

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

БЄЛОВ ВІКТОР ВАЛЕНТИНОВИЧ

УДК 631.33.002

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Удосконалення системи енергопостачання ТОВ «САНРАЙЗ
ЕНЕРГЕТИКА», м. Житомир
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело _____

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Сукманюк Олена Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.і.н., доцент

(науковий ступінь, вчене звання)

АНОТАЦІЯ

Белов В.В. Удосконалення системи енергопостачання ТОВ «САНРАЙЗ ЕНЕРГЕТИКА» м. Житомир. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

Робота присвячена проблемі енергозабезпечення та енергозбереження ТОВ «САНРАЙЗ ЕНЕРГЕТИКА». Проведений аналіз діяльності підприємства. Обґрунтовано процес отримання електроенергії від сонячного випромінювання, вибрано силове електротрообладнання для технологічного устаткування. Розраховано та вибрано силове електроустаткування, проектування внутрішньої силової електричної мережі.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, системи енергопостачання, сонячні електростанції.

ABSTRACT

Bielov V. Improvement of Energy Supply System of LLC.” SUNRISE ENERGY”, Zhytomyr. Qualification of the robot for the purpose of the educational stage of the master for specialization 141 - Electrical power engineering, electrical engineering and electrical engineering – Polissia National University, Zhitomir, 2022.

The work is devoted to the problem of energy supply and energy saving LLC.” SUNRISE ENERGY”. An analysis of the company's activity was carried out. The process of obtaining electric power from solar radiation is substantiated, and power electrical equipment for technological equipment is selected. Calculated and selected power electrical equipment, design of the internal power electrical network.

Key words: renewable energy sources, energy supply systems, solar power plants.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ ДЛЯ ЙОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	6
1.1. Коротка характеристика базового підприємства	6
1.2. Діяльність ТОВ «САНРАЙЗ ЕНЕРГЕТИКА» в напрямку електроенергетики	7
1.3. Особливості систем електропостачання на базі сонячних панелей	8
1.4. Структурна схема та обладнання СЕС	11
Висновки по розділу 1	13
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МЕРЕЖІ ВІД КОМБІНОВАНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	14
2.1. Обґрунтування вибору сонячних елементів	14
2.2. Обґрунтування вибору акумуляторних батарей	14
2.3. Розрахунок струмів	15
2.4. Обґрунтування інвертора з урахуванням струмів	15
2.5. Обґрунтування вибору вітроустановки і випрямляча для безпечної роботи електростанції	16
Висновки по розділу 2	18
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ	19
3.1. Основні режими електричних систем	19
3.2. Втрати потужності в системах і методи їх зниження	20
3.3. Підвищення надійності електропостачання	21
3.4. Технічні вимоги до якості електричної енергії	22
3.5. Показники і норми якості електричної енергії	23
3.6. Тривалі зміни характеристик напруги	23
3.7. Випадкові події	27
3.8. Методи контролю якості електричної енергії	28
3.9. Засоби захисту основних елементів системи автономного електропостачання	30
3.10. Аспекти функціональної безпеки на основі серії стандартів ДСТУ ІЕС 61508	33
Висновки по розділу 3	37
ВИСНОВКИ	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	39

ВСТУП

Розглядаючи проблеми забруднення навколишнього середовища, витрати паливносировинних ресурсів та енергозбереження нашої країни, необхідно відмітити, що використання традиційних джерел енергії і добуток викопних палив економічно не вигідно. Однак дослідження в галузі відновлювальних джерел енергії показали свою ефективність, де сонячна енергетика є найбільш розвиненим напрямом, вона дозволяє оптимізувати вартість та витрату палива, а також знизити частку шкідливої екологічної дії традиційних джерел енергії [1, 2].

Найбільш популярні відновлювальні джерела енергії в нашій країні та світі – енергія вітру та сонця. В доповіді Генерального секретаря ООН про тенденції в галузі сировинних товарів, йде мова про те, що в 2018 році ріст відновлювальних джерел енергії склав 4%, і на їх частку прийшло близько чверть росту загального попиту на первинну енергію. А в галузі електроенергії частка «чистих» джерел зростає на 45%. Відповідно до прогнозів Міжнародного енергетичного агентства, на наступні п'ять років частка відновлювальних джерел енергії збільшиться на одну п'яту, склавши біля 12,4%, а в галузі виробництва енергії вона досягне до 70%. Лідуючі позиції буде займати фотоелектрична сонячна енергія, за якої будуть прямувати енергія вітру, гідро- і біоенергія [3].

Отримання електроенергії від сонячного випромінювання не завжди досить дешево. Тому фахівці безупинно прагнуть удосконалити сонячні елементи і зробити їх ефективнішими.

Електрифікація, тобто виробництво, розподіл та використання електричної енергії у всіх галузях промисловості та побуту населення є одним з важливіших факторів технічного прогресу.

Актуальність роботи. Важливим показником системи енергозабезпечення – це надійність постачання електричної енергії. Енергетичний сектор потребує особливої уваги. Це зумовлено не тільки величезним значенням енергетики в сучасному суспільстві, але й незадовільним станом її розвитку протягом останнього десятиріччя. На сьогодні склалася така ситуація, що з огляду на зростаючі ціни на традиційні енергоносії відновлювані джерела енергії стають більш вигідними в найближчій перспективі.

Поступово інноваційні технології екологічно безпечного виробництва енергії все більше знаходять своє місце на підприємствах. Активний розвиток відновлюваної та альтернативної енергетики в світі створює нові можливості для енергетичної незалежності.

Метою даної роботи є дослідження і моделювання сонячної електричної станції.

Об'єкт досліджень – системи енергопостачання від сонячної електростанції.

Предмет досліджень – зв'язок параметрів електростанції з кліматичними умовами регіону та потребами підприємства, для якого вона проектується.

Впроваджені інженерні рішення:

1. Проведено дослідження техніко-технологічного забезпечення технологій електропостачання з використання фотоелектричних перетворювачів.

2. Проведений розрахунок режимів роботи енергетичної мережі з підключеними сонячними електростанціями та без них.

3. Обґрунтовано вибір силового обладнання.

4. Запропоновано принципову електричну схему з'єднання СЕС з діючою ПС.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано тези у Збірнику доповідей учасників VI Міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи» та збірнику матеріалів науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2022».

Обсяг та структура роботи. Робота складається із вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 40 сторінках машинописного тексту, містить 4 таблиць, 22 рисунка, списку використаних джерел з 21 найменування.

РОЗДІЛ 1.
ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА ТА ПЕРСПЕКТИВИ
ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ ДЛЯ ЙОГО
ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

1.1. Коротка характеристика базового підприємства

Метою створення Товариства є одержання прибутку (доходу) від здійснення комерційної, виробничої, промислової, науково-дослідної, торгової, зовнішньоекономічної діяльності та іншої діяльності, яка не заборонена чинним законодавством.

Загальна характеристика ТОВ «САНРАЙЗ ЕНЕРГЕТИКА» за кваліфікаційними ознаками наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Загальна характеристика за кваліфікаційними ознаками
ТОВ «САНРАЙЗ ЕНЕРГЕТИКА»

Ідентифікаційний код ЄДРПОУ	43524778
Правовий статус суб'єкта	Юридична особа
Організаційно-правова форма за КОПФГ	240 Товариство з обмеженою відповідальністю
Місцезнаходження юридичної особи	10009, Житомирська обл., місто Житомир, Корольовський район, вулиця Селецька, будинок 29, квартира 65.
Система оподаткування	Загальна
Індивідуальний податковий номер	435247786259

ТОВ «САНРАЙЗ ЕНЕРГЕТИКА» здійснює: передпроектний аналіз та консультації, проектування, 3D-моделювання об'єктів, поставка обладнання, монтаж та пуско-налагодження СЕС, гарантійне та післягарантійне обслуговування, сервіс, енергоаудит та тепловізійне обстеження.

Основні засоби та оборотні активи є складовими виробничого потенціалу ТОВ «Санрайз Енергетика». В таблиці 1.2 дослідимо їх зміна та структуру.

