

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут Інформаційних Технологій

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій

Федорко Олександр Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 620.91

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розробка системи вимірювання характеристик гібридного інвертора за зміни
характеру під'єданого навантаження

(назва роботи)

Інженерія відновлюваної енергетики

(назва освітньої програми)

152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:

Здобувач освітнього ступеня Федорко О.В.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник к.т.н., доцент Цих Віталій Сергійович

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

Допущено до захисту

В.о. завідувача кафедри

О.Є. Середюк

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ – рік 2024

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інформаційних технологій

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

Освітня програма Інженерія відновлюваної енергетики

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« ____ » _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Федорко Олександр Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи вимірювання характеристик гібридного інвертора за зміни характеру під'єданого навантаження

керівник роботи к.т.н., доцент Цих Віталій Сергійович

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

затверджені наказом ІФНТУНГ від “24” квітня 2024 року №271/7

2. Строк подання студентом роботи “14” червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики гібридного інвертора, гелевих акумуляторів, системи вимірювання цифрові струмовимірювальні кліщі, і технічні характеристики всіх під'єднаних навантажень.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1.1 Поточний стан галузі, 1.2 Державна підтримка та регулювання ВДЕ., 1.3 Будова, принцип роботи і особливості застосування фотоелектричних станцій., 2.1. Підбір гелевих акумуляторів. 2.2. Підбір гібридного інвертора. 3.1. Розробка принципової схеми автономної фотоелектричної станції., 3.2 Збірка реальної моделі автономної станції., 3.3 Вимірювання параметрів інвертора., 3.4 Перевірка інвертора під навантаженням., Ручні цифрові кліщі УТ-73091., 4.2 Розрахунок всіх можливих похибок при вимірюванні.

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

Додаток А схема електрична принципова «Автономної Фотоелектричної станції»

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Нормоконтролер</i>	<i>доцент Яворський А.В.</i>		
<i>Перевірка на плагіат</i>	<i>доцент Миндюк В.Д.</i>		

7. Дата видачі завдання 24 квітня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ІНВЕРТОРІВ В СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ</i>	<i>24.04.2024 -01.05.2024</i>	
2	<i>РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ІНВЕРТОРА ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ</i>	<i>01.05.2024-20.05.2024</i>	
3	<i>РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ІНВЕРТОРА ЗА ЗМІНИ ХАРАКТЕРУ ПІДСЬДНАНОГО НАВАНТАЖЕННЯ</i>	<i>20.05.2024-07.06.2024</i>	
4	<i>"Оформлення роботи"</i>	<i>07.06.2024-14.06.2024</i>	

Студент

_____ (підпис)

Федорко О.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Цих В.С.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота містить: 78 сторінок, 36 рисунків, 3 таблиці, 42 джерела, 2 додатки.

Тема роботи: Розробка системи вимірювання характеристик гібридного інвертора за зміни характеру під'єданого навантаження.

Об'єктом дослідження є вимірювання характеристик гібридного інвертора за зміни характеру під'єданого навантаження.

Метою роботи є вивчення ефективності роботи гібридного інвертора за зміни характеру під'єданого навантаження.

Під час виконання бакалаврської роботи було здійснено дослідження, тестування характеристик гібридного інвертора за зміни характеру під'єданого навантаження де було визначено реальну потужність, нагрів, ефективність, в проміжку часу. Також було проведено експериментальне дослідження, яке включало здатність інвертора запускати потужний асинхронний двигуни та перевірку на відповідну синусоїдальну вихідну напругу.

Отримані в ході досліджень дані разом з попередніми дослідженнями дозволяють розпочати розробку автономної фотоелектричної станції для живлення житлового будинку.

Ключові слова: ГІБРИДНИЙ ІНВЕРТОР, ХАРАКТЕРИСТИКИ НАВАНТАЖЕННЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНА СТАНЦІЯ

ABSTRACT

Bachelor's thesis contains: 78 pages, 36 figures, 3 tables, 42 references, 2 appendix.

Theme of the work: Development of a system for measuring the characteristics of a hybrid inverter when the nature of the connected load changes.

The object of the research is to measure the characteristics of a hybrid inverter under changing load conditions.

The aim of the work is to study the efficiency of a budget hybrid inverter under changing load conditions.

During the bachelor's thesis, a study was conducted, testing the characteristics of a hybrid inverter under changing load conditions, which determined the real power, heating, efficiency, in the time interval. An experimental study was also conducted, which included the ability of the inverter to start powerful asynchronous motors and check for the corresponding sinusoidal output voltage.

The data obtained during the research, together with previous studies, allows us to start developing an autonomous photovoltaic station for powering a residential building.

KEYWORDS: HYBRID INVERTER, LOAD CHARACTERISTICS, EFFICIENCY, PHOTOVOLTAIC STATION

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1.....	10
АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ІНВЕРТОРІВ В СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ	10
1.1 Аналіз потенціалу використання сонячної енергетики в умовах України.....	10
1.2 Особливості сучасного законодавства в сфері відновлюваної енергетики.....	13
1.3 Будова, принцип роботи і особливості застосування фотоелектричних станцій.....	15
1.4 Аналіз особливостей застосування гелевих акумуляторів у системах СЕС.....	21
1.5 Аналіз основних інверторів.....	27
1.6 Постановка задачі бакалаврської роботи.....	34
РОЗДІЛ 2.....	35
РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ІНВЕРТОРА ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ.....	35
2.1 Розробка схеми автономної фотоелектричної станції.....	35
2.2 Збірка реальної моделі автономної станції.....	41
2.3 Оцінювання точності вимірювань.....	44
2.3.1 Ручні цифрові кліщі УТ-73091.....	44
2.3.2 Оцінювання похибок при вимірюванні.....	46
2.4 Висновки до другого розділу.....	49
РОЗДІЛ 3.....	50
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ІНВЕРТОРА ЗА ЗМІНИ ХАРАКТЕРУ ПІДСЬДНАНОГО НАВАНТАЖЕННЯ.....	50
3.1 Вимірювання параметрів інвертора.....	51
3.2 Дослідження інвертора під навантаженням.....	53
3.3 Висновки до третього розділу.....	68
ВИСНОВКИ	69

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71
--	-----------

ВСТУП

Актуальність теми:

Зростання популярності альтернативних джерел енергії, таких як сонячні панелі, вітрові турбіни, та їх інтеграція в електромережі зумовлюють потребу в надійних та ефективних системах перетворення енергії. Гібридні інвертори, що поєднують функції мережевих та автономних інверторів, стають все більш затребуваними на ринку.

Для оцінки працездатності гібридних інверторів в різних умовах експлуатації та при різному характері навантаження, важливо мати систему вимірювання їх характеристик. Для того, щоб забезпечити ефективну та надійну роботу інвертора, важливо точно вимірювати його характеристики, такі як потужність, ККД та динамічні характеристики. Традиційні методи вимірювання цих характеристик зазвичай складні, дорогі та потребують спеціального обладнання.

Мета роботи:

Розробити систему вимірювання характеристик гібридного інвертора за зміни характеру під'єданого навантаження.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз стану використання відновлюваних джерел енергії в Україні та особливості застосування сонячних інверторів;
- розробити схему та конструкцію для системи вимірювання інвертора під навантаженням;
- вибрати та обґрунтувати компоненти системи вимірювання;
- провести експериментальні дослідження характеристик інвертора за зміни характеру під'єданого навантаження, а також проаналізувати та узагальнити результати досліджень.

Об'єкт дослідження – процес впливу характеру під'єданого навантаження на характеристики гібридного інвертора.

Предмет дослідження – зміни характеристик гібридного інвертора під впливом зміни під'єданого навантаження.

Методи дослідження – в роботі використані наступні методи досліджень:

1. Методи аналізу, а саме:

- вивчення та аналіз наукових статей, книг, патентів, технічних характеристик та інструкцій з експлуатації гібридних інверторів;

- аналіз методів дослідження характеристик гібридних інверторів, представлених в науковій літературі;

- вивчення досвіду використання гібридних інверторів в різних системах електропостачання.

2. Експериментальні дослідження, а саме:

- розробка експериментальної установки для вимірювання характеристик гібридного інвертора;

- проведення вимірювань ККД, нагріву, чистоти синусоїди, вихідної потужності, споживання холостого ходу, струму заряджання та інших характеристик інвертора при різних типах, величинах та динаміці навантаження;

- аналіз отриманих експериментальних даних.

