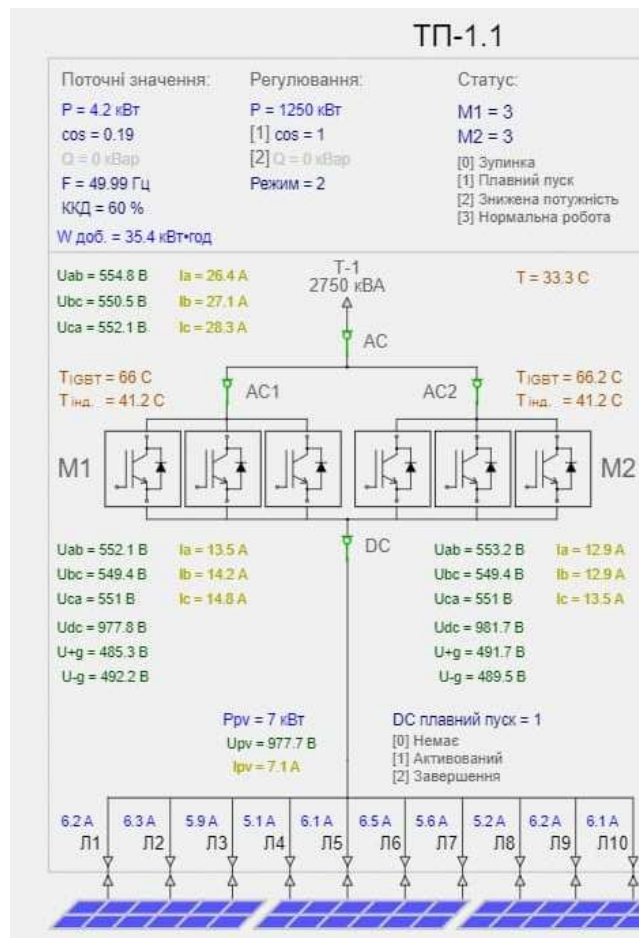


Рисунок 3.3 –Схема інвертора в нормальному режимі роботи

Інвертори нового покоління дозволяють реалізувати додаткові вбудовані функції, що дають змогу використати такі стратегії крування групою інверторів:

- точне дотримання коефіцієнта потужності на одному рівні;

- реалізацію в мережі режиму постійної величини реактивного навантаження;

- здійснити керування за допомогою зворотніх зв'язків які реагують на різницю величин напруги;

- спостереження за змінними величинами та їх динамічний моніторинг та

контроль.

За допомогою використання головного центрального контролера можливо координувати роботу як і окремих одиночних інверторів так і групи перетворюючи їх в єдиний віртуально керовани генератор. Для передавання команд між блоками СКО необхідно задіяти програму SCADA.

3.2 Алгоритми та принципи роботи СКО ФЕС

Алгоритм роботи системи крування обмеженням:

1. Подача заявки на розвантаження в програмний комплекс СКО.
2. Отримання команди на розвантаження по СКО.
3. Прийняття команди в СКО.
4. Завантаження диспетчерського журналу з СКО.
5. Виконання команди (встановлення нової уставки по активній потужності в ПК SCADA).

5.1 Виконання команди з заданим градієнтом зміни потужності, а саме 10% від встановленої потужності (пікової) за 1 хв.

6. Контроль за виконанням команд.

На рисунку 3.4 представлена спрощена схема зв'язку блоків СКО.

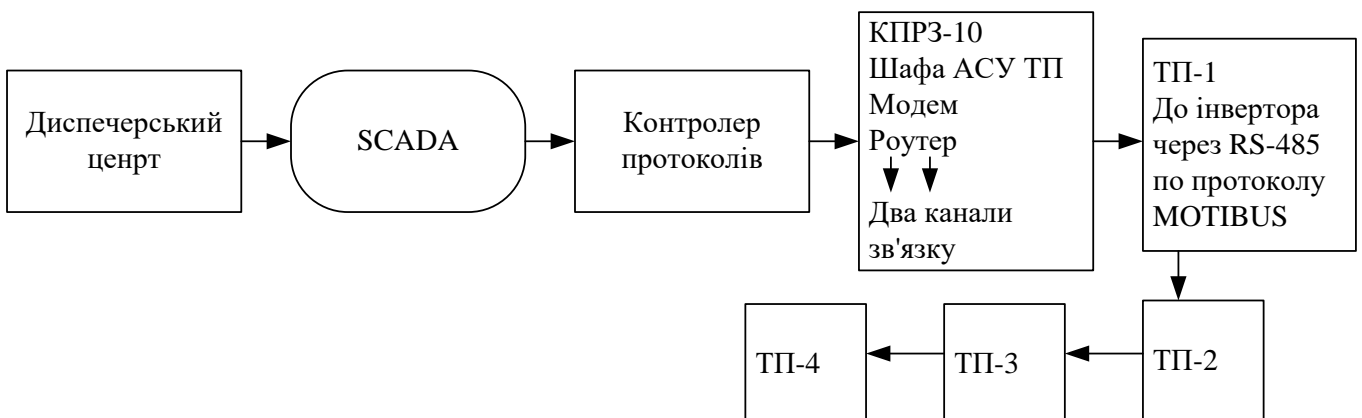


Рисунок 3.4 – Спрощена схема зв'язку блоків СКО

Типові дії диспетчерського центру системи керування:

- Отримання команд з інформацією від диспетчера;
- підтвердження або відхилення готовності виконати команду;

- подача заявок на надання послуг із зменшення навантаження.

Алгоритм виконання типових дій диспетчерським центром:

- відкрити інтерфейс Системи;
- увійти за допомогою облікового запису;
- отримати інформацію (команди);
- реагувати на рекомендовані команди (приймати чи відхиляти);
- виконати відповідні команди Диспетчера.

На рисунку 3.5 представлена діюча на ФЕС автоматизована система управління ТП В КРПЗ-10.



Рисунок 3.5 – Діюча АСУ ТП В КРПЗ-10

Диспетчерський центр оперативного-технологічного управління для здійснення своїх обов'язків, згідно з положеннями статті 68 розділу XIV закону України «Про ринок електричної енергії» оператор який слідкує за системою яка виконує передачу сигналів, може здійснювати команди для досягнення зменшення потужності генерації шляхом надання команди про відключення електропостачальним станціям АДЕ які працюють за зеленим тарифом. [17].

Якщо виникне необхідна ситуація, оператор, може застосувати обмеження об'єктів ФЕС шляхом подання необхідної команди в СКО на зменшення

навантаження за переліком, який формується автоматично.

Беручи до уваги вимогу п. 4.2.4 розділу IV Правил ринку електропостачальних компаній, ФЕС зобов'язані подавати пропозиції (заявки) на надання послуги із зменшення навантаження в обсягах, що відповідають добовому графіку відпуску електричної енергії.

Диспетчерам в пунктах СКО слід контролювати статус надходження підтвердження від об'єктів ФЕС, які функціонують на базі СКО. У разі відсутності об'єкта ФЕС, необхідно здійснити після запиту у диспетчера НЕК «Укренерго» довести необхідну команду до ОСР/об'єкта за допомогою резервного способу зв'язку.

Робота диспетчера з інтерфейсом СКО:

1. Налаштування браузера.

Для коректної роботи аудіо сповіщення про надходження команди Диспетчера необхідно дозволити сайту відтворювати звукові сигнали. У верхньому лівому кутку натисніть на значок «Перегляд інформації про сайт» () та перейдіть на сторінку налаштування сайту. Змініть значення параметру «Сигнал» на дозволити рисунок 3.6.

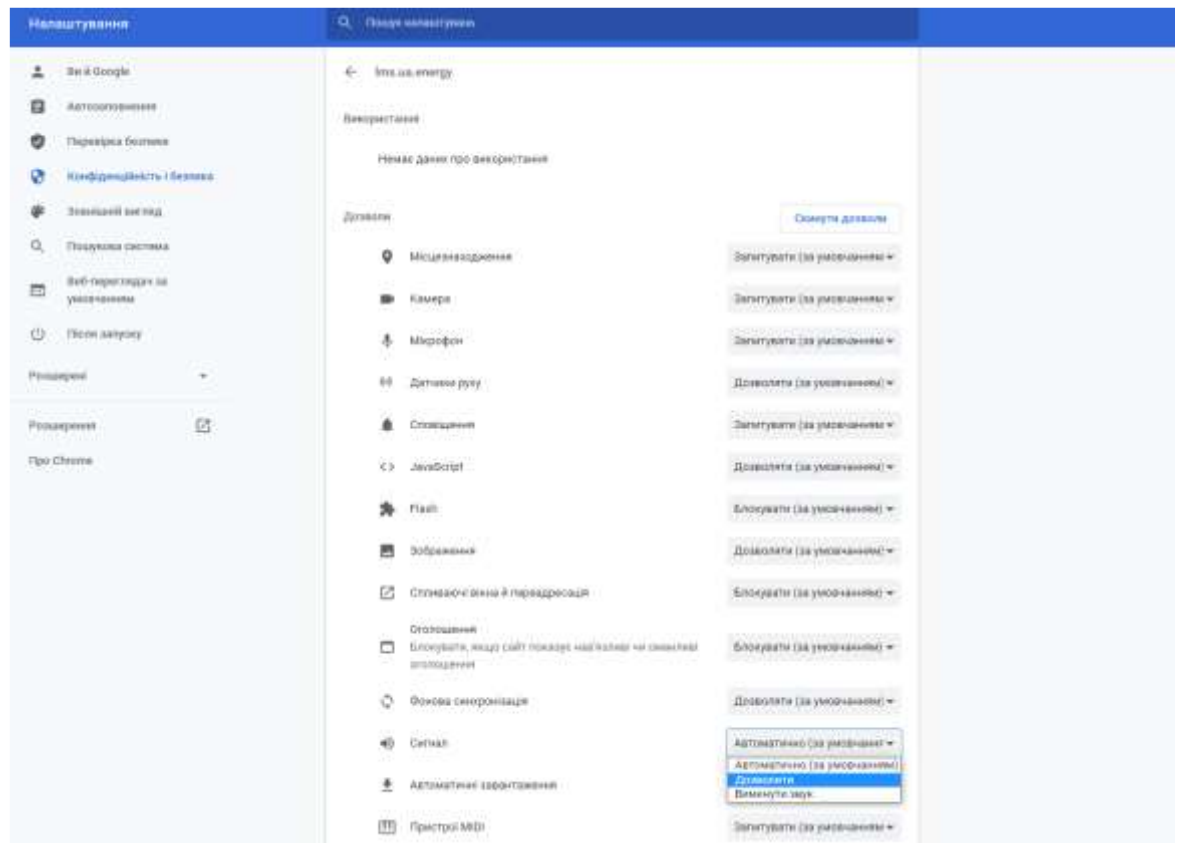


Рисунок 3.6 – Налаштування сайту роботи диспетчера СКО

2. Вхід у Систему.

Для того щоб зайти на ресурс Системи, потрібно спочатку активувати браузер (Chrome є рекомендованим). Ярлик браузера може знаходитися або на робочому столі ПК Користувача Системи, або доступний через меню Windows.

Для того щоб потрапити на web ресурс Системи, потрібно в полі пошуку браузера ввести наступну адресу <https://lms.ua.energy/>.

Щоб потрапити в Систему як Користувач, потрібно в наступній формі ввести логін (наприклад, starSPP) та пароль, що наданий НЕК «Укренерго» в процесі підключення:

3. Опис інтерфейсу Користувача Системи.

В інтерфейсі відразу після успішного входу до Системи можна побачити наступну корисну інформацію:

- різницю в часі між локальним ПК і точним годинником;
- посилання на інструкцію;
- посилання на сторінку створення заявок;

- ім'я Користувача, що виконав вхід до Системи;
- кнопка посилання на історію команд (скрол до історії, якщо багато станцій);
- кнопка перегляду списку генерацій;
- поле, в якому буде відображено нова команда;
- поле, в якому відображено поточний стан системи;
- історія команд.

На рисунку 3.7 представлено інтерфейс диспетчера СКО.

