

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії

Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту
ступінь вищої освіти магістр

галузі знань 14 Електрична інженерія

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

на тему Аналіз основних показників робочих режимів комбінованої
сонячної електростанції з використанням відновлюваних
джерел енергії

Виконав: студент групи ЕЕ-22дм
Яцентюк О.О.
(прізвище, та ініціали)


(підпис)

Керівник
доц. Романченко Ю.А.
(прізвище, та ініціали)

(підпис)

Завідувач кафедри
доц. Руднєв Є. С.
(прізвище, та ініціали)

(підпис)

Рецензент
доц. Шумакова Т.О.
(прізвище, та ініціали)

(підпис)

Київ 2023 р.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерії

Кафедра Електричної інженерії

Ступінь вищої освіти бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія
(шифр і назва)

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕІ

доц. Руднев Є. С.
“ ” 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Яцентюку Олегу Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Аналіз основних показників робочих режимів комбінованої сонячної електростанції з використанням відновлюваних джерел енергії

керівник проекту к.т.н., доц. Романченко Ю.А.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 23.10.2023 року № 564/15.23-С

2. Строк подання студентом проекту 08.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту 1) Напруга живлення електроприймачів 380/220В.
2) Напруга, яку виробляє типовий сонячний модуль або ж вітрогенератор 12В.
3) Мережа змінного струму промислової частоти – 50 Гц.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Сонячна енергетика. Улаштування й робота вітроустановки. Розробка схеми електропостачання мережі від комбінованої сонячної електростанції. Засоби захисту основних елементів системи автономного електропостачання. Спеціальні питання забезпечення безпеки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Структура комбінованої сонячної електростанції (вар. 1). Схеми комбінованої сонячної електростанції (вар. 1). Структура комбінованої сонячної електростанції (вар. 2). Схеми комбінованої сонячної електростанції (вар. 2)

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1-5	доц. Романченко Ю.А.		

7. Дата видачі завдання 16.10.2023 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ. Сонячна і вітроенергетика. Загальні відомості	20.10.23	
2	Улаштування й робота вітроустановки	28.10.23	
3	Розробка схеми електропостачання мережі від комбінованої сонячної електростанції	03.11.23	
4	Аналіз основних показників робочих режимів комбінованої сонячної електростанції	10.11.23	
5	Розрахунок параметрів і вибір пристроїв схеми електропостачання	17.11.23	
6	Вибір захисту основних елементів системи автономного електропостачання	24.11.23	
7	Висновки, оформлення ПЗ	01.12.23	
8	Оформлення графічного матеріалу	08.12.23	

Студент



(підпис)

Яцентюк О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

Романченко Ю.А.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи містить 85 стор., 24 рис., 13 табл., 25 бібл. найм, 2 додатка.

Метою роботи є створення проекту екологічно чистої електростанції для забезпечення електропостачання ділянки максимальною потужністю 500 кВт, напругою 380/220 В, частотою 50 Гц.

В ході роботи були вивчені різні інформаційні джерела, які стосуються альтернативної енергетики. За допомогою отриманої інформації була спроектована комбінована електрична станція на основі сонячних елементів і вітрогенераторних установок. Обрані і представлені найбільш оптимальне рішення пристрою електростанції.

Даний проект має високу ступінь актуальності, оскільки в наш час все частіше виникає питання про екологічно чисті установки, призначені для різних потреб людства, а ресурси, які використовуються для отримання електроенергії зараз є вичерпаними, на відміну від сонячного випромінювання та вітру.

Ключові слова: альтернативна енергетика, сонячна енергія, сонячна електростанція, проектування, сонячні батареї, вітроенергетика, вітрогенератори.

ABSTRACT

Pages – 85; Drawings – 24; Tables – 13; Sources – 25; Addition – 2.

The theme of the graduate work is "Development of an electric power station based on solar cells and wind turbine".

Objective of this work is creation of the project of ecological power station to power supply an area with max. power by 500 kW.

In the course of this work it has been studied an information sources about alternative energy. Has been designed power station based on the power of solar panels and wind turbine. Has been selected more optimal solution about system of power station.

This project has a high degree of relevance, since in our time the question of ecologically clean installations, which are intended for different needs of mankind, is becoming more and more frequent, and the resources used for power generation are now exhausted, unlike solar radiation and wind.

Keywords: alternative energy, solar energy, solar power station, design, solar panels, wind energy, wind generator.

Зміст

	Стор.
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА.....	9
1.1 Загальні відомості.....	9
1.2 Основи сонячної енергетики.....	11
1.3 Пристрій і робота сонячних батарей.....	16
1.4 Якість елементів в модулі.....	24
РОЗДІЛ 2. УЛАШТУВАННЯ Й РОБОТА ВІТРОУСТАНОВКИ	24
2.1 Фізичні основи використання енергії вітру.....	24
2.2 Вітроелектричні установки.....	25
2.3 Структура систем електроживлення на основі ВЕУ.....	30
2.4 Вольтамперна характеристика сонячних батарей.....	31
2.5 Перетворювачі постійної напруги в змінну.....	34
2.6 Трифазний мостовий автономний інвертор напруги.....	34
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МЕРЕЖІ ВІД КОМБІНОВАНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	42
3.1 Аналіз основних показників робочих режимів комбінованої сонячної електростанції. Основні режими електричних систем.....	48
3.2 Технічні вимоги до якості електричної енергії.....	52
РОЗДІЛ 4. ЗАСОБИ ЗАХИСТУ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	63
4.1 Аварійний режим електричних мереж.....	63
4.2 Захист основних елементів.....	64
РОЗДІЛ 5. СПЕЦІАЛЬНІ ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ.....	68
5.1 Аспекти функціональної безпеки.....	68
5.2 Аспект забезпечення електробезпеки.....	73
ВИСНОВКИ.....	75
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	77
ДОДАТОК А.....	79
ДОДАТОК Б.....	80

ВСТУП

Індустріалізація світової економіки призвела до стрімкого збільшення споживання енергетичних ресурсів протягом останніх 100-150 років. Оскільки в структурі споживання енергетичних ресурсів найбільшу частку займають викопні джерела енергії: нафта, газ, вугілля – це призводить до їх швидкого вичерпування та поступового зростання ціни на ці енергоносії. На початку XXI століття людству довелося зіткнутися з проблемою вирішення енергетичних проблем, спрямованих на майбутнє, пов'язаних зі швидким вичерпанням традиційних джерел енергії і зміною в гіршу сторону екологічного стану Землі. В зв'язку з цим стало зрозуміло, що для стабільного економічного розвитку необхідно вживати заходи щодо раціонального використання енергії. У промислово розвинених країнах звертають велику увагу на розробку систем, в основі яких лежать поновлювані джерела енергії, в тому числі енергія Сонця і вітру.

Найзручнішим для використання у виробництві та побуті видом енергії, безумовно, є електрична енергія. Тому, перше місце на нинішньому етапі розвитку альтернативних технологій займає виробництво електроенергії за допомогою поетапного перетворення енергії вітру, води і сонячного світла.

Дана тема широко відкрита для досліджень і різного роду рішень. Сонячна і вітроенергетика дуже перспективні напрямки в нетрадиційній електроенергетиці.

На сьогоднішній день у багатьох країнах світу спостерігається стійка тенденція до збільшення частки альтернативної енергії. Вона обумовлена перевагами альтернативної енергетики: екологічною чистотою і відновлювальними ресурсами.

Одним з найбільш перспективних видів альтернативної енергетики є сонячна енергетика та вітроенергетика. Основні стримуючі фактори розвитку цих галузей альтернативної енергетики, є висока питома вартість сонячних батарей та іншого електрообладнання (ЕО).

Для перетворення постійної напруги від акумуляторів в змінну, що використовується для живлення безлічі електроприймачів, разом із сонячною батареєю необхідно використовувати спеціально призначені пристрої – інвертори.

Питання перетворення отриманої енергії від енергії сонця і вітру у енергію, що буде використана споживачами, як наслідок найбільш можлива якість електроенергії і ККД інверторів при мінімальних витратах, або ж мінімальних термінах окупності є дуже актуальним у останні роки.

Метою дослідження є створення проекту екологічно чистої електростанції для забезпечення електропостачання ділянки максимальною потужністю 500 кВт, напругою 380/220 В, частотою 50 Гц.

Об'єкт дослідження. Процес отримання та перетворення отриманої енергії від енергії сонця і вітру у енергію, що буде використана споживачами, як наслідок найбільш можлива якість електроенергії і ККД інверторів при мінімальних витратах.

Предмет дослідження. Системи, в основі яких лежать поновлювані джерела енергії, в тому числі енергія Сонця і вітру.

Методи дослідження теоретичний аналіз і систематизація науково-теоретичних і методичних джерел; чисельні методи; методи обробки та інтерпретації даних.

РОЗДІЛ 1

СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА

1.1 Загальні відомості

Сонячна енергетика є однією з найбільших частин альтернативної енергетики та галузі використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). У наш час різняться три основних способи використання енергії сонця: генерування електроенергії, отримання зосередженої теплової енергії для подальшого електрогенерування або прямий нагрів теплоносія (зазвичай водного) [1].

Використання енергії сонця в фотовольтаїки на сьогодні має переважаче значення. Основа сонячних батарей фотоелектричні перетворювачі (ФЕП), в яких відбувається перетворення сонячної радіації в електрику.

Енергія сонця і вітру і використання її в повсякденному житті представляють собою важливі області для досліджень і високотехнологічних розробок. У теплової сонячної енергії є свої особливості, як і у інших ВДЕ. Інсоляція регіону, в якому планують реалізувати проект, є найважливішим показником ефективності використання сонячної енергії. Інсоляція дає поняття про інтенсивність опромінення поверхні сонячним світлом; вимірюють інсоляцію в кВт/год на кв/м за встановлений проміжок часу (день, місяць, рік). Чим вище інсоляція в регіоні, тим більше енергії сонячного випромінювання може бути перетворено в електричну або теплову енергію.

Сонячна енергія знаходить застосування у всіляких сферах діяльності людини:

- промислові тепло- і електростанції;
- станції постачання тепловою та електричною енергією різного роду

будівель та приміщень;

- економічно вигідні установки для приватних будинків;
- застосування еластичних сонячних батарей в якості будівельного матеріалу;
- резервні джерела живлення в товарах масового споживання: калькулятори, годинник, ноутбуки, ліхтарі, акумулятори та ін .;
- резервні джерела живлення транспортних засобів;
- освітлення в темний час доби дорожніх знаків та іншого за рахунок накопичені енергії сонця.

Вітрогенератори, в свою чергу, теж набирають популярність. Вони використовуються не тільки як додаткове джерело електрики, а часто і як основне джерело, завдяки надійній конструкції, комфорту при експлуатації. Вітрогенератор (вітроелектрична установка (ВЕУ)) система перетворення кінетичної енергії потоку вітру в механічну енергію обертання ротора з подальшим перетворенням цієї енергії в електричну.

Оптимальною робочою швидкістю вітру для роторної і пропелерної вітроустановок є діапазон від 4 м/с до 7 м/с. При збільшенні питомої вартості вітроустановки оптимальна робоча швидкість незначно збільшується, а при збільшенні питомої вартості акумуляторів дещо зменшується. Однак межі зміни незначні - швидкість залишається в інтервалі 5,5-6 м/с. Для вітряних турбін з віссю обертання, розташованою горизонтально, вітер початку роботи 5-6 м/с, якщо потужність більше 200 кВт, і 3-4 м/с, якщо потужність до 100 кВт. Отже, для більш ефективного використання вітроустановки, можна використовувати кілька ветрогенераторів малої потужності, але працювати вони будуть при малих вітрах.

Змішане використання сонячних елементів і вітрогенератора дозволяє підвищити робочу швидкість вітру до 9-10 м/с.

1.2 Основи сонячної енергетики

Густина випромінювання у різних точках земної поверхні відрізняється між собою і змінюється у часі. Цей показник залежить від географічної широти, пори року, часу доби, наявності хмар і нахилу поверхні. Тому важливою задачею є правильна орієнтація геліоустановок відносно Сонця. Вплив широти місцевості і пори року спричинено еліптичною траєкторією руху Землі навколо Сонця. Відстань між Сонцем і Землею змінюється протягом року. Земля найближче до Сонця 22 грудня ($1,445 \cdot 10^{11}$ м), максимальна відстань між ними 22 червня ($1,543 \cdot 10^{11}$ м). Ця відносно невелика зміна відстані призводить до відчутної різниці у сонячному випромінюванні, яке обернено пропорційне квадрату відстані (для грудня – 1430 Вт/м^2 , для червня – 1330 Вт/м^2). Для точного розрахунку потужності на певній ділянці у конкретний час, необхідно розглянути її положення відносно напрямку руху сонячних променів так як показано на рис. 15.1. На цьому рисунку точкою А позначено точку земної поверхні, положення якої характеризується широтою φ , кутовим сонячним часом ψ і схиленням Сонця δ .

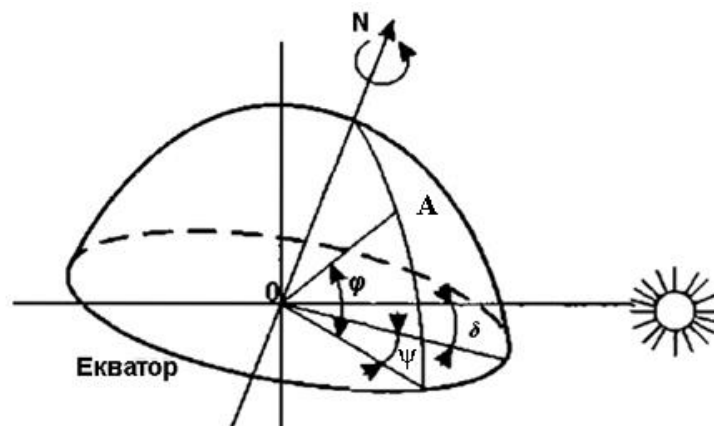


Рисунок 1.1 – Схема руху Сонця на небосхилі

Широта – це кут між лінією, яка з'єднує її з центром Землі O , і її проекцією на площину екватора. Кутовий сонячний час ψ – це кут, вимірний в екваторіальній площині між проекцією лінії OA і проекцією лінії, яка з'єднує центри Землі і Сонця. Перерахунок добового часу t у сонячний час ψ

здійснюють за формулою:

$$\psi = (t - 12) \cdot 360 / 24 = 0,262 \cdot (t - 12)^\circ. \quad (1.1)$$

Схилення Сонця δ – це кут між лінією, що з'єднує центри Землі і Сонця, і її проекцією на площину екватора. Схилення Сонця впродовж року неперервно змінюється від $-23^\circ 5'$ в день зимового сонцестояння 22 грудня до $23^\circ 5'$ в день літнього сонцестояння 22 червня і дорівнює нулю в дні весняного (21 березня) і осіннього (23 вересня) рівнодення. Кут схилення Сонця δ в день n після 1 січня розраховують за формулою:

$$\delta = 23,5 \cdot \sin(360^\circ(284+n)/365). \quad (6.2)$$

Числові значення сонячного схилення для середини кожного місяця наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Числові значення сонячного схилення δ

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
град, °	-20,9	-13	-2,4	9,4	18,8	23,1	21,2	13,5	2,2	-9,6	-18,9	-23

У розрахунках потужності сонячного випромінювання також використовують зенітний кут Сонця θ_z , кут висоти α і азимут α_s , рис. 1.2, а також азимут поверхні α_n , рис. 1.3. Зенітний кут Сонця θ_z – кут між напрямом на Сонце і вертикаллю до горизонтальної площини. θ_z розраховують за формулою:

$$\cos(\theta_z) = \cos(\psi) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta). \quad (1.3)$$

Висота Сонця α над горизонтом – кут у вертикальній площині між напрямом сонячного випромінювання і його проекцією на горизонтальну площину. З рис. 1.2 очевидно, що

$$\alpha = 90^\circ - \theta_z, \quad (1.4)$$

тому

$$\sin(\alpha) = \cos(\psi) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta). \quad (1.5)$$

Зі збільшенням висоти Сонця α зменшується відстань через атмосферу, яку проходить сонячне випромінювання, і збільшується час протягом якого сонячна енергія потрапляє на поверхню.

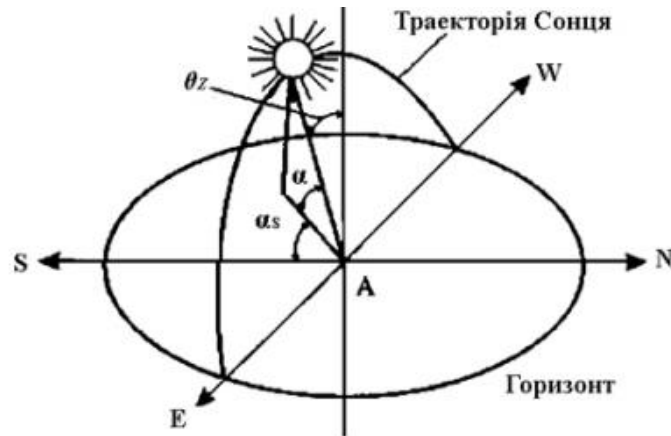


Рисунок 1.2 – Кути, які визначають положення точки земної поверхні відносно напрямку сонячних променів

Азимут Сонця α_s – кут в горизонтальній площині між проекцією напрямку сонячного випромінювання і напрямом на південь. Значення азимуту α_s розраховують за формулою:

$$\sin(\alpha_s) = (\cos(\delta) \cdot \cos(\psi)) / \cos(\theta_z). \quad (1.6)$$



Рисунок 1.3 – Кути, які характеризують положення точки на похилій поверхні відносно напрямку сонячних променів

Азимут поверхні α_H – кут між нормаллю до поверхні і напрямом на південь. Якщо поверхня зорієнтована перпендикулярно сонячним променям, потужність сонячного випромінювання на ній є максимальною. Кут падіння сонячних променів на довільно орієнтовану поверхню з азимутом α_H і кутом

нахилу до горизонту β визначають за формулою:

$$\cos(i) = \sin(\beta)[\cos(\delta)[\sin(\varphi)\cos(\alpha_H)\cos(\psi) + \sin(\alpha_H)\sin(\psi)] - \sin(\delta)\cos(\varphi)\cos(\alpha_H)] + \cos(\beta)[\cos(\delta)\cos(\varphi)\cos(\psi) + \sin(\delta)\sin(\varphi)]. \quad (1.7)$$

Отже, для ефективної роботи геліоустановок необхідно, щоб потужність сонячного випромінювання була максимальною. Для цього кут між поверхнею і напрямком сонячного випромінювання повинен бути близьким до нуля $i = 0$. Для цього її необхідно орієнтувати на південь ($\alpha_H = 0$) під певним кутом β відносно горизонтальної поверхні. Величина кута β знаходиться за формулою (1.7) з урахуванням широти місцевості φ і пори року, від якої залежить схилення Сонця δ . Для підрахунку чисельних значень кута β беруть середнє значення кутового часу за добу $\psi = 0$. Отримане значення підставляють до формули (1.7). Розрахована функція має такий вид:

$$f(\beta) = \sin(\beta)[\cos(\delta)\sin(\varphi) - \sin(\delta)\cos(\varphi)] + \cos(\beta)[\cos(\delta)\cos(\varphi) + \sin(\delta)\sin(\varphi)]. \quad (1.8)$$

Для одержання максимальної потужності від Сонця необхідно знайти максимум функції (1.8). В табл. 1.2 наведено значення кута β , за яких отримують максимальне значення потужності сонячного випромінювання на широтах України протягом року.