Таблиця 1.2

Динаміка структури активів ТОВ «Санрайз Енергетика»

Показник	Роки						2021 р. до 2019 р.	
	2019		2020		2021			
	тис. грн	%	тис. грн	%	тис. грн	%	+, -	в %
Необоротні активи, всього	30,5	49,8	29,3	42,7	31,8	43,2	1,3	104,3
в т. ч.								
Основні засоби:								
балансова вартість	30,5	49,8	29,3	42,7	31,8	43,2	1,3	104,3
первісна вартість	31,7	-	31,7	-	35,6	-	3,9	112,3

Продовження таблиці 1.2

знос	1,2	-	2,4	-	3,8	-	2,6	316,7
Оборотні активи, всього	30,7	50,2	39,3	57,3	41,8	56,8	11,1	136,2
в т. ч.								
Запаси	17,3	28,3	26,8	39,1	27	36,7	9,7	156,1
Дебіторська заборгованість за надані послуги	2,3	3,8	1,7	2,5	3,5	4,8	1,2	152,2
Гроші та їх еквіваленти	11,1	18,1	10,8	15,7	11,3	15,4	0,2	101,8
Сума активів	61,2	100,0	68,6	100,0	73,6	100,0	12,4	120,3

Джерело: дані ТОВ «Санрайз Енергетика»

З даних табл. 1.2 можна зробити висновок, що вартість використовуваного у виробничому процесі майна на кінець 2021 року дорівнювала сумі в 73,6 тис. грн., тобто за звітний період майно товариства по вартості зросло на 12,4 тис. грн. чи на 20,3%. У загальній вартості майна, яке перебуває в розпорядженні ТОВ «Санрайз Енергетика» 43,2% від загальної ціни майна чи 31,8 тис. грн припадало на необоротні активи зафіксовано зростання вартості за рік на 1,3 тис. грн чи на 4,3 %), обігові активи на кінець 2021 року коштували 41,8 тис. грн (збільшились на 11,1 тис. грн. чи на 36,2%).

1.2. Діяльність ТОВ «САНРАЙЗ ЕНЕРГЕТИКА» в напрямку електроенергетики

ТОВ «Санрайз Енергетика» направлена на розвиток сонячної енергетики, яка працює за Зеленим тарифом. Зелений тариф – являється економічним механізмом винагороди за вироблення електроенергії із відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Зелений тариф значного розповсюдження отримав всередині 2010 років із розвитком технологій. У світі такий тариф передбачає під'єднання вітряних станцій, сонячних мережевих та гібридних станцій.[4].

Використання зеленого тарифу поєднує використання таких інструментів:

- доступ до енергомережі;
- укладання довгострокових угод на придбання електричної енергії;
- встановлення та затвердження високих закупівельних цін, що враховують вартість відновлюваних джерел енергії.

Предметом діяльності «Санрайз Енергетика» згідно Класифікації видів економічної діяльності є: будівництво сонячних електростанцій, електропостачання та телекомунікацій, електромонтажні роботи, будівельно монтажні

роботи, штукатурні роботи, установлення столярних виробів, малярні роботи та скління, інші роботи.

Будівництво сонячних електростанцій. Товариство надає повний спектр послуг з проектування, будівництва та подальшого обслуговування сонячних електростанцій, воно використовує спеціалізоване програмне забезпечення, внаслідок чого ефективність СЕС є вищою в порівнянні з конкурентами.

Тепловізійне обстеження фотоелектричних модулів. Візуально панелі можуть виглядати абсолютно неушкодженими, проте утворення мікротріщин в кремнієвих комірках мають негативний вплив на роботу фотомодуля (включаючи вигорання в ушкоджених місцях) та всього ряду панелей в цілому. Огляди за допомогою тепловізійної камери - починаючи з контролю якості на етапі встановлення, та продувжуючи проведенням регулярних перевірок – забезпечують повний моніторинг стану системи. Своєчасне виявлення дефектів допоможе зберегти функціональність сонячних панелей і продовжити їх термін експлуатації, що убезпечить інвестиції.

Сервісне обслуговування. Всі роботи з сервісного обслуговування сонячних електростанцій здійснюються кваліфікованими спеціалістами в галузі електроенергетики та енергоаудиту.

1.3. Особливості систем електропостачання на базі сонячних панелей

Існує декілька типів сонячних електростанцій, в залежності від конструкцій та режимів роботи.

Розроблені і введені в експлуатацію досить великі баштові установки, о слугують, в основному, промисловими цілями. В центрі установки знаходиться вежа, з боків якої розміщений геліостат – спеціальне дзеркало великої площі. На її вершині знаходиться об'ємний резервуар з водою. Він обертається в залежності від позиції джерела випромінювання. Геліостат концентрує сонячні промені, нагріваючи воду в резервуарі. Отриманий водяний пар обертає турбіну. Найбільша баштова сонячна електростанція на планеті в даний час експлуатується в каліфорнійському місті Сан-Бернардіно, її потужність досягає 392 МВт. Але такі установки вибагливі до температури навколишнього середовища, а тому експлуатуються в основному в теплих районах.

Сонячні електростанції з фотоелектричними модулями – самі відомі і розповсюджені. Головна особливість – сонячні панелі напряму перетворюють отриману сонячну енергію в електричну. Простота в монтажі та обслуговуванні дозволяє використовувати сонячні електростанції по всій території України. Тому децентралізовані сонячні електростанції переважно

мають таку конструкцію. На рис. 1.1 зображена схема роботи такої електростанції.

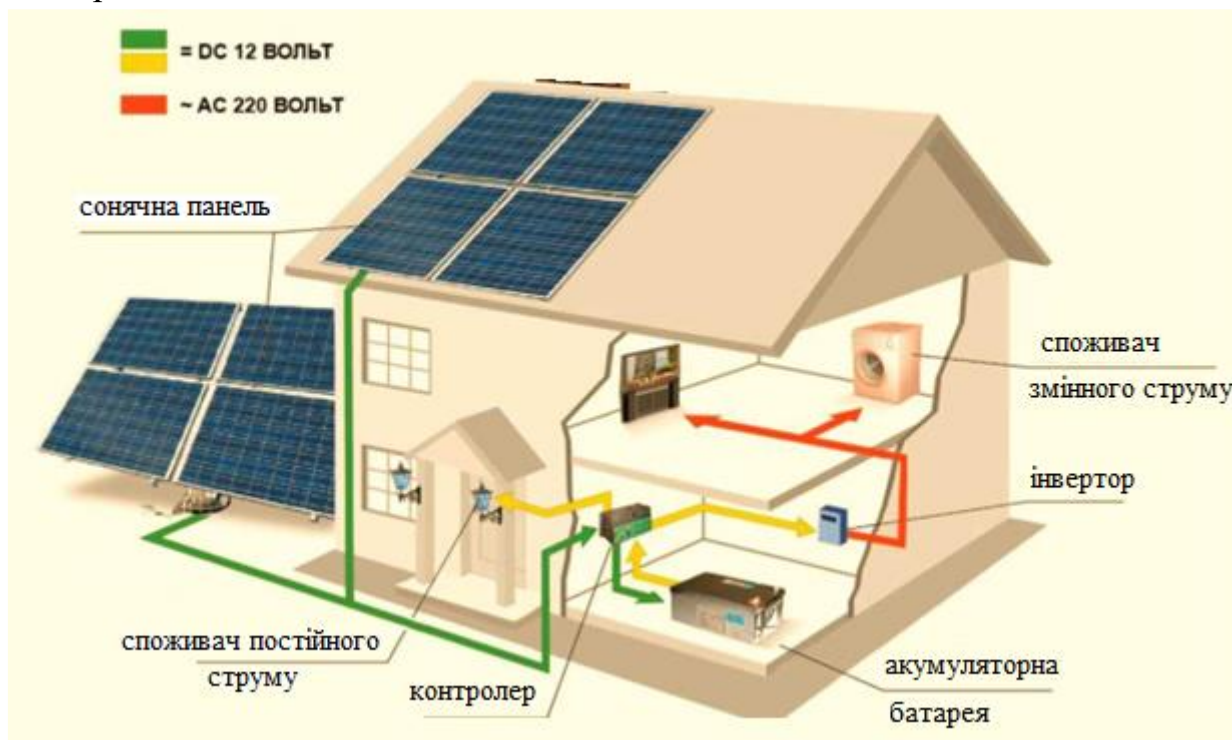


Рисунок 1.1. – Приклад системи децентралізованого енергопостачання будинку на основі сонячних модулів

Існують тарілчасті сонячні електростанції, вони за своїм пристроєм схожі з описаними вище баштовими, але складаються відразу із великої кількості модулів, закріплених на опорі, що мають ферменну конструкцію передавача і сферичних відбивачів. На даний час вони використовуються рідко, можуть бути і повністю автономними, і є частиною загальної мережі.