3. Методи моделювання, а саме:

- моделювання роботи інвертора при різних типах, величинах та динаміці навантаження;

- порівняння результатів моделювання з експериментальними даними.

4. Методи статистичного аналізу, а саме:

- обробка та аналіз експериментальних даних за допомогою методів математичної статистики;

- визначення залежностей між характеристиками інвертора та факторами, що на них впливають;

- оцінка точності та достовірності отриманих результатів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості застосування наведеної системи вимірювання основних параметрів та характеристик для різних типів інверторів та систем перетворення енергії.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ІНВЕРТОРІВ В СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

1.1 Аналіз потенціалу використання сонячної енергетики в умовах України

Незважаючи на те, що Україна – новачок на ринку відновлюваних джерел енергії, темпи зростання в цьому секторі вражають. Недавній огляд, проведений Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, показав, що тільки протягом II кварталу 2019 року Україна запустила вітрових електростанцій (ВЕС) загальною потужністю 71 МВт, сонячних (СЕС) – 568,3 МВт і біогазових установок – 16 МВт.

Для порівняння: в 2017 році, за даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України [1], в експлуатацію введено 87 нових об'єктів ВДЕ загальною потужністю 257 МВт, із яких:

- 64 сонячні енергетичні об'єкти загальною потужністю 211 МВт;
- 3 вітроенергетичні об'єкти загальною потужністю 27,4 МВт;
- 9 електростанцій на біомасі потужністю 14 МВт;
- 3 малі гідроенергетичні об'єкти загальною потужністю 4,6 МВт.

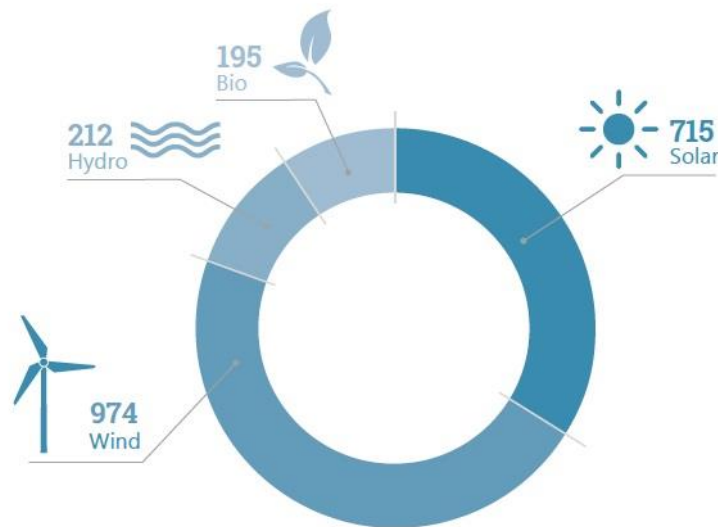
У 2017 році загальна кількість енергії, виробленої ВДЕ, за даними Держагентства, склала 2096 ГВт-год. Інформацію про частки кожного джерела енергії у загальній структурі обсягу електроенергії, виробленої об'єктами ВДЕ, можна подивитися на рисунку 1.1.

Який саме вид відновлюваного джерела енергії переважає в тому чи іншому регіоні можна побачити на рисунку 1.2.

Structure of energy produced by RES facilities

Score: GWt/h

Period: 2017



Source: SAEЕ

Рисунок 1.1 – Енергія, вироблена об'єктами ВДЕ [2].

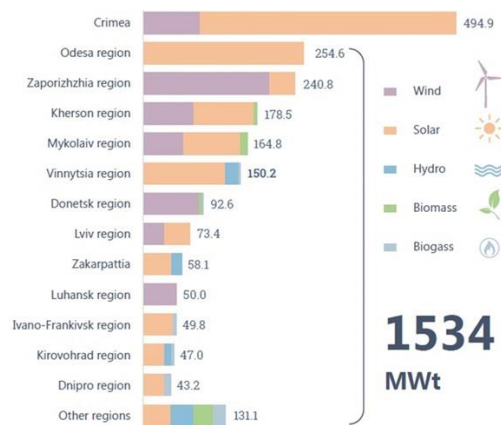


Рисунок 1.2 – Виробництво ВДЕ по регіонах станом на I квартал 2018 року [3]

В Україні за останні чотири роки вкладено близько 1,5 млрд євро в нові проекти з відновлюваної енергетики. Серед них особливо виділяється можливість будівництва сонячної електростанції (СЕС) потужністю 1,2 ГВт в Чорнобильській зоні відчуження (рисунок. 1.3).

Після аварії на станції в 1986 році значна територія навколо реактора стала непридатною для життя людей протягом сотень років. Проте в 2016 році французьким інженерам вдалося локалізувати джерело випромінювання,

накривши будівлю реактора ізоляційним арковим спорудженням. Розміщення СЕС на цій ділянці має ряд переваг:

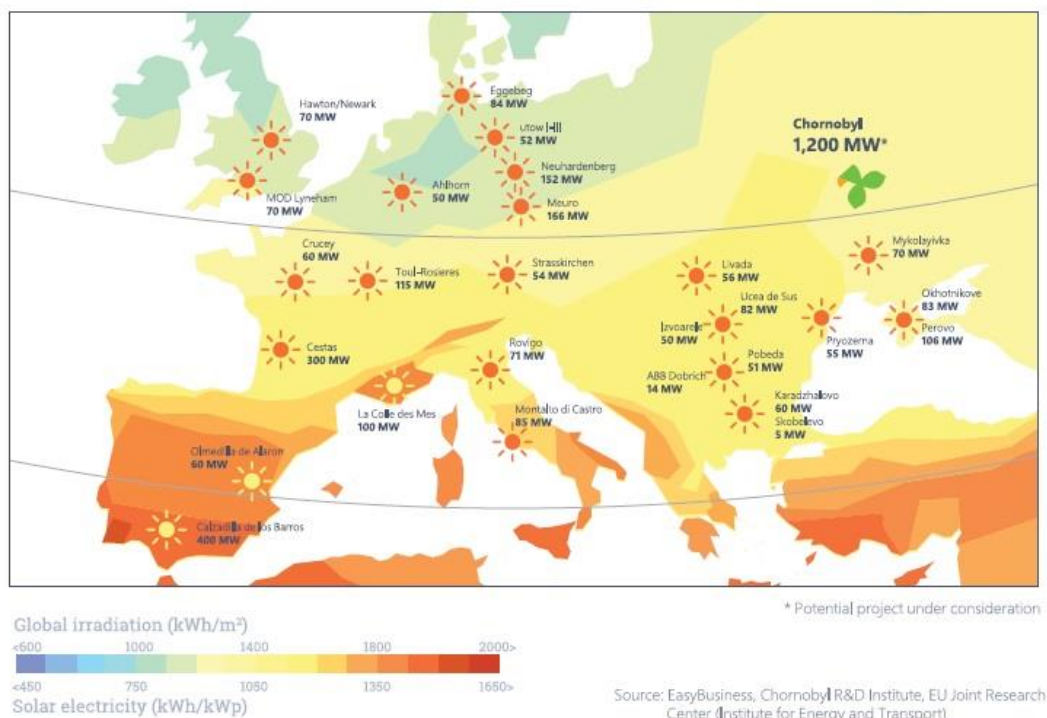


Рисунок 1.3 – Розгляд потенційного будівництва СЕС на місці Чорнобильської АЕС [5]

- загальна площа, доступна для сонячних електростанцій першого пріоритету, становить 2500 га, що відповідає 1,2 ГВт потужності; проект має гнучке масштабування завдяки наявності землі, яку легко придбати;
- придбання 2500 га земельних ділянок в 10-кілометровій зоні Чорнобильської АЕС у безпосередній близькості від доріг і ліній електропередачі може бути здійснено за спеціальною ціною оренди;
- 1,2 ГВт можна розділити на чотири етапи, що потребують будівництва нових підстанцій, включаючи інвестиції в інфраструктуру і розчищення території;
- велика частина інфраструктури знаходиться в хорошому робочому стані;

- мережа і підключення, включаючи трансформаторну підстанцію, відкриті розподільні пристрої й високовольтні лінії електропередачі, доступні на близьких відстанях;

- очікується до 1500 ГВт-год річного виробництва енергії;

- попереднє техніко-економічне обґрунтування, розроблене Tractebel France і профінансоване Міністерством економіки і фінансів Франції, підтверджує фінансову і технічну стійкість проекту [4].