Таблиця 1.2 – Оптимальний кут нахилу поверхні на різних широтах

Широта φ	45°	46°	47°	48°	49°	50°	51°	52°
Місяць								
1. Січень	66°	67°	68°	69°	70°	71°	72°	73°
2. Лютий	58°	59°	60°	61°	62°	63°	64°	65°
3. Березень	47°	48°	49°	50°	51°	52°	53°	54°
4. Квітень	36°	37°	38°	39°	40°	41°	42°	43°
5. Травень	26°	27°	28°	29°	30°	31°	32°	33°
6. Червень	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°
7. Липень	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	31°
8. Серпень	32°	33°	34°	35°	36°	37°	38°	39°
9. Вересень	43°	44°	45°	46°	47°	48°	49°	50°
10. Жовтень	55°	56°	57°	58°	59°	60°	61°	62°
11. Листопад	64°	65°	66°	67°	68°	69°	70°	71°
12. Грудень	68°	69°	70°	71°	72°	73°	74°	75°

З даних табл. 1.2 видно, що для отримання максимальної потужності сонячної енергії кут нахилу фотоприймальної поверхні геліоустановки необхідно змінювати в широких межах протягом року. За умови відхилення на кут $\pm 10^\circ$ від оптимального на поверхні розсіюється до 90% від максимальної потужності. В переважній більшості випадків геліоустановки мають нерухому фотоприймальну поверхню. В цьому випадку її необхідно орієнтувати у південному напрямі під кутом $(30-45)^\circ$. Якщо геліоустановку неможливо орієнтувати строго на південь, то за умови орієнтації на південний схід або південний захід кут її нахилу необхідно зменшити до $(25-35)^\circ$. Якщо геліоустановку використовують для системи опалення, кут її нахилу необхідно збільшувати, в цьому випадку отримана енергія розподіляється рівномірніше протягом року. Залежність величини виділеної потужності геліоустановки від її орієнтації для широт України показано на рис. 1.4.

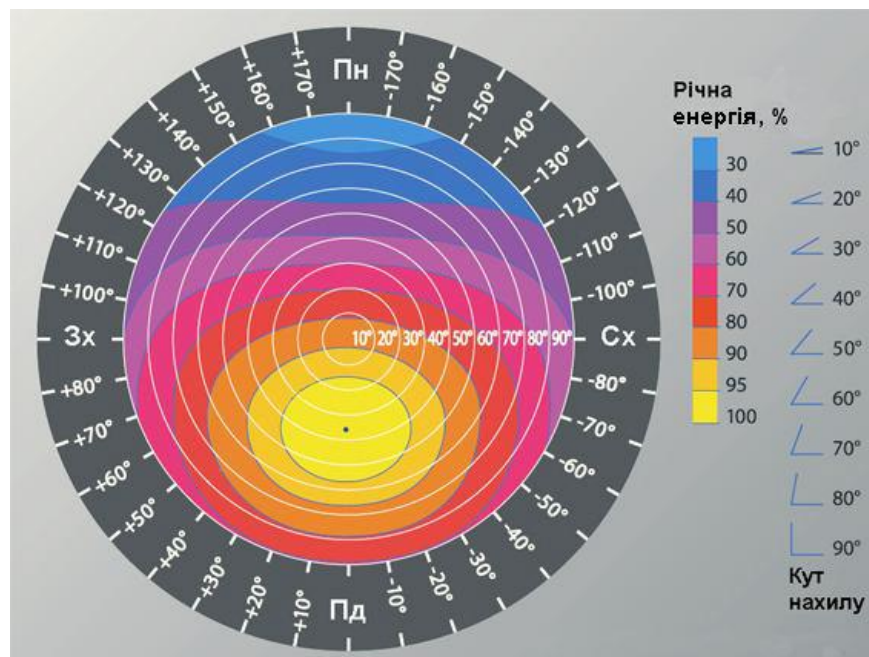


Рисунок 1.4 – Вплив орієнтації геліоустановки на кількість отриманої енергії

Середня потужність сонячного випромінювання залежить також від погодних умов. Потенціал сонячної енергетики за регіонами України показано на рис. 1.5.



Рисунок 1.5 – Потенціал сонячної енергетики у регіонах України

1.3 Пристрій і робота сонячних батарей

На сьогоднішній день практично кожен має можливість зібрати своє незалежне джерело електроенергії на основі сонячних батарей (в науковій літературі їх називають фотоелектричними панелями). Витрати на дорогі пристрої з часом покриваються можливістю використовувати безкоштовну електроенергію. Ще одна важлива деталь: сонячні батареї – це екологічно чисте джерело енергії. У останні час вартість фотоелектричних панелей знизилася в десятки разів і ця тенденція триває, що дозволяє міркувати про неймовірні перспективи у використанні ФЕП [3]. У стандартному вигляді джерело чистої електроенергії буде складатися з наступних пристроїв: безпосередньо, сонячних батарей (генератора постійного струму), акумуляторних батарей з контролером заряду і інвертора, що перетворює постійний струм в змінний. Існують два основних види фотоелектричних перетворювачів: матеріал для одних монокристалічний кремній, для інших полікристалічний. Відмінності одних елементів від інших складають технологія виробництва і ККД. У

перших ККД до 17,5%, а у других - 15% [2].

Сонячна батарея складається з окремих сонячних елементів, з'єднання яких здійснюється паралельно і послідовно, щоб збільшити вихідні параметри (струм, напруга і потужність). Напруга на виході збільшується при послідовному з'єднанні елементів, а при паралельному - вихідний струм [2]. Комбінація двох способів з'єднання проводиться для того, щоб збільшити і струм і напругу. Крім того, при комбінованому з'єднанні підвищується надійність, тобто пошкодження одного сонячного елемента не тягне за собою вихід з ладу всього ланцюга елементів. Т.ч. сонячна батарея складається з послідовно-паралельно з'єднаних елементів. Максимальна величина струму, поточного від батареї, прямо пропорційна кількості паралельно включених, а ЕРС послідовно включених сонячних елементів. Завдяки такій комбінації типів з'єднань збирається батарея з необхідними параметрами.

Сонячні елементи батареї шунтуються діодами. Зазвичай їх 4 - по одному, на кожен четверту частину батареї. Діоди необхідні для захисту від виходу з ладу будь-якій частині батареї, елементи які раптом виявилися затемненими, тобто якщо світло не потрапляє на них. Батарея в цей момент тимчасово генерує вихідну потужність на 25% меншу, ніж при освітленні сонцем всій поверхні батареї без затемнень [2].

Якщо не встановлювати ці діоди, то затемнені елементи будуть сильно нагріватися і можуть вийти з ладу, тому що на часовий проміжок затемнення вони переходять в режим споживання струму (акумулятори розряджаються через сонячні елементи), а при включенні діодів вони шунтуються і струм через них не протікає. Для того, щоб зменшити падіння напруги на діодах, вони повинні бути низькоомними. У зв'язку з цим останнім часом використовують діоди Шотткі. (Діод Шотткі - напівпровідниковий діод з малим падінням напруги при прямому включенні. Названий на честь німецького фізика Вальтера Шотткі [3]. У діодах Шотткі, в якості бар'єру Шотткі, застосовується перехід метал-напівпровідник, тоді як в звичайних діодах, використовують p-n перехід. Діоди Шотткі мають кілька позитивних якостей: дуже мале пряме падіння напруги (0,2-0,4 вольт) і дуже високу

швидкодію. На жаль, таке мале падіння напруги проявляється при доданій напрузі не більше 50-60 вольт.

У діодів Шотткі є і недоліки: при будь-якому короткочасному збільшенні зворотної напруги вони моментально виходять з ладу, а головне є незворотнім.)

Вироблена електроенергія накопичується в акумуляторах, а потім передається у навантаженні. Акумулятори є хімічними джерелами струму. Заряд акумулятора починається з того моменту, коли до нього прикладають потенціал, більший за напругою, ніж у самого акумулятора.

Кількість сонячних елементів, з'єднаних послідовно і паралельно, вибирається таким чином, щоб робоча напруга, що подається на клеми акумулятора з урахуванням падіння напруги в зарядній ланцюга, не на багато перевищувало напругу самих акумуляторів, а струм навантаження батареї забезпечував необхідну величину зарядного струму.

При незначному сонячному світлі заряд акумулятора зменшується і батарея розряджається, віддаючи електроенергію електроприймачів, тобто акумуляторні батареї безперервно працюють в режимі розряду і підзарядки. Для контролю цього процесу існує спеціальний контролер. При циклічному заряді необхідна постійна напруга або постійний струм заряду. При достатньому освітленні акумуляторна батарея стрімко заряджається до 85% своєї номінальної ємності, а потім з меншою швидкістю заряду до повної ємності. Перемикання на меншу швидкість заряду відбувається автоматично за допомогою контролера зарядного пристрою [2].

При попаданні сонячних променів на провідник, той нагрівається, частково поглинаючи енергію променів. Приплив енергії вивільняє електрони всередині напівпровідника. До фотоелементу застосовується електричне поле, яке направляє вивільнені електрони, що змушує їх здійснювати рух в якомусь конкретному напрямку. Цей потік електронів і утворює електричний струм. Зрозуміти процес вивільнення електронів допоможе кремній. В атомі кремнію 14 електронів в трьох оболонках. Перша оболонка повністю заповнена двома електронами, друга вісьмома. Третя

оболонка наполовину порожня - вона має всього лише 4 електрона.

Завдяки такому розподілу електронів у кремнію кристалічна форма; заповнюючи порожнечі в третій оболонці, атоми кремнію «діляться» електронами з сусідами. Але кристал кремнію в чистому вигляді - мало провідний, тому що майже всі його електрони міцно пов'язані в кристалічній решітці.

Виходячи з цього в сонячних батареях використовується кремній, з невеликими домішками, тобто у кремнії присутні атоми інших речовин. На мільйон атомів кремнію припадає лише один атом іншої речовини, наприклад фосфору.

Фосфор у зовнішній оболонці має п'ять електронів. Чотири з п'яти електронів утворюють кристалічні зв'язку з сусідніми атомами кремнію, один електрон залишається «підвішеним» в просторі, без будь-яких зв'язків з сусідніми атомами.

При потраплянні на кремній сонячних променів, додаткової енергії для електронів виявляється досить, щоб від'єднати їх від атома. Тобто на їх місці утворюються «дірки». Вивільнені електрони переміщуються по кристалічній решітці як носії електричного струму. Якщо на їх шляху зустрічаються «дірки», то електрони заповнюють їх.

У чистому кремнії вільних електронів дуже мала кількість завдяки міцним зв'язкам атомів в кристалічній решітці. Але якщо використовувати кремній з домішкою фосфору, то для вивільнення незв'язаних електронів потрібно докласти меншу енергію.

Для отримання електрики можна використовувати більшу частину вільних електронів. Для поліпшення хімічних і фізичних властивостей різних речовин існує процес легування додавання домішок.

Кремній легований атомами фосфору, перетворюється в електронний напівпровідник n-типу. Легування так само буває бором, який має тільки три електрона у зовнішній оболонці. В результаті отримують напівпровідник p-типу, в якому з'являються вільні позитивно заряджені «дірки».

Якщо з'єднати напівпровідник n-типу і напівпровідник p-типу, то в

першому утворюється багато вивільнених електронів, а в другому – багато «дірок». Електрони будуть прагнути якнайшвидше заповнити «дірки», однак якщо це трапиться, то обидва напівпровідника стануть електрично нейтральні.

Насправді при проникненні вільних електронів в напівпровідник р-типу, область на кордоні обох напівпровідників заряджається, утворюється бар'єр, який складно подолати. В області р-п переходу утворюється електричне поле.

Кремній має властивість досить добре відбивати світло, з чого слідує, що велика частина фотонів пропадає. Для зменшення втрат, фотоелементи покривають антибліковим покриттям. Покриття зі скла захищає сонячну батарею від дощу і вітру. [4].

Сонячна батарея (рис. 1.6) складається з наступних основних частин:

- Алюмінієва рамка
- Загартоване скло з антибліковою поверхнею
- Передня ламінуюча плівка
- Елементи (осередки), з'єднані послідовно плоскими провідниками
- Задня ламінуюча плівка
- Задня захисна плівка (PET, TPE, TPT)
- Сполучна розподільча коробка з захисними діодами і з'єднавальними кабелями.

1. Рамка
2. Скло
3. Плівка EVA
4. Елементи
5. Плівка EVA
6. Плівка PET
7. Коробка



Рисунок 1.6 – Складові елементи сонячної батареї

Ламінуючі плівки призначені для цілковитої герметизації всіх елементів і їх щільного прилягання до скла (без повітряних зазорів) з метою позбутися додаткового заломлення світлових променів і, як наслідок, розсіювання потужності. Крім того, герметизація оберігає елементи від різних природних впливів і можливої корозії [5].

Зменшення потужності панелі з плином часу її експлуатації не залежить від самих елементів (їх характеристики залишаються незмінні, якщо це елементи Grade A), а пов'язано, в основному, з якістю плівки, що застосовується для ламінування, тому що при тривалому впливі ультрафіолету її прозорість погіршується. Отже меншу кількість світла надходить до сонячних елементів і панель видає меншу потужність. На жаль, перевірити якість плівки не представляється можливим, залишається тільки довіряти виробнику.

1.4 Якість елементів в модулі

Grade A – після прискореного тесту старіння (PID test) потужність елементів знижується не більше ніж на 5%, тобто елементи як і раніше видають більше 95% своєї номінальної потужності.

Grade B – після прискореного тесту старіння (PID test) потужність елементів знижується не більше ніж на 30%, тобто елементи як і раніше видають більше 70% своєї номінальної потужності.

Grade C – після прискореного тесту старіння (PID test) потужність елементів знижується більш ніж на 30%, тобто елементи починають видавати менше 70% своєї номінальної потужності. [5].

Кількість елементів в модулі

Число сонячних елементів визначається номінальною напругою модуля. Кожен елемент будь-якого розміру представляється кремнієвим фото-діодом, який має напругу в точці максимальної потужності ~ 0.5 Вольт. Типовий модуль з номінальною напругою 12 вольт складається з 36 елементів.

Якщо послідовно з'єднати 36 елементів напругою по 0.5 В кожний, то вийде ~ 18 В в точці максимальної потужності. Саме такою напругою слід заряджати 12-вольтовий акумулятор, тому що для повноцінної зарядки напруга акумулятора повинно досягати 14,2-14,9 В в залежності від типу акумуляторної батареї, але необхідний ще і певний запас на втрати в проводах, нагрів модуля і т.д. [5]. Типова схема з'єднання осередків сонячної батареї представлена на рисунку 1.7.

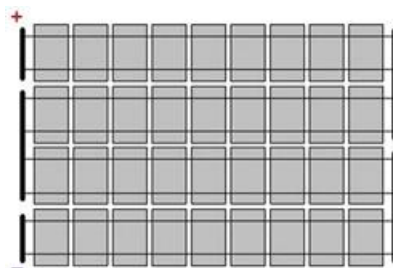


Рисунок 1.7 – Схема з'єднання ланок сонячної батареї

Якщо споживач потребує більшої потужності, то в схему необхідно підключити паралельно ще кілька сонячних панелей і, відповідно, акумуляторів.

У фотоелектричну систему входять: одна чи кілька сонячних батарей в

паралельному з'єднанні, контролер заряду і розряду акумулятора, кілька акумуляторних батарей, інвертор. Найбільш розповсюджені 24-вольтні системи з одночасним перетворенням постійної напруги в 220 вольт змінного струму.

Принципова схема сонячної батареї представлена на рисунку 1.8.