Одним із рідких видів є аеростатні сонячні електростанції. Припускають, що сонячні панелі розміщують на висоті не менше 20 метрів від поверхні землі. Це дає можливість уникнути інтенсивності роботи при наявній хмарності. Коефіцієнт корисної дії у них коливається в межах від 15 до 40%. Перевага таких систем полягає в тому, що вони рухаються одночасно з повітряним потоком, що практично повністю виключає можливість існування вітрових втрат енергії, властивих іншими сонячними електростанціями. Верхня частина конструкції даних агрегатів виготовлена із прозорої плівки з міцним металевим армуванням, в центрі яких знаходиться сонячний концентратор, оснащений термоперетворювачем. Він охолоджується або воднем (якщо в установці змонтована система розкладання води), або гелієм (при наявності датчиків, здатних здійснювати передачу електричної енергії в дистанційному режимі). В одному аеростаті може знаходитись декілька потужних модулів.

Сонячні електростанції з параболоциліндричними концентраторами також мають розповсюдження, вони нагрівають теплоносії як правило, в його якості використовується масло або вода, тільки не технічна, а очищена) до тих параметрів, які будуть придатні застосування в турбінних генераторах електричної енергії. На їх конструкції монтується параболічні відбиваючі дзеркала достатньо великої довжини, в середині яких розміщується спеціальна трубка, здійснююча нагрів теплоносія. Останній і перетворює воду до стану пари, примушуючи обертати турбогенератора.

Крім вищеперахованих видів сонячних електростанцій існують також комбіновані вітросонячні електростанції, поєднуючи в собі вітрогенератора і сонячні модулі (рис. 1.2). В таких системах застосовуються спеціальні гібридні інвертори.



Рисунок 1.2. – Гібридні вітросонячні електростанції

Таким чином, сонячна або гібридна електростанція працює при наявності ясної погоди або вітру, заряджаючи акумуляторні батареї або видавати потужність споживачу.

1.4. Структурна схема та обладнання СЕС

Особливості виробничих процесів у галузі альтернативної енергетики визначають його специфіку, способи і методи планування. Виробнича програма ТОВ «САНРАЙЗ ЕНЕРГЕТИКА» включає найрізноманітніші роботи (послуги): передпроектний аналіз та консультації, проектування, 3D-моделювання об'єктів. поставка обладнання, монтаж та пуско-налагодження СЕС. гарантійне та післягарантійне обслуговування, сервіс, енергоаудит та тепловізійне обстеження.

Головним ресурсом крім ресурсів праці є обладнання яке поставляє ТОВ «САНРАЙЗ ЕНЕРГЕТИКА».

Мережна електростанція для вироблення змінного струму та безпосередньої подачі його до мережі за зеленим тарифом, або для власних потреб (рис. 1.3).

Мережеві електростанції є простими, відносно дешевими та надійними. Проте вони мають суттєвий недолік – дають мало енергії в темпу пору часу. А на підприємстві електрична енергія необхідна цілодобово. Тому можна розглянути питання, щодо використання акумуляторів в системі. Хоча це значно і здорожчує електростанцію.

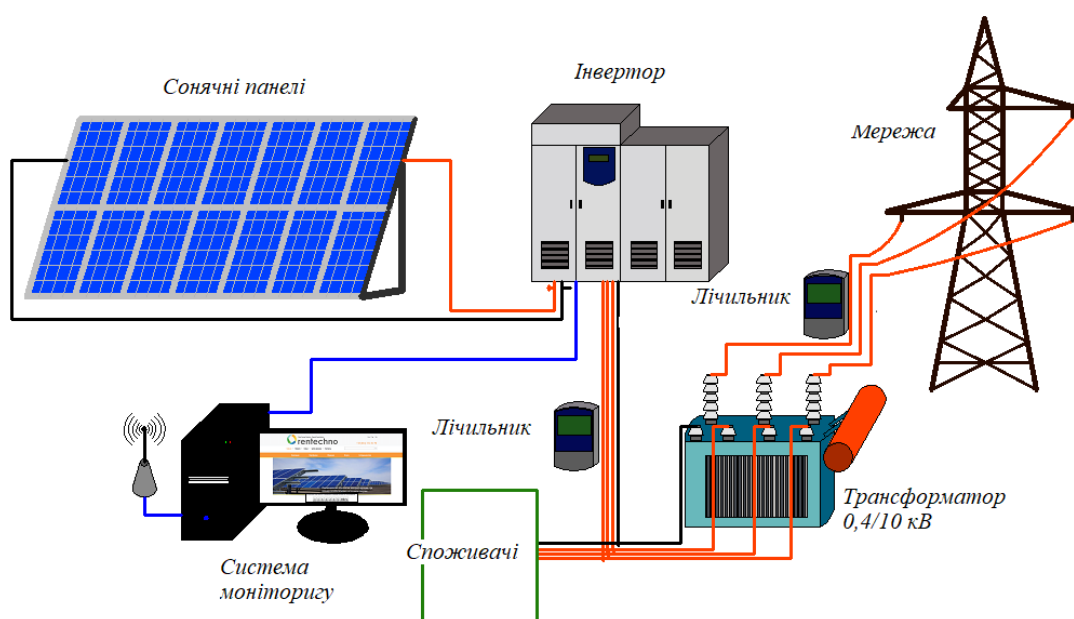


Рис. 1.3. Схема мережевої електростанції [8]

Мережеві електростанції є простими, відносно дешевими та надійними. Проте вони мають суттєвий недолік – дають мало енергії в темпу пору часу. А на молочній фермі електрична енергія необхідна цілодобово. Тому можна розглянути питання, щодо використання акумуляторів в системі. Хоча це значно і здорожчує електростанцію.

Мережева сонячна електростанція під'єднується до загальної електричної мережі та частково або повністю компенсує потреби в електричній енергії упродовж світлового дня, а надлишкову енергію постачає в мережу за спеціальним «зеленим» тарифом. Для перетворення постійного струму в змінний із необхідними параметрами та для регулювання процесу споживання електричної енергії, що вироблено сонячною електростанцією призначений мережевий інвертор. Схему підключення такої електростанції наведено на рис. 1.4.