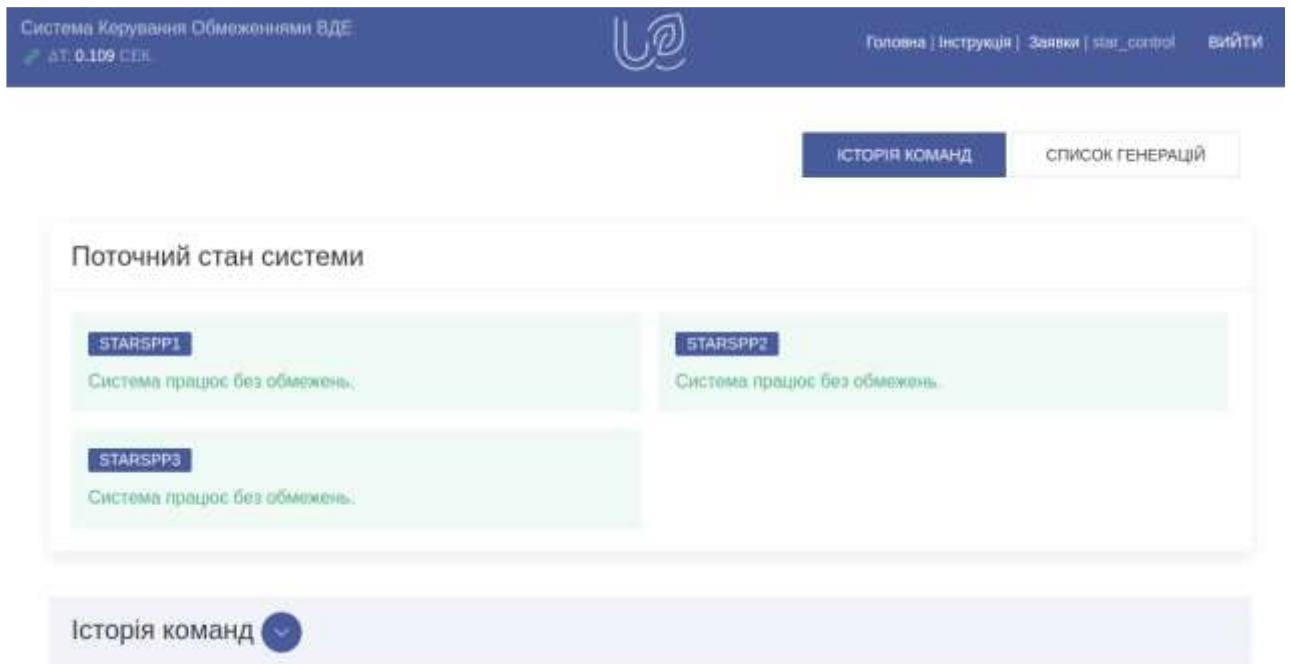


Рисунок 3.7 – Інтерфейс диспетчера СКО

Якщо натиснути кнопку «СПИСОК ГЕНЕРАЦІЙ» можна побачити наступну корисну інформацію:

- статус підписання договору (галочка якщо договір підписаний);
- назва станції;
- повна назва;
- W код;
- P ном станції в кВт.

4. Отримання команд від Диспетчера.

У разі надходження команди Диспетчера, Користувач побачить в інтерфейсі Системи інформацію представлену на рисунку 3.8.

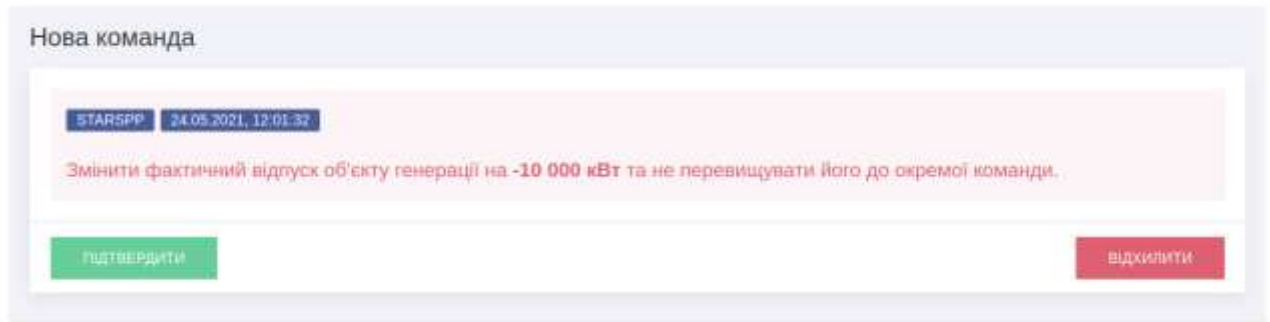


Рисунок 3.8 – Сигнал диспетчеру про обмеження величини генерації потужності ФЕС

Отже, в певний час надходить команда на зменшення/збільшення потужності в кВт. Команда діє до надходження нової команди, або до припинення дії всіх обмежуючих команд. Зміну стану системи буде супроводжуватися звуковим сигналом.

Кожну команду можна «ПРИЙНЯТИ» чи «ВІДХИЛИТИ», натиснувши відповідну кнопку. Надходження команди також супроводжується звуковим сигналом.

4.1. Підтвердження виконання команди Диспетчера.

Щоб підтвердити прийняття команди до виконання, натисніть кнопку «ПІДТВЕРДИТИ». Команда буде відображена в полі Поточний стан.

4.2. Відхилення виконання команди Диспетчера.

Якщо команду з якихось причин неможливо виконати, її можна відхилити, натиснувши кнопку «ВІДХИЛИТИ». При цьому обов'язково потрібно вказати причину відмови у відповідному полі, що з'явиться після натискання кнопки. Причину потрібно вказувати стисло, інформативно, відповідно до дійсності, українською мовою. Після опису причини, з якої було відхилено команду, натисніть кнопку «ВІДМОВИТИ», щоб продовжувати роботу з інтерфейсом Системи.

4.3. Завершення дії команди.

Після завершення дії команди з'явиться повідомлення рисунок 3.9.

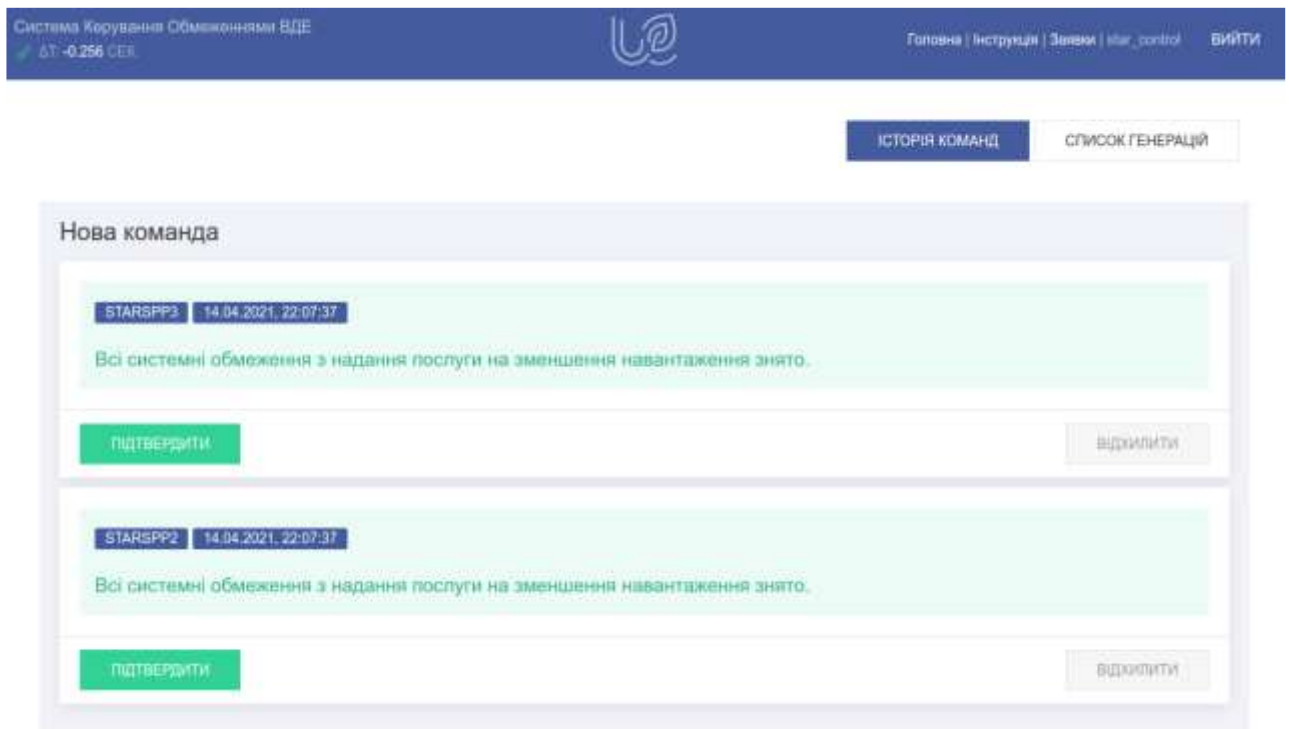


Рисунок 3.9 – Завершення дії обраної диспетчером команди

4.4. Команди з операційної безпеки.

У разі виникнення ситуацій в яких величина генерації станцій перевищує потребу споживачів то генерація потужності станціями АДЕ повинна здійснюватися на пропорційній основі договору, вигідній усім задіяним сторонам процесу вготоалення та споживання електричної енергії.

У випадку неможливості виконання такої команди необхідно натиснути кнопку «ВІДХИЛИТИ» з зазначенням причини.

5. Хронологічна історія отримання та виконання команд.

За допомогою інтерфейсу Системи можна передивитися команди отримані за минулу добу рисунок 3.10.

ЧАС	ГЕНЕРАЦІЯ	ОБМЕЖЕННЯ (кВт)	СТАТУС	КОМЕНТАР
24.02.2021, 02:48:44	STARSP1	-3 000	Прийнято	
24.02.2021, 02:43:59	STARSP1	-5 000	Прийнято	
24.02.2021, 02:36:34	STARSP1	Обмеження знято	Прийнято	
23.02.2021, 14:23:42	STARSP1	-2 000	Прийнято	

Це вся історія команд за останні 24 години.

Рисунок 3.10 – Історія виконаних команд

3.3 Оптимальний алгоритм управління заряду та розряду акумуляторних батарей

Після завершення вибору ключового обладнання необхідно вибрати оптимальний алгоритм управління схемою заряду та розряду акумуляторних батарей. На рисунку 3.11 показано блок-схему здійснення заряду акумуляторів.

На схемі прийнято такі умовні позначення для команд перемикання:

- $s = 0$ – нічого не перемикати;
- $s = 1$ – підключення до фотогальванічних перетворювачів першої батареї та відключення другої;
- $s = 2$ – підключення до фотогальванічних перетворювачів другої батареї та відключення першої;
- $s3$ – змінна на вибір акумуляторних батарей;
- $s1 = 1$ – відключення від ланцюга заряду першого акумулятора та підключення до ланцюга інвертора;
- $s2 = 2$ – відключення від ланцюга заряду другого акумулятора та підключення до ланцюга інвертора.

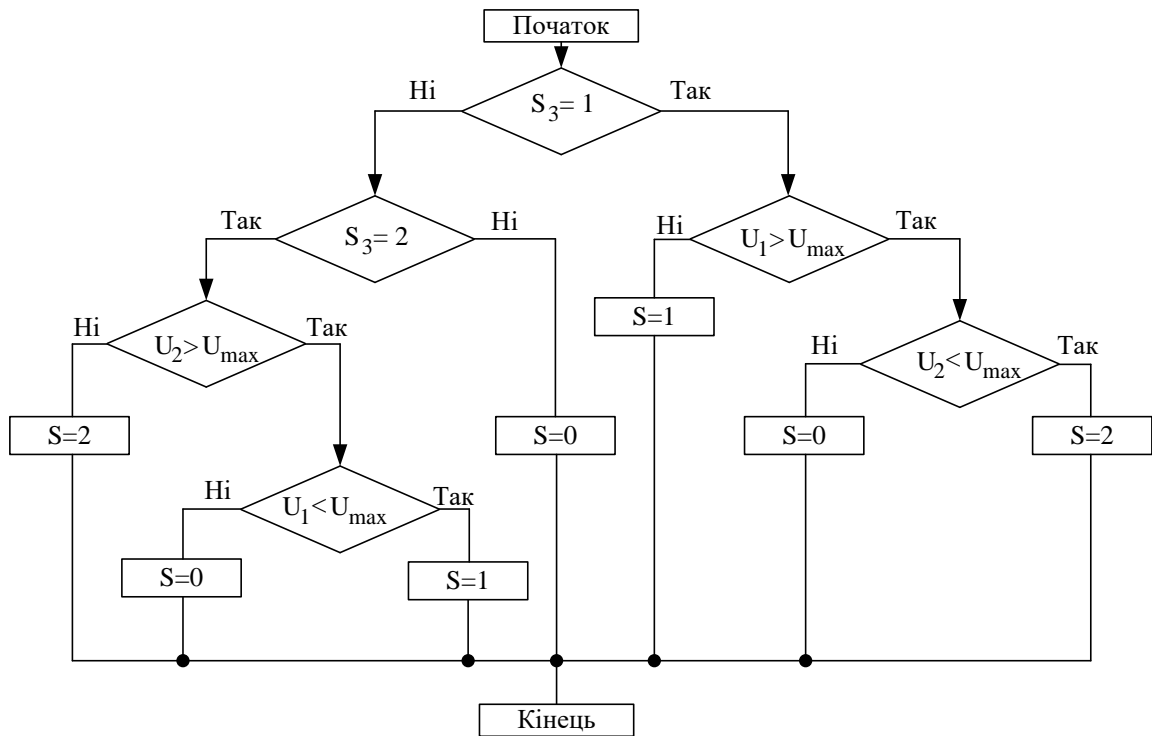


Рисунок 3.11 – Блок-схема алгоритму заряду акумуляторних батарей

Блок-схема реалізує наступний алгоритм заряду акумуляторів. Змінною $S3$ встановлюється акумуляторна батарея, яка буде підключена до інвертора. Якщо $S3$ приймає значення, що дорівнює одиниці, то на першому акумуляторі перевіряється вихідна напруга. Якщо вона перевищує деяке максимальне значення, що свідчить про повний заряд акумуляторної батареї, перший акумулятор відключається від ланцюга заряду.