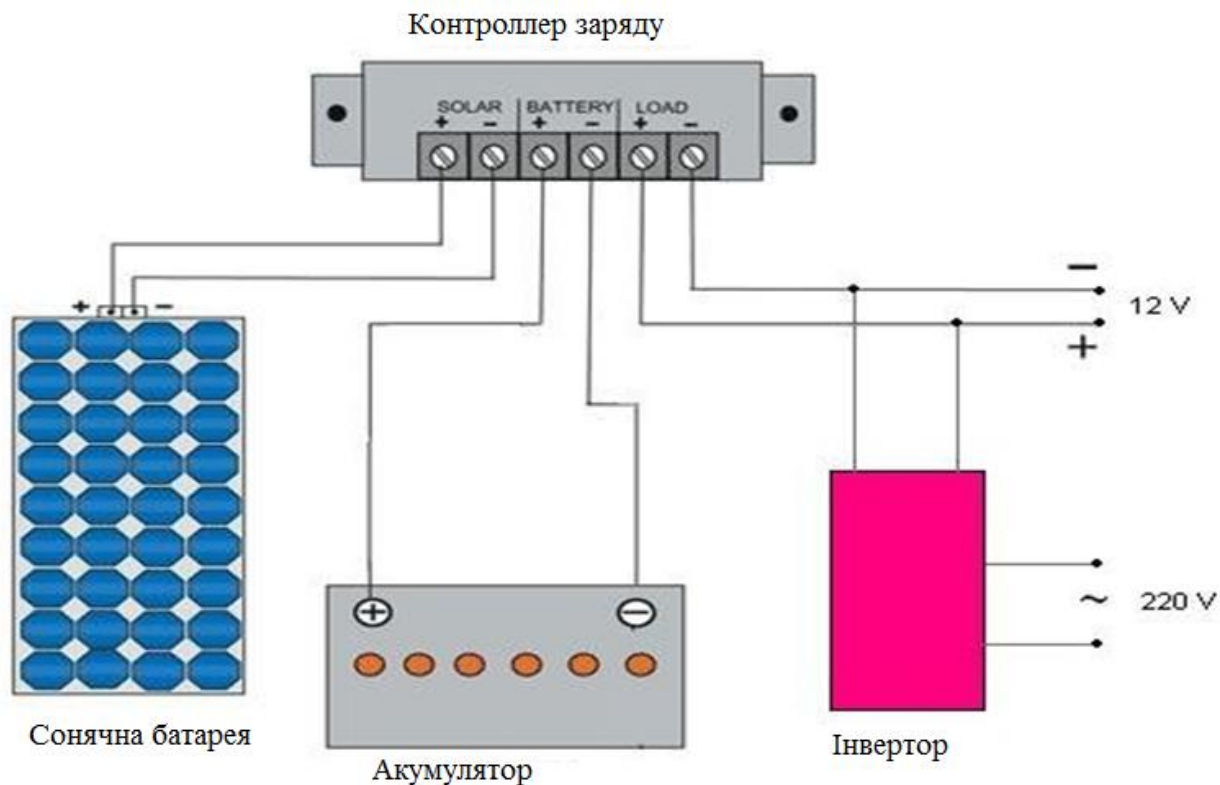


Рисунок 1.8 – Схема фотоелектричної системи

РОЗДІЛ 2

УЛАШТУВАННЯ Й РОБОТА ВІТРОУСТАНОВКИ

2.1 Фізичні основи використання енергії вітру

Рух повітряних мас у атмосфері – вітер – виникає під дією різниці тиску повітря в різних точках атмосфери. Різниця тиску зазвичай виникає через різницю температур повітряних мас. Однією з причин виникнення вітру є також обертання Землі навколо своєї осі. Глобальну циркуляцію повітря в атмосфері показано на рис. 2.1.

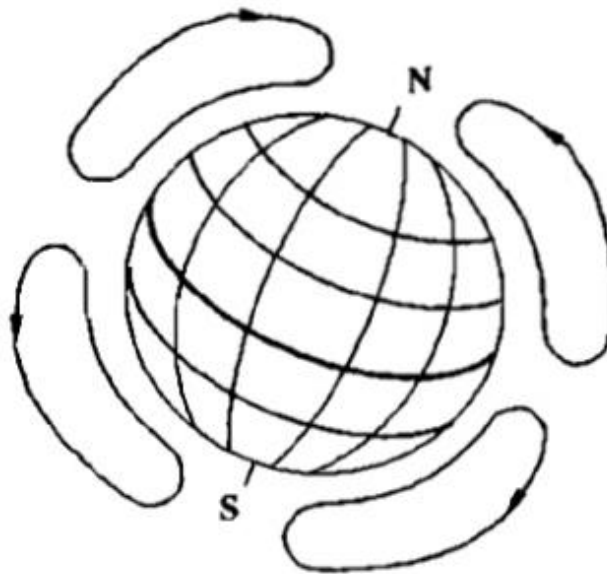


Рисунок 2.1 – Циркуляція повітря в атмосфері

У зоні екватора повітря нагрівається і піднімається вгору. Верхні шари атмосфери рухаються у напрямку полюсів, де охолоджуються і опускаються до поверхні. Холодні шари повітря переміщуються над поверхнею Землі у напрямку екватора. Енергетичний потенціал вітру становить $16,8 \cdot 10^{15}$ кВт·год (близько 1 % від енергії Сонця). Проте, зважаючи на рельєфні особливості місцевості, віддаленість від морів і океанів, пори року,

сила і напрям – основні характеристики вітру – змінюються за різними законами, тому енергія вітру в кожній точці поверхні змінюється в широких межах. Потенціал енергії вітру за регіонами України на висоті $h_1 = 10$ м від поверхні Землі показано на рис. 2.2. Зі збільшенням висоти швидкість вітру збільшується за таким законом:

$$v = v_1 \left(\frac{h}{h_1} \right)^n, \quad (2.1)$$

де v_1 – значення швидкості вітру на висоті h_1 ,

h – висота, на якій необхідно визначити швидкість вітру,

n – коефіцієнт, який враховує особливості місцевості (для рівнинної поверхні $n = 1/7$).

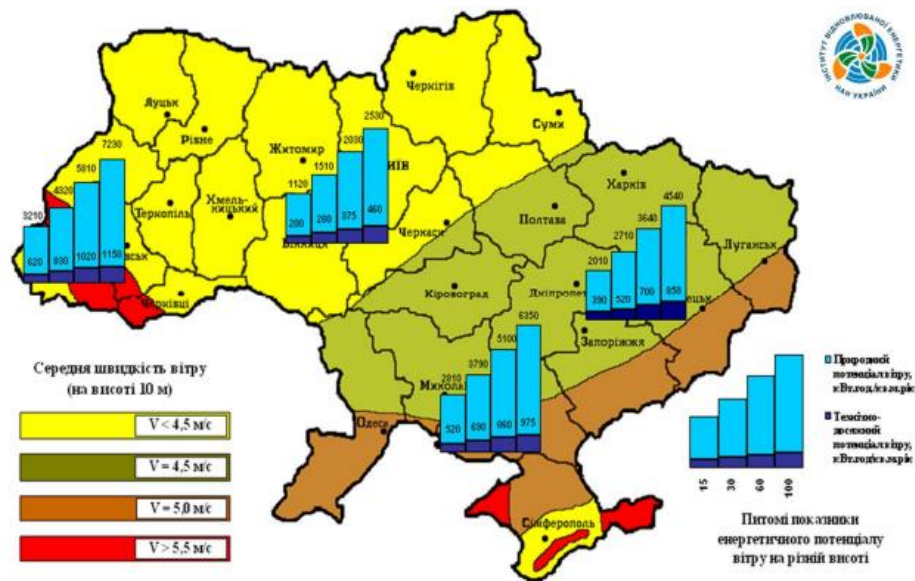


Рисунок 2.2 – Потенціал енергії вітру на території України

2.2 Вітроелектричні установки

Енергію вітру найчастіше використовують для генерування електричної енергії із застосуванням ВЕУ. Основним конструктивним вузлом ВЕУ є вітроагрегат до складу якого входять вітроколесо, мультиплікатор і генератор. Вітроколесо під дією вітру створює обертовий момент на валу генератора. Для узгодження частоти обертання вітроколеса і частоти мережі

використовують мультиплікатор. Також ВЕУ комплектують системою керування роботою вітроагрегату і генератором. Існує два основних типи ВЕУ – з вертикальною, рис. 2.3 і горизонтальною віссю обертання, рис. 2.4.



а

б

в

г

Рисунок 2.3 – ВЕУ з вертикальною віссю обертання:

а – з ротором Савоніуса; б – з ротором Масгрува;

в – з ротором Дар'є; г – з гелікодіним ротором



а

б

в

г

Рисунок 2.4 – ВЕУ з горизонтальною віссю обертання

а – однолопатева; б – дволопатева; в – трилопатева; г – багатолопатева

Ротор ВЕУ з вертикальною віссю обертається навколо осі, перпендикулярній напрямку повітряного потоку. Переваги ВЕУ з вертикальною віссю обертання:

– відсутність системи орієнтації за напрямом вітру, оскільки ефективність роботи ВЕУ з вертикальною віссю визначається лише швидкістю вітру і не залежить від його орієнтації;

– вісь обертання ротора генератора співпадає з віссю обертання вітроколеса, тому генератор і редуктор розміщують внизу ВЕУ;

– менше навантаження на опору ВЕУ.

Незважаючи на ці переваги, ВЕУ з вертикальною віссю обертання не знайшли широкого застосування. Це пов'язано з тим, що ВЕУ з горизонтальною віссю обертання мають більший ККД і меншу вартість. За геометрією вітроколеса ВЕУ з горизонтальною віссю обертання поділяють на одно-, дво-, три- і багатолопатеві. Як правило багатолопатеві агрегати працюють з низькою швидкістю обертання, проте мають великий обертовий момент, тому їх використовують в якості приводів насосів та інших виконавчих пристроїв. Однотрилопатеві ротори мають високу швидкість обертання, тому їх, як правило, під'єднують до електрогенераторів. Найчастіше використовують трилопатеві вітроколеса. Їх основним недоліком була висока стартова швидкість (4-6) м/с, у сучасних ВЕУ значення цього показника знижено до (2-3) м/с.

За призначенням вузли ВЕУ розділяють на механічні, аеромеханічні і електричні, рис. 2.5.

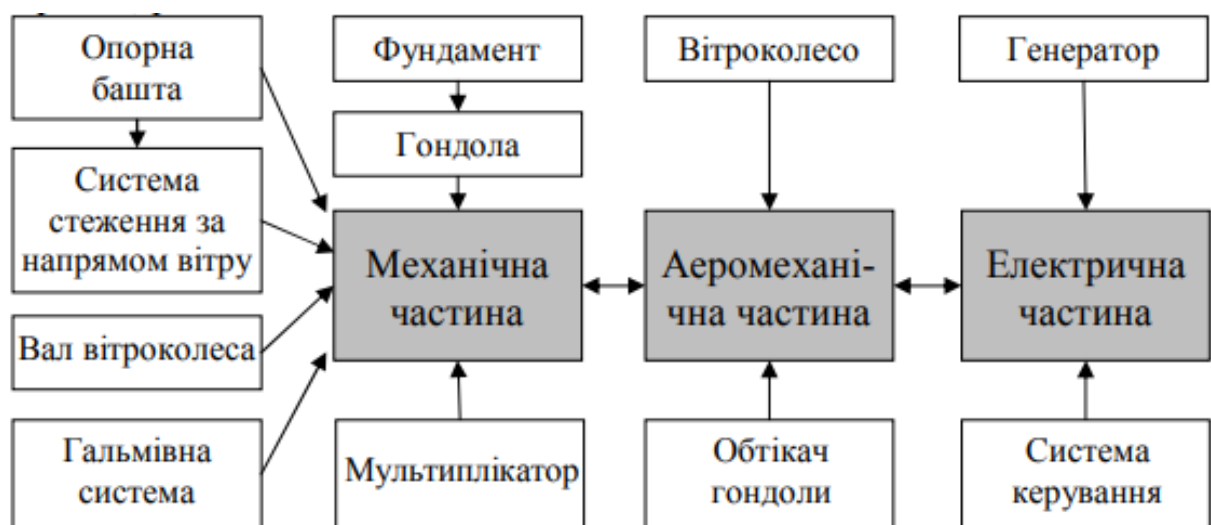


Рисунок 2.5 – Структурна схема ВЕУ

Класичні вітрові установки мають 3 лопаті, які закріплені на роторі. Приводиться в обертання лопатями, ротор генератора виробляє трифазний змінний струм. Цей струм, в свою чергу, передається на контролер, потім перетворюється в постійну напругу і подається на клемами акумуляторних батарей.



Рисунок 2.6 – Улаштування вітрогенератора

Струм, що йде акумулятором, здійснює їх зарядку, використовуючи акумуляторні батареї так само і як провідник. Потім струм проходить інвертор, в якому наводиться до наших звичних показників: змінному однофазному струму напругою 220В, 50 Гц (рис. 2.7). Якщо навантаження невелике, то виробленої електрики досить для електроприладів та освітлення, недолік електроенергії, якщо такий є, компенсується за рахунок АКБ [6].

Принцип роботи вітрогенераторів будь-якого типу полягає в наступному: при обертанні виникає три види фізичного впливу на лопаті гвинта - імпульсна сила і підйомна, результатом яких є приведення в рух маховика, і гальмівна сила. Опір долається двома силами, і маховик починає крутитися, ротор створює магнітне поле на нерухомій частині генератора.

Цього вистачає для початку руху струму по проводах.

Сучасні конструкції вітрогенераторів дозволяють економічно вигідно і ефективно користуватися енергією вітру. За допомогою будь-якого типу вітрогенератора в даний час можливо не тільки поставляти електроенергію в мережу, але і знаходити рішення завдань по електропостачанню місцевих або ізольованих об'єктів будь-якої потужності.



Рисунок 2.7 – Схема ВЕС

Вітер приводить в рух гвинт вітряка, обдуваючи його. Ротор (лопаті вітряної електростанції) служить для перетворення енергії вітру в механічну енергію обертання. Лопаті вітряних електростанцій, встановлені сьогодні, знаходяться в межах тридцяти метрів в довжину, виготовлені з поліестеру, який армований скловолокном або деревно-епоксидною смолою. Лопаті обертаються зі швидкістю від 12 об/хв до 24 об/хв. Швидкість обертання вала підвищується редуктором з низькою до високої (діапазон від 1000 об/хв до 3000 об/хв), при якій наводиться в рух генератор. На сьогоднішній день існуючі вітроустановки мають генератор, який підключається безпосередньо до лопатів. Використання магнітного поля генератором, дозволяє перетворювати підсумкову обертальну енергію в електричну.

Анемометр і флюгер, розташовані на задній частині корпусу турбіни

вітряка, служать для вимірювання швидкості вітру. Зібрана інформація надходить у систему управління, яка використовується для вироблення максимальної кількості енергії. Інформація про швидкість вітру також необхідна для контролю роботи і дає можливість операційній системі починати обертання турбіни і зупиняти її. Діапазон робочих швидкостей сучасної вітряної електростанції від 4 м/с до 25 м/с. Переважний напрямок вітру і поворот в його сторону здійснюється механізмом нищпорення.

Вежі вітрогенераторів виготовляються зі сталевих труб, проте решітчасті вежі так само поширені в деяких країнах. Висота вежі сучасної вітряної електростанції коливається від 60 до 100 метрів.

Трансформатор перетворює напругу, що вимагається для електричної мережі. Трансформатор може перебувати в підставі, або може бути вбудований в саму вежу [6].

2.3 Структура систем електроживлення на основі ВЕУ

ВЕУ залежно від типу електрогенератора можуть використовувати для організації мережевих чи автономних систем живлення змінного чи постійного струму. Для організації автономних систем живлення постійного струму використовують ВЕУ малої потужності (до 10 кВт). У цьому випадку не має потреби регулювати швидкість обертання вітроколеса і використовувати мультиплікатор. У таких ВЕУ найчастіше використовують двигуни постійного струму і акумулятор. Іноді для організації систем живлення постійного струму використовують двигуни змінного струму, на виході яких встановлено випрямляч і фільтр.

ВЕУ середньої і великої потужності зазвичай застосовують для генерування напруги змінного струму в центральну мережу. Для цього як генератори змінної напруги використовують синхронні і асинхронні двигуни. За умови безпосереднього підключення двигунів змінного струму до мережі частоту обертання ротора вітроколеса підтримують на постійному рівні, що зменшує ефективність роботи ВЕУ. Для усунення цього недоліку на виході

двигуна встановлюють випрямляч, пристрій відбору максимальної потужності і інвертор. Тоді швидкість обертання ротора вітроколеса може змінюватись в широких межах за постійної частоти вихідної напруги. Схеми основних систем електроживлення ВЕУ показано на рис. 2.8.



Рисунок 2.8 – Схеми систем електроживлення на основі ВЕУ

- а – автономна система електроживлення з двигуном постійного струму;
- б – автономна система електроживлення з двигуном змінного струму;
- в – система електроживлення з постійною швидкістю обертання вітроколеса і підключенням до мережі; г – система електроживлення зі змінною швидкістю обертання вітроколеса і підключенням до мережі

2.4 Вольтамперна характеристика сонячних батарей

Електричні параметри модуля представляються у вольтамперній характеристиці (рис. 2.9), визначеної при стандартних умовах (тобто при потужності сонячного випромінювання рівної 1000 Вт/м², температурі

панелей 25°C і сонячному спектрі на широті 45°).

Точка, в якій перетинається вісь напруги з кривою, називається напругою холостого ходу $V_{х.х.}$, а перетин кривої осі струму струмом короткого замикання $I_{к.з.}$. На тому ж графіку представлена крива потужності, котру виробляють сонячні елементи в залежності від навантаження. Номінальна потужність модуля визначається як максимальна потужність при стандартних умовах. Робоча напруга V_p цю напругу, що відповідає максимальній потужності, а відповідний струм робочий струм I_p [7].



Рисунок 2.9 – Вольт-амперна характеристика
(Товстою лінією позначена ВАХ, тонкою крива потужності)

Робоча напруга модуля, що складається з 36 елементів, приблизно дорівнює 17-18В (0,47-0,5 В/елемент) при 25 °С. Даний запас по напрузі служить компенсацією зменшення робочої напруги при розігріві модуля сонячною радіацією. Коефіцієнт температури при напрузі х.х. для кремнію становить мінус 0,4%/градус. Температурний коефіцієнт струму плюс 0,07%/градус. Напруга х.х. сонячного елемента малопомітно змінюється при зменшенні або збільшенні освітленості, проте струм к.з. прямо пропорційний її зміні. Коефіцієнт корисної дії сонячного елемента розраховується з відношення максимального значення потужності модуля до загального

значення потужності випромінювання, що потрапляє на поверхню модуля при нормальних умовах, і знаходиться в діапазоні від 12 до 15%, в окремих зразках (які знаходяться на стадії розробки) до 40%. У статті «Особливості перетворення енергії і завдання управління в електроенергетичних установках на базі поновлюваних джерел енергії», опублікованій професором Міжнародного інституту комп'ютерних технологій П.Ю. Белякова, представляється вид класичних ВАХ сонячного модуля, з позначенням точок максимальної потужності, що розвивається при різній інтенсивності сонячної радіації і при різній температурі (рис. 2.10).

Проаналізувавши характеристики стає очевидна необхідність регулювати опір навантаження, що живиться від модуля, для забезпечення максимальної ефективності його роботи [7]. Орієнтація площині модулів під прямим кутом до сонячного випромінювання так само необхідна, тому що джерело енергії Сонце переміщається по небосхилу, в зв'язку з чим кількість енергії, що потрапляє на перетворювач, змінюється з плином доби.