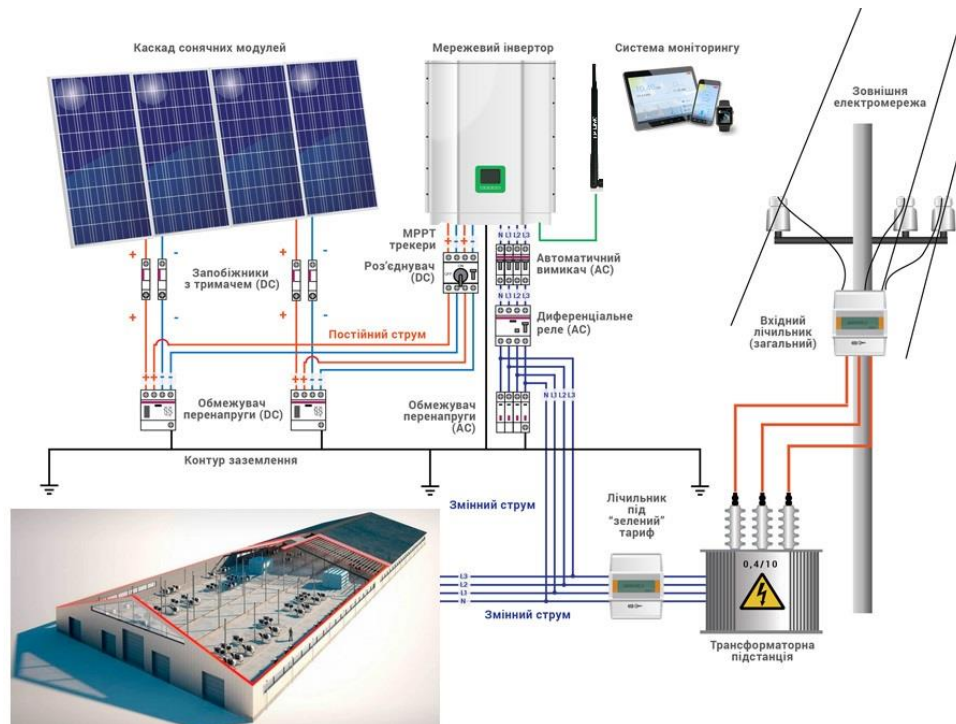


Рис. 1.4. Схема підключення мережевої сонячної електростанції

Вироблений станцією постійний електричний струм надходить на мережевий інвертор, який перетворює струм з постійного на змінний з необхідними параметрами (220 / 380В і 50 Гц). Із інвертора змінний струм подається до споживача, якщо енергії не достатньо то споживач (тваринницька ферма) частину енергії отримує із зовнішньої мережі. Коли ж станція виробляє надлишкову потужність то частина змінного струму надходить до загальної мережі за спеціальним тарифом. Коли подача енергії не можлива до загальної мережі перетікання надлишкової енергії в мережу необхідно обмежити, для цього встановлюють так звані «смарт-міттери» які обмежують виробництво електричної енергії до рівня споживання. Крім смарт-міттера можливе встановлення ватрутера, що дозволяє частину електричної енергії перевести резервні споживачі, наприклад створити запас води, чи нагріти якийсь об'єм води чи зарядити акумуляторні батареї.

Як варіант можливе встановлення автономної електричної станції (рис. 1.5), доречним це буде у місцях де є гарні пасовища, а постачання електричної енергії утруднено через технічні чи економічні проблеми.

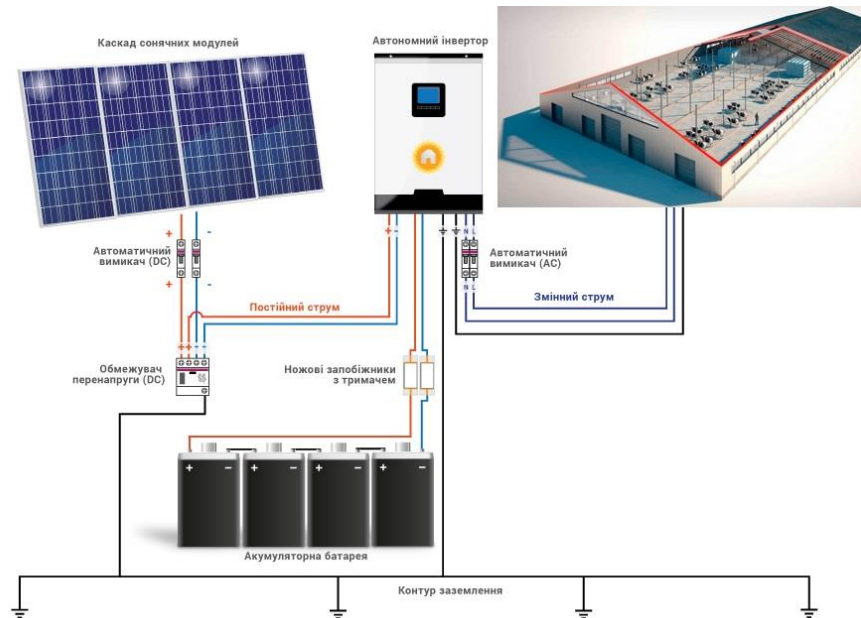


Рис. 1.5. Автономна електростанція

В автономній станції вироблена електрична енергія надходить на накопичувачі енергії, в основному це акумуляторні батареї. Необхідно відмітити, що наявність акумуляторних батарей значно підвищує вартість електростанції, крім того термін служби батарей відносно незначний (3-4 роки).

Висновки по розділу 1

Особливості виробничих процесів у галузі альтернативної енергетики визначають його специфіку, способи і методи планування. Виробнича програма ТОВ «САНРАЙЗ ЕНЕРГЕТИКА» включає найрізноманітніші роботи (послуги): передпроектний аналіз та консультації, проектування, 3D-моделювання об'єктів, поставка обладнання, монтаж та пуско-налагодження СЕС, гарантійне та післягарантійне обслуговування, сервіс, енергоаудит та тепловізійне обстеження.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МЕРЕЖІ ВІД КОМБІНОВАНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

2.1. Обґрунтування вибору сонячних елементів

Максимальна потужність сонячної батареї 300 Вт. Для отримання 40 кВт номінальної потужності потрібно приблизно 133 таких сонячних модулів. Для даного проекту підходить монокристалічна сонячна батарея Suoyang 300Вт/24В. Технічні характеристики даного сонячного модуля задовольняють вимогам щодо забезпечення електропостачання та представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Технічні характеристики сонячної батареї SY-300WM

Потужність, Вт	300
Напруга холостого ходу, В	45,5
Струм короткого замикання, А	8,56
Напруга в 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
Займана площа, м ²	1,9

2.2. Обґрунтування вибору акумуляторних батарей

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

Для даного проекту обрано акумуляторні батареї LI-ION 24 В/1000 А год.

Характеристики літій-іонних акумуляторів:

- 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 в комплект поставки [9].

Таблиця 2.2

Характеристики акумуляторної батареї

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

2.3. Розрахунок струмів

Виходячи з формули повної потужності:

$$P_{\text{ном}} = \sqrt{3}U_{\text{ном}}\cos\varphi I_{\text{ном}}, \quad (2.1)$$

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

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}\cos\varphi} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 72,2 \text{ А.}$$

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

$$I_{\text{к.з.}} = 3,5 \cdot 72,2 = 252,7 \text{ А.}$$

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

2.4. Обґрунтування інвертора з урахуванням струмів

В якості відповідного інвертора виступає інвертор фірми АВВ типу ACS800-107-0510-3. Типорозмір R8i. Номінальні характеристики представлені в табл. 2.3.

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

$$I_{\text{к.з.інв.}} = 0,95 \cdot 1014 = 963 \text{ А.}$$

Номінальні характеристики інвертора

Номінальні характеристики		Робота без перевантажень	Робота з перевантаженнями (10%)		Робота з перевантаженнями (50%)		Розсіювальна потужність, кВт	Код типу	Типорозмір
$I_{cont,max}$ А	$I_{max}(10)$, 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

2.5. Обґрунтування вибору вітроустановки і випрямляча для безпечної роботи електростанції

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, підключених 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 10 кВт (табл. 2.4).

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 розряджені 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 флюгрюються, і гвинт загальмовується щоб уникнути пошкоджень.

Великий обхват робочих температур дає можливість застосовувати вітроустановку в різних кліматичних зонах [10]. Здатність лопатей повертатися навколо своєї осі дозволяє крок гвинта. Завдяки цьому вдається

досягти найбільш ефективної аеродинаміки при різних швидкостях вітру і флюгівувати гвинт при високій швидкості вітру для зниження опору.

Таблиця 2.4

Технічні характеристики вітроустановки 10 кВт

Номінальна потужність, кВт	10
Напруга на виході, В	380
Початкова швидкість вітру, м/с	2,5
Максимальна робоча швидкість вітру, м/с	25
Номінальна швидкість вітру, м/с	12
Діаметр ротора, м	21
Кількість лопатей, шт	3
Рівень шуму, db	не більше 70
ККД генератора, %	90
Діапазон робочих температур, °С	-40...+40
Проектний термін служби, роки	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 сервопривід. Відмова від аеродинамічного стабілізатора і використання активної системи дозволила забезпечити точне наведення на вітер і позбутися від хаотичного повертання вітряка. На сервоприводи гондоли 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. 2.5.

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 2.5

Номінальні характеристики випрямляча

Номінальні характеристики		Робота без перевантажень	Робота з перевантаженнями (10%)		Робота з перевантаженнями (50%)		Розсіювальна потужність, кВт	Код типу	Типорозмір
и									
$I_{cont,max}$ А (перем.)	I_{max} (10), А	$P_{cont,max}$ кВт	I_N , А	P_N , кВт	I_{hd} , А	P_{hd} , кВт			
$U_{ном} = 690$ В (діапазон 525 – 690 В)									
382	571	355	367	355	286	270	7	ACS800-107-0440-7	R8i

На підставі виконаних розрахунків обрані пристрої, що представлені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Вибрані пристрої

Сонячні модулі	Suoyang SY-300 WM 300 Вт/24В
Акумуляторні батареї	LI-ION 24 В /1000 А
Інвертор	ABB ACS800-107-0510-3
Вітроустановка потужністю 10 кВт	
Випрямляч	ABB ACS800-107-0440-7

Висновки по розділу 2.