1.2 Особливості сучасного законодавства в сфері відновлюваної енергетики

Після прийняття в 2017 році Закону України «Про ринок електроенергії» сектор відновлюваної енергії розвивається швидкими темпами. Для стимулювання використання відновлюваних джерел енергії уряд запровадив «зелені» тарифи, які сумісні з пільговими тарифами ЄС:

- безпечний «зелений» тариф надавався до 2030 року і визначався Законом «Про електроенергетику»;

- тарифи встановлювалися в євро – нульовий валютний ризик у гривні;

- закон гарантує закупівлю 100% енергії, виробленої з ВДЕ, оптовим оператором;

- закон визначає, що бонус за використання українського устаткування надається на рівні 5-10% додатково до існуючого стимулюючого тарифу;

- угода про закупівлю електроенергії істотно захищає права інвесторів і кредиторів;

- національна комісія з регулювання енергетики відповідає за встановлення пільгових тарифів, ліцензування ВДЕ, надання та розподіл фінансової підтримки правомочним сторонам.

Нижче представлена порівняльна таблиця тарифів в Україні й інших європейських країнах (рисунок 1.4).

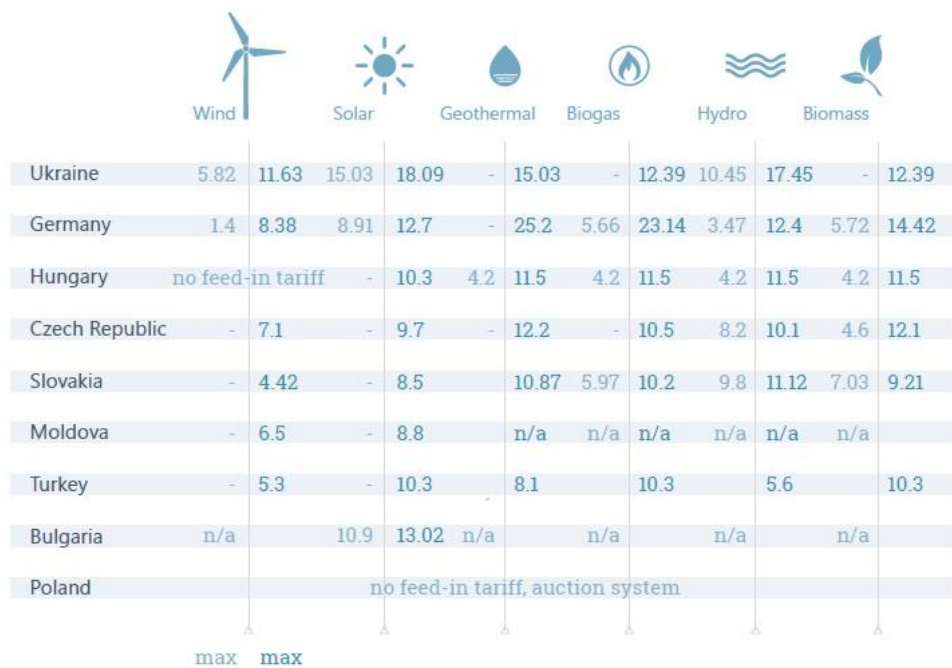


Рисунок 1.4 – Порівняння тарифів в Україні й інших європейських країнах [6,7]

З 27 липня 2023 року стартував новий етап розвитку енергетичної системи України за допомогою Закону України № 3220-ІХ. Цей закон визначає ключові зміни у сфері відновлюваної генерації, спрямовані на відновлення та «зелену» трансформацію.

Однією з важливих інновацій є введення механізму ринкової премії для генераторів електроенергії з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Ця альтернативна система стимулювання надає виробникам електроенергії з ВДЕ можливість обрати її використання, відмовившись від механізму «зеленого» тарифу. За цією системою гарантований покупець виплачує різницю між «зеленим» тарифом і розрахунковою ринковою ціною.

Це інноваційне рішення впроваджує концепцію гнучкості для виробників електроенергії з ВДЕ, надаючи їм можливість вибору оптимальної системи підтримки. Такий підхід сприятиме більш ефективній і гнучкій інтеграції відновлюваної енергії в енергетичну систему України, стимулюючи

зелений розвиток і забезпечуючи стабільні умови для інвесторів у галузі відновлюваної енергетики [8].

1.3 Будова, принцип роботи і особливості застосування фотоелектричних станцій

Принцип роботи СЕС та особливості будови [10].

Сонячна електростанція складається із сонячних панелей, інвертора, комутації та кріплення.

Сонячні панелі — це зовнішня частина електростанції, вони поглинають сонячне світло.

Інвертор відповідає за роботу СЕС, він перетворює постійний струм на змінний, такий як у розетці.

Комутація — це система захисту СЕС (запобіжники, автоматичні вимикачі, обмежувачі перенапруги, двонапрявний лічильник).

Конструкція, на яку монтується все обладнання.

Кожна сонячна батарея складається з фотоелектричних перетворювачів, у яких сонячна енергія перетворюється в електричну. Найчастіше такі фотоелементи виготовляють із кремнію, напівпровідника.

Сам фотоперетворювач можна порівняти із сендвічем, адже він складається з двох пластин. Одна пластина має надлишок електронів, а друга має вільні місця, «дірки» для електронів. Між цими двома пластинами розташувалася зона, яка не дозволяє переходу надлишкових електронів у той шар, де їх не вистачає.

Отже, запускаємо процес генерування електроенергії:

Фотон світла влітає у два шари й передає енергію сонця електронам;

Електрони рухаються по колу в шарах в одному напрямку, утворюючи постійний струм;

Інвертор перетворює постійний струм у змінний.

Фотоелементи панелей різних брендів можуть відрізнятися розміром і формами. Продуктивність панелі залежить від загальної кількості комірок, а потужність однієї комірки становить приблизно 0,5 вольта. Найчастіше, розміри комірок такі: 80x150 мм, 52x150 мм, 125x125 мм і 156x156мм.

Кут нахилу сонячних панелей

Так, він дійсно впливає на продуктивність СЕС. Пояснюємо чому: на продуктивність сильно впливає кут відхилення від прямої лінії на сонці, і те, як поверхня розташована відносно сторін світу. Ідеальними вважаються орієнтація на південь і падіння променів, яке перпендикулярно площині панелей. Тому кут у 35–45 градусів — найоптимальніший рівень нахилу панелей під час установки.

Види сонячних панелей

Види сонячних панелей відрізняються, в основному, коефіцієнтом корисної дії. ККД справної панелі показує кількість сонячної енергії, яка перетворюється в електричний струм, як потрапить на поверхню фотоелектричної панелі.

Характеристики та продуктивність

Почнемо з малого, адже продуктивність пізнається в порівнянні. Для того щоби повністю зарядити два смартфони необхідна потужність двадцяти чотирьох фотоелементів, тобто 12 вольт.

Уявімо, що у вас на балконі є вільне місце, а через вікна потрапляє багато денного світла, і ви встановлюєте панель із потужністю 50 Вт. Тепер не потрібно турбуватися про перебої зі світлом і зарядці мобільних гаджетів, адже ваші телефони, планшети і ноутбуки спокійно живляться «зеленою» енергією в світлий час доби.

В Україні дозволено встановлення домашньої СЕС, потужністю до 30 кВт. Зазвичай, для домашнього використання середньостатистичної української сім'ї досить сонячної електростанції на 10–20 кВт, залежно від потреб.

Довговічність сонячних електростанцій [11].

В результаті численних випробувань в різних умовах було доведено, що термін експлуатації станцій перевищує 30 років. Частина СЕС, які працюють з 80-х років в Європі і США, показала зниження ефективності приблизно на 10% після 25-го року роботи. Більшість же з них не піддалася з тих пір абсолютно ніякій деградації.

Варто також враховувати, що кожне нове покоління панелей набагато прогресивніше за попереднє, так що їх потенційна стійкість до довготривалої експлуатації тільки зростає. Сонячні батареї, що випускаються сьогодні, працюють ще стабільніше, ефективніше і надійніше аніж ті, що вимірювалися в дослідженнях.