Для цього змінну $S1$ записується число 1, яке передається на інверсний дискретний вихід інвертора з ПЛК. Якщо напруга на першому акумуляторі менша за максимальне значення, то перевіряється ступінь розряду другого акумулятора. Якщо другий акумулятор розряджений, він підключається до схеми заряду, і інвертор з ПЛК переходить на наступний цикл роботи. В іншому випадку, жодних змін у схемах перемикачів не відбувається. Інша гілка алгоритму працює у випадку, якщо змінної $S3$ у програмі присвоєно значення 2. В іншому випадку, якщо змінна $S3$ має якийсь інше значення, то жодних змін у схемах перемикачів не відбувається. Далі перевіряється рівень заряду другого акумулятора. При достатньому рівні заряду відбувається відключення акумулятора №2 від ланцюга фотогальванічних елементів. Далі, якщо напруга першого акумулятора нижче деякого зумовленого

мінімального значення, що говорить про його розряд, він підключається до схеми заряду від сонячних батарей. В іншому випадку, якщо заряд цього акумулятора достатній, жодних перемикачів не відбувається. [29].

ПЛК вимикає зарядку, не замикаючи ланцюг сонячних модулів. При його використанні можна досягти 100% рівня заряду акумуляторної батареї. Цей процес здійснюється у 4 етапи, які виконуються залежно від рівня заряду акумуляторної батареї в автоматичному режимі рисунок 3.12.

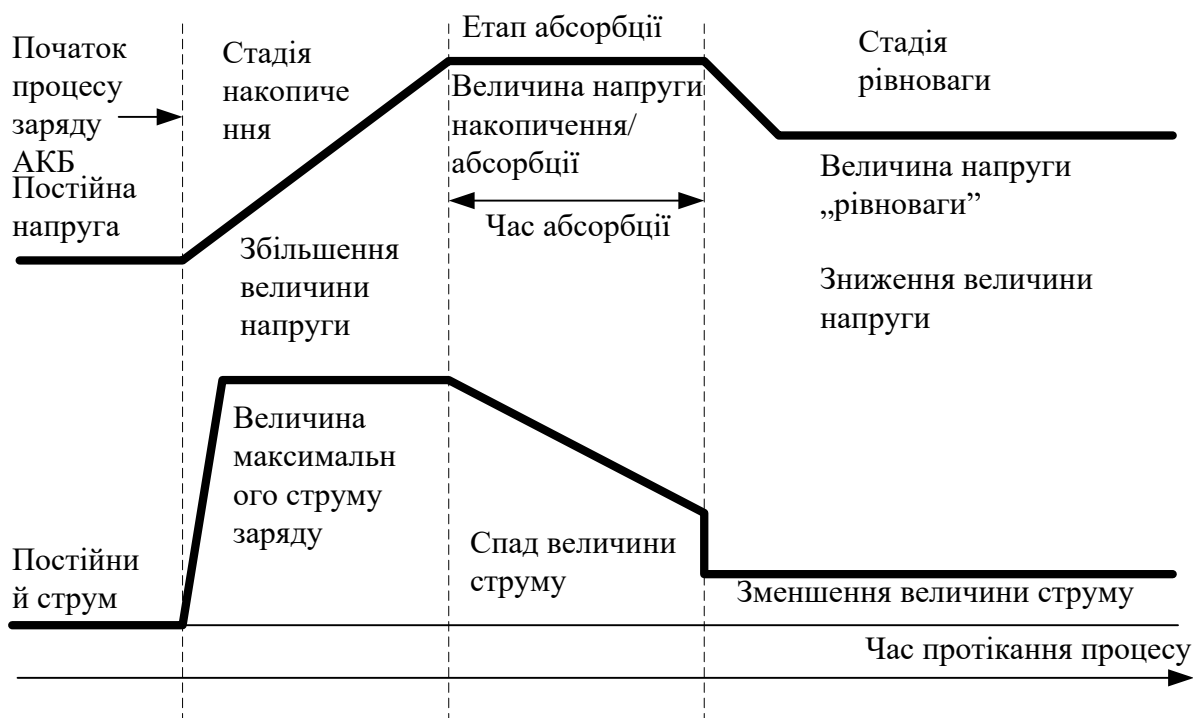


Рисунок 3.12 – Заряд АКБ за алгоритмом

Після досягнення певного значення напруги на акумуляторній батареї, ПЛК починає поступово знижувати струм заряду, щоб запобігти перегріву, спалаху або закипанню акумуляторів, в той час як заряд батареї продовжується для досягнення максимального заряду. До того ж, час заряду скорочується. Результат - ККД процесу заряду збільшується, більш повно та швидко заряджена батарея.

Висновки.

Дана частина МКР була присвячена аналізу системи керування обмеженням потужності генерації фотоелектричної станції.

Розглянуто та обрано основне обладнання для роботи ФЕС яке впливає на

оптимальність роботи СКО.

Розглянуто алгоритм та принципи роботи СКО, а також алгоритми виконання СКО диспетчерським пунктом.

Проаналізовано оптимальний алгоритм управління заряду та розряду акумуляторних батарей ФЕС.

Використання сучасного обладнання на ФЕС дозволяє значною мірою уточнити його характеристики щодо стійкості до електромагнітних перешкод, створюваних ключами інвертора та імпульсними струмами навантаження, забезпечити високу точність вимірювань, стабільність характеристик, забезпечує досягнення електротехнічних параметрів відповідно до вимог, реалізує розширені користувальницькі функції.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

4.1 Техніко-економічне обґрунтування роботи

Суть техніко-економічного обґрунтування проекту полягає в проведенні попередніх техніко економічних розрахунків, які підтверджуються доцільність капіталовкладень в даний енергетичний об'єкт [22].

Визначаємо величину капіталовкладень в ФЕС як суму вартості усіх її ключових елементів. Необхідні для спорудження елементи заносимо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вартість спорудження ФЕС

Назва елементу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн.	Загальна ціна, тис.грн.
КТПБ-інверторна PVCIS.1250/10/1,5	14	16 450	230,3
Сонячні модулі (панелі) потужністю 270 Вт RCM-270-6PB-4-SW_B1	44 500	3 500	155 750,0
КБ LiFePO4 CHALLENGER LF12-200 Ah 12V 2,4 кВт	28	28900	809,2
Матеріали (згідно договорів)			2 920,690
Монтажні роботи (згідно договорів)			6 935,110
Загальні капіталовкладення в ФЕС			166 645,3

Згідно прийнятого бюджету ФЕС запланований корисний відпуск електричної енергії ($S_{фес}$)– 12,015 МВт·год/рік. Величина чистого прибутку від продажу станцією електричної енергії по зеленому тарифі буде становити:

$$B = S_{фес} \cdot C_{зел} \cdot \quad (4.1)$$

де $C_{зел}$ – «зелений тариф» станом на 2021 р.

$$B = 12,015 \cdot 5,7 = 68,49 \text{ (млн.грн. / рік);}$$

4.2 Методика визначення оптимальних параметрів ФЕС

Методика визначення оптимальних параметрів ФЕС базується на цільовій функції економічної ефективності ФЕС:

$$E(\sum P_{\text{мод}}) \rightarrow \max. \quad (4.2)$$

де E – економічний ефект від впровадження сонячних модулів, грн;

$\sum P_{\text{мод}}$ – сумарна потужність ФЕС.

Визначення сумарної потужності ФЕС базується на аналізі вихідної потужності окремого модуля та параметрів, які на неї впливають.

Потужність окремого модуля визначається за виразом [2]

$$P_{\text{мод}} = I_{\text{опт}} \cdot S_{\text{еф}} \cdot \eta \cdot k_T \cdot k \cdot \cos \alpha. \quad (4.3)$$

де $I_{\text{опт}}$ – інтенсивність оптичної потужності сонця, Вт/м²;

$S_{\text{еф}}$ – ефективна площа поверхні модуля, м²;

η – ККД перетворення сонячної енергії в електричну, в.о.;

k_T – температурний коефіцієнт, в.о. (в [2] зазначено, що цей коефіцієнт можна приймати влітку, рівним 0,5 і взимку, рівним 0,7);

k – коефіцієнт поглинання, в.о.;

α – кут між сонячними променями і нормаллю, що проходить через центр модуля.

Враховуючи, що добуток складових

$$I_{\text{опт}} \cdot S_{\text{еф}} \cdot \eta \cdot k_T \cdot k \approx P_{\text{ном}}. \quad (4.4)$$

де $P_{\text{ном}}$ – значення номінальної потужності сонячного модуля, вираз (3.2) може бути записано у вигляді:

$$P_{\text{мод}} = P_{\text{ном}} \cdot \cos \alpha. \quad (4.5)$$

Однак, практичне використання цього виразу дає точний результат за умови, коли сонце розташоване по відношенню до модуля так, що через його центр умовно можна провести площину, яка перпендикулярна поверхні модуля і проходить через його центр (рисунок 4.1).

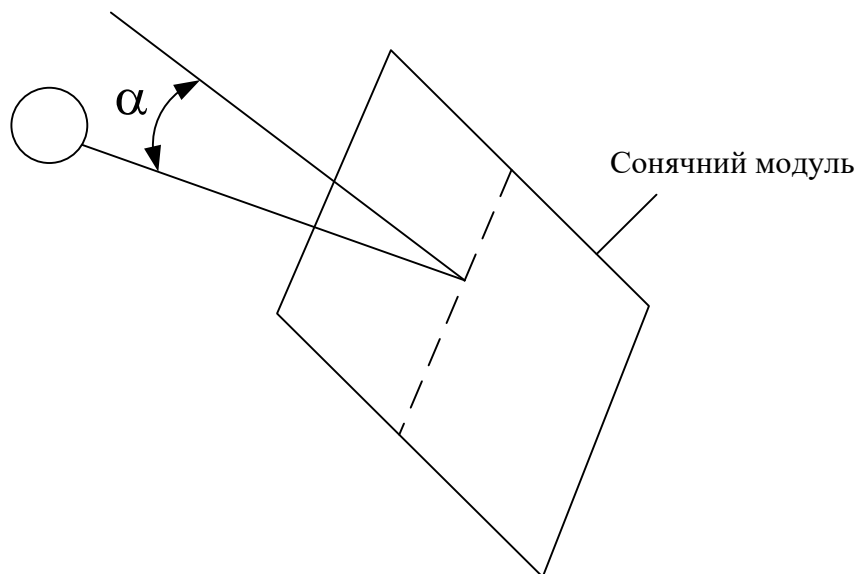


Рисунок 4.1 – Ілюстрація кута α

За реальних умов, коли панелі модулів нерухомі, необхідно врахувати ще азимутальний кут δ [14] (рисунок 4.2)