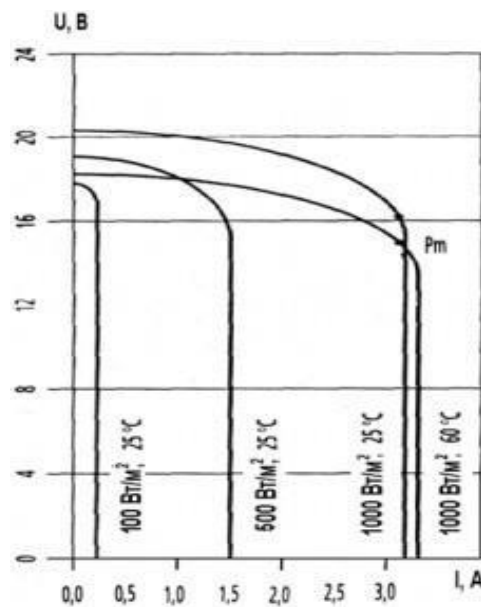


Рисунок 2.10 – Вид класичних вольтамперних характеристик сонячного модуля

2.5 Перетворювачі постійної напруги в змінну

Для перетворення постійної напруги від акумуляторів в змінну, що використовується для живлення безлічі електроприймачів, разом із сонячною батареєю необхідно використовувати спеціально призначені пристрої – інвертори.

Не використовуючи інвертор, від сонячної батареї може житися тільки те навантаження, яке працює на постійній напрузі, в т.ч. різноманітна портативна техніка, енергозберігаючі лампи і таке інше.

Всі автономні інвертори перетворюють постійний струм акумуляторних батарей. Чим вище вхідна напруга, тим простіше схема інвертора і тим більше його ККД. Втрати при передачі енергії від сонячних панелей до акумуляторів, регуляторам заряду і інверторів значно зменшуються при високій напрузі, однак при цьому ускладнюються конструкції сонячних електростанцій і їх експлуатація при небезпечних напруженнях (вище 40 В).

2.6 Трифазний мостовий автономний інвертор напруги

Існує безліч схем АІН. Однак, широке застосування отримала схема трифазного мостового інвертора на повністю керованих вентилях (транзисторах або замикаючих тиристорах), наведена на рисунку 2.11.

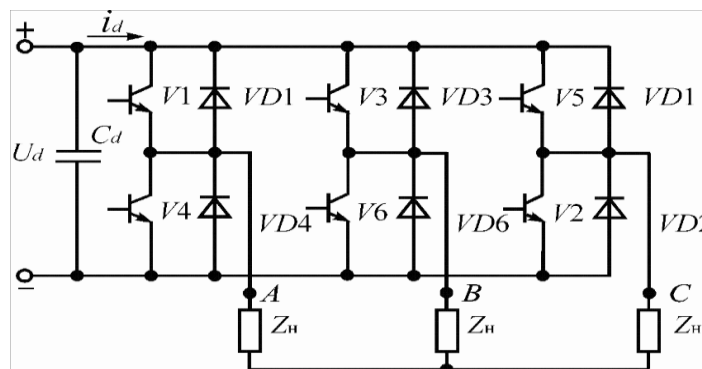


Рисунок 2.11 – Трифазний мостовий АІН

На вході присутній обов'язковий елемент інвертора конденсатор C_d . Їм забезпечується безперервне споживання енергії від джерела живлення навіть в разі замкнених ключів і захист напівпровідникових елементів від перенапруги, що виникає на сполучних проводах між джерелом живлення і блоком вентилів. Конденсатор краще включати максимально близько до блоку вентилів.

Схема працює при вугіллі провідності $\lambda = 180^\circ$. У схемі завжди в один час повинні бути відкриті три керованих вентиля в різних фазах. Цим забезпечується незалежність форми вихідної напруги на навантаженні від її параметрів [8].

Алгоритм перемикання транзисторів наочно показує можливість шести незалежних поєднань відкритих і замкнених станів керованих вентилів. Так само з алгоритму випливає, що при з'єднанні навантажень зіркою кожна фаза включена або паралельно іншій фазі і послідовно з третьою, або послідовно з двома іншими паралельно з'єднаними фазами. Виходячи з цього на кожній фазі напруга дорівнює або $U_d/3$ або $2U_d/3$ (при симетричному навантаженні), і фазна напруга на навантаженні має двоступеневу форму (рисунок 2.12).

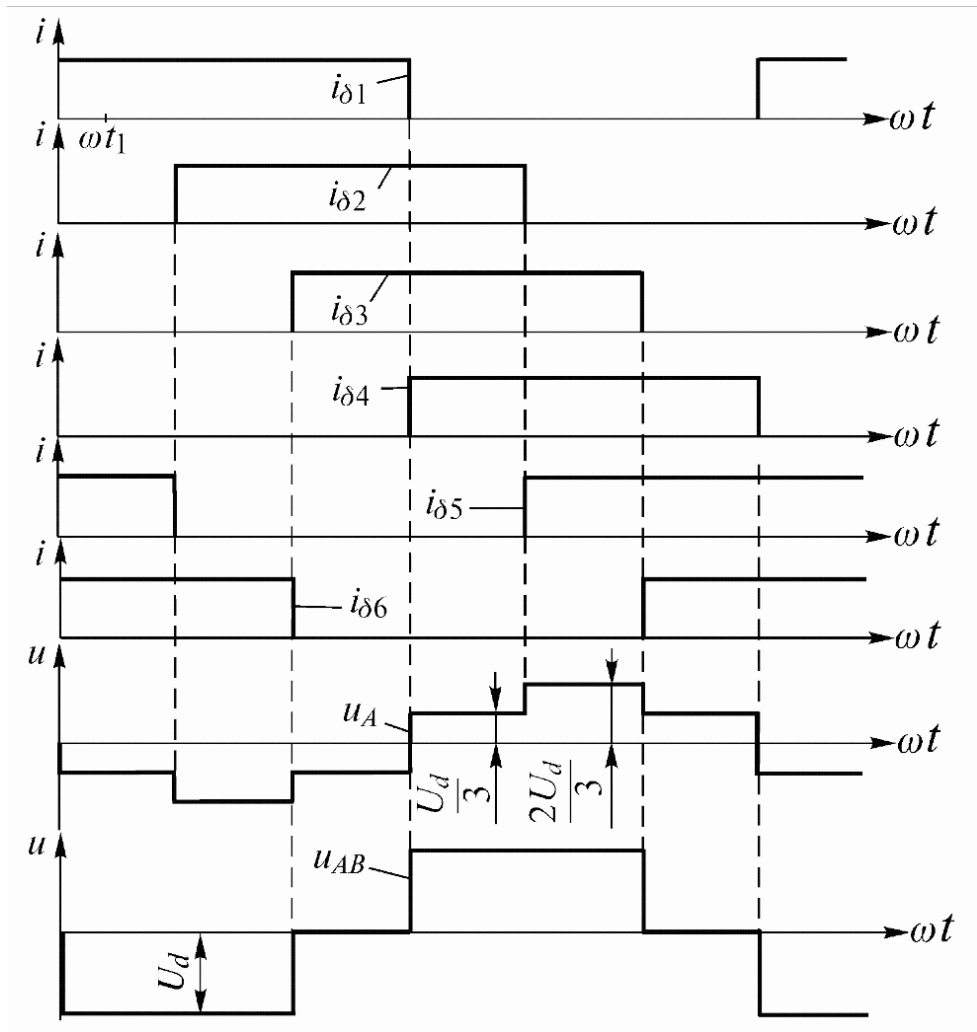


Рисунок 2.12 – Діаграми струмів та напруг у трифазному мостовому АІН

Значення чинної лінійної напруги на навантаженні, згідно діаграмі лінійної напруги $U_{нл}$

$$U_{нл} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_{л}^2 \omega t} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot U_d = 0,816 \cdot U_d. \quad (2.2)$$

Далі розрахунок виконаний за допомогою методу основної гармоніки. При розкладанні в ряд Фур'є кривої напруги $U_{нл}$, амплітуда першого члена ряду буде:

$$U_{нл(1)m \rightarrow} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} U_d. \quad (2.3)$$

У розкладанні є, крім першої, гармоніки з номерами $k = nm \pm 1$, де m

твір числа фаз на число пропускаються напівволн ($m = 3 \cdot 2 = 6$); $n = 1, 2, 3 \dots$ натуральний ряд чисел.

Перша гармоніка лінійної напруги має діюче значення:

$$U_{нл(1)} = \frac{U_{нл(1)m}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} U_d = 0,78U_d. \quad (2.4)$$

Воно досить близько до діючим значенням лінійної напруги $U_{нл}$ (відміну становить менше 5%), тому що амплітуда гармоніки зі збільшенням номера сильно зменшується. Перша гармоніка фазної напруги має діюче значення:

$$U_{нф(1)} = \frac{U_{нф(1)}}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_d = 0,45U_d. \quad (2.5)$$

Далі опустимо індекс "(1)", тому що розрахунки ведуться тільки по першій гармоніці. Прийнемо схему ідеальної і будемо використовувати індекс «0», тоді:

$$U_{нф0} = U_{нф(1)}. \quad (2.6)$$

Вид фазного струму при активно-індуктивному навантаженні:

$$I_\phi = \frac{U_{нф0}}{Z_{нф}}, \quad (2.7)$$

де $Z_{нф}$ - повний опір фази навантаження. У навантаження передається активна потужність значенням:

$$P_n = 3U_{нф0}I_\phi \cos \varphi_n. \quad (2.8)$$

Тут - кут зсуву струму навантаження щодо напруги. Потужність, котра споживається від джерела живлення:

$$P_d = U_d I_d, \quad (2.9)$$

де I_d середнє значення струму споживаного від джерела живлення. Так як

перетворювач прийнятий ідеальним, то його ККД = 1. Далі можна отримати рівняння балансу потужностей на вході і виході автономного інвертора напруги:

$$U_d I_d = 3U_{\text{нф}} I_{\text{ф}} \cos \varphi_{\text{н}}. \quad (2.10)$$

У рівності (2.9) не враховуються всі вищі гармоніки. Отже на практиці завжди:

$$U_d I_d > 3U_{\text{нф}} I_{\text{ф}} \cos \varphi_{\text{н}}. \quad (2.11)$$

Рівність (2.9) виконується тим точніше, чим ближче за формою до синусоїди струм I ф. З рівності (2.9), з огляду на рівності (2.4) і (2.5), слідує:

$$I_d = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} I_{\text{ф}} \cos \varphi_{\text{н}} = 1,35 I_{\text{ф}} \cos \varphi_{\text{н}}. \quad (2.12)$$

Через напівпровідниковий ключ проходить струм з амплітудою:

$$I_{k\text{max}} \approx I_{\text{фm}} = \sqrt{2} I_{\text{ф}} = \frac{1,05 \cdot I_d}{\cos \varphi_{\text{н}}}, \quad (2.13)$$

де $I_{\text{фm}}$ амплітуда фазного струму.

Амплітуда напруги на напівпровідниковому ключі:

$$U_{k\text{max}} = U_d \quad (2.14)$$

Розглянемо детальніше вхідний струм інвертора I_d . Під час відключення вентиля V4 і відкриття вентиля V1 завдяки ЕРС самоіндукції струм в фазі А не змінює свій напрямок і продовжує протікати через діод VD1, тиристор V5 і фазу С. Виходить, що струм фази А є частиною струму фази С і від джерела споживається струм, який менше на цю величину реактивного струму. У той же час якщо реактивний струм перемикається фази іА більше струму фази іС, то під час комутації струм джерела живлення змінить свій напрямок.

Конденсатор на вході інвертора вибирається виходячи з формули:

$$C_d = 0,13 \frac{U_d T_H}{r_H \Delta U_c}, \quad (2.15)$$

де ΔU_c коливання напруги на конденсаторі в допустимих межах; T_H постійна часу навантаження.

$$T_H = \frac{L_H}{r_H}, \quad (2.16)$$

де L_H індуктивність навантаження.

Формула (2.15) дає максимальне значення ємності з урахуванням самих низьких вихідних частот. Таким чином, отримані співвідношення дозволяють виконати розрахунок ідеального трифазного мостового АІН [8].

З формули (2.15) виходить максимальне значення ємності, враховуючи найнижчі вихідні частоти.

Виходячи з вищевказаного, отримані рівності дають можливість виконати розрахунок ідеального трифазного мостового АІН [8].

Фільтри

За допомогою фільтрів усуваються гармонійні складові і виділяється основна складова струму (напруги). Фільтри підключаються або на вхід або на вихід перетворювача.

Фільтри, які виконані тільки з використанням реактивних елементів (індуктивності і ємності), називаються пасивними. Найчастіше до складу таких фільтрів полягають і резистори, демпфуючі (штучно пригнічуючі) коливання, які виникають в високо добротних контурах.

Щоб зменшити шкідливий вплив перетворювача на мережу живлення використовують вхідні фільтри. Так само дані фільтри захищають перетворювач від поступаючих з мережі електромагнітних завад. Вони часто називаються мережевими фільтрами.

Для поліпшення форми вихідної напруги перетворювача застосовуються вихідні фільтри. Ті фільтри, які покращують вихідну напругу перетворювача з виходом на постійному струмі, називають згладжуючі, а фільтри з виходом на змінному струмі вихідними фільтрами змінного струму або просто вихідними.

Види згладжуючих фільтрів: ємнісні, індуктивні, Г-образні.

Вихідні фільтри змінного струму

Вихідні фільтри ставляться на виході автономних інверторів напруги з широтно-імпульсною модуляцією для поліпшення умов роботи асинхронних двигунів, особливо, якщо АД розташований на досить великій відстані від перетворювача і ШІМ-сигнал проходить по довгих дротах. Найбільш простий фільтр - це Г-подібний LC-фільтр (рис. 2.13).

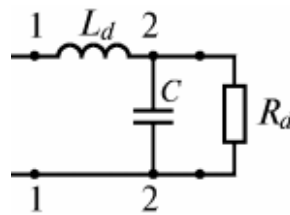


Рисунок 2.13 – LC-фільтр

Для вищих гармонік індуктивність представляється великим опором, а ємність - малим. У зв'язку з цим вищі гармоніки послаблюються значно сильніше, ніж перша. Якщо нехтувати впливом навантажень, то коефіцієнт ослаблення для n-ої гармоніки буде дорівнювати:

$$k_{\text{осл.п}} = \frac{n\omega_1 L - \frac{1}{n\omega_1 C}}{\frac{1}{n\omega_1 C}}, \quad (2.17)$$

де ω_1 - кутова частота першої гармоніки.

Якщо знехтувати в чисельнику величиною $(1/n\omega_1 C)$, яка швидко зменшується з ростом номера гармоніки, то маємо:

$$k_{\text{осл.п}} \approx n^2 \omega_1^2 LC \quad (2.18)$$

Коефіцієнт ослаблення швидко зростає зі збільшенням номера гармоніки. Тому має велике значення коефіцієнт ослаблення на найбільш низькою з високочастотних гармонік, тобто на гармоніці $\omega_{\text{ш}}$, яка відсутня в частоті ШІМ. Отже коефіцієнт ослаблення вихідного фільтра:

$$k_{осл} \approx \omega_{ин}^2 LC \quad (2.19)$$

У даній роботі для того, що б синусоїда вихідного струму після інвертора була більш гладкою, після АІН включений згладжуючий LC-фільтр. Конденсатори з'єднані трикутником, що дозволяє зменшити ємність конденсатора в 3 рази в порівнянні з з'єднанням "зіркою" [8].

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МЕРЕЖІ ВІД КОМБІНОВАНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Для того, що б жити трифазну мережу необхідна сама сонячна батарея, вітроустановка, контролер заряду, акумулятори, автономний інвертор напруги, випрямляч, регулятор. В ході роботи було розроблено два варіанти схеми електропостачання. У першому варіанті використовується імпульсний перетворювач постійної напруги і потужний інвертор, який дозволяє на виході отримати напругу 380-400 вольт для подальшого транспортування електроенергії споживачам. У другому варіанті відсутній імпульсний перетворювач постійної напруги, але використовується понижуючий трансформатор. Такий варіант схеми дозволяє приводити будь-яку напругу в системі до потрібних параметрів. Однак даний варіант схеми економічного недоцільний головним чином через витрати на придбання та утримання трансформатора. Для комбінованої сонячної електростанції був обраний перший варіант схеми електропостачання. Всі схеми представлені в Додатку В.

Розрахунок параметрів і вибір пристроїв схеми електропостачання

Для забезпечення електроживлення невеликого селища потрібно максимально 500 кВт потужності. Тобто $P_{ном} = 500$ кВт. Підсумкова напруга трифазної мережі $U = 380/220$ В.

Комбінована СЕС за задумом повинна мати резерв, тобто при відсутності сонячної енергії частину необхідної потужності буде забезпечувати вітроустановка. У сонячні і вітряні дні одна частина електростанції буде забезпечувати споживачів потрібною потужністю, а інша частина буде накопичувати енергію для роботи в автономному режимі.

Таким чином основне навантаження лежить на сонячних батареях 400 кВт, додаткова потужність надходить від вітроустановки потужністю 100 кВт. Так само батарея акумуляторів автономно (без участі сонячних елементів і вітроустановки) може постачати до 120 кВт.

Сонячні елементи

Максимальна потужність сонячної батареї 300 Вт. Для отримання 400 кВт номінальної потужності потрібно приблизно 1333 таких сонячних модулів. Для даного проекту підходить монокристалічна сонячна батарея Suoyang 300Вт / 24В. Технічні характеристики даного сонячного модуля задовольняють запитам щодо забезпечення електропостачання та представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики сонячної батареї SY-300WM

Потужність, Вт	300
Напруга холостого ходу, В	45,5
Струм короткого замикання, А	8,56
Напруга у точці макс.потужності, В	38
Струм в точці макс. потужності, А	7,89
ККД сонячної панелі, %	15,5
Номінал запобіжників, А	15
Максимальна напруга системи, В	1 000
Робоча температура, С	40 ... +85
Зайнята площа, м ²	1,9

Акумуляторні батареї

Для забезпечення напруги в 380-400 В на виході інвертора необхідно на вхід подати 600 В. Таке можливо при послідовному з'єднанні 25ти акумуляторних батарей по 24 вольти. Для більш довгої роботи в автономному режимі без перебоїв живлення краще вибирати акумулятори великого об'єму.

Для даного проекту мною було підібрано акумуляторні батареї LI-ION 24 В / 1000 Ач.