В середньому можна впевнено стверджувати, що полікристалічні панелі мають термін служби від 20 років, монокристалічні – від 30 років.

Виробники панелей надають на свою продукцію наступну гарантію:

- від 10 до 25 років на те, що ефективність фотомодуля не зменшиться більше, ніж на 10% від номіналу,
- від 1 до 5 років на механічні пошкодження.

Типи СЕС для приватної оселі [12].

СЕС для приватного домогосподарства чи великого підприємства — це досить складна система, проектуванням якої мають займатись справжні професіонали своєї справи. Якщо ви вибираєте нашу компанію, наші фахівці, виходячи з побажань замовника, запропонують кілька варіантів, і від цього залежатиме ціна домашньої електростанції.

Мережеві

Це найдоступніший за вартістю варіант, оскільки до комплексу не входять акумуляторні батареї. А їхня ціна, разом із системою безперебійного живлення — це 40-50% від загальної вартості. Мережева домашня СЕС лише частково покриває витрати на електроенергію з центральної мережі електропостачання. Тобто коли світить сонце, фотоелектричні модулі

виробляють достатньо енергії для ваших потреб. А надмірні кіловати ви зможете продавати до центральної мережі за умовами програми «Зеленого тарифу». Вночі й протягом похмурих днів струм у будинок надходить із РЕМ. Мережеві електростанції для приватного будинку рекомендують встановлювати у тих локаціях, де немає скарг щодо регіональної енергетичної компанії. В іншому випадку після збоїв та аварійних знеструмлень ви ризикуєте залишитися без світла. Ескіз зображений на рисунку 1.5.

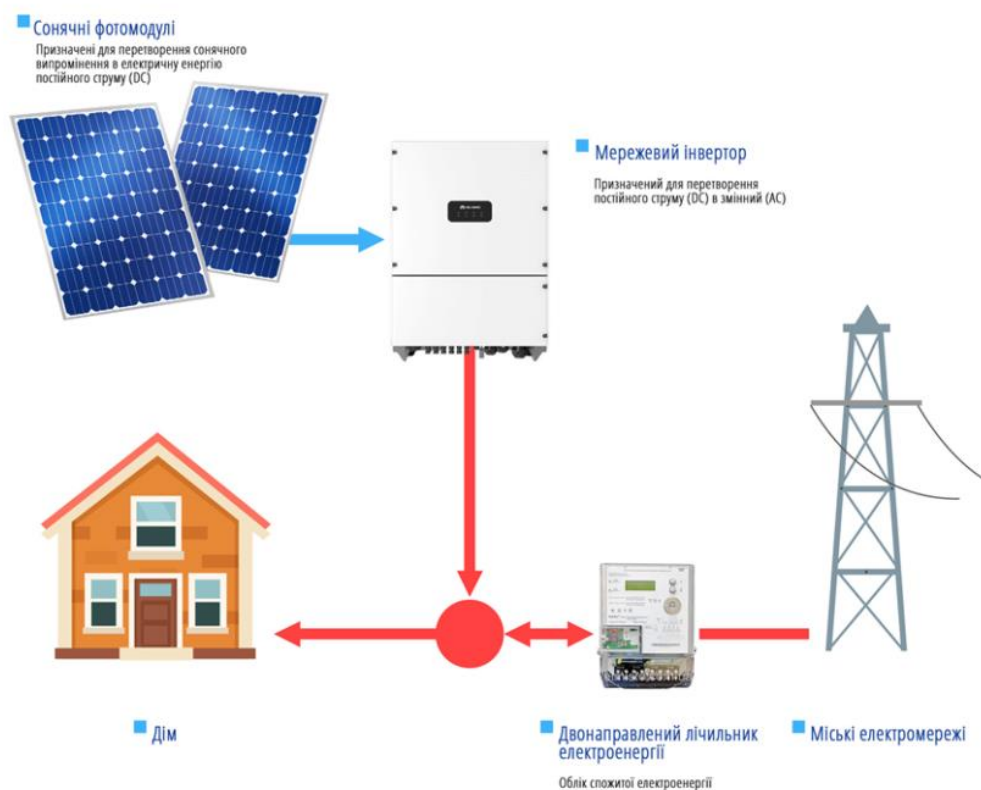


Рисунок 1.5 – Ескіз мережевої СЕС [13]

Автономні

Якщо ваш котедж розташований далеко від ЛЕП, а тягнути до нього окрему лінію бажання відсутнє, автономна (акумуляторна) домашня електростанція стане чудовою інвестицією у власну енергонезалежність (рисунок 1.6).

Комплект такої СЕС складається з наступних компонентів:

- каскад із сонячних батарей, які встановлюють на даху, стінах чи наземних конструкціях з нахилом у бік півдня, що гарантує ефективну роботу фотомодулів протягом усього світлового дня;
- автономний інвертор – пристрій для перетворення постійного струму на змінний, а також для розподілу електроенергії між побутовими приладами, що працюють на конкретну мить;
- елементи конструкції та кріплення – профілі та рамки з нержавіючої сталі або алюмінію, системи кріплення від провідних виробників;
- акумулятори високої ємності, розраховані на кілька тисяч циклів зарядження й розрядження, гарантія на них становить до семи років;
- система безперебійного живлення – забезпечує моментальне перемикання між сонячними панелями та АКБ.

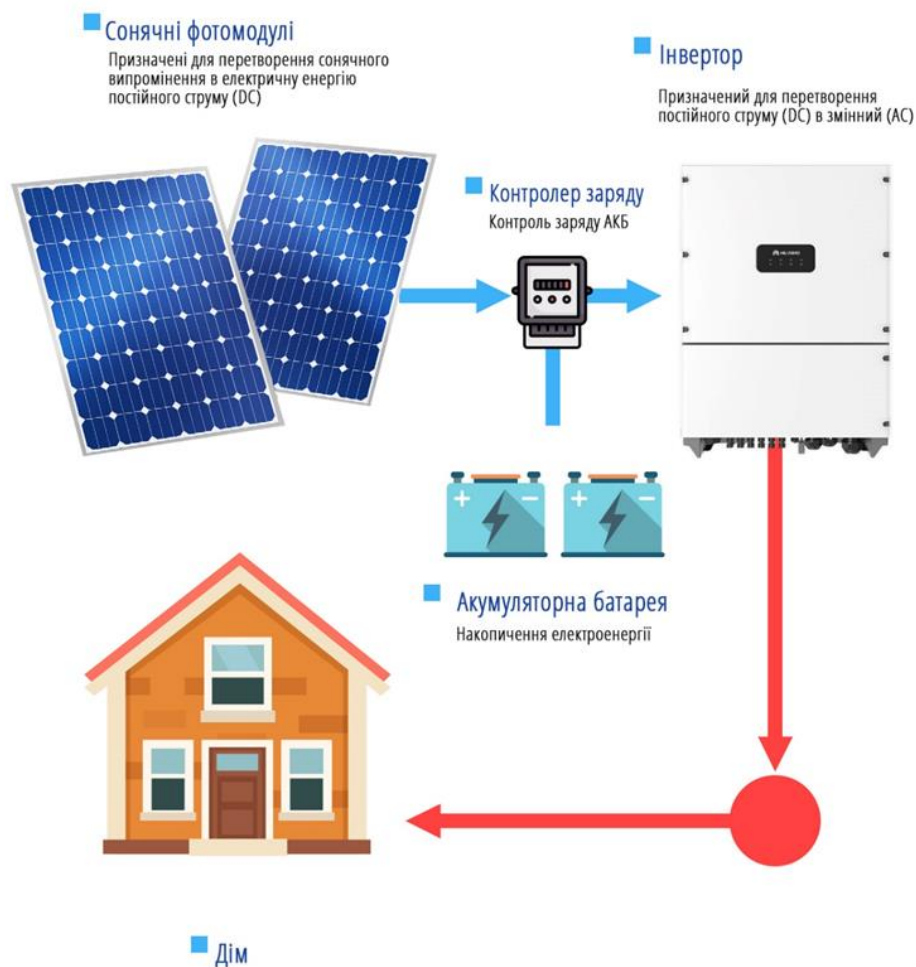


Рисунок 1.6 – Ескіз автономної СЕС [14]

Звичайно ж, автономна система сонячного електропостачання будинку складається й з інших необхідних компонентів: контролери, автоматичний захист, заземлення, комутаційна апаратура, кабель і проводи, різноманітні конектори та роз'єми.