В другому розділі було обґрунтовано вибір сонячних елементів та вибір акумуляторних батарей. Проведено розрахунок струмів короткого замикання на виході сонячної батареї та визначено що перевищує номінальний струм в 3,5 рази та обґрунтовано інвертор з урахуванням струмів.

Для безперебійної роботи електростанції і забезпечення споживачів електроенергією крім сонячних батарей було додано ще одне джерело – вітроустановку. Для транспортування енергії до акумуляторів при сильному вітрі було запропоновано випрямляч.

РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ

3.1. 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 деяких 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 короткочасні 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 усталеного стану в інший, що виникає при несподіваних змінах у схемі, а також при раптових швидких змінах споживаних або генеруємих потужностей.

Причинами, що приводять до таких режимів, можуть бути як короткі замикання, так і відключення елементів системи, аварії та інш. Параметри перехідного режиму можуть сильно відрізнятися від нормованих.

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 несиметрія трифазної системи або вищі 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 можливо їх використання, якщо вони технічно допустимі та економічно доцільні [12].

3.2. 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:

Мережі 0,4 кВ 15 ... 25% сумарної втрати,

Мережі 6 ... 10 кВ 20 ... 25% сумарної втрати,

Мережі 35 кВ 2 ... 3% сумарної втрати,

Мережі 110 ... 220 кВ 40...50% сумарної втрати, мережі 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:

$$\Delta S = \Delta P + j\Delta Q = \frac{S^2}{U^2} R + j \frac{S^2}{U^2} X = \frac{P^2 - Q^2}{U^2} R + j \frac{P^2 - Q^2}{U^2} X, \quad (3.1)$$

де S , P і Q – повна, активна і реактивна потужності; МВА, МВт;

U – напруга мережі, кВ;

R і X – активний і реактивний опори мережі, Ом.

Одне 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 автотрансформаторов, автоматичного регулювання потужності батарей конденсаторів, застосування механізмів регулювання потоків потужності, формування оптимальних конфігурацій мереж, впровадження високоефективних засобів автоматики, телемеханіки, релейного захисту і т. п.

До організаційних заходів відносяться: оптимізація режиму системи за реактивною потужністю, оптимізація струмрозділів мереж від 6 до 35 кВ, застосування 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 завантаженнях, 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 поточкорозподілення, 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.

3.3. 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 в 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 (АРВ), 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 протиаварійної системи є автоматичне повторне включення і автоматичне введення резерву.

АПВ працює наступним чином: при виникненні короткого замикання спрацьовує РЗ, яка 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 напруги по обидва боки

лінії несинхронні, 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 напруга, після деякої витримки часу, АВР підключає знеструмлених споживачів до резервного джерела живлення. За допомогою АВР можуть включатися секційні вимикачі, резервні трансформатори, лінії і т. п. [13].

3.4 Технічні вимоги до якості електричної енергії

Якість електричної енергії вважається головним показником, що здійснює вплив на надійність роботи технологічного обладнання і енергетичної системи споживачів в цілому.

Якість електроенергії повинна відповідати параметрам, прописаним в ГОСТ 32144-2013. 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 підключення до електромережі технічні засоби з нелінійною вольтамперною характеристикою, такі як: зварювальні установки, вентильні перетворювачі, газорозрядні лампи і ряд інших електронних технічних засобів.

Рівень напруги у споживача електроенергії може не відповідати діючим вимогам через перевищення дозволеної для використання потужності самим споживачем. За статистикою далеко не завжди дотримуються норм якості електроенергії, представлені в ГОСТ. Це є причиною неоптимальних режими 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.

У відповідності до «Положень пункту 11.4.6 глави 11.4 розділу XI [14], параметри якості електроенергії в точках приєднання споживачів в нормальних умовах експлуатації мають відповідати параметрам, визначеним у ДСТУ» [15].

«Основні показники якості електричної енергії визначені у пунктах 11.4.7 – 11.4.12 глави 11.4 розділу XI» [14].

«Взаємовідносини, які виникають під час купівлі-продажу електричної енергії між електропостачальником та споживачем, а також їх

взаємовідносини з іншими учасниками роздрібного ринку електричної енергії, у тому числі операторами системи розподілу», регулюються Правилами роздрібного ринку електричної енергії, затвердженими постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 312» [16], та які набрали чинності 11 червня 2018 року.

3.5. Показники і норми якості електричної енергії

Згідно чинних вимог, зміни характеристик напруги електроживлення в точці передачі електричної енергії споживачу електричної мережі, що відносяться до частоти, значенням, формою напруги і симетрії напруг в трифазних системах електропостачання, підрозділяють на дві категорії – тривалі зміни характеристик напруги і випадкові події.

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. Зміни напруг, що трапляються, за статистикою, відбуваються через непередбачувані події (до прикладу, через пошкодження обладнання користувачів електромережі) або через зовнішні впливи (погодні 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 [12, 14].

3.6. Тривалі зміни характеристик напруги

Відхилення частоти. Відхилення значень основних частот напруги від їх номінальних значень є показниками якості, що стосуються частоти:

$$\Delta f = f_{max} - f_{ном}, \quad (3.2)$$

де f_{max} – значення основної частоти напруги електроживлення, що вимірюється в інтервалі часу 10 с, Гц;

$f_{ном}$ – номінальне значення частоти напруги електроживлення, Гц.

Для даного показника якості електроенергії 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 $\pm 0,4$ Гц протягом 100% тимчасового проміжку довжиною в один тиждень;

- відхилення частот в ізольованих системах електричного постачання з автономними генераторними установками, які не підключені до синхронізованих систем передачі електроенергії, не повинні перевищувати ± 1 Гц протягом 95% часового проміжку довжиною в один тиждень ± 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 вимірюваними напругами електроживлення, відносяться негативне і позитивне відхилення напруги електричного живлення в точках передачі електроенергії від номінальних/узгоджених значень, %:

$$\delta U_{(-)} = [(U_0 - U_{m(-)})/U_0] \cdot 100, \quad (3.2)$$

$$\delta U_{(+)} = [(U_{m(+)} - U_0)/U_0] \cdot 100, \quad (3.3)$$

де $U_{(-)}$, $U_{m(+)}$ – значення напруги електроживлення, які менше U_0 і більше U_0 відповідно, і усереднені в інтервалі часу 10 хвилин;

U_0 – стандартна номінальна напруга $U_{ном}$ або узгоджена по напрузі U_c .

Норми, встановлені для зазначень вищих за показники якості електроенергії, такі: позитивні і негативні відхилення напруги в точках передачі електроенергії не повинні перевищувати 10% від номінального або узгодженого значення напруги протягом 100% часу інтервалу в один тиждень.

Коливання напруги і флікери. Флікери виникає при коливаннях напруги електричного живлення (зазвичай, тривалістю менше однієї хвилини), в тому числі при одиничних швидких змінах напруги.

Показники якості електроенергії, що відносяться до коливань напруги – це короткочасна доза флікера P_{st} , яка вимірюється в тимчасовому проміжку тривалістю 10 хвилин, і тривала доза флікера P_{lt} , яка вимірюється в часовому проміжку тривалістю 2 години, в точках передачі електроенергії.

Встановлені норми зазначених показників якості електроенергії:

- короткочасна доза флікера P_{st} повинна бути менше значення 1,38;
- тривала доза флікера P_{lt} повинна бути менше значення 1,0;
- протягом 100% тимчасового проміжку довжиною 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 поодинокі 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} і до 6% U_c відповідно можуть траплятися кілька разів за добу.