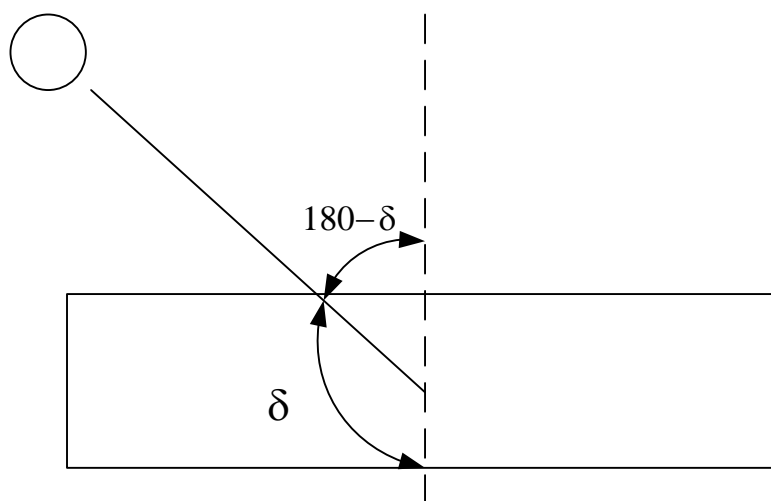


Рисунок 4.2 – Ілюстрація азимутального кута δ

З врахуванням останнього, вираз (4.4) для визначення потужності модуля набуде вигляду

$$P_{\text{мод}} = P_{\text{ном}} \cdot \cos \alpha \cdot \cos(180 - \delta). \quad (4.6)$$

Оскільки модулі другого та інших дальших рядів можуть бути затінені сонцем при певному його куті стояння, то варто враховувати частку їх затінення, щоб визначити ту частину енергії, яка буде вироблятися незатіненою часткою модулів. Для визначення частки незатінення панелей необхідно скористатися геометричними параметрами сонячної установки (рисунок 4.3)

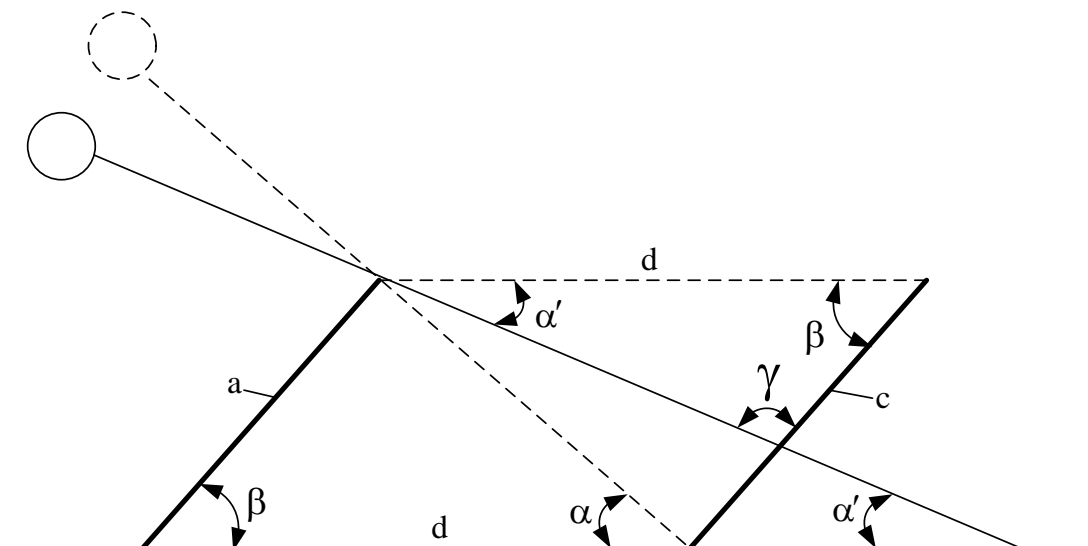


Рисунок 4.3 – Визначення частки незатінення модуля другого ряду

На рисунку 4.3 введено такі позначення:

a – довжина сонячного модуля, м;

α – кут сонцестояння, коли сонячні промені співпадають з напрямом нормалі до сонячного модуля, $^{\circ}$;

β – кут між сонячною панеллю і горизонтальною поверхнею, $^{\circ}$, причому

$$\beta = 90 - \alpha. \quad (4.7)$$

d – відстань між сонячними модулями [14], м,

$$d = \frac{a}{\cos\beta}. \quad (4.8)$$

α' – кут сонцестояння в заданий час, °;

γ – кут, що дорівнює

$$\gamma = 180 - \alpha' - \beta. \quad (4.9)$$

c – частка незатінення, м., яка визначається за теоремою синусів

$$\frac{d}{\sin\gamma} = \frac{c}{\sin\alpha'} \Rightarrow c = d \frac{\sin\alpha'}{\sin\gamma}. \quad (4.10)$$

Враховуючи (4.5) і (4.9), потужності модулів другого ($P_{\text{мод}2}$) і наступного рядів, що розташовані під кутом, як і перший ряд, можуть бути визначені за формулою

$$P_{\text{мод}2} = P_{\text{ном}} \cdot \cos(\alpha - \alpha') \cdot \cos(180 - \delta) \cdot \frac{c}{a} = P_{\text{мод}1} \cdot \frac{c}{a}. \quad (4.11)$$

Для визначення кута сонцестояння в заданий час α' та азимутального кута δ можна скористатися інструментом NOAA Solar Calculator «Сонячний калькулятор»[15], який знаходиться у вільному доступі.

Розрахунок виробленої електроенергії за добу можна здійснити, сумуючи значення годинних обсягів виробленої електроенергії модулями (що еквівалентні значенню середньої потужності модуля за годину) за період від сходу сонця до заходу за виразом

$$W_{\text{доб}} = \sum_{\alpha'_{t=\text{сх}}, \beta_{t=\text{сх}}}^{\alpha'_{t=\text{зах}}, \beta_{t=\text{зах}}} (N \cdot P_{\text{мод}1}(\alpha, \alpha', \delta) + N \cdot M \cdot P_{\text{мод}2}(\alpha, \alpha', \delta)). \quad (4.12)$$

де $\alpha'_{t=\text{сх}}$ – кут сонцестояння в першу годину після його сходу, °;

$\alpha'_{t=t_{3ax}}$ – кут сонцестояння в останню годину перед його заходом, °;

$\beta_{t=t_{cx}}$ – азимутальний кут сонця в першу годину після його сходу, °;

$\beta_{t=t_{3ax}}$ – азимутальний кут сонця в останню годину перед його заходом, °;

N – кількість модулів в ряд, шт.;

M – кількість рядів модулів, не рахуючи першого, шт., яку можна визначити, завдяки розрахованій відстані d між сонячними модулями.

Якщо стоїть задача максимального заповнення даху сонячними панелями, то кількість рядів

$$M = \text{Округл.мени.}\left(\frac{\text{III}}{d}\right) + 1. \quad (4.13)$$

тут – $\text{Округл.мени.}\left(\frac{\text{III}}{d}\right)$ – округлення частки $\frac{\text{III}}{d}$ до меншого цілого, де III – ширина даху, м.

Під час розрахунків необхідно враховувати, що формула (4.11) ефективна до використання за ясної погоди і температурного режиму, який забезпечує отримання номінальної потужності модулем за умов направлення панелі безпосередньо в сторону сонця. За інших умов необхідно вводити поправки на температурний режим і хмарність. В такому випадку вираз (4.11) набуде вигляду

$$W_{\text{доб}} = \sum_{\alpha'_{t=t_{3ax}}, \beta_{t=t_{3ax}}}^{\alpha'_{t=t_{cx}}, \beta_{t=t_{cx}}} (N \cdot P_{\text{мод}1}(\alpha, \alpha', \delta) + N \cdot M \cdot P_{\text{мод}2}(\alpha, \alpha', \delta)) \cdot k_{Tt} \cdot k_{XMt}. \quad (4.14)$$

де k_{Tt} – поправочний коефіцієнт за умов відхилення потужності від номінального значення за умов зміни температури навколишнього середовища, в.о. (дані виробників модулів);

k_{XMt} – поправочний коефіцієнт за умов відхилення потужності від номінального значення за умов хмарної погоди (може досягати 0,06-0,08 [26]);

Отже, визначаючи параметри сонцестояння та оптимізуючи кут нахилу модулів, а також відстань між ними, можна досягти максимальної економічної ефективності фотоелектричної станції (4.1).

Вихідні дані:

Сумарна площа зем діл: $S = 150\,000 \text{ м}^2$;

Потужність фотоелектричного модуля: $P_{\text{мод}} = 270 \text{ (Вт)}$;

Довжина модуля: $A_{\text{мод}} = 1,65 \text{ (м)}$;

Ширина модуля: $B_{\text{мод}} = 0,992 \text{ (м)}$;

Коефіцієнт використання площі землі: $k=0,8$;

Середньорічна сонячна інсоляція: $W_{\text{інсол,с.р}} = 3,11 \text{ (кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \cdot \text{день)}$);

Питома вартість СЕС "під ключ": $S_{\text{пит.СЕС. кл}} = 30000 \text{ (грн)}$;

Вартість електроенергії по зеленому тарифу: $C_W = 4,401 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$;

Податкові відрахування: $P_{\text{відр}} = 0,4 \text{ (грн)}$.

Розрахунок:

Площа модуля відповідно до (4.14):

$$S_{\text{мод}} = B_{\text{мод}} \cdot A_{\text{мод}} = 0,992 \cdot 1,65 = 1,67 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Середньодобовий обсяг виробленої електроенергії модулем відповідно:

$$W_{\text{сер.доб.мод}} = P_{\text{мод}} \cdot W_{\text{інсол,с.р}} \cdot 10^{-3} = 270 \cdot 3,11 \cdot 10^{-3} = 0,84 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Термін окупності панелей

Термін окупності (paybackperiod method – PP) – один з найчастіше вживаних показників для аналізу інвестиційних проектів.

Термін окупності – мінімальний часовий інтервал (від початку здійснення проекту), за межами якого інтегральний ефект стає і залишається позитивним.

Іншими словами, це – період (вимірюваний в місяцях, кварталах або роках), починаючи з якого первинні вкладення та інші витрати, пов'язані з інвестиційним проектом, покриваються сумарними доходами від його здійснення.

Термін окупності рекомендується визначати з урахуванням з врахуванням дисконтування.

Якщо не враховувати фактор часу, тобто коли рівні суми доходу, що отримуються в різний час, розглядаються як рівноцінні, то Показник терміну окупності можна визначити за формулою:

$$PP = \frac{C_{\Pi}}{B}. \quad (4.15)$$

де C_{Π} - Загальні капіталовкладення в ФЕС:

$$PP = \frac{166645,3}{68490} = 2,43 \text{ (роки)}.$$

Для інвестицій даного розміру термін окупності менше 5 років вважається досить прибутковим капіталовкладенням.

Як видно з п.4.2 термін окупності складає 2,43 роки, отже дана ФЕС прибуткове капіталовкладення.

Також було розглянуто методику визначення оптимальних параметрів ФЕС та розраховано середньодобвий обсяг виробленої електроенергії модулем, що складає 0,84 кВт*год.

Загальні капіталовкладення в ФЕС склали 166 645,3 тис. грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У випускній магістерській кваліфікаційній роботі розробляється система керування обмеженням потужності генерації фотоелектричної станції.

На електротехнічний персонал підприємства, що виконує ці роботи, впливає комплекс небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Тому важливо розглянути питання з охорони праці, що передбачають заходи щодо їхнього виявлення, розроблення заходів зі зниження їхнього впливу, з промислової безпеки, з цивільного захисту, а також зі створення безпечних та нешкідливих умов праці робітників.

Згідно ГОСТ 12.003-74, на оперативний електротехнічний персонал підприємства впливають наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

фізичні:

- рухомі машини і механізми;
- вироби, заготовки, матеріали, що пересуваються;
- незахищені рухомі елементи виробничого обладнання;
- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена рухливість повітря;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- підвищена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- недостатня освітленість робочої зони;
- недостатність природного освітлення;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може

відбутися через тіло людини;

- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- гострі кромки, задирки та шорсткість на поверхнях заготовок,

інструментів та обладнання.

психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово–психічні перевантаження (монотонність праці, емоційні перевантаження, перенапруга аналізаторів).

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання

5.1.1 Вимоги до організації робочих місць оперативного персоналу

Організація робочого місця користувача ПК має відповідати ергономічним вимогам ГОСТ 12.2.032. ССБТ. “Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования”, ДНАОП 0.00-1.31-99, ДСан Пін 3.3.2.007-98, характеру та особливостям трудової діяльності.

Площа одного робочого місця користувача ПК повинна складати не менше 6 м², а об’єм – не менше 20 м³.

Конструкція робочого місця користувача ПК повинна відповідати сучасним вимогам ергономіки, характеру виконуваної роботи і забезпечити оптимальне розміщення на робочій поверхні документів, рухомого пюпітра (тримача документів) та обладнання ПК (монітора, системного блоку, клавіатури, пристрою “миша”, принтера та інших периферійних пристроїв з урахуванням їх кількості та конструктивних особливостей (мал.6).

Монітор на робочому місці встановлюється так, щоб верхній край екрана знаходився на рівні очей.