Гібридна СЕС наведена на рисунку 1.7.

Домашня СЕС із підключенням до зовнішньої мережі електропостачання, а також з АКБ для накопичення виробленої електроенергії називається гібридною. Тут обов'язково до комплекту входять двонапрямний лічильник і гібридний інвертор. Функція останнього полягає у перетворенні АС в DC, а також у зворотному випрямленні електричного струму для заряджання АКБ. Його налаштування можна змінювати в залежності від того, звідки надходить електроенергія.

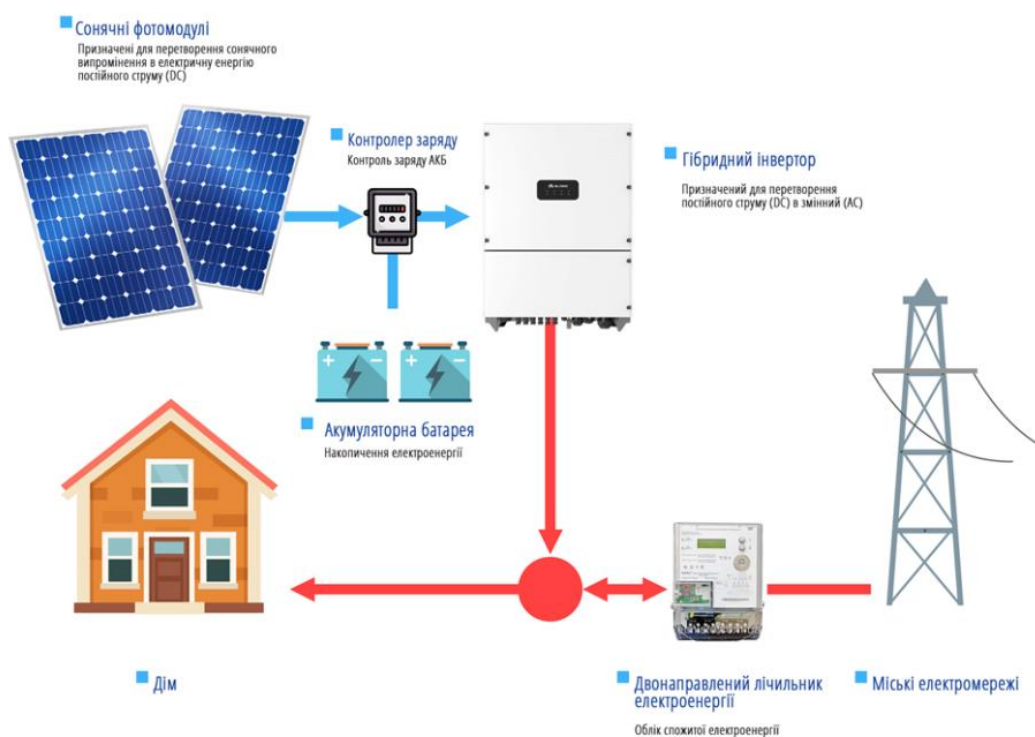


Рисунок 1.7 – Ескіз гібридної СЕС [15]

Далі розглянемо СЕС під власне споживання.

Це та сама домашня СЕС мережевого типу, але без під'єднання до «Зеленого тарифу». Smart Meter або «розумний лічильник» у моменти, коли сонячні батареї виробляють надмірні обсяги енергії, перемикається у режим 0% Feed in Mode (нуль експорту). Тобто вироблена вашою електростанцією енергія не потрапляє у загальну мережу. Коли ж сонця недостатньо, ви отримуєте струм із РЕМ.

Такий тип СЕС має сенс встановлювати для кількох цілей. Насамперед для резервного живлення, якщо місцеві енергомережі не здатні забезпечити потрібні вам вхідні потужності. Або для економії електроенергії та забезпечення безперебійної роботи різного обладнання, наприклад свердловинних насосів і системи автономного водопостачання [12,16].

1.4 Аналіз особливостей застосування гелевих акумуляторів у системах СЕС

Акумулятор – це хімічне джерело струму багаторазової дії. Ключовим принципом дії акумулятора є оборотність хімічних процесів, які відбуваються всередині пристрою. Саме дана особливість забезпечує багаторазовість використання акумулятора (цикли розряд-заряду). Давайте докладніше розглянемо, як працює АКБ. При зарядці акумулятора відбувається хімічна реакція, яка спрямована на накопичення пристроєм енергії. У свою чергу, при розряді акумулятора відбувається процес віддачі накопиченої енергії підключеним споживачам. Залежно від виду підключених споживачів рекомендується використовувати різні типи АКБ [17].

Акумулятор для сонячної електростанції – один із найважливіших компонентів автономних та гібридних систем. Він служить для накопичення електроенергії та підтримки роботи побутових/промислових приладів уночі або в ізольованих системах. Головною їх перевагою є здатність забезпечити

надійне електропостачання при аваріях у комунальних електромережах або за відсутності можливості підключення до цих мереж.

Типи акумуляторів для СЕС.

Існує декілька типів акумуляторів, які можна використовувати для зберігання сонячної енергії, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Ось найпоширеніші:

VRLA – свинцево кислотні акумулятори з вентиляним регулюванням

Звичайні свинцево-кислотні акумуляторні батареї для сонячних панелей є корпусом з відсіками, залитими електролітом - розчином сірчаної кислоти. В електроліт занурені пластини, розділені пористими сепараторами із пластику.

Існує два види СК батарей з вентиляним регулюванням (VRLA) – AGM та гелевий елемент. З погляду хімічних процесів ці два типи аналогічні. Відмінності мають конструктивно-технологічний характер і всі переваги VRLA є наслідком інноваційних інженерних рішень, спрямованих на покращення типової конструкції.

AGM - моделі відрізняються тим, що в них міститься не рідка, а поглинена сірчана кислота. Для її утримання використовується заповнювач відсіків із абсорбуючого мікропористого скловолокна.

Переваги в порівнянні з традиційними акумуляторами СК:

- не потребує обслуговування;
- герметизований корпус запобігає витоку кислоти та проблеми з корозією клем;
- безпечний – за дотримання технології зарядки, виключається можливість витоку газу;
- універсальна установка - можна розміщувати практично у будь-якому положенні;
- підвищена продуктивність;
- стійкість до ударів та вібрації;
- суттєво збільшена швидкість заряду;

- допускають короткочасний сильний розряд;
- добре функціонують при температурах до -30°C ;
- підходять для резервного харчування;
- збільшений термін експлуатації.

Недоліки:

- важка конструкція;
- не можна зберігати розрядженими, U елемента $\geq 1,8$;
- сприйнятливі до збільшення U заряду $\geq 2,5$ для кожної АКБ;
- дають помітне падіння U на морозі під час навантаження;
- небезпечні для навколишнього середовища через оксиду свинцю, що міститься в них

AGM мають більш високу вартість порівняно з класичними СК-моделями з рідким елементом, але нижча, ніж у GEL-моделей із желеподібним елементом [18].

Гелеві батареї.

Гелеві батареї – це ті, в яких замість рідкого, вільно залитого електроліту рух іонів від між катодами та анодами забезпечує густа желеподібна маса – так званий тиксотропний гель. Власне, це і є той самий розчин сірчаної кислоти, але загущений силікагелем – нейтральним адсорбентом на основі кремнієвих кислот.

Гелевий акумулятор для сонячної електростанції відрізняється від класичного свинцево-кислотного тим, що до електроліту додають кремнеземний пил, внаслідок чого утворюється густа та нерухома маса, схожа на гель. Гелеві накопичувачі не обов'язково встановлювати у вертикальному положенні. Вони зменшують випаровування електроліту, знижують схильність до корозії, виключають викид газів у навколишнє середовище.

В іншому GEL-батарея не відрізняється від класичних свинцево-кислотних акумуляторів, але і названої відмінності достатньо, аби вона отримала суттєві переваги. Гелеві акумулятори позбавлені одного з найважчих

недоліків традиційних свинцево-кислотних АКБ: вони не бояться глибоких розрядів. Тобто вони можуть віддати більшу частину накопиченої в них енергії (понад 30 – 50 %) без будь-яких наслідків. При тому що класичні акумулятори з “вільним” рідким електролітом витримують за своє життя не більше 5 – 6 глибоких розрядів, а в оптимальному режимі використання найкращі серед них мають 400 – 500 циклів заряд-розряд.