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

Показники якості електроенергії, що відносяться до гармонійних складових напруги:

- значення коефіцієнтів гармонійних складових напруги до 40-го порядку $K_{U(n)}$ в процентах напруги основної гармонійної складової U_1 в точці передачі електричної енергії;
- значення сумарного коефіцієнта гармонійних складових напруги (відношення середньоквадратичного значення суми всіх гармонічних складових до 40-го порядку K_U до середньоквадратичного значення за основною складовою), % в точці передачі електричної енергії.

Встановлені норми зазначених показників якості електроенергії:

а) значення коефіцієнтів гармонійних складових напруги $K_{U(n)}$, які усереднені в часовому проміжку тривалістю 10 хвилин, повинні бути менше встановлених значень, представлених в таблицях 3.1.-3.3, протягом 95% тимчасового інтервалу довжиною в один тиждень;

б) значення коефіцієнтів гармонійних складових напруги $K_{U(n)}$, які усереднені в часовому проміжку тривалістю 10 хвилин, повинні бути менше встановлених значень, представлених в таблицях 3.1-3.3, збільшених в 1,5 рази, протягом 100% часу кожного періоду в один тиждень;

в) значення сумарних коефіцієнтів гармонійних складових напруги K_U , які усереднені в часовому проміжку тривалістю 10 хвилин, повинні бути менше встановлених значень, представлених в таблиці 3.4., протягом 95% тимчасового інтервалу довжиною в один тиждень;

г) значення сумарних коефіцієнтів гармонійних складових напруги K_U , які усереднені в часовому проміжку тривалістю 10 хвилин, повинні бути менше встановлених значень, представлених в таблиці 3.5, протягом 100% часу інтервалу в один тиждень.

Таблиця 3.1

Коефіцієнти непарних гармонійних складових напруги що не кратні
трьом $K_{U(n)}$

Порядок гармонійної складової n	Коефіцієнти гармонійних складових напруги $K_{U(n)}$, % U_1			
	Напруга 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

Таблиця 3.2

Коефіцієнт непарних гармонійних складових напруги, що кратні
трьом $K_{U(n)}$

Порядок гармонійної складової n	Коефіцієнти гармонійних складових напруги $K_{U(n)}$, % U_1			
	Напруга електромережі, кВ			
	0,38	6-25	35	110-220
3	5	3	3	1,5
9	1,5	1	1	0,4
1	0,3	0,3	0,3	0,2
2	0,2	0,2	0,2	0,2
>	0,2	0,2	0,2	0,2

Таблиця 3.3

Коефіцієнти напруги парних гармонійних складових $K_{U(n)}$

Порядок гармонійної складової n	Коефіцієнти гармонійних складових напруги $K_{U(n)}$, % U_1			
	Напруга електромережі, кВ			
	0,38	6-25	35	110-220
Порядок гармонійної складової n	Коефіцієнти гармонійних складових напруги %			
	Напруга електромережі, кВ			
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 3.4

Сумарні коефіцієнти гармонійних складових напруги K_U

Сумарні коефіцієнти гармонійних складових напруги $K_U (n)$, % U_1			
Напруга електромережі, кВ			
0,38	6 – 25	35	110 – 220
8,0	5,0	4,0	2,0

Таблиця 3.5

Сумарні коефіцієнти гармонійних складових напруги K_U

Сумарні коефіцієнти гармонійних складових напруги $K_U (n)$, % U_1			
Напруга електромережі, кВ			
0,38	6 – 25	35	110 – 220
12,0	8,0	6,0	3,0

Несиметрія напруг в трифазних системах. Несиметричні навантаження споживачів електроенергії або несиметрія елементів електромережі обумовлює несиметрію напруг в трьохфазній системі.

Показники якості електроенергії, що відносяться до несиметрії напруг в трифазних системах: коефіцієнт несиметрії напруг по оберненій послідовності K_{2v} і коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю K_{0v} .

Встановлені норми зазначених показників якості:

- значення коефіцієнтів несиметрії напруг по зворотній послідовності K_{2v} і несиметрії напруг за нульовою послідовності K_{0v} в точках передачі електроенергії, які усереднені у часовому проміжку тривалістю 10 хвилин, повинні бути менше 2% протягом 95% тимчасового інтервалу довжиною в один тиждень;

- значення коефіцієнтів несиметрії напруг по зворотній послідовності K_{2v} і несиметрії напруг за нульовою послідовності K_{0v} в точках передачі електроенергії, які усереднені у тимчасовому проміжку тривалістю 10 хвилин, повинні бути менше 4% протягом 100% тимчасового інтервалу довжиною в один тиждень [17].

3.7. Випадкові події

Переривання напруги. У разі інформування користувача електромережі про майбутнє 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 (більше 3 хвилини) і короткочасні (менше 3 хвилини)).

Граничне значення початку переривання прирівнюється до 5% опорної напруги.

Провали напруги і перенапруги. Провали напруги, як правило, виникають внаслідок несправностей в електромережах або в електричних установках споживачів, а також при приєднанні потужного 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.

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 [17].

3.8. Методи контролю якості електричної енергії

Контроль якості електроенергії – це оцінка відповідності показників встановленим нормам. 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 якості на кордоні розділу мережі по балансовій належності значень, що зафіксовані в договорі енергопостачання;
- розробка технічних умов на приєднання споживача в частині контролю якості електроенергії;

- перевірка виконання договірних умов в частині контролю якості електроенергії з визначенням допустимого розрахункового фактичного вкладів споживача в погіршення якості;
- розробка технічних і організаційних заходів по забезпеченню якості електроенергії;
- визначення знижок (надбавок) до тарифів на електроенергію за її якість;
- сертифікація електричної енергії;
- пошук «винуватця» спотворень показників якості електроенергії [18].

Виділяється чотири методи контролю показників якості електроенергії. Вони залежать від розв'язуваних цілей при контролі якості електроенергії. Це такі методи:

- діагностичний; інспекційний; оперативний;
- технологічний.

Діагностичний метод контролю якості електроенергії – основна мета діагностичного контролю - виявлення «винуватця» погіршення якості, установка дозволеного відсотка вкладу в відхилення від вимог стандарту по кожному показнику якості, внесення їх в договір електропостачання, нормалізація якості електроенергії.

Інспекційний контроль якості електроенергії проводиться фахівцями з сертифікації з метою отримання повної інформації про поточний стан сертифікованої електроенергії в електромережах постачальної компанії, про дотримання умов та правил застосування сертифікатів, а так само для підтвердження відповідності якості електроенергії встановленим вимогам протягом терміну дії сертифіката.

Оперативний метод контролю якості електроенергії потрібен за умови експлуатації в точках електромережі, в яких існує і не може бути усунуто спотворення напруги. 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 якості електроенергії, при якому тривалість і/або похибка вимірювань можуть бути скорочені в порівнянні з чинними вимогами. Інакше кажучи, для цього контролю можуть використовуватися інші засоби вимірювань.

Технологічний метод встановлює вплив технологічного процесу споживачів електричної енергії на показники її якості [19].

3.9. Засоби захисту основних елементів системи автономного електропостачання

Аварійний режим електричних мереж. Аварійний режим стає у 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:

1. Коротке замикання. Номінальна напруга зростає в десятки разів. Відбувається яскравий спалах лампочки.

2. Перевантаження електромережі. Сильно нагрівається розетка, можливо возгоряння вимикачів.

3. Стрибок струму. Відбувається через короткочасне перевищення напруги. Звичайна лампа розжарювання перегорає в момент включення.

4. Слабкий струм. Можливий через розрив ланцюга. Тьмяне світло від лампи розжарювання.

5. Стрибок напруги. Причиною найчастіше виявляється удар блискавки. Багато електроприладів виходять з ладу.

6. Низька напруга. Буває через частковий розрив кола. 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 [18].

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).

Наслідки короткого замикання досить небезпечні:

- пошкодження електрообладнання механічного та термічного характеру;

- займання електроустановок;
- зменшення рівня напруги в мережі, яке призводить до зниження крутного моменту електродвигунів, їх гальмування і навіть опрокидування;
- випадання із синхронізму деяких генераторів, електростанцій і частин електроенергетичної системи, утворення аварій і т.д.;
- електромагнітний вплив на лінії зв'язку і т.п.