Розташування монітора ПК має забезпечувати: безпечність роботи в цілому; зручність та ефективність зорової роботи з екраном в вертикальній площині під кутом $\pm 30^{\circ}$ від лінії зору, площа екрана при цьому має бути перпендикулярною нормальній лінії зору користувача.

Клавіатура розміщується на поверхні столу або висувній полиці на відстані 100-300мм від краю, ближчого до користувача. Кут нахилу клавіатури має бути в межах 5-15⁰. Поверхня клавіатури повинна бути матовою з коефіцієнтом відбиття 0,4. Клавiші клавіатури мають бути зручними в роботі і м’якими при натисканні (хід всіх клавiш має бути однаковим з мінімальним опором натискання 0,25Н та максимальним – не більше 1,5Н).

Оптимальна робоча поза:

- ступні ніг – на підлозі або на підставці для ніг (застосування підставки є обов'язковим для тих, у кого ноги не дістають до підлоги, коли робоче сидіння знаходиться на висоті, потрібній для забезпечення оптимальної робочої пози);
- стегна – в горизонтальній площині;
- передпліччя – вертикально;
- лікті – під кутом 70-90⁰ до вертикальної площини;
- зап'ястя зігнуті під кутом не більше 20⁰ відносно горизонтальної площини;
- нахил голови – 15-20⁰ відносно вертикальної площини.

Робочий стіл, крісло і інші елементи обладнання робочого місця повинні бути зручними для вас. Так, наприклад, незручне крісло в якому ви сидите багато годин на день, може призвести до розвитку самих різних захворювань.

Глибина на рівні колін не менше 450, а на рівні витягнутої ноги – не менше 650.

Висота поверхні сидіння робочого крісла має регулюватися в межах 400-500 мм, а кут нахилу поверхні – від 15⁰ вперед і до 5⁰ назад.

При виконанні великого обсягу роботи кращим варіантом (для хребта) буде, якщо сидіння буде трошки нахилене вперед.

Кут нахилу спинки крісла повинен регулюватися в межах 0-30⁰ відносно вертикального положення. Відстань від спинки до переднього краю сидіння повинна регулюватися в межах 260-400 мм.

Для зниження статичного напруження м'язів рук доцільно застосовувати стаціонарні або знімні підлокітники, що регулюються по висоті над сидінням в межах 230 ± 30 мм та по відстані між підлокітниками в межах 350-500 мм.

Поверхня сидіння і спинки робочого крісла має бути напівм'якою з нековзким та повітронепроникним покриттям, що неелектризується та добре чиститься.

Підставка для ніг має бути регульованою по висоті в межах 150 мм, з кутом нахилу опорної поверхні в межах 20⁰. Її розміри: ширина – не менше 300мм,

глибина – не менше 400 мм. Підставка повинна мати не слизьку поверхню та бортик на передньому краї заввишки 10 мм.

Робоче місце користувача ПК необхідно розташовувати відносно світлових прорізів (вікон) так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва.

5.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмовідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізолювані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;
- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;
- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал

зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

Обладнання повинно бути надійно заземлене. Справність і опір контуру заземлення один раз на рік перевіряється.

Всі обертові частини механізму повинні мати добре закріплену огорожу. Забороняється виконувати всі види ремонту під час роботи установки.

Для надання першої медичної допомоги при нещасних випадках повинна бути аптечка з набором необхідних перев'язочних матеріалів та медикаментів.

Електрифікований інструмент за умовами безпеки поділяється на такі класи:

I – електроінструмент, у якого всі деталі, що перебувають під напругою, ізольовані і штепсельна вилка має заземлювальний контакт. У електроінструмента класу I всі деталі, що перебувають під напругою, можуть бути з основною, а окремі деталі – з подвійною або посиленою ізоляцією;

II – електроінструмент, у якого всі деталі, що перебувають під напругою, мають подвійну або посилену ізоляцію, Цей електроінструмент не має пристроїв для заземлення. Номінальна напруга для електроінструмента класів I і II має бути не більше 220 В для електроінструмента постійного струму; 380 В – для електроінструмента змінного струму;

III – електроінструмент на номінальну напругу не вище 42 В, у якого ні внутрішні, ні зовнішні кола не перебувають під іншою напругою. Електроінструмент класу III призначений для живлення від безпечної наднизької напруги.

Якщо безпечну наднизьку напругу одержують перетворенням вищої напруги, то це слід здійснювати за допомогою безпечного ізолювального трансформатора, далі за текстом – "розподільчий трансформатор безпеки", або перетворювача з окремими обмотками. Електроінструмент, який живиться від електромережі, слід обладнувати незнімним гнучким кабелем (шнуром) зі штепсельною вилкою. Незнімний гнучкий кабель електроінструмента класу I повинен мати жилу, яка з'єднує заземлювальний затискач електроінструмента із заземлювальним контактом штепсельної вилки.

Кабель в місці введення до електроінструмента класу I слід захищати від стирань і перегинів еластичною трубкою з ізоляційного матеріалу. Трубку слід закріплювати в корпусних деталях електроінструмента, вона повинна виступати з них на довжину не менше п'яти діаметрів кабелю. Закріплення трубки на кабелі поза інструментом забороняється.

Для приєднання однофазного електроінструмента шланговий кабель повинен мати три жили: дві – для живлення, одну – для заземлення.

Для приєднання трифазного електроінструмента застосовується чотирижильний кабель, одна жила якого слугує для заземлення.

Ці вимоги стосуються тільки електроінструмента із таким корпусом, який слід заземлювати.

Доступні для доторкання металеві деталі електроінструмента класу I, які можуть опинитись під напругою, у випадку пошкодження ізоляції, повинні бути з'єднані із заземлювальним затискачем.

Електроінструмент класів II і III не заземлюють.

Заземлення корпусу електроінструмента слід здійснювати спеціальною жилою живильного кабелю, яка не може одночасно бути провідником робочого струму. Використовувати з цією метою нульовий робочий провід забороняється.

Штепсельна вилка повинна мати відповідну кількість робочих і один заземлювальний контакт. Конструкція вилки повинна забезпечувати випереджальне замикання заземлювального контакту під час ввімкнення та більш запізнене розмикання його під час вимикання.

Конструкція штепсельних вилок електроінструмента класу III повинна унеможливити з'єднання їх з розетками на напругу понад 42 В.

Працівники, допущені до роботи з електроінструментом, повинні спочатку пройти навчання і перевірку знань щодо безпечного виконання робіт з застосуванням електроінструменту.

До роботи з електроінструментом класу I в приміщеннях з підвищеною небезпекою та поза приміщеннями допускаються працівники з II групою електробезпеки.

До роботи з електроінструментом II і III класу достатньо I групи з електробезпеки.

У електроінструмента класу I, крім того, має бути перевірена справність кола заземлення між його корпусом і заземлювальним контактом штепсельної вилки. Працівнику мають бути видані засоби індивідуального захисту (діелектричні рукавички, калоші, килими) або розподільчий трансформатор, чи перетворювач із окремими обмотками, чи захисно вимикальне устаткування.

Забороняється видавати для роботи електроінструмент, який не відповідає хоча б одній із перелічених вимог або електроінструмент з просроченою датою періодичної чергової перевірки. [4].

У приміщеннях без підвищеної небезпеки ураження працівників електричним струмом достатньо застосувати діелектричні рукавиці, а в приміщеннях зі струмопровідними підлогами – також і діелектричні калоші або килими.

Електроінструментом класів II і III дозволяється працювати без застосування індивідуальних засобів захисту в приміщеннях без підвищеної небезпеки ураження працівників електричним струмом.

У посудинах, апаратах та інших металевих спорудах в умовах обмеженої можливості переміщення і виходу з них дозволяється працювати електроінструмен-

том класів I і II за умови, якщо тільки один електроінструмент одержує живлення від автономної двигун-генераторної установки, розподільчого трансформатора безпеки або перетворювача частоти із роздільними обмотками, а також електроінструментом класу III. В цьому разі джерело живлення (трансформатор, перетворювач тощо) слід розміщувати поза вказаними посудинами, а вторинне коло джерела не слід заземлювати. [17].

Забороняється підключати електроінструмент напругою до 12 В до електричної мережі загального користування через автотрансформатор, резистор або потенціометр.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат приміщення – це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні.

Параметри мікроклімату характеризуються такими показниками: температурою повітря і відносною вологістю повітря, швидкістю його переміщення, потужністю теплових випромінювань. При цьому слід розрізняти оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови.

Допустимі мікрокліматичні умови – поєднання кількісних показників мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливові на людину можуть викликати скороминучі зміни, що швидко нормалізують тепловий стан організму, і які супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції, не виходячи за межі фізіологічних пристосувальних можливостей. При цьому виникає пошкодження або порушення стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності.

Допустимі величини показників мікроклімату встановлюють тоді, коли за технологічними умовами, технічними і економічними причинами не забезпечуються оптимальні норми.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Робота оператора силової установки відноситься до легкої фізичної роботи категорія Іа, бо оперативний персонал практично весь свій робочий день проводить сидячи. Параметри мікроклімату наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Іа	22-28	55 при 28°С	0,1-0,2
Холодний	Іа	21-25	75 при 25°С	Не більше 0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оперативного персоналу передбачається:

- в холодну пору року – використання калорифера;
- в літню пору – застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 5.2., а іонного складу – в таблиці 5.3.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони оперативного персоналу

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Вуглецю оксид (СО)	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Таблиця 5.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ВДТ та ПЕОМ (відповідно до СН 2152-80)

Рівні	Кількість іонів в 1 см куб. повітря	
	n ⁺	n ⁻
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально допустимі	50000	50000

Для підтримки допустимих значень мікроклімату та концентрації позитивних та негативних іонів необхідно передбачати установки або прилади зволоження та/або штучної іонізації, кондиціювання повітря.

5.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення

В залежності від джерела світла промислове освітлення поділяється на: природне освітлення – освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке проникає в приміщення через світлові пройми в зовнішніх огорожуючих конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільш сприятливим. Природне та суміщене освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО (e_n). КПО – відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба, до значення зовнішньої горизонтальної освітленості.

Ті місця, що освітлюється тільки бічним світлом, нормується мінімальне значення КЕО в межах робочої зони, що повинно бути забезпечене в точках, найбільше віддалених від вікна.

Штучне освітлення.

Штучне освітлення використовується двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення – освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосовуються до розташування обладнання. Комбіноване освітлення – це додаткове освітлення, при якому до загального

освітлення додається ще й місцеве. Місцеве освітлення – освітлення, яке створюється світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях. [9].

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018, роботи з влаштування звукоізоляції внутрішніх стін, потребують освітлення, яке характеризується розрядом зорової роботи III, підрозряд «в».

Нормовані значення штучного, природного та суміщеного освітлення наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Високої точності	Від 0,3 до 0,5 включно	III	в	малий середній великий	світлий середній темний	600	200	-	3,0

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). Разом з тим необхідно врахувати і недоліки цих ламп: висока пульсація світлого потоку та пов'язана з цим можливість

стробоскопічного ефекту; для запалювання та горіння лампи необхідно включення послідовно з ним пускорегулюючих апаратів; працездатність ламп залежить від температури оточуючого середовища, до кінця часу роботи світловий потік зменшується більш ніж на половину від номінального.

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

5.2.4 Виробничий шум

Шум вище гранично допустимих рівнів несприятливо діє на людину. Шум у приміщенні широкосмуговий. Нормуємо шум на робочому місці. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних ПК, мають відповідати вимогам СН 3223-85, ГОСТ 12.1.003-85, ГР 2411-81 і приведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні звуку, еквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот

Вид трудової діяльності, робочі місця	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньогеометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Оператори з обробки інформації	96	83	74	68	63	60	57	55	54

Устаткування, що є джерелом шуму (АЦП, принтери тощо), слід розташовувати поза приміщенням для роботи ПК.

Для забезпечення допустимих рівнів шуму на робочих місцях слід застосовувати засоби звукопоглинання, вибір яких має обґрунтовуватись спеціальними інженерно-акустичними розрахунками.

Акустична обробка приміщень – це облицювання частини внутрішніх поверхонь огорожень звукопоглинаючими матеріалами, а також розміщення в

приміщенні штучних звукопоглиначів, які представляють собою вільно підвішені об'ємні поглинаючі тіла довільної форми.

Найбільший ефект при акустичній обробці можливо отримати в точках, які розташовані в зоні відбитого звуку; в зоні прямого звуку акустичний ефект від застосування облицювання набагато менший.

Звукопоглинаючі облицювання розміщують на стелі і в верхніх частинах стін при висоті приміщення не більше 6-8 м таким чином, щоб акустично оброблена поверхня складала не менше 60 % від загальної площі обмежуючих приміщення поверхонь.