Літій-іонні акумулятори:

- Висока щільність енергії
- У порівнянні з AGM і GEL батареями економиться до 70% простору
- Низька маса
- Великий термін експлуатації, приблизно 4000 циклів

Система управління батареями (BMS) для балансування елементів входить у комплект поставки [9]

Таблиця 3.2 – Характеристики акумуляторної батареї

Номінальна ємність, Ач	1000
Номінальна напруга, В	25,5
Номінальна потужність, кВт	25,6
Рекомендована напруга заряду, В	28,8
Робоча напруга заряду, В	25,6
Рекомендований заряд/розряд, А	500
Максимальний струм заряду/розряду, А	1000

Розрахунок струмів

Виходячи з формули повної потужності:

$$P_{ном} = \sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot I_{ном}, \quad (3.1)$$

де $U_{ном} = 400$ В; $\cos \varphi = 0,8$ знаходимо номінальний струм сонячної батареї:

$$I_{ном} = \frac{400 \text{ кВт}}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 722 \text{ А}. \quad (3.2)$$

Струм короткого замикання (далі струм к.з.) на виході сонячної батареї перевищує номінальний струм в 3,5 рази, отже:

$$I_{к.з.сон.бат.} = 3,5 \cdot 722 = 2527 \text{ А}. \quad (3.3)$$

Далі, виходячи з розрахунків, підбираємо інвертор з запасом по потужності.

Інвертор

В якості відповідного інвертора виступає інвертор фірми АВВ типу ACS800-107-0510-3. Типорозмір R8i. Номінальні характеристики представлені в таблиці 3.3.

Розрахунковий струм к.з. інвертора з урахуванням запасу по струму:

$$I_{к.з.инв} = 0,95 \cdot 1014 = 963 \text{ А}. \quad (3.4)$$

Таблиця 3.3 – Номінальні характеристики інвертора

Номінальні характеристики		Робота без перевантаження	Робота с невеликим перевантаженням (10%)		Робота у тяжкому режимі (перев.50%)		Розсіювана потужність, кВт	Код типу	Типорозмір
$I_{cont.max}$, А	$I_{max(10с)}$, А	$P_{cont.max}$, кВт	I_N , А	P_N , кВт	I_{hd} , А	P_{hd} , кВт			
$U_{ном} = 400$ В (діапазон 380 - 415 В)									
741	1014	500	711	500	554	315	8	ACS800-107-0510-3	R8i

Вітроустановка і випрямляч

Для безперебійної роботи електростанції і забезпечення споживачів електроенергією крім сонячних батарей необхідно додати ще одне джерело вітроустановку. За проектом в денний час сонячні елементи будуть забезпечувати споживачів енергією, паралельно заряджаючи акумулятори. Вітроустановка в цей час заряджає ще один блок батарей, який підключений паралельно до першого блоку. Таким чином напруга на вході інвертора не змінюється, але ємність акумуляторів зростає.

У нічний час доби навантаження електроенергією забезпечують акумуляторні батареї, заряджені сонячним випромінюванням і вітром за день, і вітроустановка. Вночі споживання електрики мінімально, тому великої потужності не потрібно. Встановлюємо вітрогенератор номінальною потужністю 100 кВт (табл. 3.4).

Таким чином, в ранкові та вечірні години, при пікових навантаженнях або нестачі сонячного випромінювання, вітроустановки будуть давати додаткову потужність для споживання. У нічні години від вітроустановки будуть заряджатися акумулятори, які не встигли зарядитися за день або виряджені в ході споживання електроенергії, а так само забезпечуватися електрикою споживачі. Тим самим забезпечується повністю автономна робота електростанції.

При максимальній швидкості вітру в 25 м / с і більше лопаті флюгуруються, и гвинт загальмовується, щоб запобігти пошкодженню. Великий обхват робочих температур дає можливість застосовувати вітроустановку в різних кліматичних зонах [10]. Здатність лопатей повертатися навколо своєї осі дозволяє змінювати крок гвинта. Завдяки цьому вдається досягти найбільш ефективною аеродинаміки при різних швидкостях вітру й флюгувати гвинт при високій швидкості вітру для зниження опору.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики вітроустановки 100 кВт

Номінальна потужність, кВт	Напруга на виході, В	Початкова швидкість вітру, м/с	Макс. робоча швидкість вітру, м/с	Номінальна швидкість вітру, м/с	Діаметр ротора, м
100	380	2,5	25	12	21
Кількість лопатей, шт	ККД генератора, %		Рівень шуму, db	Діапазон робочих температур С	Проектний термін служби, роки
3	90		Не більш 70	-40 ... +40	25

Генератор, гвинт і система наведення і управління встановлюється в гондолі, що монтується на щоглу. З метою надання установки на вітер і його стабілізації застосовується автоматичний сервопривод. Відмова від аеродинамічного стабілізатора і використання активної системи дозволяє забезпечити точне наведення на вітер і позбутися від нищпорення вітряка. На сервоприводи гондолою і кроку гвинта надходять сигнали від флюгера анемометра, що знаходиться на гондолі.

Для транспортування енергії до акумуляторів при сильному вітрі використовується випрямляч. Технічні характеристики випрямляча представлені в табл. 3.5.

Вітрогенератор, в разі необхідності, може працювати так само і в якості синхронного компенсатора. Робота в режимі СК дозволяє розвантажити інвертор від реактивного струму. Так само при аварії (к.з.) генератор бере на себе ударний струм короткого замикання, позбавляючи інвертор від пошкоджень.

Таблиця 3.5 – Номінальні характеристики випрямляча

Номінальні характеристики		Робота без перевантаження	Робота с невеликим перевантаженням (10%)		Робота у важкому режимі (перев.50%)		Розсіювана потужність, кВт	Код типу	Типорозмір
$I_{cont.max}$, А (змін. струм)	$I_{max(10c)}$, А		$P_{cont.max}$, кВт	I_N , А	P_N , кВт	I_{hd} , А			
$U_{ном} = 690 \text{ В}$ (діапазон 525 – 690 В)									
382	571	355	367	355	286	270	7	ACS800-107-0440-7	R8i

На підставі виконаних розрахунків обрані пристрої, які представлені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Вибрані пристрої

Сонячні модулі	Suoyang SY-300WM 300Вт / 24В
Акумуляторні батареї (50 шт.)	LI-ION 24 В / 1000 Ач.
Інвертор	ABB ACS800-107-0510-3
Вітроустановка потужністю 100 кВт	
Випрямляч	ABB ACS800-107-0440-7

3.1 Аналіз основних показників робочих режимів комбінованої сонячної електростанції. Основні режими електричних систем

У будь-якій енергосистемі відбуваються безперервні зміни таких величин, як частота, напруга, кут зсуву між напругою різних вузлів системи, струм, активна і реактивна потужність і інші показники, котрі називаються параметрами режиму. Режим енергосистеми - це такий стан енергетичної системи, що характеризується поєднанням де яких показників.

Існує три режими роботи енергосистеми.

Нормальний - це режим, в якому всі параметри відхиляються від

номінальних значень в допустимих межах, навантаження змінюються повільно, а електростанція встигає здійснювати регулювання параметрів режиму. При цьому режимі можливі короточасні відхилення будь-яких параметрів (наприклад, при комутації деяких елементів системи) з миттєвим (частки секунди) відновленням усталеного нормального стану.

Перехідний режим – це режим переходу системи з одного встановленого стану в інший, що виникає при несподіваних змінах у схемі, а також при раптових швидких змінах споживаних або генерованих потужностей. Причинами, що призводять до таких режимів, можуть бути як короткі замикання, так і відключення елементів системи, аварії та інше. Параметри перехідного режиму можуть сильно відрізнятися від нормального. Перехідний режим може бути симетричним або несиметричним.

Післяаварійний режим настає після усунення аварійної ситуації та забезпечення нових параметрів режиму. Як правило він має відмінності від доаварійного, тому що з роботи виводяться деякі елементи системи, може бути змінена конфігурація мережі. Параметри режиму зазвичай виходять за межі нормованих. У тому випадку, коли параметри режиму зберегли своє значення в допустимих межах, результат аварії вважається благополучним. Найнебезпечніші післяаварійні режими - при найвищих навантаженнях [11].

В особливих режимах присутня серйозна асиметрія трифазної системи або вищої гармоніки. До особливого режиму можна віднести неповнофазний режим з однією або двома відключеними фазами, режим роботи з потужною вентиляційною установкою і т. п.

Ці режими не вважаються нормальними, але можливе їх використання, якщо вони технічно допустимі та економічно доцільні [12].

Втрати потужності в системах і методи їх зниження

Зазвичай при передачі електрики споживачеві втрати активної потужності знаходяться в межах 5 - 10% від сумарної потужності енергосистеми, при цьому вони залежать від рівня напруги і розподіляються приблизно так:

- Мерезі 0,4 кВ 15 ... 25% сумарної втрати,
- Мерезі 6 ... 10 кВ 20 ... 25% сумарної втрати,
- Мерезі 35 кВ 2 ... 3% сумарної втрати,
- Мерезі 110 ... 220 кВ 40 ... 50% сумарної втрати, мерезі 330 кВ і вище 8 ... 10% сумарної втрати.

Сотні мільйонів гривень на рік втрачає держава при втратах електроенергії. Втрати повної потужності в електромережах визначаються за такою формулою:

$$\Delta S = \Delta P + j\Delta Q = \frac{S^2}{U^2} \cdot R + j \frac{S^2}{U^2} \cdot X = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R + j \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot X, \quad (3.5)$$

де S , P і Q - повна, активна і реактивна потужності; МВА, МВт, Мвар; U - напруга мерезі, кВ; R і X - активний і реактивний опори мерезі, Ом.

Одна з основних завдань управління режимом роботи системи є зниження до мінімуму втрат потужності. Існують три заходи зменшення втрат: технічна, організаційна та комерційна.

Технічні заходи зниження втрат складаються з використання компенсуючих пристроїв, збільшення перерізу проводів, встановлення трансформаторів з номінальним завантаженням, установки регулювальних пристроїв, застосування автотрансформаторів, автоматичного регулювання потужності батарей конденсаторів, застосування механізмів регулювання потоків потужності, формування оптимальних конфігурацій мерез, впровадження високоефективних засобів автоматики, телемеханіки, релейного захисту і т. п.

До організаційних заходів відносяться: оптимізація режиму системи реактивної потужності, оптимізація струморозділів мерез від 6 до 35 кВ, використання генераторних двигунів електростанцій в режимі СК при нестачі реактивної потужності, підбір оптимальних законів регулювання компенсуючих пристроїв і коефіцієнтів трансформації трансформаторів, оптимізація робочої напруги центру живлення, виведення з роботи трансформаторів при малих навантаженнях, симетрування навантаження між

фазами і інші.

Комерційні заходи - це розміщення лічильників енергії у споживачів, розробка більш актуальних систем обліку, боротьба з незаконним розкраданням, поліпшення обслуговування і т. п.

Мінливі активна і реактивна потужності навантажень споживачів впливають на зміну потоків в енергосистемі з відповідним поліпшенням або погіршенням кількості втрат, через це в системі необхідний постійний контроль рівня втрат і потокорозподілення, тому що вони є характеристиками економічності всієї системи електропостачання. В даний час ці завдання і цілий ряд інших, не менш важливих, завдань вирішуються за допомогою застосування автоматизованих систем управління електропостачанням на різних рівнях від приватних домогосподарств і вище.

Підвищення надійності електропостачання

У нормальних режимах роботи зміна таких параметрів, як потік активної і реактивної потужностей, частота і напруга є повільним процесом, і відбувається безперервне регулювання його підсистемами управління. Але при аварійних випадках електричні процеси, що протікають у мережі, настільки швидкі, що для оперативного виявлення порушень і запобігання утворенню їх розвитку необхідні спеціальні швидкодіючі засоби, що працюють в автоматичному режимі, які забезпечують не тільки виключення аварій і високу надійність електропостачання, але і виробляють регулювання роботи системи при стрімкому зміні навантаження.

Для регулювання роботи системи і захисту від пошкоджень є протиаварійна система автоматики, яка складається з пристроїв релейного захисту (РЗ), автоматичного регулювання збудження синхронних машин (АРЗ), автоматичного включення резервного живлення (АВР), автоматичного розвантаження при зниженні частоти (АЧР), автоматичної синхронізації генератора (АС), автоматичного повторного включення (АПВ) і деяких інших.

Для підтримки високої надійності електропостачання найважливішими

засобами протиаварійного системи є автоматичне повторне включення і автоматичне введення резерву.

АПВ працює наступним чином: при виникненні короткого замикання спрацьовує РЗ, який відключає лінію, а після закінчення певного часу, по команді АПВ, лінія знову починає працювати. У разі нестійкого або короткочасного порушення режиму електропостачання по цій ЛЕП відновлюється. Лінії, на яких передбачено двостороннє живлення, включаються тільки при відсутності напруги. Коли напруга по обидва боки лінії несинхронна, то проводиться синхронізація, і тільки після цього - включення.

Якщо паралельно включені елементи системи (трансформатори, лінії електропередач) працюють окремо для зменшення струмів к.з., тоді застосовується АВР. В основному АВР використовується при електропостачанні промислових підприємств і міських електромереж. Коли зникає напруження, після деякої витримки часу, АВР підключає знеструмлених споживачів до резервного джерела живлення. За допомогою АВР можуть включитися секційні вимикачі, резервні трансформатори, лінії і т. п [13].

3.2 Технічні вимоги до якості електричної енергії

Якість електричної енергії вважається головним показником, який впливає на надійність роботи технологічного обладнання і енергетичної системи споживачів в цілому.

Якість електроенергії повинна відповідати параметрам, прописаним в ДСТУ 3466-96. Якщо цього не відбувається, то може виникнути порушення в роботі будь-якого обладнання, можуть знизитися економічні показники роботи енергосистеми в цілому.

До причин порушень якості електроенергії можна віднести підключені до електромережі технічні засоби з нелінійної вольт-амперної характеристики, такі як: зварювальні установки, вентиляльні перетворювачі,

газорозрядні лампи і ряд інших електронних технічних засобів.

Рівень напруги у споживача електроенергії може не відповідати ДСТУ через перевищення дозволеної для використання потужності самим споживачем. За статистикою далеко не завжди дотримуються норми ЯЕЕ, представлені в ДСТУ. Це є причиною неоптимальні режимів роботи, пошкоджень різних елементів системи електропостачання і приймачів електроенергії, а так само збільшення втрат енергії. Виходячи з цього проблема контролю якості електричної енергії досить актуальна в наші дні.

Справжнім стандартом встановлюються показники і норми якості електричної енергії в місцях передачі електроенергії споживачам в мережах низького, середнього і високого напруг систем електропостачання загального призначення змінного струму частотою 50 Гц [14].

Показники і норми якості електричної енергії

Тривалі відхилення характеристик напруги від номінальних значень є тривалими змінами характеристик напруги електроживлення. Дані відхилення зазвичай залежать від змін навантаження або впливу нелінійних навантажень.

До випадкових подій належать раптові і значні зміни форми напруги, які призводять до відхилення параметрів від номінальних значень. Що трапляються зміни напружень, за статистикою, трапляються через непередбачувані події (наприклад, через пошкодження обладнання користувачів електромережі) або через зовнішніх впливів (непридатні умови або дії сторін, які не є користувачами електричної мережі).

У стандарті встановлюються показники і норми якості електричної енергії, що відносяться до тривалих змін характеристик напруги електроживлення, що стосуються частоти, значень, форми напруг і симетрії напруг в трифазних системах. [14]

Тривалі зміни характеристик напруги. Відхилення частоти

Відхилення значень основних частот напруги від їх номінальних

значень є показниками КЕ, що стосуються частоти:

$$\Delta f = f_m - f_{nom}, \quad (3.6)$$

де - значення основної частоти напруги електроживлення, Гц, яке вимірюється в інтервалі часу 10 с; - номінальне значення частоти напруги електроживлення, Гц.

Для даного ПЯЕ встановлюються наступні норми:

- відхилення частот в синхронізованих системах електричного постачання не повинні перевищувати $\pm 0,2$ Гц протягом 95% часового проміжку довжиною в один тиждень і $\pm 0,4$ Гц протягом 100% тимчасового проміжку довжиною в один тиждень;
- відхилення частот в ізольованих системах електричного постачання з автономними генераторними установками, які не підключені до синхронізованим системам передачі електроенергії, не повинні перевищувати ± 1 Гц протягом 95% часового проміжку довжиною в один тиждень і ± 5 Гц протягом 100% тимчасового проміжку довжиною в одну тиждень.

Повільні зміни напруги

Повільні зміни напруги електроживлення (зазвичай тривають більше однієї хвилини) відбуваються, як правило, через зміни навантажень електромережі.

До показників якості електроенергії, що є повільними вимірюваннями напруги електроживлення, відносяться негативне і позитивне відхилення напруги електричного живлення в точках передачі електроенергії від номінальних / узгоджених значень, %:

$$\partial U_{(-)} = [(U_0 - U_{m(-)}) / U_0]; 100, \quad (3.7)$$

$$\partial U_{(+)} = [(U_{m(+)} - U_0) / U_0]; 100, \quad (3.8)$$

де $U_{m(-)}, U_{m(+)}$ – значення напруги електроживлення, які менше U_0 і більше U_0 відповідно, $U_{m(-)}$ і $U_{m(+)}$ усереднені в інтервалі часу 10 хвилин; U_0 – стандартна номінальна напруга U_{nom} або узгоджене напрузі U_c .

Норми, встановлені для зазначених вище ПЯЕ, такі: позитивні і негативні відхилення напруги в точках передачі електроенергії не повинні перевищувати 10% номінального або узгодженого значення напруги протягом 100% часу інтервалу в один тиждень.

Коливання напруги і флікер

Флікер виникає при коливаннях напруги електричного живлення (зазвичай, тривалістю менше однієї хвилини), в тому числі при оди нічних швидких змінах напруги.

Показники якості електроенергії, які відносяться к коливанням напруги, це короткочасна доза флік ера P_{st} , яка вимірюється у часовому проміжку тривалістю 10 хвилин, і тривала доза флік ера P_{lt} , яка вимірюється у часовому проміжку тривалістю 2 години, в точках передачі електроенергії.

Встановлені норми вказаних ПКЭ:

- короткочасна доза флік ера P_{st} повинна бути менше значення 1,38,
- тривала доза флік ера P_{lt} повинна бути менше значення 1,0 протягом 100% часового проміжку тривалістю в один тиждень.

Поодинокі швидкі зміни напруги виникають як правило через різкі зміни навантаження в електричних установках споживачів, так само завдяки перемиканням в системі або несправностям. Такого роду вимірювання характеризуються швидким переходом середньоквадратичного значення напруги від одного сталого значення до іншого. Зазвичай одиночні швидкі зміни напруги менше 5% в електромережах низької напруги і 4% - в електромережах середньої напруги, але іноді зміни напруги з малою тривалістю до 10% U_{nom} и до 6% U_c відповідно можуть траплятися кілька

разів за добу.