Захист основних елементів. Плавкі запобіжники або автоматичні вимикачі забезпечують захист від перевантаження в електромережі з напругою до 1000 В захищеної ділянки мережі, яка відключається в той момент, коли струм перевищує задане значення допустимого нагріву проводів. Запобіжники працюють без витримок часу, ґрунтуючись на захисній характеристиці плавкої вставки. Автоматичні вимикачі забезпечені розчеплювачами: електромагнітний розчеплювач миттєвої дії, і тепловий розчеплювач з затримкою часу, що спрацьовують в залежності від перевищень допустимого значення струму в лінії [20].

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 селективністю захисту, тобто вибірковістю. Існують спеціальні заходи для обмеження сили струму к.з.: застосовуються блокові схеми живлення, розподіл по секціях збірних шин підстанцій, послідовне включення реакторів і т.п.

У графічній частині представлена електрична схема станції електропостачання. QF1 - QF8 автоматичні вимикачі, що захищають елементи системи.

1) QF-1, АBB T_{max} Т6. Призначений для захисту сонячної батареї.

$I_{ном. бат.} = 722A$. $I_{кз} = 2527A$. $I_{ном} = 800A$.

Розчеплювач захисту: ТМА (тепловий регульований, магнітний регульований). $I_{ном} = 800A$. Регульований тепловий поріг спрацьовування: $I_{спр} = 960 - 2400A (1,2 - 3I_{ном})$.

Регульований магнітний поріг: $I_{спр} = 800 - 4000A (1 - 5I_{ном})$; $U = 600V$ пост., час спрацьовування 0,08 с.

2) QF-2, АBB T_{max} Т6. Призначений для захисту інвертора. $I_{ном. інв.} = 741A$. $I_{кз} = 963A$.

Розчеплювач захисту: ТМА (теплової регульований, магнітний регульований). $I_{ном} = 800A$.

Регульований тепловий поріг спрацьовування: $I_{спр} = 960 \text{ } 2400A (1,2 - 3I_{ном})$

Регульований магнітний поріг: $I_{спр} = 800 \text{ } 4000A (1 - 5I_{ном}) U = 600V$ пост., час спрацьовування 0,05 с.

3) QF-3, ВА-74. Налаштований на струм короткого замикання, що перевищує номінальний струм інвертора $I_{ном. інв.} = 741 A$ у 1,5 рази, тобто: $I_{кз} = 1111,5 A$. $I_{ном} = 750 A$. $I_{спр розч макс.} = 2625 A$. $U = 380 V$ змінного струму, час спрацьовування 0,015с.

4) QF-4, ВА-73. Призначений для захисту вітрогенератора. $I_{ном} = 190A$, $I_{кз} = 1520 A = 8 I_{ном}$. Автомат повинен витримувати високий струм при к.з. для того, щоб розвантажити інвертор, здатний витримати 1,5 кратний струм в аварійній ситуації.

$I_{ном} = 200A$. $I_{спр} = 1520 \text{ } 2280A (8-12 \cdot I_{ном})$. $U = 380V$ змінного струму, час спрацьовування 0,035 с.

5) QF-5, АВВ T_{max} Т1. Призначений для захисту регулятора ZU2. Розрахований на відключення при струмі 15А.

$I_{ном} = 16A$ $I_{спр} = 11,2 \text{ } 16A (0,7-1 I_{ном})$. $U = 600V$ постійного струму, час спрацьовування 0,02 с.

6) QF-6 і QF-7, АВВ T_{max} Т4. Призначені для захисту випрямляча і акумуляторних батарей. $I_{кз. випр.} = 542 A$, $I_{кз. ак.} = 507,5 A$

Розчеплювач захисту: ТМД (теплової регульований, магнітний фіксований). $I_{ном} = 200 A$ Регульований тепловий поріг спрацьовування: $I_{спр} = 175 \text{ } 250 A (0,7-1I_{ном})$.

Фіксований магнітний поріг: $I_{спр} = 500A (2I_{ном}) U = 600V$ постійного струму. Час спрацьовування 0,05 с.

7) QF-8, АВВ T_{max} Т3. Налаштований на струм короткого замикання, що перевищує 200А, для захисту випрямляча з боку навантаження. $I_{ном} = 200A$

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

Фіксований магнітний поріг: $I_{спр} = 500A (2,5I_{ном}) U = 400V$ змінного струму, час спрацьовування 0,03 с.

Вибрані автоматичні вимикачі забезпечують своєчасний селективний захист елементів електростанції, що дозволяє уникнути пошкоджень безлічі пристроїв.

3.10. Аспекти функціональної безпеки на основі серії стандартів ДСТУ ІЕС 61508

Виходячи з інструкцій, зазначених в ДСТУ EN 50160:2014 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності» для того щоб визначити найвищий рівень повноти безпеки, який може бути пред'явлений до функції безпеки, необхідно виконати наступні процедури:

1) визначити підсистеми, з яких складається електрична система, пов'язана з безпекою.

2) для всіх елементів кожної підсистеми окремо визначити частку безпечних відмов.

3) для кожного елемента, використовуючи отримане значення частки безпечних відмов і значення відмовостійкості апаратних засобів, що дорівнює нулю, визначити максимальний рівень повноти безпеки.

4) визначити найвищий рівень повноти безпеки, який може бути пред'явлений до підсистеми.

5) найвищий рівень повноти безпеки, який може бути пред'явлений до електричній системі, пов'язаної з безпекою, визначається підсистемою з найнижчим рівнем повноти безпеки.

Відмовостійкість 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.

1. 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. Відмовостійкість апаратного елемента дорівнює 2, тому що після виходу з ладу одного елемента сонячної батареї працездатність системи зберігається, проте потужність буде менше, ніж спочатку. Частка безпечних відмов елементів знаходиться в діапазоні до 60%. З цього випливає висновок, що системі сонячних елементів присвоєно УБП 3.

2. 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 віддавана потужність буде менше запланованої. Звідси випливає, що відмовостійкість 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. Акумуляторній батареї присвоєно УБП 2.

3. Інвертор – невід'ємна частина системи електропостачання, що дозволяє перетворити постійний струм напругою 600 В в змінний напругою 380/220 В для передачі споживачам. Виходячи з цього - відмова будь-якого елемента в інверторі, а отже вихід його з ладу, позбавляє всю систему працездатності. Тому відмовостійкість апаратного елемента дорівнює 0.

Частка безпечних відмов елементів знаходиться в діапазоні до 60%. Таким чином інвертору присвоєно УБП 1.

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

5. Без випрямляча не може віддавати в мережу електроенергію вітроустановка, а 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 віддаваної потужності зменшується, отже відмовостійкість апаратного елемента дорівнює 0. Частка безпечних відмов елементів знаходиться в діапазоні до 60%. Випрямлячу присвоєно УБП 1.

6. Вітроустановка забезпечує 1/5 максимальної потужності електростанції та 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. відмовостійкість апаратного елемента дорівнює 0. Частка безпечних відмов елементів знаходиться в діапазоні до 60%. Вітроустановці присвоєно УБП1.

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

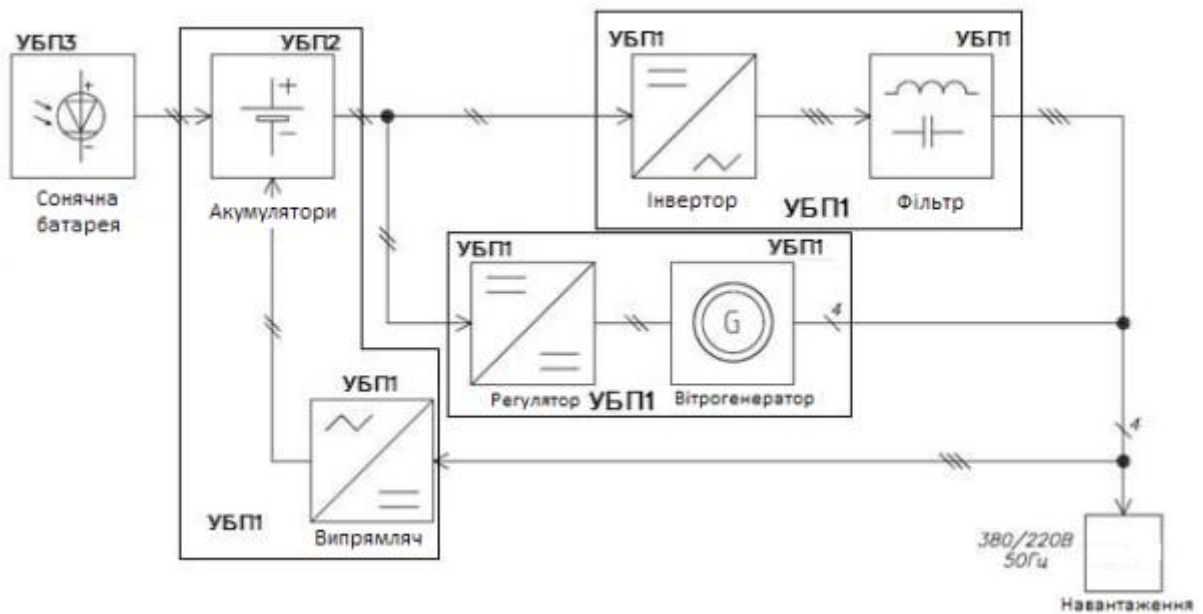


Рис. 3.1. Структурна схема системи електропостачання

8. 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 роботоздатність 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 відмовостійкість апаратного елемента дорівнює 0. Частка безпечних відмов елементів знаходиться в діапазоні до 60%. Для коротких замикань УБП 1.