У вузьких і дуже високих приміщеннях доцільно облицювання розміщувати на стінах, залишаючи нижні частини стін (до 2 м висотою) не облицьованими, або проектувати конструкцію звукопоглинаючої підвісної стелі.

5.2.5 Психофізіологічні фактори

Фізичні навантаження.

Робоча поза: Вільна зручна поза, можливість зміни пози (сидячи, стоячи) за бажанням працівника. Знаходження в позі стоячи до 40% часу зміни.

Сумарна маса вантажів, що переміщуються протягом кожної години зміни: з робочої поверхні (чоловіки): до 250.

Нахили корпусу (вимушені, більше 30), кількість за зміну: до 50.

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни), км.

По горизонталі: до 4.

По вертикалі: до 2.

Інтелектуальні навантаження: Відсутня необхідність прийняття рішення.

Зміст роботи: Сприймання сигналів, але без потреби в корекції дій, Обробка та виконання завдання, Робота за індивідуальним планом.

Сенсорні навантаження:

Тривалість зосередженого спостереження (в % від часу зміни) до 25

Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за годину роботи до 75.

Кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження до 5

Навантаження на зоровий аналізатор (Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) до 2.

Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) Розбірливість слів та сигналів від 100% до 90%.

Навантаження на голосовий апарат (сумарна кількість годин, що наговорюються протягом тижня) до 16.

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки – Несе відповідальність за виконання окремих елементів завдання. Вимагає додаткових зусиль в роботі з боку працівника.

Ступінь ризику для власного життя – Виключений.

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – Виключений .

Монотонність навантажень:.

Кількість елементів (приймів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово більше 10.

Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються (сек.) більше 100.

Монотонність виробничої обстановки (час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни) менше 75.

Режим праці:

Фактична тривалість робочого дня (год.) 6–7;

Змінність роботи Однозмінна робота (без нічної зміни);

Наявність регламентованих перерв та їх тривалість Перерви регламентовані, достатньої тривалості 7% і більше часу зміни.

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи електричних станцій в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій[32].

Системи, які генерують електричну енергію є вразливими, особливо ФЕС до дії окремих загрозливих чинників, які виникають саме у надзвичайних ситуаціях. Важливим питанням неодмінно є забезпечення доволі високої стійкості роботи ФЕС. В даному випадку оцінка стійкості може бути проведена за допомогою моделювання його ураження, що враховують можливі наслідки ураження людей, виникнення пожеж, виходу з ладу ФЕС.

Дія радіації на матеріали залежить від виду випромінювання, дози, природи опроміненої речовини та від умов навколишнього середовища. В ФЕС використовують різні матеріали: метали, напівпровідники та різні органічні сполуки (діелектрики, смоли), найбільш чутливими до радіації є метали, бо в них велика концентрація вільних носіїв. Основними заходами підвищення радіаційної стійкості є: використання радіаційно-стійких елементів та матеріалів; застосування різних екранів, або активного захисту від дії радіації.

Виникнення електромагнітного імпульсу (ЕМІ), може викликати високі імпульси струму та напруги в кабельних лініях електропередач, системи зв'язку, обчислювальних машин, антен радіостанцій тощо. ЕМІ може поширюватись на десятки кілометрів в навколишньому середовищі і по різних комунікаціях, здійснюючи вплив на об'єкти там, де ударна хвиля, світлове вимірювання і проникаюча радіація втрачають своє значення, як вражаючі фактори. Особливо негативний вплив електромагнітного імпульсу на обладнання, яке не має спеціального захисту (вимикачі, різні «домішки» до системи проводів, електромагнітне екранування і т.п.).

Електромагнітний імпульс несе за собою велику небезпеку для елементів ФЕС. Тому захист елементів від механічних пошкоджень не захищає від дії електромагнітного імпульсу. Саме тому, обов'язковим на виробництві є оцінка стійкості роботи обладнання під час дії електромагнітного імпульсу та іонізуючого випромінювання.

5.3.1 Дослідження стійкості роботи ФЕС в умовах дії іонізуючих випромінювань.

Критерієм стійкості роботи енергетичного обладнання ФЕС є граничне значення експозиційної дози ($D_{гр}, P$), при якому в елементній базі можуть виникати зворотні зміни. Визначаємо граничні значення експозиційних доз для елементів ГЕС. По мінімальному значенню $D_{гр}$, визначаємо границю стійкості системи в цілому. Так як трансформатори та вимикачі мають мінімальне значення $D_{гр}$, то далі для них розрахована оцінка стійкості роботи при дії ІВ та ЕМІ, а кабельні лінії та повітряна лінія мають грозозахист, і стійкі до дії ЕМІ, то подальші розрахунки для них не виконуються. Результати заносимо у таблицю 5.4.

Приймаємо $K_{осл}=1$; $t_k=87660$ год.

Таблиця 5.4 – Граничні дози для елементів ФЕС

№	Елементи ФЕС	$D_{гр}, P$	$D_{гр}, P$
1	Трансформатор ТМГ-1250/10	10^4	10^4
2	Контактор КМ 150 220В АСКО А0040020002	10^3	
3	Інвертор PVIS 1000	10^3	

Розрахуємо можливу дозу для ФЕС, граничний час експлуатації 10 р.

$$D_{ем} = \frac{2 \cdot P_{1max} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{k_{осл}} [P];$$

$$D_{ем} = \frac{2 \cdot 4,27 \cdot (\sqrt{87660} - \sqrt{1})}{1} = 2520,10 (P).$$

Таким чином система буде працювати стійко, так як, можлива експозиційна доза менша за граничну $2520,1 < 10000$.

Визначаємо допустимий час роботи елементів ФЕС:

$$P_{1max} = 4,27$$

$$t_{\text{доп}} = \left(\frac{D_{\text{гр}} \cdot K_{\text{осл}} + 2 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \sqrt{t_p}}{2 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^2;$$

$$t_{\text{доп_тр-р}} = \left(\frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 4,27 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,27} \right)^2 = 21,9 \cdot 10^4 \text{ год} = 25 \text{ (років)};$$

$$t_{\text{доп_кон}} = \left(\frac{10^3 \cdot 1 + 2 \cdot 4,27 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,27} \right)^2 = 186,7 \cdot 10^2 \text{ год} = 16,3 \text{ (років)};$$

$$t_{\text{доп_ген}} = \left(\frac{10^3 \cdot 1 + 2 \cdot 4,27 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,27} \right)^2 = 186,7 \cdot 10^2 \text{ год} = 16,3 \text{ (років)}.$$

25 років, а контактора 16,3 років відповідно генератора також 16,3 років.

5.3.2 Дослідження стійкості роботи ФЕС в умовах дії електромагнітного імпульсу.

Напряга наводки в горизонтальній і вертикальній струмопровідній частині:

$$U_{\Gamma(B)} = E_{B(\Gamma)} \cdot l_{\Gamma(B)}, ;$$

де E_B – величина електромагнітного імпульсу (кВ/м);

l_{Γ} – довжина горизонтальної струмопровідної частини системи (м),

l_B – довжина вертикальної струмопровідної частини системи (м).

Розрахуємо U_{Γ} для трансформаторів та вимикачів:

$$E_B = 10,16 \text{ кВ/м}$$

$$U_{\Gamma\text{тр-р}} = 10,16 \cdot 1,8 \cdot 10^3 = 18288 \text{ (кВ/м)};$$

$$U_{\Gamma\text{кон}} = 10,16 \cdot 0,8 \cdot 10^3 = 8128 \text{ (кВ/м)};$$

$$U_{\Gamma\text{ген}} = 10,16 \cdot 2,74 \cdot 10^3 = 27838,4 \text{ (кВ/м)}.$$

Допустиме коливання напруги живлення:

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N,$$

де N – відсоток допуску,

$U_{\text{ж}}$ – напруга живлення;

$$U_{\text{доп}} = 110 + \frac{110}{100} \cdot 20 = 132(\text{кВ}).$$

За критерієм стійкості роботи радіоелектронних систем, або окремих їх елементів в умовах дії електромагного імпульсу можна прийняти коефіцієнт безпеки, який для нормальної роботи механізму повинен бути:

$$K_{\text{б}} \geq 40 \text{ (дБ)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки горизонтальної і вертикальної складової блоків:

$$K_{\text{бв}(r)} = 20 \cdot \lg \left(\frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{в}(r)}} \right);$$

$$K_{\text{бВТр-р}} = 20 \lg \left(\frac{132000}{18288} \right) = 17,168 \text{ (дБ)};$$

$$K_{\text{бГКон}} = 20 \lg \left(\frac{132000}{8128} \right) = 24,26 \text{ (дБ)};$$

$$K_{\text{бГГЕН}} = 20 \lg \left(\frac{132000}{27838,4} \right) = 13,5 \text{ (дБ)}.$$

Так як для трансформатора і вимикача $K_{\text{бз}} < 40$ дБ, то обладнання не буде працювати стійко.

Для збільшення стійкості слід застосувати екранування. Перехідне затухання екрану:

$$A = K_{\text{Бном}} - K_{\text{Бмін}}, \text{ [дБ]},$$

де $K_{\text{Бном}}$ – номінальний коефіцієнт безпеки (40 дБ),

$K_{\text{Бмін}}$ – мінімальний коефіцієнт безпеки, отриманий при розрахунку;

$$A = 40 - 17,12 = 22,8 \text{ (дБ)}.$$

Товщина захисного екрану

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}},$$

де f – частота,

$$t = \frac{22,8}{5,2 \cdot \sqrt{50}} = 0,62 \text{ (см)}.$$

Розрахуємо U_B трансформатора:

$$U_{BTP} = 10,16 \cdot 0,3 = 3,048 \text{ (кВ/м)}.$$

Визначаємо коефіцієнти горизонтальної безпеки для трансформатора:

$$K_{63TP-P} = 20 \lg \left(\frac{132000}{3,048} \right) = 92,7 \text{ (дБ)}.$$

Так як $K_{63} < 40$ дБ, то обладнання буде працювати не стійко.

Розрахуємо U_B для контактора

$$U_B = 10,16 \cdot 0,4 = 4,064 \text{ (кВ/м)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для контактора:

$$K_6 = 20 \lg \left(\frac{132000}{4,064} \right) = 90,2 \text{ (дБ)}.$$

Так як $K_{63} < 40$ дБ, то обладнання буде працювати не стійко.

Розрахуємо U_B для генератора:

$$U_B = 10,16 \cdot 0,8 = 8,128 \text{ (кВ/м)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для генератора:

$$K_6 = 20 \lg \left(\frac{132000}{8,128} \right) = 84,2 \text{ (дБ)}.$$

Результати зведемо у таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Результати розрахунків

Елементи ФЕС	U_r , кВ	U_v , кВ	$K_{бв}$, дБ	$K_{бг}$, дБ	Товщини захисного екрану, см
Трансформатор ТМГ-1250/10	218288	3,048	94	17,168	0,05
Контактор КМ 150	8128	4,064	84,2	13,5	0,15
Інвертор PVIS 1000	27838,4	8,128	72,64	-0,42	0,05

Приймаємо, що вибір товщини захисного екрану для кабельних ліній не розглядається. стагції буде працювати стійко до дії іонізуючих випромінювань. А до дії ЕМІ – не стійко, але при застосуванні захисного екрану для, трансформаторів 0,05 см, контактора 0,15 см, генератора 0,05 см буде працювати стійко.

Таким чином наша система при застосуванні вище вказаних заходів буде працювати стійко в умовах НС.

ВИСНОВКИ

У пешому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було проаналізовано та описано характеристики промислових фотоелектричних станцій. Окремо розглянуто питання що до аналізу основного обладнання яке використовується на ФЕС. І стабільн робота якого напряду впливає на оптимальну роботу усієї станції.

Було здійснено аналіз використання інверторів в системі керування фотоелектричної станції. Розглянуто різні принципи виконання інверторів для їх оптимальнішо використання залежно від умов, в яких вони будуть експлуатуватися.

Розглянуто принципи та методи по яким виконують системи автоматизованого керування роботи ФЕС на базі smart grid (інтелектуальних мереж).

У другому розділі роботи здійснено розрахунок, вибір та перевірка обладнання РП-10 кВ яке для функціонування даної системи електропостачання ФЕС являється оптимальним. Лінії живлення підібрані відносно місця їх встановлення та пройшли усі необхідні перевірки. Також захисна та комутаційна апаратура вибрані таким чином що дозволяють виконати селективні відключення в випадках аварійних ситуацій. Все захисне та комутаційне обладнання було перевірено за всіма необхідними нормами та стандартами.