Тоді як GEL-батареї легко переносять до 1200 циклів заряд-розряд (при щадній втраті енергії на рівні до 30 %). Крім того, гелеві акумулятори довше не старішають з природніх причин, вони живуть довше звичайних, термін служби тривалістю 10 – 12 років тут нікого не дивує.[19]

Оскільки AGM та гелеві пристрої відносяться до одного класу VRLA, всі перераховані в попередньому розділі плюси відносяться і до GEL-моделей. Що стосується недоліків вони однакові для всіх свинцево-кислотних акумуляторів.

Акумулятори літієві.

Найчастіше вживані акумулятори для зберігання сонячної енергії з літій-іонним хімічним наповненням – нікель-марганцево-кобальтові (NMC) та залізофосфатні (LiFePO₄, LFP, IFR). Вони забезпечують високу продуктивність, максимальну енергоємність та велику кількість циклів заряду-розряду, мають низький саморозряд, допускають заряд великим струмом. Крім того, вони безпечні та добре працюють при низьких температурах.

Довгий термін служби У літієвих батарей він рекордно високий: від 3000 до 5000 циклів заряду/розряду. Це в 3 рази вище, ніж термін служби свинцевих акумуляторів (1500 циклів) і в 2 рази вище гелевих (1200 циклів) – звичайно ж за умови правильної зарядки, зберігання, обслуговування.

Швидка зарядка Час повної зарядки літієвого акумулятору становить всього 1.5-2 години. Це означає, що вам потрібен лише один комплект батареї, навіть при багатозмінній та інтенсивній роботі. Наприклад, свинцева батарея

заряджається мінімум 8 годин. А щоб виключити простої техніки, буде потрібний другий комплект АКБ. З літєвим акумулятором ніякого простою техніки немає, а, отже, ви не втратите прибуток.

Відсутність ефекту пам'яті.

Часткова і неповна зарядка ніяк не впливають на термін служби батареї. Якщо водій складського навантажувача вийшов на 30-ти хвилинну перерву, він підключає до зарядного кабелю літій-йонний акумулятор тяговий, як мобільний телефон, і за час відсутності батарея встигає зарядитися до 80%. У той час як гелеві батареї після розряду необхідно повністю зарядити, щоб їх ємність не знижувалася [20].

В даному дослідженні будемо працювати з кислотними акумуляторами другого покоління GEL (рисунок 1.8).


GEL-моделі нерозбірні та не потребують обслуговування. У них використовує гелеподібний електроліт, який при заливці твердне і не змінює свого стану, тому пристрої не потрібно дозаправляти. Конструкція захищена від обсіпання свинцевих пластин та коротких замикань. Гелеві рішення легше переносять сильні морози: зниження ємності при експлуатації за мінусової температури менше, ніж в інших різновидів АКБ. Також вони стабільно функціонують у вологому середовищі. Майже всі моделі можуть розміщуватися на боці. Батареї, розроблені за технологією GEL, здатні витримувати багаторазові цикли розрядки. При простої витрачають протягом року до 20% накопиченої потужності. Моделі характеризуються високою швидкістю віддачі струму. Корпус виконується із ударостійкого пластику. АКБ безпечні та стійкі до сильних вібрацій. У разі пошкодження електроліт не витікає. Завдяки герметичності пристрою не виділяють шкідливих газів та їдких запахів. Водень витікає в мінімальних кількостях, які не є небезпечними для людей і техніки [21].



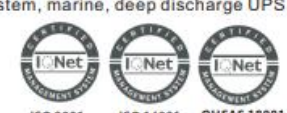
Рисунок 1.8 – Гелевий акумулятор


За зразок оберемо акумуляторну батарею Ritar GEL DG12-100, 12V-100Ah (DG12-100) (рисунок 1.9) [22].

Specification	
Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Capacity	100Ah@20hr-rate to 1.75V per cell @25°C
Weight	Approx. 29.0 Kg (Tolerance ± 3.0%)
Internal Resistance	Approx. 7.5 mΩ
Terminal	F12(M8)/F5(M8)
Max. Discharge Current	1000A (5 sec)
Design Life	15 years (floating charge)
Max. Charging Current	20.0 A
Reference Capacity	C3 68.4AH
	C5 77.0AH
	C10 88.0AH
	C20 100.0AH
Float Charging Voltage	13.6 V~13.8 V @ 25°C Temperature Compensation: -3mV/C/Cell
Cycle Use Voltage	14.2 V~14.4 V @ 25°C Temperature Compensation: -4mV/C/Cell
Operating Temperature Range	Discharge: -40°C~60°C
	Charge: -20°C~50°C
Normal Operating Temperature Range	Storage: -40°C~60°C
	25°C ± 5°C
Self Discharge	RITAR Valve Regulated Lead Acid (VRLA) batteries can be stored for up to 6 months at 25°C, and then recharging is recommended. Monthly Self-discharge ratio is less than 2% at 20°C. Please charge batteries before using.
Container Material	A.B.S. UL94-HB, UL94-V0 Optional.



DG (Deep Cycle GEL) series is pure GEL battery with 15 years floating design life , it is ideal for standby or frequent cyclic discharge applications under extreme environments. By using strong grids, high purity lead and patented GEL electrolyte, the DG series offers excellent recovery capability after deep discharge under frequent cyclic discharge use, and it can offers 2 times cyclic life than the standard series. It is suitable for solar & wind system, marine, deep discharge UPS etc.



RITAR 

 MH 28539

Рисунок 1.9 – Технічні характеристики акумулятора Ritar GEL DG12-100

1.5 Аналіз основних інверторів

Інвертори – це пристрої, які перетворюють постійний струм (ПС) на змінний струм (ЗС) і навпаки. Ця здатність робить їх незамінними в багатьох сферах нашого життя, адже вони дозволяють використовувати електроенергію з різних джерел та для різних пристроїв.

Основні функції інверторів:

Збереження енергії: Інвертори дають змогу зберігати електроенергію у батареях або інших сховищах для використання у майбутньому. Це робить їх особливо корисними в регіонах з нестабільним електропостачанням.

Робота з альтернативними джерелами енергії: Завдяки інверторам енергія, що генерується сонячними панелями, вітряними турбінами, гідроелектростанціями та іншими альтернативними джерелами, може бути перетворена на електроенергію, придатну для використання в побуті.

Стабілізація напруги: Інвертори стабілізують напругу в електромережі, забезпечуючи стійке живлення для чутливих електронних пристроїв.

Живлення електроніки змінного струму: Багато пристроїв та гаджетів працюють на змінному струмі. Інвертори дозволяють їм функціонувати від джерел постійного струму.

Важливість інверторів у сучасному світі:

Ефективність: Сучасні інвертори вирізняються високою ефективністю, що економить енергію та кошти.

Збереження енергії: Завдяки здатності зберігати електроенергію, інвертори стають незамінними в умовах перебоїв з електропостачанням.

Зменшення викидів: Використання інверторів разом з альтернативними джерелами енергії сприяє зменшенню викидів парникових газів та розвитку сталого енергопостачання.

Ключові аспекти при виборі інвертора:

Потужність: Важливо визначити необхідну потужність інвертора, враховуючи всі пристрої, які планується підключати. Рекомендується обирати інвертор з запасом потужності.

Тип інвертора: Існують різні типи інверторів, зокрема синусоїдальні та модифіковано-синусоїдальні. Для чутливих електронних пристроїв зазвичай краще підходять синусоїдальні інвертори.

Надійність: Віддавайте перевагу інверторам від виробників з доброю репутацією та гарантією на продукцію.

Додаткові функції: Порівняйте різні моделі інверторів за наявністю додаткових функцій, таких як автоматичне вимкнення при низькому заряді батареї або інтегрована система управління.

Інвертори - це не просто пристрої, а й ключові компоненти сучасного енергопостачання, що роблять наше життя комфортнішим, економнішим та екологічнішим.[23]

Типи сонячних інверторів

Сьогодні ринок пропонує широкий спектр сонячних інверторів, які відрізняються за функціоналом та сферами застосування. Ознайомимося з трьома основними типами:

1. Мережеві інвертори (On-grid)

Цей тип інверторів є найпоширенішим в Україні та використовується для систем, підключених до загальної електромережі.