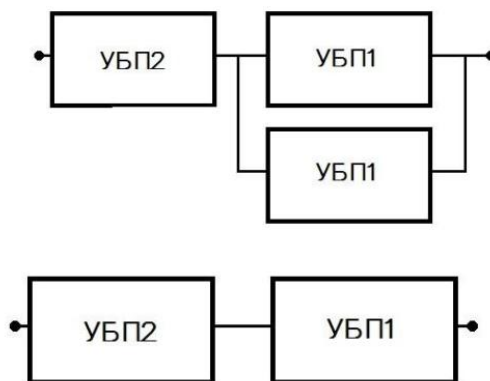


Рис. 3.2. Спрощена структурна схема системи електропостачання

В електричній підсистемі, пов'язаній з безпекою, в якій функція безпеки реалізується в багатоканальній архітектурі (паралельне з'єднання елементів) з відмовосійкістю 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. В результаті архітектура спрощується до електричної системи з обмеженням по УБП 1.

Аспект забезпечення електробезпеки. Даний проект розроблений як електростанція закритого типу. Струмopровідні 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 при непрямому дотику. Захист від ураження електричним струмом, відповідно до ГОСТ ІЕС 61010-1-2014, 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 її основи);

- основна ізоляція - забезпечує основну ізоляцію між доступними частинами і 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. Вимогам, зазначеним в ГОСТ ІЕС 61010-1-2014, відповідає. А також застосовується додаткова ізоляція. Вона витримує електричні удари, викликані напругою, які можуть з'явитися на мережевому джерелі живлення або в обладнанні.

Згідно ГОСТ ІЕС 61140-2012 "Захист від ураження електричним струмом. Загальні положення безпеки 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]. Тому 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 до розділу 3.

У даному розділі було наведено основні режими електричних систем, втрати потужності в системах і методи їх зниження, а також висвітлені технічні вимоги до якості електричної енергії та показники і норми якості електричної енергії.

Встановлені норми зазначених показників якості електроенергії: значення коефіцієнтів гармонійних складових напруги $K_{U(n)}$, які усереднені в часовому проміжку тривалістю 10 хвилин, повинні бути менше встановлених значень, протягом 95% тимчасового інтервалу довжиною в один тиждень та збільшених в 1,5 рази, протягом 100% часу кожного періоду в один тиждень.

Наведені випадкові події, такі як: переривання напруги, провали напруги і перенапруги. Описані засоби захисту основних елементів системи автономного електропостачання.

ВИСНОВКИ

У роботі було проаналізовано переваги альтернативної енергетики на даний день. Актуальність розробки досить висока, тому що можна отримати екологічно чисте джерело енергії з низькою вартістю виробництва електроенергії.

З огляду на вихідні дані були обрані пристрої системи електропостачання, в яку входять:

1. Сонячні модулі Suoyang SY-300WM 300Вт / 24В.
2. Акумуляторні батареї LI-ION 24 В / 1000 А год.
3. Інвертор АВВ ACS800-107-0510-3.
4. Вітроустановка потужністю 10 кВт.
5. Випрямляч АВВ ACS800-107-0440-7.

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

Вибрані автоматичні вимикачі мають забезпечувати своєчасний селективний захист елементів електростанції, що дозволяє уникнути пошкоджень безлічі пристроїв.

Розглянуті аспекти функціональної безпеки (складений перелік відмов та присвоєно УПБ) і аспект забезпечення електробезпеки (представлені види основного і додаткового захисту від ураження електричним струмом по ГОСТ ІЕС 61010-1- 2014, присвоєно клас захисту від ураження електричному струмом по ГОСТ ІЕС 61140-2012).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Скидан О.В., Голуб Г.А., Кухарець С.М. Ярош О.Д., Чуба В.В., Медведський О.В., Цивенкова Н.М., Соколовський О.Ф., Кухарець В.В. Відновлювана енергетика в аграрному виробництві. За ред. О.В. Скидна і Г.А. Голуба. Київ, НУБіП України. 2018. 338с.
2. Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України / [В.О. Дубровін, Л.Д. Романчук, В.М. Поліщук, С.В. Драгнев, С.М. Кухарець, В.В. Кухарець, І.Г. Грабар, Л. В. Лось, Г.А. Голуб, І.В. Нездвецька, В.О. Шубенко, А.А. Голубенко, Н.М. Цивенкова]. – К.: Центр учбової літератури, 2014. 335 с.
3. <https://news.un.org/ru/story/2019/08/1361871>.
4. https://uk.wikipedia.org/wiki/Зелений_тариф.
5. <http://elektrik.info/main/news/401-kak-ustroeny-i-rabotayut-solnechnyebatarei.html> (Дата звернення 18.10.2022).
6. Бабієв Г.М., Дероган Д.В., Щокін А.Р.. Перспективи впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні. «Електричний Журнал», – Запоріжжя: ВАТ "Гамма", 1998 №1, С.63-64.
7. Дикий М.О. Поновлювані джерела енергії. Київ: Вища школа, 1993. – 416 с.
8. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії. Під заг. ред. Шидловського А.К. – Київ: Українські енциклопедичні знання, 2007. 559 с.
9. Мартиненко І.І.П., Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК: Підручник / І.І.Мартиненко, В.П. Лисенко, Л.П. Тищенко, І.М. Болбот, П.В. Олійник. К, 2008. 330 с.
10. Навчальний посібник / В.Ф. Яковлев, Ю.М. Куценко, С.О. Квітка, Ю.О. Богатирьов. За заг. ред. проф. Яковлева В.Ф. – Мелітополь, 2010. 117 с.
11. Островський Е.С.: Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. – Київ: Міненергобуд Україна, 2010. 170 с.
12. <https://sun-energy.com.ua/articles/>
13. Півняк Г.Г. Рациональное використання енергії: Навч. пос. Дніпропетровськ, 2002. 193 с.
14. Кодекс систем розподілу, затвердженого постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 310.
15. ДСТУ EN 50160:2014 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності» (далі –ДСТУ EN 50160:2014)/
16. Правилами роздрібного ринку електричної енергії, затвердженими постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 312 (11 червня 2018 року).
17. Правила улаштування електроустановок. – 4-те вид.,переробл., і допов.-Харків: Форт, 2017. 736 с.

18. Титко, Р. Відновлювальні джерела енергії. (Досвід Польщі для України). / Р. Титко, В. Калініченко – Варшава: Вид-во OWG, 2010. 533 с.
19. Островський Е.С.: Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ: Міненергобуд Україна, 2010. 170 с.
20. Сонячна енергетика – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.npblog.com.ua/index.php/ekologiya/sonjachnaenergetika> – Загол. з титул екрану. – Мова: укр. Дата звернення:24.10.2022.
21. Проектування систем електрифікації технологічних процесів на підприємствах АПК. Загальні питання проектування / В.Ф. Яковлев, Ю.М. Куценко, С.О. Квітка, Ю.О. Богатирьов ; за загальною редакцією професора В.Ф. Яковлева. – Мелітополь, 2010. – 117 с.