Несінусоїдальність напруги

Гармонійні складові напруги виникають в основному через нелінійні навантаження користувачів електромереж, що підключаються до електромереж різної напруги. Падіння напруги на повному опорі чи електричних мережах створюється гармонійними струмами, що протікають в електромережах.

ПЯЕ, які відносяться до гармонічних складових напруги:

- значення коефіцієнтів гармонічних складових напруги до 40-го порядку $K_{u(n)}$ у процентах напруги основної гармонічної складової U_1 у точці передачі електричної енергії;
- значення сумарного коефіцієнту гармонічних складових напруги (відношення середньоквадратичного значення суми усіх гармонічних складових до 40-го порядку к середньоквадратичному значенню основної складової) K_u , % в точці передачі електричної енергії.

Встановлені норми вказаних ПЯЕ:

а) значення коефіцієнтів гармонічних складових напруги $K_{u(n)}$, які усереднені у часовому проміжку тривалістю 10 хвилин, повинні бути менше встановлених значень, які представлені у таблицях 7 – 9, протягом 95% часового інтервалу довжиною в один тиждень;

б) значення коефіцієнтів гармонічних складових напруги $K_{u(n)}$, які усереднені у часовому проміжку тривалістю 10 хвилин, повинні бути менше встановлених значень, які представлені у таблицях 3.7 – 3.9, збільшених у 1,5 рази, протягом 100% часу кожного періоду в один тиждень;

Таблиця 3.7 – Коефіцієнти непарних гармонічних складових напруги $K_{u(n)}$,
не кратні трьом

Порядок гармонічної складової n	Коефіцієнти гармонічних складових напруги $K_{u(n)}$, % U_1			
	Напруги електромережі, кВ			
	0,38	6 – 25	35	110 – 220
5	6	4	3	1,5
7	5	3	2,5	1
11	3,5	2	2	1
13	3,0	2	1,5	0,7
17	2,0	1,5	1	0,5
19	1,5	1	1	0,4
23	1,5	1	1	0,4
25	1,5	1	1	0,4
> 25	1,5	1	1	0,4

в) значення сумарних коефіцієнтів гармонічних складових напруги , які усереднені у часовому проміжку тривалістю 10 хвилин, повинні бути менше встановлених значень, які представлені у таблиці 3.10, протягом 95% часового інтервалу довжиною в один тиждень;

г) значення сумарних коефіцієнтів гармонічних складових напруги , які усереднені у часовому проміжку тривалістю 10 хвилин, повинні бути менше встановлених значень, які представлені у таблиці 3.11, протягом 100% часового інтервалу довжиною в один тиждень.

Таблиця 3.8 – Коефіцієнти непарних гармонічних складових напруги $K_{u(n)}$,
не кратні трьом

Порядок гармонічної складової n	Коефіцієнти гармонічних складових напруги $K_{u(n)}$, % U_1			
	Напруги електромережі, кВ			
	0,38	6 – 25	35	110 – 220
3	5	3	3	1,5
9	1,5	1	1	0,4
15	0,3	0,3	0,3	0,2
21	0,2	0,2	0,2	0,2
> 21	0,2	0,2	0,2	0,2

Таблиця 3.9 – Коефіцієнти напруги парних гармонічних складових $K_{u(n)}$

Порядок гармонічної складової n	Коефіцієнти гармонічних складових напруги $K_{u(n)}$, % U_1			
	Напруги електромережі, кВ			
	0,38	6 – 25	35	110 – 220
2	2	1,5	1	0,5
4	1	0,7	0,5	0,3
6	0,5	0,3	0,3	0,2
8	0,5	0,3	0,3	0,2
10	0,5	0,3	0,3	0,2
12	0,2	0,2	0,2	0,2
> 12	0,2	0,2	0,2	0,2

Таблиця 3.10 – Сумарні коефіцієнтів гармонічних складових напруги K_n

Сумарні коефіцієнтів гармонічних складових напруги K_n , %			
Напруги електромережі, кВ			
0,38	6 – 25	35	110 – 220
8,0	5,0	4,0	2,0

Таблиця 3.11 – Сумарні коефіцієнтів гармонічних складових напруги K_u

Сумарні коефіцієнтів гармонічних складових напруги K_u , %			
Напруги електромережі, кВ			
0,38	6 – 25	35	110 – 220
12,0	8,0	6,0	3,0

Асиметрія напруг в трифазних системах

Несиметричні навантаження споживачів електроенергії або асиметрія елементів електромережі обумовлює асиметрію напруг у трифазній системі.

Показники якості електроенергії, що відносяться до асиметрії напруги в трифазних системах: коефіцієнт асиметрії напруг за зворотною послідовністю і коефіцієнт асиметрії напруги за нульовою послідовністю.

Встановлені норми зазначених ПЯЕ:

- значення коефіцієнтів асиметрії напруг за зворотною послідовністю і асиметрії напруги за нульовою послідовністю в точках передачі електроенергії, які усереднені в часовому проміжку тривалістю 10 хвилин, повинні бути менше 2% протягом 95% тимчасового інтервалу довжиною в один тиждень;
- значення коефіцієнтів асиметрії напруг за зворотною послідовністю і асиметрії напруги за нульовою послідовністю в точках передачі електроенергії, які усереднені в часовому проміжку тривалістю 10 хвилин, повинні бути менше 4% протягом 100% тимчасового інтервалу довжиною в один тиждень [14].

Випадкові події. Переривання напруги

У разі інформування користувача електромережі про майбутній переривання напруги його називають створюваним навмисно, а випадковим те, що відбувається з-за тривалих або короткочасних несправностей, які зазвичай обумовлені зовнішніми впливами, відмовою устаткування або впливом електромагнітних завад (поділяють на тривалі (тривалість більше 3

хвилин) і короткочасні (тривалість менше 3 хвилин)). Граничне значення початку переривання прирівнюється до 5% опорного напруги.

Провали напруги і перенапруги.

Провали напруги, як правило, виникають внаслідок несправностей в електромережах або в електричних установках споживачів, а також при з'єднанні потужної навантаження.

Провали напруги зазвичай пов'язані з різким зростанням струму (наприклад, при короткому замиканні) в системі або електричних установках, підключених до електромережі. Згідно з вимогами цього стандарту провал напруги класифікується як електромагнітна перешкода, інтенсивність якої визначається як напругою, так і тривалістю. Тривалість провалу напруги може бути до 1 хвилини.

Початком провалу напруги в трифазних системах електричного постачання вважається точка, в якій напруга хоча б однієї фази падає нижче порогового значення початку провалу напруги, закінченням провалу напруги вважається точка, в якій напруга всіх фаз зростає вище порогового значення закінчення провалу напруги.

Перенапруга

Перенапруги зазвичай викликають перемикання і відключення навантаження. Перенапруги виникають між фазними провідниками або між фазними і захисним провідниками. Короткі замикання на землю, в залежності від пристроїв заземлення, також призводять до перенапруження між фазними і нейтральним провідниками. Згідно з вимогами цього стандарту перенапруження класифікується як електромагнітна перешкода, інтенсивність якої визначається як напругою, так і тривалістю. Тривалість перенапруги може бути до 1 хвилини [14].

Методи контролю якості електричної енергії

Контроль якості електричної енергії має на увазі оцінку відповідності показників встановленим нормам, а подальший аналіз якості електроенергії -

визначення сторони, яка винна в погіршенні цих показників. Основними завданнями контролю якості електроенергії є:

- перевірка виконання вимог стандарту в частині експлуатаційного контролю показників якості електроенергії в електричних мережах загального призначення;
- перевірка відповідності дійсних значень показників ЯЕЕ на кордоні розділу мережі по балансової належності значень, зафіксованих в договорі енергопостачання;
- розробка технічних умов на приєднання споживача в частині ЯЕЕ;
- перевірка виконання договірних умов в частині ЯЕЕ з визначенням допустимого розрахункового фактичного вкладів споживача в погіршення ЯЕЕ;
- розробка технічних і організаційних заходів по забезпеченню ЯЕЕ;
- визначення знижок (надбавок) до тарифів на електроенергію за її якість;
- сертифікація електричної енергії;
- пошук «винуватця» викривлень показників якості електроенергії [15]

Виділяється чотири методи контролю показників якості електроенергії.

Вони залежать від розв'язуваних цілей при контролі ЯЕЕ.

Це такі методи:

- діагностичний;
- інспекційний;
- оперативний;
- технологічний.

Діагностичний метод контролю ЯЕЕ - основна мета діагностичного контролю - виявлення «винуватця» погіршення ЯЕЕ, установка дозволеного відсотка вкладу в відступ від вимог стандарту за кожним показником якості, внесення їх в договір електропостачання, нормалізація ЯЕЕ.

Інспекційний контроль ЯЕЕ проводиться фахівцями з сертифікації з метою отримання повної інформації про поточний стан сертифікованої електроенергії в електричних мережах постачає компанії, про прямування умов та

правил застосування сертифікатів, а так само для підтвердження відповідності ЯЕЕ встановленим вимогам протягом терміну дії сертифіката.

Оперативний метод контролю ЯЕЕ потрібен за умови експлуатації в точках електромережі, в яких існує і не може бути усунуто спотворене напруга. В оперативному контролі потребують точки приєднання тягових підстанцій залізничного і міського електрифікованого транспорту, підстанцій підприємств, які мають навантаження з нелінійними характеристиками. Підсумки оперативного контролю повинні бути отримані диспетчерами електричної мережі по каналах зв'язку енергопостачальної компанії та системами електропостачання підприємств.

Технологічним методом контролю є такий контроль ЯЕЕ, при якому тривалість і/або похибка вимірювань можуть бути скорочені в порівнянні з вимогами ДСТУ 3466-96. Інакше кажучи, для цього контролю можуть використовуватися інші засоби вимірювань. Технологічний метод встановлює вплив технологічного процесу споживачів електрики на ЯЕЕ [16].

РОЗДІЛ 4

ЗАСОБИ ЗАХИСТУ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

4.1 Аварійний режим електричних мереж

Режим стає аварійним в тому випадку, якщо в системі, при переході з усталеного стану норми в інше, відбуваються різкі зміни таких параметрів, як частота струму і напруга. Існують випадки аварійних варіантів роботи при наступних відхиленнях:

- Коротке замикання. Номінальна напруга зростає в десятки разів. Відбувається яскравий спалах лампочки.
- Перевантаження електромережі. Сильно нагрівається розетка, можливо загоряння вимикачів.
- Стрибок струму. Відбувається через короткочасного перевищення напруги. Звичайна лампа розжарювання перегорає в момент включення.
- Слабкий струм. Можливий через розрив ланцюга. Тьмяне світло від лампи розжарювання.
- Стрибок напруги. Причиною найчастіше виявляється удар блискавки. Багато електроприлади виходять з ладу.
- Низька напруга. Буває через часткове розриву ланцюга. При тривалому використанні низької напруги прилади виходять з ладу.

Тривалий аварійний режим неприпустимий, тому що нормальне електропостачання споживачів не може бути забезпечено і існує ймовірність подальшого розвитку аварії. Для запобігання виникнення аварії та припинення її розвитку застосовуються засоби автоматичного і оперативного

управління, якими оснащуються диспетчерські центри, електростанції і підстанції.

З усіх перерахованих вище відхилень в роботі небезпечніше за все коротке замикання. Коротке замикання - це електричний контакт двох точок ланцюга з різними значеннями потенціалів, яке не передбачено виробником пристрою і порушує його правильну роботу. Коротке замикання виникає в разі порушення ізоляції струмопровідних елементів або через контакт елементів без ізоляції. Якщо внутрішній опір джерела живлення більше опору навантаження, то це так само вважається коротким замиканням [17].

Види коротких замикань, можливих в трифазних мережах:

- Однофазне (замикання фази на землю);
- Двофазне (замикання двох фаз між собою);
- Двофазне на землю (2 фази між собою і одночасно на землю);
- Трифазне (3 фази між собою).
- Наслідок короткого замикання досить небезпечно:
- Пошкодження електрообладнання механічного та термічного характеру;
- Займання електроустановок;
- Зменшення рівня напруги в мережі, яке призводить до зниження крутного моменту електродвигунів, їх гальмування і навіть перекидання;
- Випадання із синхронізму деяких генераторів, електростанцій і частин електроенергетичної системи, утворення аварій і т.д .;
- Електромагнітне вплив на лінії зв'язку і т.п.

4.2 Захист основних елементів

Плавкі запобіжники або автоматичні вимикачі забезпечують захист від перевантаження в електромережі з напругою до 1000 В. захищається ділянку мережі відключається в той момент, коли струм перевищує задане значення допустимого нагріву проводів. Запобіжники працюють без витягів часу,

ґрунтуючись на захисній характеристиці плавкою вставки. Автоматичні вимикачі ж забезпечені розчіплювачами: електромагнітний розчіплювач миттєвої дії, і теплової розчіплювач з затримкою в часі, що спрацьовує в залежності від перевищень допустимого значення струму в лінії [18].

Коротке замикання є найбільш поширеним видом аварії в електромережах. За статистикою найбільше аварій виникає через коротке замикання і масштаб наслідків після цих аварій дуже великий. Існує два види захисних заходів: як можна більш швидко виведення з роботи пошкодженої ділянки мережі і вимушене обмеження сили струму к.з. Зменшення часу дії струму короткого замикання знімає теплове навантаження з елементів мережі і дозволяє підтримати стійкість паралельної роботи станцій. Продовження робочого режиму для іншої частини мережі поза аварії і відключення пошкодженої ділянки забезпечується селективність захисту, тобто вибірковістю. Існують спеціальні заходи для обмеження сили струму к.з. : застосовуються блокові схеми харчування, розподіл по секціях збірних шин підстанцій, послідовне включення реакторів і т.п.

У Додатку В (рис В.2) представлена електрична схема станції електропостачання. QF1 - QF8 автоматичні вимикачі, що захищають елементи системи.

1) QF-1, АВВ Tmax T6

Призначений для захисту сонячної батареї.

$I_{ном. бат.} = 722A$. $I_{кз} = 2527A$.

$I_{ном} = 800A$

Розчіплювач захисту: ТМА (тепловий регульований, магнітний регульований)

$I_{ном} = 800A$

Регульований тепловий поріг спрацьовування:

$I_{спрац} = 960 - 2400A (1,2 - 3I_{ном})$

Регульований магнітний поріг: $I_{спрац} = 800 - 4000A (1 - 5I_{ном})$

$U = 600V$ пост., час спрацьовування 0,08 секунд.

2) QF-2, АВВ Tmax T6

Призначений для захисту інвертора. $I_{ном. інв.} = 741A$. $I_{кз} = 963A$.
Розчіплювач захисту: ТМА (тепловий регульований, магнітний регульований)

$$I_{ном} = 800A$$

Регульований тепловий поріг спрацьовування:

$$I_{спрац} = 960 - 2400A (1,2 - 3I_{ном})$$

Регульований магнітний поріг:

$$I_{спрац} = 800 - 4000A (1 - 5I_{ном})$$

$U = 600V$ пост., час спрацьовування 0,05 секунд.

3) QF-3, ВА-74

Налаштований на струм короткого замикання, який перевищує $I_{ном. інв.} = 741A$ в 1,5 рази, тобто на $I_{кз} = 1111,5A$

$$I_{ном} = 750A$$

$I_{спрац}$ розчіплювача макс. = 2625A

$U = 380V$ перем., час спрацьовування 0,015секунд.

4) QF-4, ВА-73

Призначений для захисту вітрогенератора. $I_{ном} = 190A$, $I_{кз} = 1520A$ (8 крат номінального струму). Автомат повинен витримувати високий струм при к.з. для того, що б розвантажити інвертор, здатний витримати 1,5 крат номінального струму в аварійній ситуації.

$$I_{ном} = 200A$$

$I_{спрац} = 1520 - 2280A (8-12I_{ном})$

$U = 380V$ перем., час спрацьовування 0,035 секунд.

5) QF-5, АВВ Tmax T1

Призначений для захисту регулятора ZU2. Розрахований на відключення при струмі 15A.

$$I_{ном} = 16A$$

$$I_{\text{спрац}} = 11,2 - 16\text{А} (0,7-1 I_{\text{ном}})$$

$U = 600\text{В}$ пост., час спрацьовування 0,02 секунд.

6) QF-6 и QF-7, АВВ Tmax T4

Призначені для захисту випрямляча и акумуляторних батарей.

$$I_{\text{кз.випр.}} = 542\text{А}, I_{\text{кз.ак.}} = 507,5\text{А}$$

Розчіплювач захисту: TMD (тепловий регульований, магнітний фіксований)

$$I_{\text{ном}} = 200\text{А}$$

Регульований тепловий поріг спрацьовування : $I_{\text{спрац}} = 175 - 250\text{А} (0,7-1 I_{\text{ном}})$

Фіксований магнітний поріг:

$$I_{\text{спрац}} = 500\text{А} (2 I_{\text{ном}})$$

$U = 600\text{В}$ пост., час спрацьовування 0,05 секунд.

7) QF-8, АВВ Tmax T3

Налаштований на струм короткого замикання, що перевищує 200А, для захисту випрямляча з боку навантаження.

$$I_{\text{ном}} = 200\text{А}$$

Регульований тепловий поріг спрацьовування : $I_{\text{спрац}} = 140 - 200\text{А} (0,7-1 I_{\text{ном}})$

Фіксований магнітний поріг: $I_{\text{спрац}} = 500\text{А} (2,5 I_{\text{ном}})$

$U = 400\text{В}$ перем., час спрацьовування 0,03 секунд.

Вибрані автоматичні вимикачі забезпечують своєчасну селективну захист елементів електростанції, що дозволяє уникнути пошкоджень безлічі пристроїв.

РОЗДІЛ 5

СПЕЦІАЛЬНІ ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ

5.1 Аспекти функціональної безпеки

Для того щоб визначити найвищий рівень повноти безпеки, який може бути пред'явлений до функції безпеки, необхідно виконати наступні процедури:

- Визначити підсистеми, з яких складається електрична система, пов'язана з безпекою.
- Для всіх елементів кожної підсистеми окремо визначити частку безпечних відмов.
- Для кожного елемента, використовуючи отримане значення частки безпечних відмов і значення стійкості до відмови апаратних засобів, що дорівнює нулю, визначити максимальний рівень повноти безпеки.
- Визначити найвищий рівень повноти безпеки, який може бути пред'явлений до підсистеми.
- Найвищий рівень повноти безпеки, який може бути пред'явлений до електричній системі, пов'язаної з безпекою, визначається підсистемою з найнижчим рівнем повноти безпеки.