В науково-дослідній частині магістерської кваліфікаційної роботи було здійснено аналіз системи керування обмеженням потужностей генерації фотоелектричної станції.

Розглянуто та обрано основне обладнання для роботи ФЕС яке впливає на оптимальність роботи СКО.

Розглянуто алгоритм та принципи роботи СКО, а також алгоритми виконання СКО деспетчирським пунктом.

Проаналізовано оптимальний алгоритм управління заряду та розряду акумуляторних батарей ФЕС.

Використання сучасного обладнання на ФЕС дозволяє значною мірою уточнити його характеристики щодо стійкості до електромагнітних перешкод, створюваних ключами інвертора та імпульсними струмами навантаження,

забезпечити високу точність вимірювань, стабільність характеристик, забезпечує досягнення електротехнічних параметрів відповідно до вимог, реалізує розширені користувальницькі функції.

Розрахована економічна частина проекту з визначенням величини капітальних вкладень, прибутку терміну окупності проекту станції.

В розділі присвяченому питанням охорони праці здійснено аналіз небезпечних та шкідливих факторів та умов на даній станції по виробленню електричної енергії, та здійснені превентивні заходи для боротьби з шкідливими наслідками їх впливу. А також виконано оцінку стійкості роботи системи електропостачання підприємства під час валиву дії іонізуючих випромінювань та перешкоджані негативному впливу від електромагнітного імпульсу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., переробл. й доповн. - Х.: Міненерговугілля України, 2014.
2. ГОСТ 14209-97 «Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов».
3. ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. в Украине с 01. 01. 99.
4. РД 153-34.0-15.501-00 «Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Часть 1. Контроль качества электрической энергии».
5. М.Й. Бурбело «Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків» Вінниця: ВНТУ, 2005р.
6. ДБН В2.5. 28:2018 – «Природне і штучне освітлення».
7. ДСТУ Б EN 15232:2011 – «Енергоефективність будівель. Вплив автоматизації, моніторингу та управління будівлями (EN 15232:2007, IDT)».
8. Справочная книга для проектирования электрического освещения/Под ред. Г.М. Кнорринга. -Л.: Энергия, 1976.-384с.
9. РТМ 36.18.32.4-92 – «Методика расчёта электрических нагрузок».
10. Демов О.Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 95 с.
11. Электроснабжение: учебное пособие по дипломному проектированию / Л.С. Синенко, Т.П. Рубан, Ю.П. Попов.– Красноярск : ИПК СФУ, 2008.
12. Камінський А. В. Математичне та комп'ютерне моделювання процесів оптимізації центрування електричних мереж : монографія / А. В. Камінський, Б. І. Мокін – Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2005. –122с.
13. Електропостачання промислових підприємств (Курсове проектування). Навч., посібник/М. Й.Бурбело .- Вінниця:ВДТУ ,1998-104с.

14. ГОСТ 12.0.003-74 – «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
15. ДНАОП 0.03-3.01-71 – «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий».
16. ГОСТ 12.1.008-83 - «Шум. Общие требования безопасности».
17. ГОСТ 12.1.012.-90 - «Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования».
18. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу “Охорона праці” в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей /Уклад. О.В. Кобилянський , О.П. Терещенко – В .: ВНТУ, 2003.- 46 с.
19. ГОСТ 12.0.003 – 74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы.
20. ГОСТ 12.1.030 – 81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
21. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
22. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
23. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
24. Тарифи на електроенергію для споживачів ПАТ "Хмельницькобленерго" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.hoe.com.ua/index_21.html
25. Каталог конденсаторних установок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kpenri.com.ua/-prod02.php>
26. Кабельно-провідникова продукція [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ibud.ua/ua/catalog/kabelno-provodnikovaya-produktsiya-1189>
27. Трансформатори силові [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity.php?FirmCommodityID=4099>
28. Експлуатація освітлювальних установок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://life-prog.ru/ukr/1_954_ekspluatatsiya-osvitlyvalnih-ustanovok.html
29. Васильев А.С., Боровиков Ю.С., Прохоров А.В. Специализовані гібридні процесори для всережимного моделювання в реальному часі пристроїв FACTS /

Енергетика очима молоді: Наукові праці III міжнародної науково-технічної конференції - Єкатеринбург, 22-26 жовтня 2012 р.

30. Інвертори для систем резервного та сонячного електропостачання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.solbat.su/dopobr/inverters/>

31. Поссе А.В. Регулирование активной и реактивной мощности инвертора напряжения. - Известия, Энергетика, 2000.

32. Кириленко А. В. Оптимизация режимов энергосистем в условиях рынка / А. В. Кириленко, В. Л. Прихно // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. Енергетичні ринки: перехід до нової моделі ринку двосторонніх контрактів і балансуєчого ринку. – К.: 2009. – С. 3–10.

33. Лежнюк П. Д. Особливості роботи відновлюваних джерел енергії в локальній електричній системі / П. Д. Лежнюк, О. А. Ковальчук, В. В. Кулик // Відновлювана енергетика XXI століття: XII міжнарод. наук.-практ. конф.: матеріали конференції. – Крим, 2011.– С. 42–46.

34. Нетрадиционная энергетика – возобновляемые источники, использование биомассы, термохимическая подготовка, экологическая безопасность: учебное пособие / Л. И. Пугач, Ф. А. Серант, Д. Ф. Серант // Новосибирск: НГТУ, 2006. – 347 с.

35 Офіційний сайт групи компаній KNESS: Головна сторінка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kness.energy/>

Додатки

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УЗГОДЖЕНО

_____ 2021р.
“ ____ ” _____

ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри ЕСЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й. _____

“ 24 ” вересня 2021р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

до магістерської кваліфікаційної роботи
на тему:

Система керування обмеженням потужностей генерації фотоелектричної
станції

08-17.МКР.006.00.000 ТЗ

Науковий керівник:

к.т.н., доц. Степура О.В.

_____ (підпис)

Виконавець: студент гр. ЕСЕ - 20м

Слободян В.С.

_____ (підпис)

Вінниця 2021 р.

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № 277 від 24 . 09 . 21р.

Дата початку роботи 24 . 09 . 21р.

Дата закінчення роботи 17 . 12 . 21р.

2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРОБКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

а) мета – аналіз системи керування обмеженням потужностей генерації фотоелектричної станції;

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

в) вихідні дані для виконання МКР:

генплан підприємства (об'єкта); відомості про особливості технологічних процесів та навоколишнього середовища (внутрішнього та зовнішнього); відомості про електричні навантаження станції (цеха, об'єкта, ділянки, приміщення); відомості про джерела живлення, їх віддаленість; графіки електричних навантажень (для діючого підприємства, енергетичного району); основні техніко-економічні показники.

3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

3.1 Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. Г.Л. Лисенко, А.Г. Буда, Р.Р. Обертюх. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 60 с,

3.2 Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., переробл. й доповн. - X .: Міненерговугілля України, 2014.

3.3. М.Й. Бурбело «Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків».- Вінниця: ВНТУ, 2005р.

3.4 ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.

3.5 Демов О. Д. «Економія електроенергії на промислових підприємствах». – Вінниця: ВНТУ, 2006р.

4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Зміст етапу	Термін виконання	
	початок	кінець
4.1 Збір інформації, яка необхідна для дослідження	02.09.21	17.09.21
4.2 Проведення дослідних розрахунків	15.09.21	03.11.21
4.3 Розробка робочих креслень	05.11.21	15.11.21
4.4 Написання розрахунково-пояснювальної записки і захист магістерської роботи	23.11.21	09.12.21

5. МАТЕРІАЛИ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстровані матеріали, анотація до МКР українською та іноземною мовою.

6. ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ МКР

Робота приймається на проміжних контрольних перевірках, попередньому захисті та захисті в ДЕК.

7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

7.1 Дані про патентоспроможність

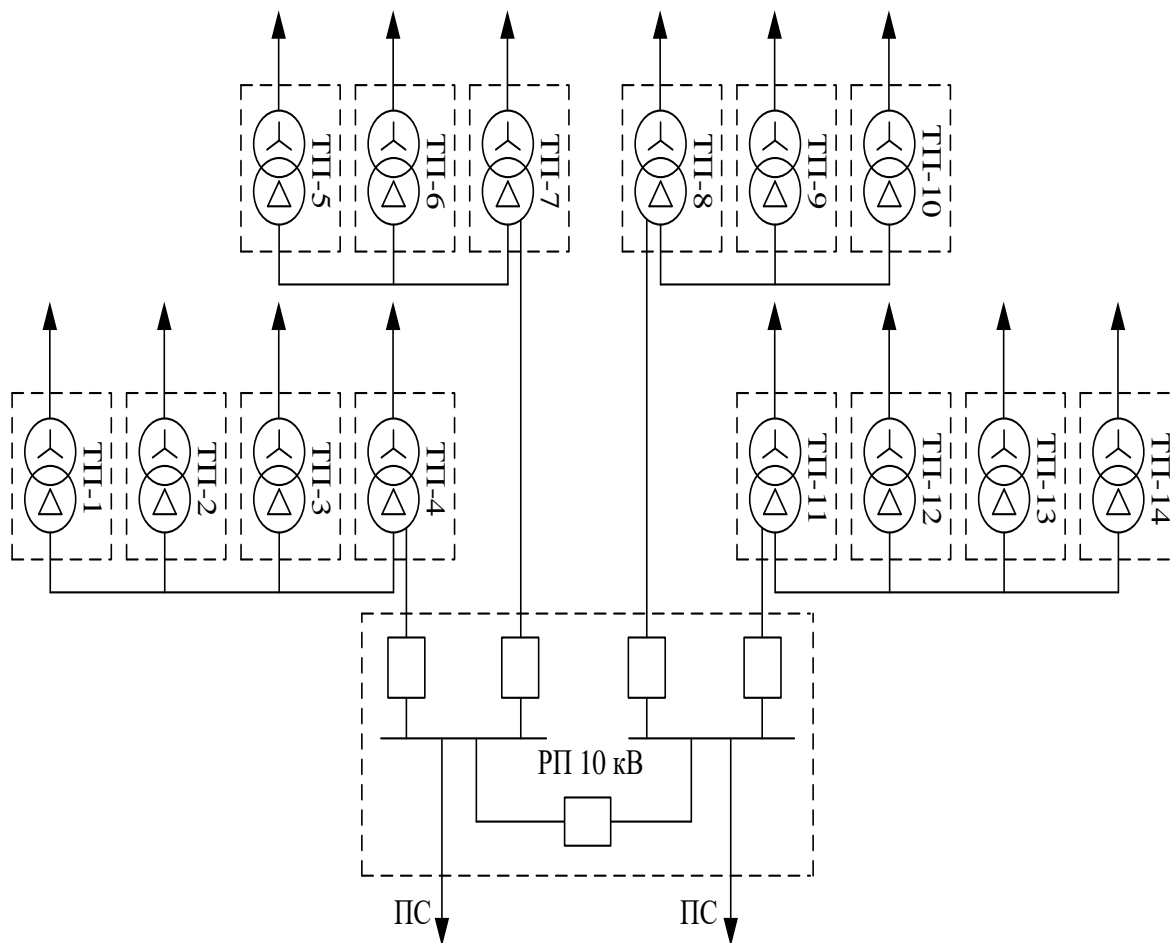
Не передбачається

8 ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

Не передбачається

Додаток Б

Структурна схема під'єднання ТП до РП



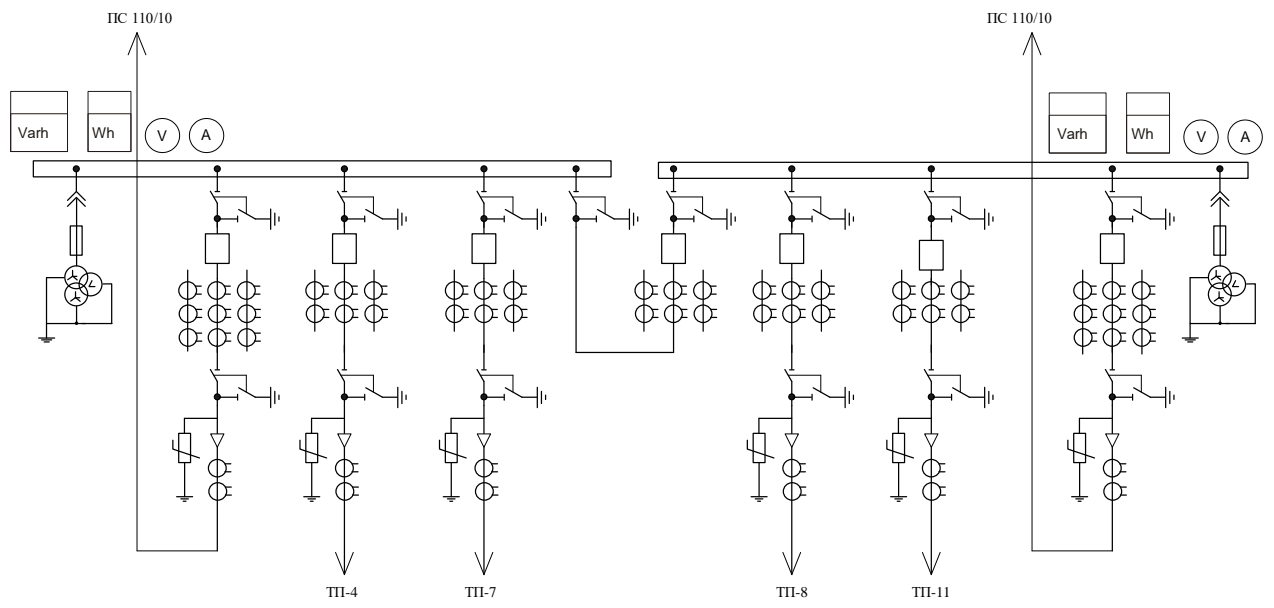
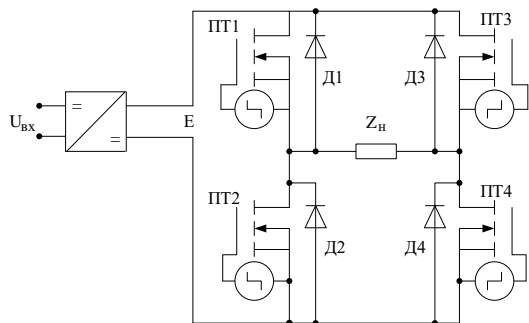