Принцип роботи:

Сонячні панелі генерують постійний струм (DC).

Мережевий інвертор перетворює DC в змінний струм (AC), сумісний з мережею.

Вироблена електроенергія може бути:

Спожита безпосередньо в домоволодінні.

Продана державі або комерційним покупцям за "зеленим" тарифом.

Переваги:

Найпростіший та найдешевший варіант.

Можливість отримувати пасивний прибуток від продажу електроенергії.

Не потребує додаткових акумуляторів.

Недоліки:

Залежність від роботи загальної електромережі.

Неможливість використання електроенергії під час відключень мережі.

2. Автономні інвертори (Off-grid)

Цей тип інверторів використовується в системах, не підключених до загальної електромережі.

Принцип роботи:

Сонячні панелі генерують постійний струм (DC).

Контролер заряду акумулятора регулює заряд та розряд акумулятора.

Автономний інвертор перетворює DC з акумулятора або сонячних панелей в AC, придатний для живлення побутових приладів.

Переваги:

Безперебійне живлення, незалежно від стану загальної мережі.

Можливість використання в віддалених місцях.

Недоліки:

Більш висока вартість, порівняно з мережевими інверторами.

Потребує акумуляторів для зберігання енергії.

Необхідність ретельного розрахунку потужності системи та підбору акумуляторів.

3. Гібридні інвертори

Цей тип інверторів поєднує функції мережових та автономних, пропонуючи гнучкість та надійність.

Принцип роботи:

Сонячні панелі генерують постійний струм (DC).

Гібридний інвертор може:

Перетворювати DC в AC для живлення побутових приладів.

Заряджати акумулятори від надлишків виробленої енергії.

Віддавати електроенергію в мережу за "зеленим" тарифом.

Переваги:

Поєднує переваги мережевих та автономних систем.

Забезпечує безперебійне живлення та можливість продажу електроенергії.

Підходить для систем з декількома джерелами енергії (сонце, вітер, генератори).

Недоліки:

Найвища вартість серед трьох типів інверторів.

Складніша система, порівняно з мережевими та автономними.

Вибір типу інвертора залежить від ваших потреб та бюджету:

Мережевий інвертор: підходить, якщо ви хочете економити на електроенергії та отримувати пасивний прибуток, маючи доступ до мережі.

Автономний інвертор: кращий вибір, якщо вам потрібна автономність та безперебійне живлення, навіть без доступу до мережі.

Гібридний інвертор: оптимальний варіант, якщо ви прагнете до гнучкої та надійної системи, яка може працювати як автономно, так і в мережі, з можливістю зберігання енергії та продажу її надлишків.[24]

Виходячи з даного аналізу маємо:

Гібридний та автономний інвертори схожі за функціоналом, за винятком можливості продажу надлишкової енергії в мережу, яка доступна лише для гібридних інверторів.

Автономний інвертор є більш бюджетним варіантом.

Для аналізу характеристик інвертора за зміни навантаження будемо використовувати автономний інвертор.

Це рішення ґрунтується на:

Функціональних потребах: Для дослідження характеристик інвертора не потрібна функція продажу енергії в мережу, доступна лише гібридним інверторам.

Економічності: Автономний інвертор є більш доступним варіантом, що робить його кращим вибором для дослідницьких цілей.

Важливо зазначити:

Цей висновок стосується лише дослідження характеристик інвертора за зміни навантаження.

Для інших цілей, таких як отримання пасивного доходу від продажу електроенергії, гібридний інвертор може бути кращим вибором.

В даному дослідженні будемо працювати з інвертором PowMr 3000 Вт, 24 В, 230 В, чистий синусоїдальний інвертор. (Рисунок 1.10).



Рисунок 1.10 – Інвертор PowMr 3000 Вт, 24 В,

Технічні характеристики інвертора наведені на рисунку 1.11.

Розумний пристрій	ТАК	is_customized	Так
Вихідний струм	MPPT 80А	Вихідна частота	50 Гц/ 60 Гц (автоматичне визначення)
Вихідна потужність	1 - 200 кВт	Тип виводу	СИНГЛ
вага	5,8 кг	Розмір	348Х270Х95 мм
Номер моделі	POW-HVM3.2H-24V-N	Бренд	PowMr
Походження	Материковий Китай	Атестація	CE
Конфігурація системи	Гібридний сонячний інвертор	Сигнал вихідної напруги	Чиста синусоїда
застосування	Домашня сонячна система	Особливість	Вбудований контролер сонячного заряду MPPT
Тип продукту	Сонячний інвертор MPPT	Максимальна вхідна потужність сонячної панелі	3200 Вт
Діапазон напруги фотоелектричної	30-400 В постійного струму	Вихідна напруга	230 В змінного струму

Рисунок 1.11 – Технічні характеристики PowMr 3000 Вт, 24 В

Перелік параметрів для перевірки та порівняння гібридного інвертора в лабораторних умовах:

1. ККД (коефіцієнт корисної дії):

Виміряти ККД інвертора при різних рівнях навантаження (25%, 50%, 75%, 100%).

Порівняти отримані значення з технічними характеристиками, наданими виробником.

Оцінити вплив температури на ККД інвертора.

2. Нагрів інвертора:

Виміряти температуру інвертора під час заряджання акумулятора.

Виміряти температуру інвертора під час роботи з різними рівнями навантаження.

Порівняти отримані значення з допустимими значеннями, зазначеними в інструкції з експлуатації.

Проаналізувати залежність температури інвертора від навантаження та режиму роботи.

3. Чистота синусоїди:

Використовувати осцилограф для візуалізації форми вихідної напруги інвертора.

Оцінити коефіцієнт нелінійних спотворень (THD) вихідної напруги.

Порівняти отримане значення THD з допустимими значеннями, зазначеними в технічних характеристиках.

Перевірити вплив навантаження на чистоту синусоїди.

4. Вихідна потужність:

Виміряти вихідну потужність інвертора при різних рівнях навантаження.

Порівняти отримані значення з номінальною потужністю, зазначеною в технічних характеристиках.

Перевірити стійкість вихідної потужності протягом тривалого часу роботи.

5. Споживання холостого ходу:

Виміряти споживання інвертором електроенергії в режимі холостого ходу (без навантаження).

Порівняти отримане значення з даними, зазначеними в технічних характеристиках.

Оцінити вплив температури на споживання холостого ходу.

6. Струм заряджання:

Виміряти струм заряджання акумулятора інвертором.

Порівняти отримане значення з номінальним струмом заряджання, зазначеним в технічних характеристиках.

Перевірити вплив рівня заряду акумулятора на струм заряджання.

7. Перевірка в робочому добовому навантаженні:

Імітувати добове навантаження на інвертор, використовуючи реальні прилади та режими їх роботи.

Моніторити роботу інвертора протягом 24 годин, фіксуючи такі параметри:

Вхідна та вихідна напруга

Вхідний та вихідний струм

Потужність

Температура

ККД

Проаналізувати отримані дані, щоб оцінити працездатність інвертора в умовах реального навантаження.

1.6 Постановка задачі бакалаврської роботи

Основними завданнями роботи буде:

- розроблення схеми та конструкції для вимірювання характеристик інвертора під навантаженням;
- вибір та обґрунтування компонентів системи вимірювання;
- проведення експериментальних досліджень характеристик інвертора за зміни характеру під'єданого навантаження, а також аналіз та узагальнення результатів досліджень.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ІНВЕРТОРА ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ

Реалізувати систему, яка дозволяла б провести детальні вимірювання та оцінювання роботи інвертора за різних типів та характеристик навантаження, можна шляхом побудови автономної фотоелектричної станції із можливістю зміни даного навантаження.

2.1 Розробка схеми автономної фотоелектричної станції

Автономна сонячна електростанція була адаптована в трьох фазну мережу будинку, і вона складається із декількох основних складових. Розглянемо структурну схему на рисунку 2.1.