Стійкість до відмови апаратних засобів N означає, що $N + 1$ є мінімальним числом відмов, які можуть привести до втрати функції безпеки [20].

Перелік відмов електричної станції:

- Вихід з ладу сонячного елемента
- Вихід з ладу акумуляторної батареї
- Вихід з ладу інвертора
- Вихід з ладу фільтру

- Вихід з ладу випрямляча
- Вихід з ладу вітроустановки
- Вихід з ладу регулятора
- Коротке замикання в будь-якій точці

У кожному сонячному елементі встановлено запобіжник на 15 А, в той час як струм короткого замикання 8,56 А. Таке рішення запропоновано виробником обраних сонячних елементів. Таким чином, навіть якщо станеться відмова одного елемента - все решта будуть знаходитись в роботі. Стійкість до відмови апаратного елемента дорівнює 2, тому що після виходу з ладу одного елемента сонячної батареї працездатність системи збережеться, однак потужність буде менше, ніж спочатку. Частка безпечних відмов елементів знаходиться в діапазоні до 60%. З цього випливає висновок, що системі сонячних елементів присвоєно РПБ 3.

1. Акумуляторна батарея складається з 25 акумуляторів, з'єднаних послідовно. До них підключені ще 25 акумуляторів паралельно для збільшення потужності. Таким чином, відмова одного з акумуляторів зменшує загальну резервну потужність електростанції. Виходячи з того, що після відмови одного, двох, трьох і т.д. акумуляторів працездатність системи не порушиться, проте віддається потужність буде менше запланованої, зроблю висновок, що стійкість до відмови апаратного елемента дорівнює 1. Частка безпечних відмов елементів знаходиться в діапазоні до 60%. У випадках з відмовами більше 60% акумуляторів - споживачі вже не зможуть розраховувати на належну кількість електроенергії. Акумуляторної батареї присвоєно РПБ 2.

2. Інвертор – невід'ємна частина системи електропостачання, що дозволяє перетворити постійний струм напругою 600 В у змінний напругою 380/220 В для передачі споживачам. Виходячи з цього - відмова будь-якого елемента в інвертор, а отже вихід його з ладу, позбавляє всю систему працездатності. Тому стійкість до відмови апаратного елемента дорівнює 0. Частка безпечних відмов елементів знаходиться в діапазоні до 60%. Таким чином, інвертору присвоєно РПБ 1.

3. Фільтр служить для згладжування синусоїди вихідного струму після інвертора. Без використання фільтра якість наданої електроенергії не буде відповідати ДСТУ. Вихід одного елемента фільтра з ладу тягне за собою вихід з ладу всього фільтра, а це означає, що стійкість до відмови апаратного елемента дорівнює 0. Частка безпечних відмов елементів знаходиться в діапазоні до 60%. Виходячи з вищевикладеного, фільтру присвоєно РПБ 1.

4. Без випрямляча не може віддавати в мережу електроенергію вітроустановки, отже, загальна максимальна потужність електростанції зменшується на 100 кВт. Так само як і у фільтра, у випрямлячі відмова одного з елементів пристрою забезпечує відмову всього пристрою. В умовах достатньої сонячної радіації на квадратний метр і не максимальної завантаженості мережі електростанція не втрачає свою працездатність. Однак кількість віддається потужності зменшується, отже, стійкість до відмови апаратного елемента дорівнює 0. Частка безпечних відмов елементів знаходиться в діапазоні до 60%. Випрямлювачу присвоєно РПБ 1.

5. Вітроустановка забезпечує 1/5 максимальної потужності електростанції і вихід її з ладу шкодить працездатності всієї системи точно в такому ж обсязі, як і випрямляч. Вітрогенератор може працювати при максимальній швидкості вітру від 2,5 до 25 м / с. При швидкості вітру більше 25 м / с гвинт флюгірується і загальмовується, щоб уникнути пошкоджень. Вихід з ладу вітроустановки можливий при механічному впливі на неї, або при несправності внутрішньої системи. Т.ч. стійкість до відмови апаратного елемента дорівнює 0. Частка безпечних відмов елементів знаходиться в діапазоні до 60%. Вітроустановці присвоєно РПБ 1.

6. Вихід з ладу регулятора завдає шкоди якості електричної енергії, що надається вітрогенератором. Без цього елемента не представляється можливості регулювати частоту струму від вітроустановки. стійкість до відмови апаратного елемента дорівнює 0. Частка безпечних відмов елементів знаходиться в діапазоні до 60%. Для регулятора РПБ 1.

7. Коротке замикання можливо в будь-якій точці електростанції. Для зменшення ушкоджень у кожного елемента встановлені автоматичні

вимикачі різних номіналів, що дозволяють своєчасно розірвати ланцюг і уникнути серйозних пошкоджень. Однак при розриві ланцюга працездатність всієї електростанції порушується, за винятком варіантів, коли КЗ відбувається поблизу одного з джерел живлення: сонячних елементів, вітроустановки, акумуляторних батарей. При цьому загальна максимальна потужність електростанції знижується, а це означає, що стійкість до відмови апаратного елемента дорівнює 0. Частка безпечних відмов елементів знаходиться в діапазоні до 60%. Для коротких замикань РПБ 1.

В електричній підсистемі, пов'язаної з безпекою, в якій функція безпеки реалізується в багатоканальній архітектурі (паралельне з'єднання елементів) з стійкістю до відмови апаратних засобів, що дорівнює N , максимальний рівень повноти безпеки, який може бути досягнутий для даної функції безпеки, повинен бути визначений:

а) групуванням послідовно з'єднаних елементів для кожного каналу і потім визначенням максимального рівня повноти безпеки, який може бути досягнутий для даної функції безпеки для кожного каналу;

б) вибором каналу з максимальним рівнем повноти безпеки, який може бути досягнутий для даної функції безпеки і потім складанням рівнів повноти безпеки N для визначення максимальної повноти безпеки для повної підсистеми.

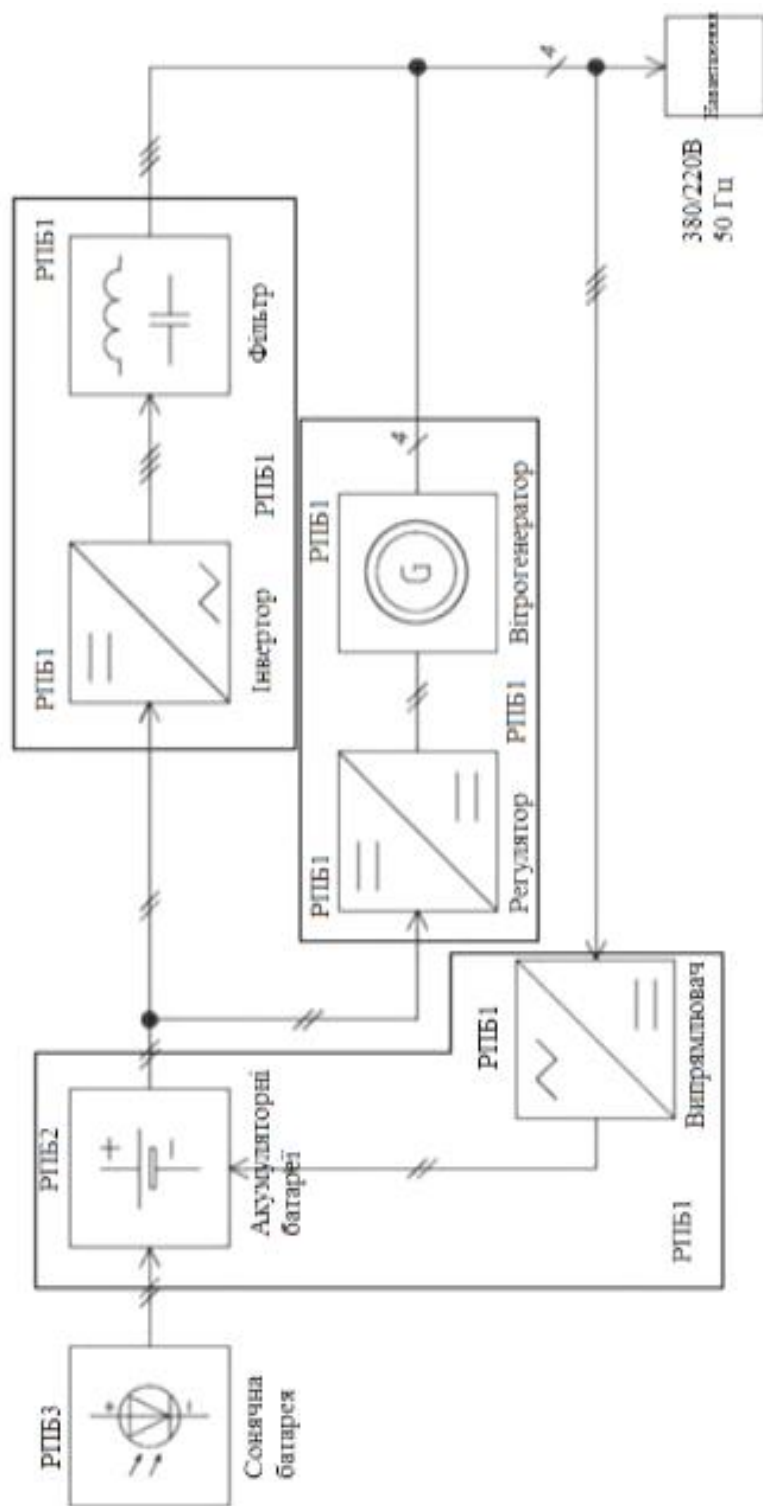


Рисунок 5.1 – Архітектура елементів системи

Спрощується до:

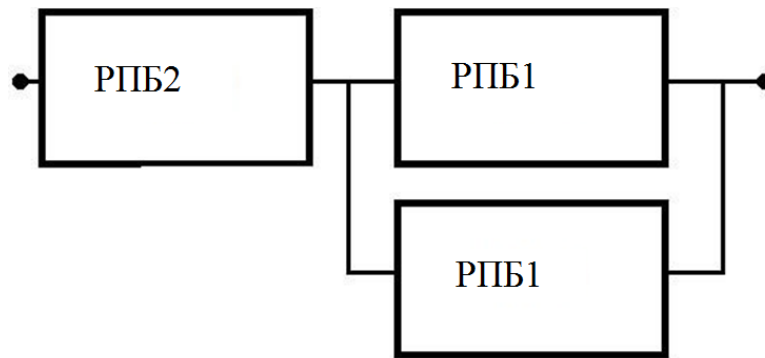


Рисунок 5.2 – Спрощена архітектура (а)

Спрощується до:

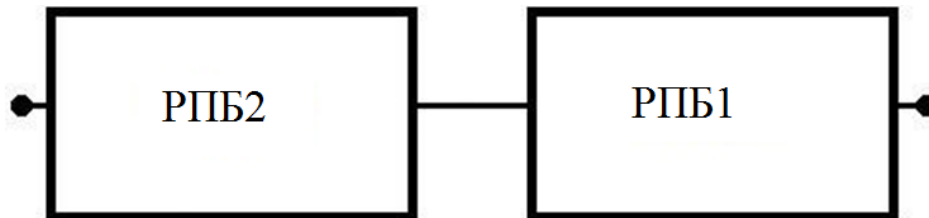


Рисунок 5.3 – Спрощена архітектура (б)

В результаті архітектура спрощується до електричної системи з обмеженням по РПБ 1.

5.2 Аспект забезпечення електробезпеки

Даний проект розроблений як електростанція закритого типу.

Струмopрoвідні частини електростанції не доступні для випадкового дотику, а ті частини, які доступні і відкриті не перебувають під напругою, що становить небезпеку ураження електричним струмом як у нормальному режимі роботи, так і при пошкодженні ізоляції.

Заходи захисту від ураження електричним струмом передбачені в кожній електроустановці станції і реалізовані при виготовленні даного електрообладнання.

Напруга даної системи перевищує 50 В змінного і 120 В постійного струму, тому, згідно з ПУЕ, слід виконати захист у разі непрямого дотику.

Захист від ураження електричним струмом необхідно забезпечити в нормальних умовах експлуатації і в умовах одиничної несправності. Що перебувають у вільному доступі частини обладнання повинні бути безпечними для життя.

Доступні частини обладнання повинні бути захищені від можливості стати небезпечними для життя способами, зазначеними нижче:

Захисні бар'єри - забезпечують захист за допомогою обмеження доступу (може бути застосовано до сонячних панелей, основи вежі вітряка і силовому шафі біля основи);

Основна ізоляція - забезпечує основну ізоляцію між доступними частинами та небезпечними для життя частинами.

До основних засобів захисту, зазначених вище, додано додатковий засіб захисту: автоматичне відключення живлення. Селективні автоматичні вимикачі захищають систему від коротких замикань і перенапруг. А також застосовується додаткова ізоляція. Вона витримує електричні удари, викликані напругою, які можуть з'явитися на мережевому джерелі живлення або в обладнанні.

Згідно ДСТУ EN 61140:2015 "Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання": електричного обладнання, в якому використовується основна ізоляція в якості запобіжного заходу для основного захисту, а додаткова ізоляція - в якості запобіжного заходу для захисту при пошкодженні, або в якому основну захист і захист при пошкодженні забезпечують посиленою ізоляцією, присвоюється клас II [21].

Таким чином, електростанція має клас захисту від ураження електричним струмом II. В даному проекті основний захист – захисні бар'єри і основна ізоляція, додатковий захист - автоматичні вимикачі та додаткова ізоляція.

ВИСНОВКИ

Для виконання магістерської роботи була видана тема Розробка автономної електростанції на основі сонячних елементів і вітрогенераторних установок.

Метою роботи було створення проекту електростанції для забезпечення електропостачання ділянки максимальною потужністю 500 кВт, напругою 380/220 В, частотою 50 Гц.

На початку роботи були вивчені переваги і потенціал альтернативної енергетики на сьогоднішній день. Актуальність розробки досить висока, тому що можна отримати екологічно чисте джерело енергії з низькою вартістю виробництва електроенергії.

В ході виконання роботи було спроектовано дві схеми комбінованої електростанції. Обраний був перший варіант схеми як найбільш технічно і економічно доцільний.

Постачальник електроенергії повинен не тільки забезпечити електрикою споживачів, але і зобов'язаний дотримуватися і контролювати його якість, щоб уникнути аварій і позаштатних ситуацій. Для цього представлені вимоги державного стандарту на якість електричної енергії і можливі методи контролю якості ЕЕ.

З огляду на вихідні дані, були обрані всі пристрої схеми електропостачання, в які входять:

1. Сонячні модулі Suoyang SY-300WM 300Вт / 24В
2. Акумуляторні батареї LI-ION 24 В / 1000 Ач
3. Інвертор АВВ ACS800-107-0510-3
4. Вітроустановка потужністю 100 кВт
5. Випрямляч АВВ ACS800-107-0440-7

Так само був спроектований захист енергетичної системи засобами автоматичного розриву ланцюга. Всі автоматичні вимикачі вибиралися відповідно до номінальних струмів електропристроїв і їх струмів к.з.

Додатковим розділом КМР став розділ Спеціальні питання

забезпечення безпеки, в якому розглянуті аспекти функціональної безпеки (складений перелік відмов та присвоєно РПБ) і аспект забезпечення електробезпеки (представлені види основної і додаткової захисту від ураження електричним струмом по ДСТУ EN 61010-2-033:2017, присвоєно клас захисту від ураження електричному струмом по ДСТУ EN 61140:2015).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Cleandex. Інформаційно-аналітичне агентство – Режим доступу: <http://www.cleandex.ru/all/energy/solar/> .
2. Electric info. Інформаційний портал – Режим доступу: <http://electrik.info/main/news/401-kak-ustroeny-i-rabotayut-solnechnye-batarei.html> .
3. Вікіпедія. Вільна енциклопедія – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/ Діод_Шоттки](https://uk.wikipedia.org/wiki/Діод_Шоттки).
4. Naked Science. Научно-популярний портал – Режим доступу: <http://naked-science.ru/comment/reply/4360>
5. Solnechnye.ru Інтернет-магазин – Режим доступу: <http://www.solnechnye.ru/batareya/vybor-solnechnoy-batarey.htm> .
6. Refleader . Образовательний сайт – Режим доступу: <http://refleader.ru/jgeujgotrjgejge.html> .
7. Whisper Power. Електронний сайт компанії – Режим доступу: http://www.whisperpower.com/ru/4/9/260/Продукция/Аккумуляторные_батареи/li-ion-24-B-1000-Ач.html .
8. EnergyStock. Електронний сайт компанії – Режим доступу: <http://energystock.ru/vetroelektrostantsii.html> .
9. ДСТУ 3466-96 Якість електричної енергії. Терміни та визначення - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=65866 .
10. Вікіпедія. Вільна енциклопедія – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/ Коротке_замикання](https://uk.wikipedia.org/wiki/Коротке_замикання).
11. ДСТУ EN 62061-1:2014 Безопасность машин. Функциональная безопасность электрических, электронных и программируемых электронных систем контроля, связанных с безопасностью (EN 62061:2005/A2:2015, IDT). Изменение № 2:2016 – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=65221 .
12. ДСТУ EN 61010-2-033:2017 Требования к безопасности

контрольно-измерительных приборов и лабораторного электрического оборудования – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=73341 .

13. ДСТУ EN 61140:2015 Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=74419 .

14. Краснянський М.Ю. Енергозбереження: навч. посіб. – К.: Кондор, 2018. – 136 с.

15. Хмельнюк М.Г. Енергетичний менеджмент і аудит : підручник. Ч.1 / М.Г. Хмельнюк, О.Ю. Яковлева, О.В. Остапенко, В.А. Бежан. – Одеса. 2018. – 272 с.

16. Хмельнюк М.Г. Енергетичний менеджмент і аудит : підручник. Ч.2 / М.Г. Хмельнюк, О.Ю. Яковлева, О.В. Остапенко, В.А. Бежан. – Одеса. 2019. – 292 с.

17. Основи енергозберігаючого керування електроенергетичними системами та комплексами / О.М. Сінчук, Н.Л. Федорченко, Л.Б. Литвинський, К.І. Федорченко, І.О. Сінчук, О.Є Мельник – Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2010. – 340 с.

18. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / С.М. Бевз [та ін.]; під заг. ред. А.К. Шидловського; НАН України, П-во «Укренергозбереження». – К.: Українські енциклопедичні знання, 2007. – 560 с.

19. Сиротюк М.І. Поновлювані джерела енергії: навч. посіб. / М.І. Сиротюк; ред. С.І. Кукурудза; Львівський національний ун-т ім. Івана Франка. – Л.: ВЦ ЛНУ ім. І.Франка, 2008. – 248 с.

20. Дев'яткіна С.С. Альтернативні джерела енергії: навч. посібник / С.С. Дев'яткіна, Т.Ю. Шкварницька; Національний авіаційний ун-тет. – К.: НАУ, 2006. – 92 с.

21. Паранчич С.Ю. Відновлювальні джерела енергії: навч. посібник / С.Ю. Паранчич; Чернівецький національний ун-т ім. Юрія Федьковича. –

Чернівці: Рута, 2002. – 68 с.

22. Єрмоєнко Д.О., Заплетніков І.М. Основи енергозбереження у галузі харчових виробництв. Навчальний посібник. - ДонНУЕТ, 2012. – 262 с.

23. Дудюк Д.Л., Мазепа С.С., Гнатишин Я.М. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі: Навч. посіб. – Львів: «Магнолія 2006», 2009. - 188 с.

24. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії: навч. посіб. / О.І. Соловей, Ю.Г. Лега, В.П. Розен, О.О. Ситник, А. В. Чернявський. – Черкаси: ЧДТУ, 2007. – 483 с.

25. Чучуй В.П. Альтернативні джерела енергії: навч. посіб. для студентів ВНЗ / В.П. Чучуй, С.М. Уминський, С.В. Інютін. – Одес. держ. аграр. ун-т. – Одеса: ТЕС. 2015. – 494 с.

ДОДАТОК А

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

- АН – автономний інвертор напруги
- АКБ – акумуляторні батареї
- ВАХ – вольт-амперна характеристика
- ВДЕ – відновлювані джерела енергії
- ВЕУ – вітроелектрична установка
- ККД – коефіцієнт корисної дії
- ЯЕЕ – якість електроенергії
- ПБЗ – перемикач без збудження
- ПЯЕ – показники якості електроенергії
- ПУЕ – правила улаштування електроустановок
- РПН – регулювання напруги під навантаженням
- СК – синхронний компенсатор
- РПБ – рівень повноти безпеки
- ФЕП – фотоелектричні перетворювачі
- ШІМ – широтно-імпульсна модуляція
- ЕРС – електрорушійна сила

ДОДАТОК Б

Схема електропостачання мережі від комбінованої сонячної електростанції

На рисунках Б.1 – Б.4 представлені варіанти схем комбінованої сонячної електростанції.

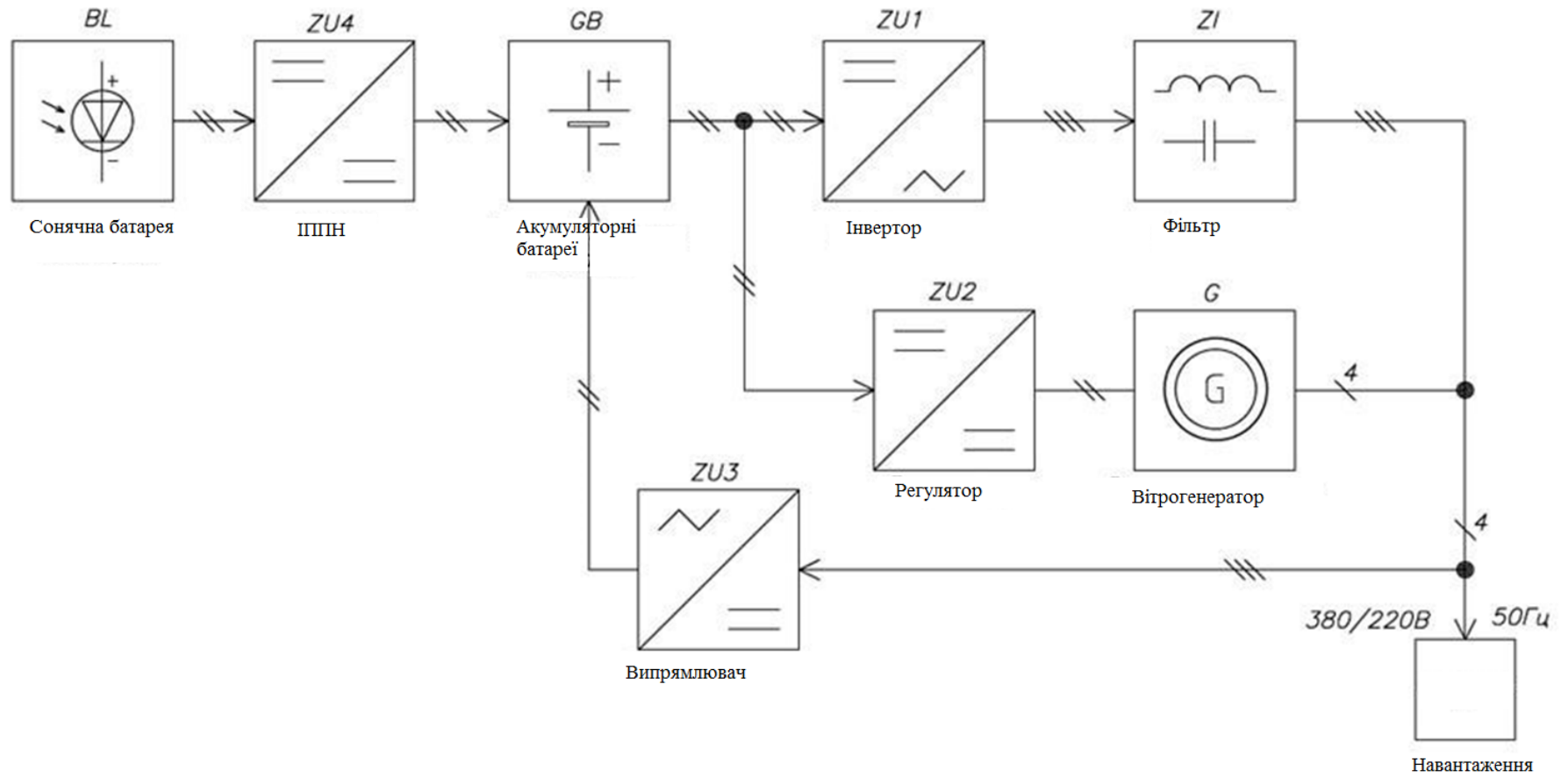


Рисунок Б.1 – Структура комбінованої сонячної електростанції (вар. 1)

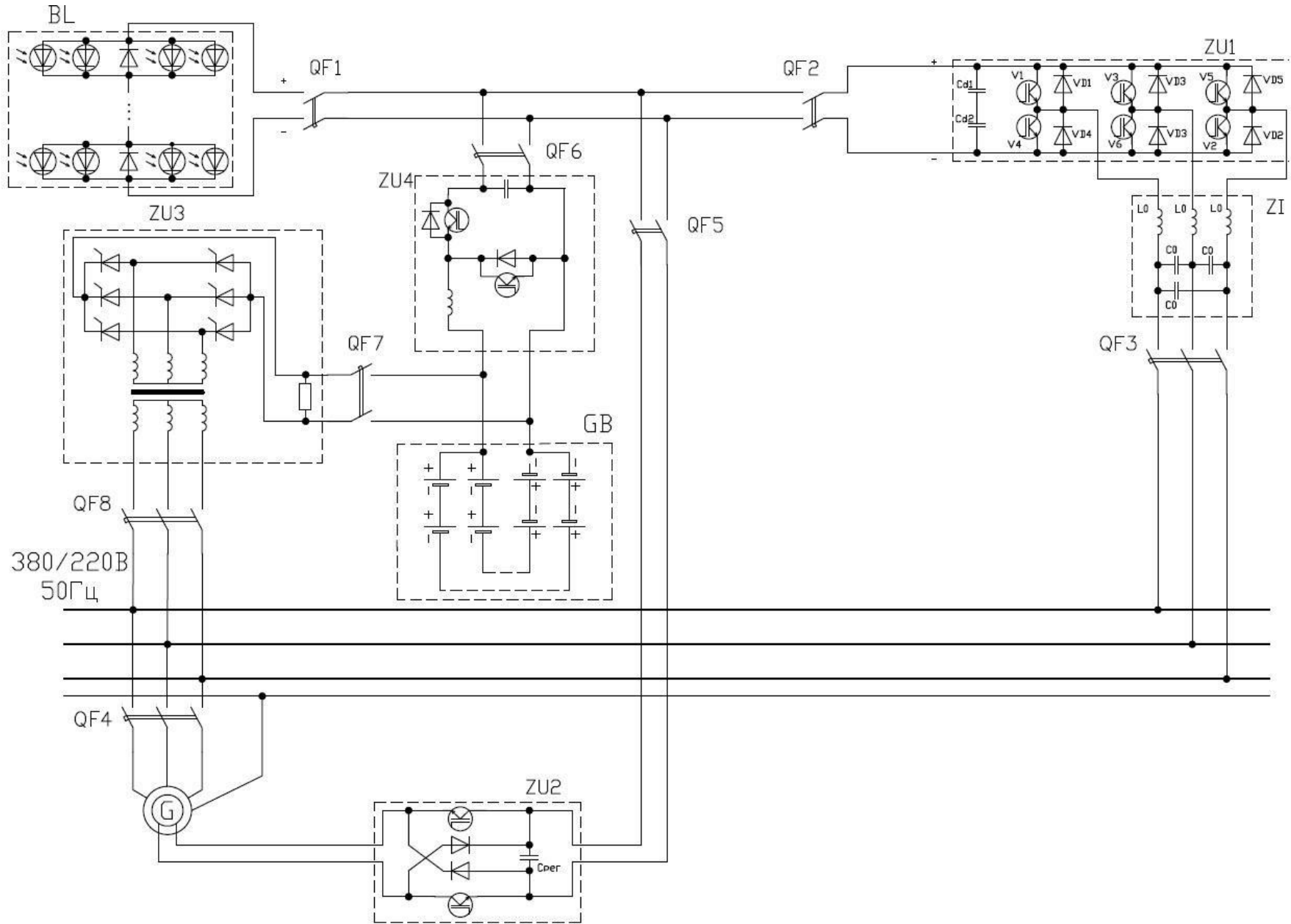


Рисунок Б.2 – Схема комбінованої сонячної електростанції (вар. 1)

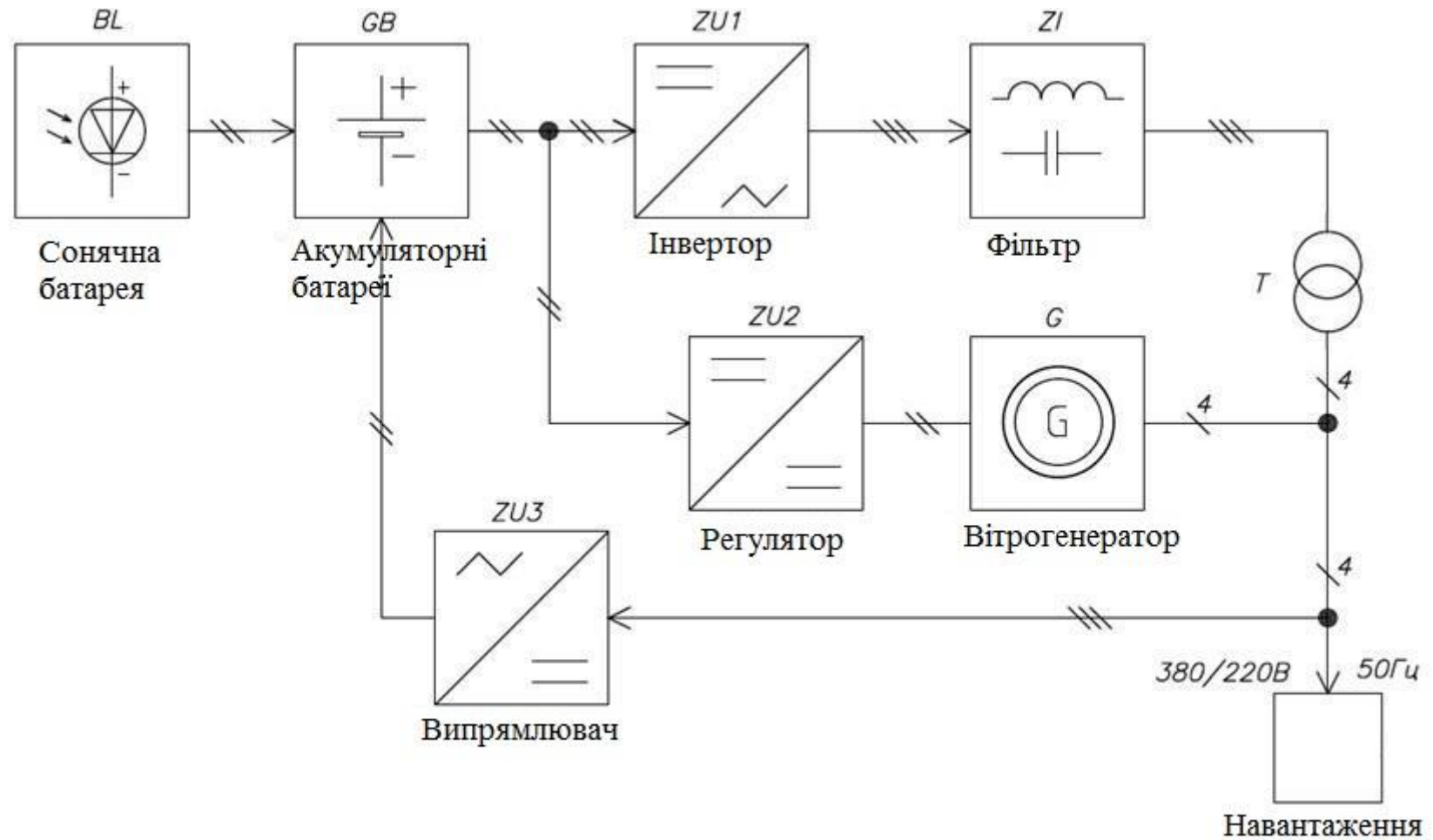


Рисунок Б.3 – Структура комбінованої сонячної електростанції (вар. 2)

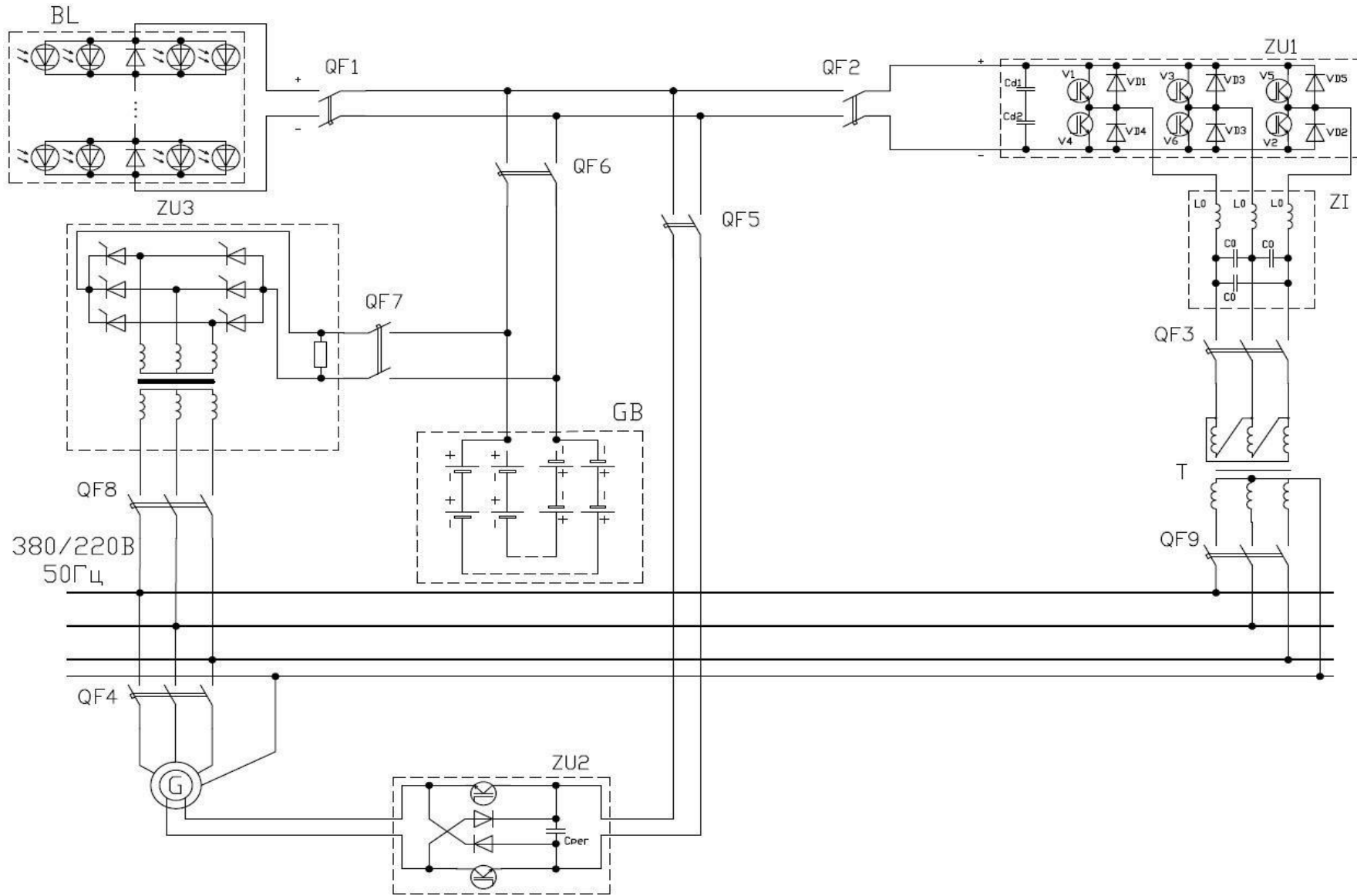


Рисунок Б.4 – Схема комбінованої сонячної електростанції (вар. 2)