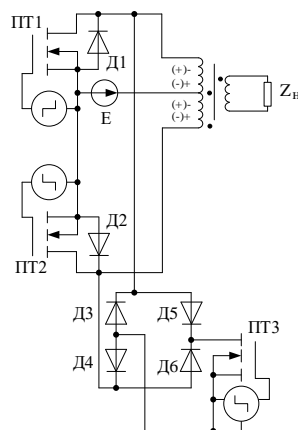
Схема РП-10 кВ. станція

Додаток В

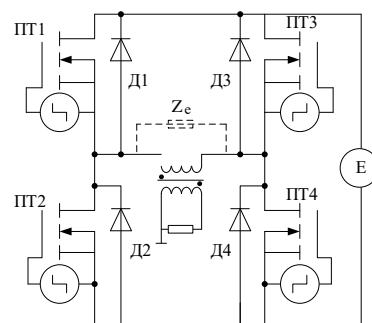
Принципові схеми інверторів задіяних на ФЕС



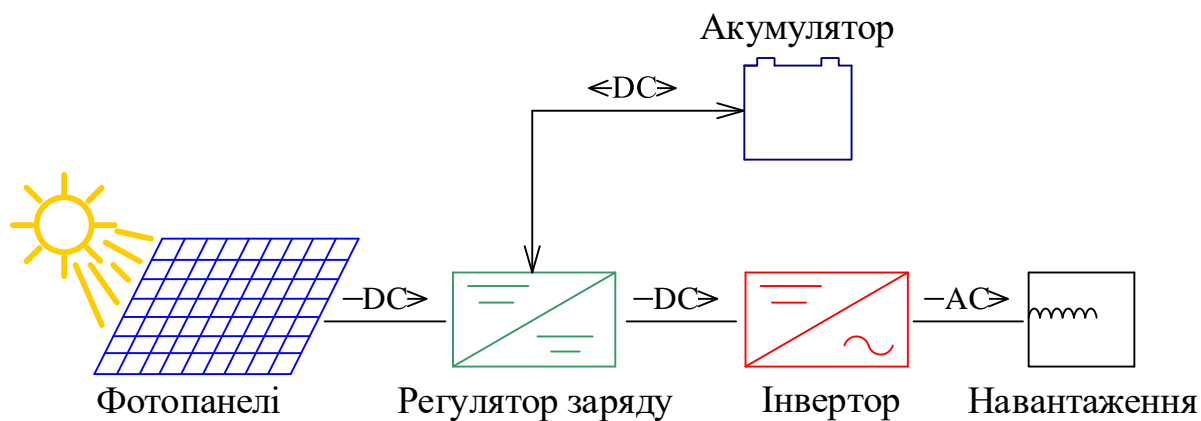
Мостовий інвертор без трансформатора



Інвертор з нульовим виведенням трансформатора



Мостова схема інвертора з трансформатором



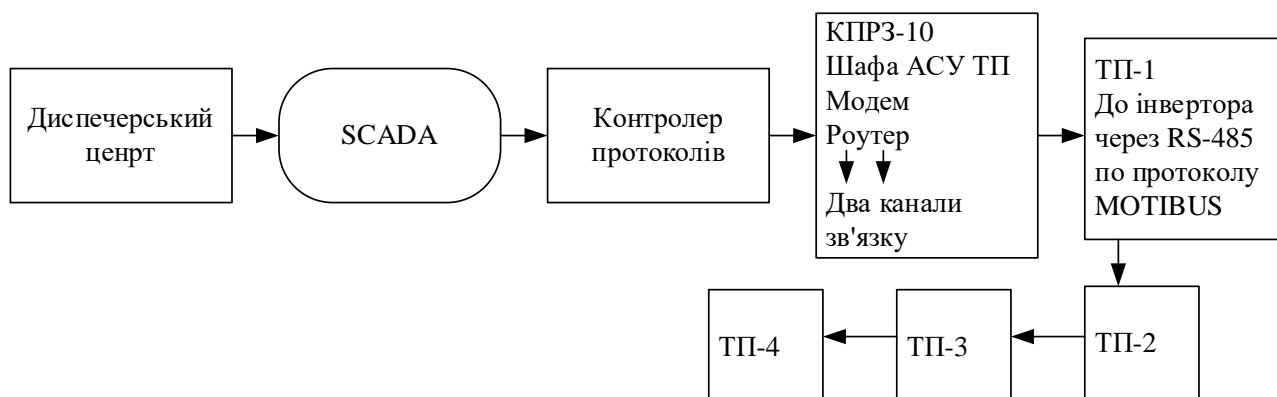
Додаток Г

Алгоритм роботи системи крування обмеженням:

1. Подача заявки на розвантаження в програмний комплекс СКО.
2. Отримання команди на розвантаження по СКО.
3. Прийняття команди в СКО.
4. Завантаження диспетчерського журналу з СКО.
5. Виконання команди (встановлення нової уставки по активній потужності в ПК SCADA).

5.1 Виконання команди з заданим градієнтом зміни потужності, а саме 10% від встановленої потужності (пікової) за 1 хв.


6. Контроль за виконанням команд.



Спрощена схема зв'язку блоків СКО

Додаток Д

Інтерфейс диспетчера СКО

Система Керування Обмеженнями ВДЕ  Головна | Інструкція | Заявки | star_control | Вийти

ΔT: 0.109 сек


ІСТОРІЯ КОМАНД СПИСОК ГЕНЕРАЦІЙ

Поточний стан системи

STARSP1
Система працює без обмежень.

STARSP2
Система працює без обмежень.

STARSP3
Система працює без обмежень.

Історія команд 

Сигнал диспетчеру про обмеження величини генерації потужності ФЕС

Нова команда

STARSP1 24.05.2021, 12:01:32

Змінити фактичний відпуск об'єкту генерації на **-10 000 кВт** та не перевищувати його до окремої команди.

ПІДТВЕРДИТИ **ВІДХИЛИТИ**

ІСТОРІЯ КОМАНД

СПИСОК ГЕНЕРАЦІЙ

Нова команда

STARSPP3 14.04.2021, 22:07:37

Всі системні обмеження з надання послуги на зменшення навантаження знято.

ПІДТВЕРДИТИ

ВІДКРИТИ

STARSPP2 14.04.2021, 22:07:37

Всі системні обмеження з надання послуги на зменшення навантаження знято.

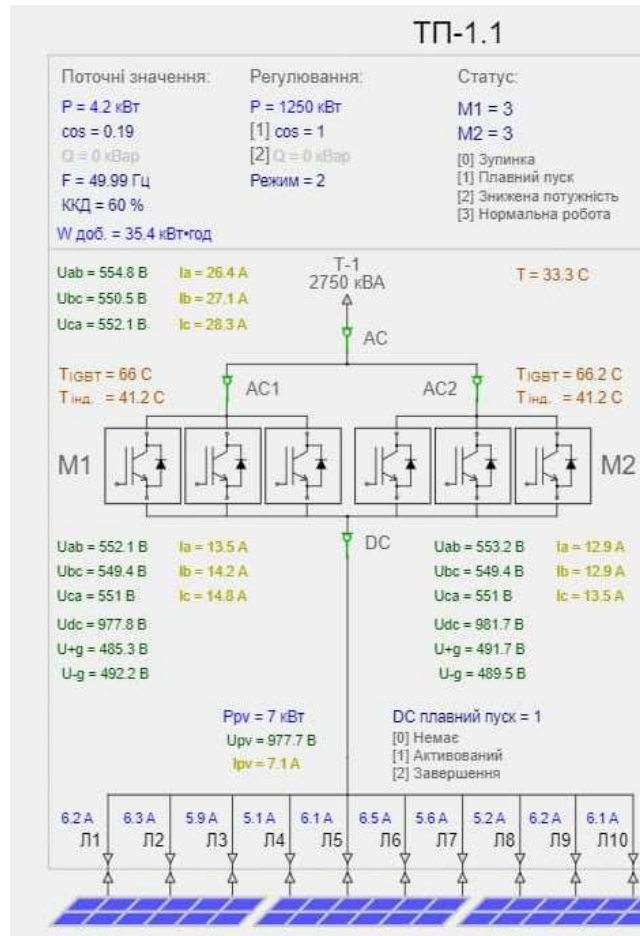
ПІДТВЕРДИТИ

ВІДКРИТИ

Діюча АСУ ТП в КРПЗ-10

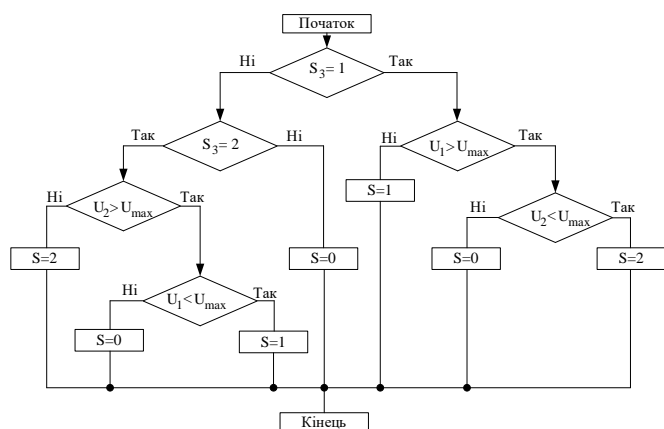


Схема інвертора в нормальному режимі роботи

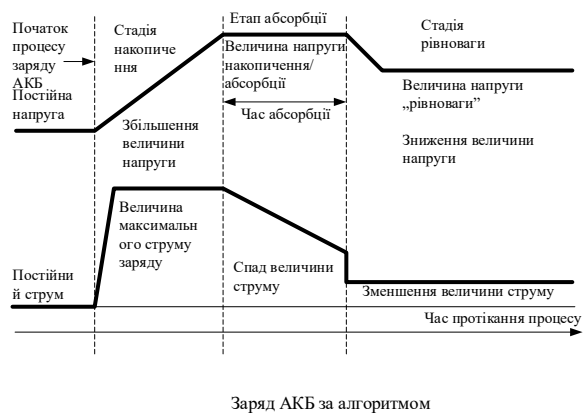


Додаток Е

Оптимальний алгоритм управління заряду та розряду акумуляторних батарей



Блок-схема алгоритму заряду акумуляторних батарей



Додаток Є
ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ)
РОБОТИ

Назва роботи: Система керування обмеженням потужностей генерації фотоелектричної станції

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота.

Підрозділ: Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту.

Науковий керівник: к.т.н., доцент каф. Степура О. В.

Показники звіту подібності	
UNICHECK	
Схожість	26,8%

Аналіз звіту подібності

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Заявляю, що ознайомлений з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи.

Автор _____ Слободян В. С.

Опис прийнятого рішення

Магістерська кваліфікаційна робота допускається до захисту

Особа відповідальна за перевірку _____ Лобода Ю.В.

Керівник роботи _____ к.т.н., доцент каф. Степура О. В.

Експерт _____ Бурбело М.Й., зав кафедри ЕСЕЕМ