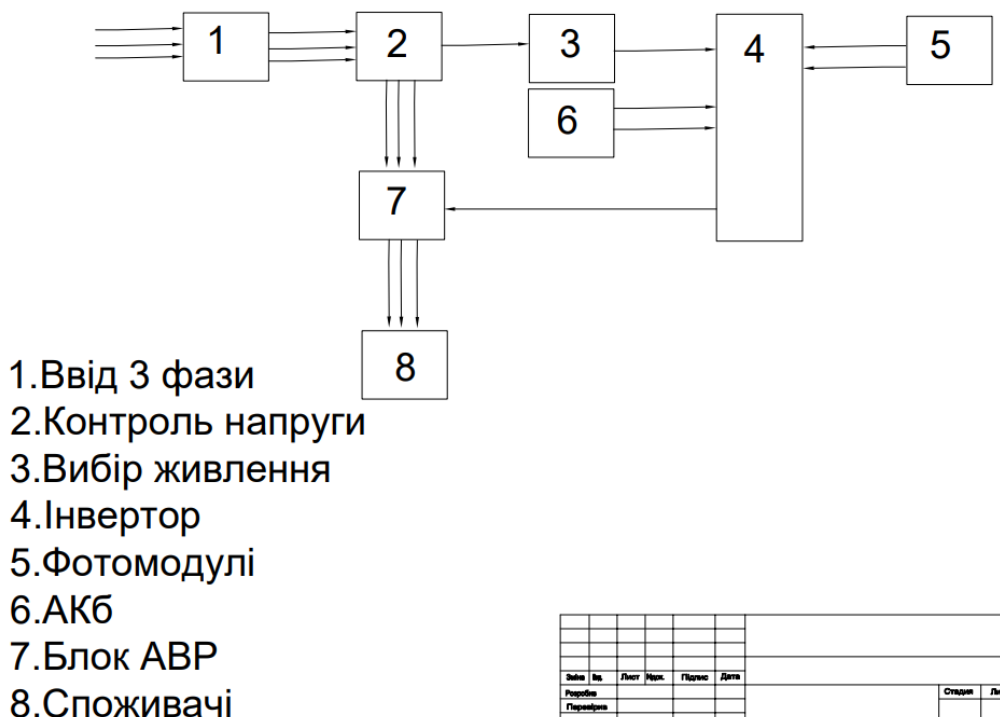


Рисунок 2.1 – Структурна схема адаптації в трифазну мережу автономної СЕС

Структурна схема автономної сонячної електростанції складається з наступних основних частин:

1. Вхідний блок: приймає напругу мережі змінного струму (230 В) трьох фаз.
2. Контроль напруги: для захисту приладів і інвертора від перенапруги.
3. Вибір живлення інвертора від зовнішньої мережі, або генератора.
4. Інвертор перетворює постійну напругу з акумуляторної батареї на змінну напругу.
5. Підключення фото модулів, до інвертора.
6. Акумуляторна батарея: зберігає постійну напругу, яка використовується для живлення навантаження під час відсутності мережної напруги або її коливань.
7. Блок Автоматичний ввід резерву потрібний для вибору живлення від мережі або від інвертора.
8. Навантаження пристрої, які підключенні до даної системи.

Розглянемо принципову схему автономної сонячної електростанції на рисунку 2.2. На ній використовується:

1. A1 Автономний інвертор.
2. G1 Підключення генератора.
3. Q8 Автоматичні вимикачі для захисту інвертора. Та під'єднаних до нього навантажень.
4. Q1 Ввідний автоматичний вимикач для захисту.
5. K1 Реле контролю напруги, для захисту споживачів та інвертора від перенапруги і обриву нульового провідника.
6. S1 Блок автоматичного вводу резерву, для вибору живлення від мережі або АФЕС коли аварійне відключення в мережі або коли не достатня потужністю від інвертора.
7. G2 Акумуляторна батарея 24В. 100А для зберігання енергії.

8. F1 Запобіжник для захисту АКБ.
9. F2 Запобіжник для захисту Фото модулів.
10. K4 Обмежувачі пере напруги.
11. G3-G9 Масив фото модулі.

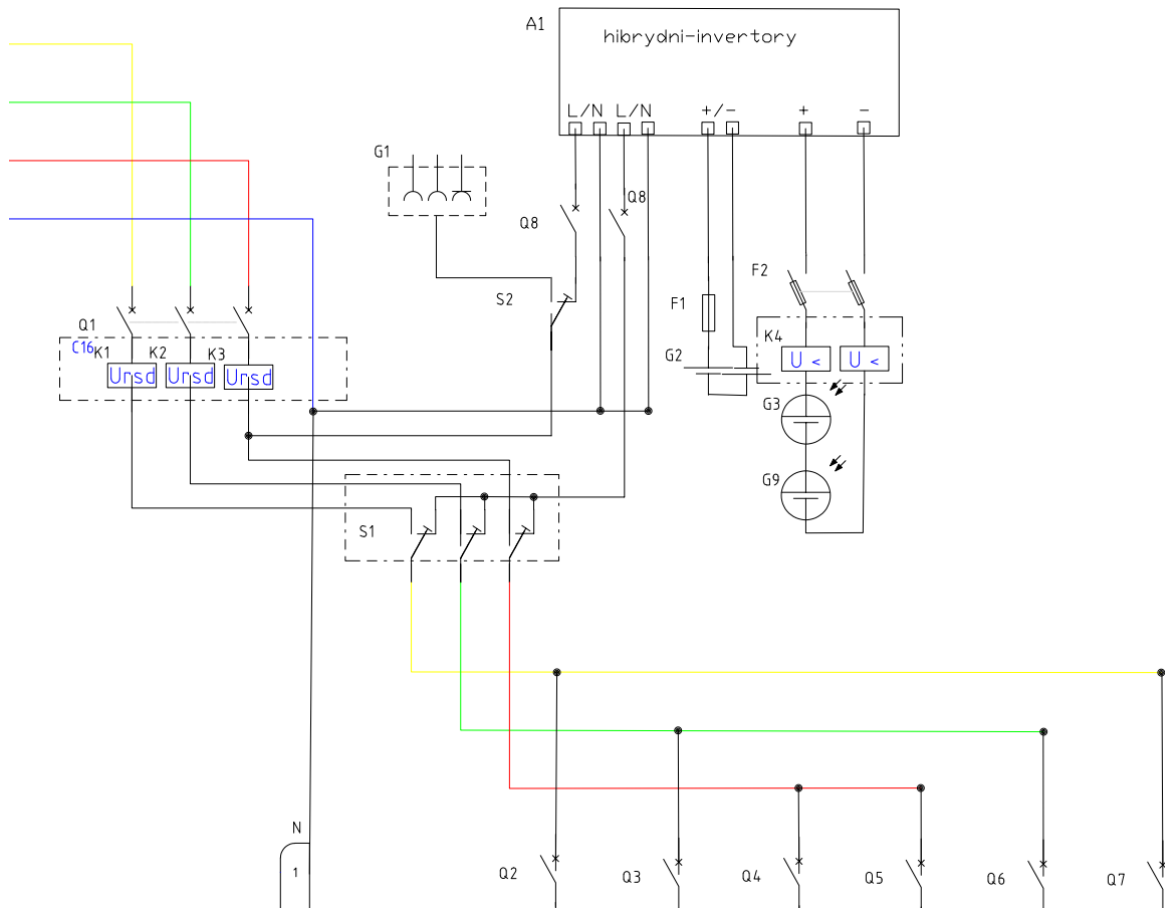


Рисунок 2.2 – Принципова схема автономної СЕС

Особливістю даної схеми є використання АВР і бюджетного однофазного інвертора в трьох фазній мережі з можливістю живлення як від фото модулів , акумуляторів, в режимі підмішування в режимі ефективного використання генератора і від мережі без втрати підключеної потужності.

Переваги:

- Економія: Використання бюджетного однофазного інвертора замість трифазного.

- Гнучкість: Живлення від фотомодулів, акумуляторів, генератора або мережі.
- Підмішування енергії з різних джерел.
- Ефективне використання генератора.
- Безперебійність: Автоматичне перемикання на резервне джерело живлення за допомогою АВР.
- Відсутність втрат потужності для підключених пристроїв.

Схема роботи:

Мережа:

При наявності електроенергії в мережі, вона використовується для живлення навантажень.

При втраті мережі:

АВР автоматично перемикає живлення на інвертор.

Інвертор може використовувати енергію з:

Фотомодулів (якщо сонячно).

Акумуляторів (якщо заряджені).

Генератора (якщо підключений).

Підмішування:

Можливість одночасного використання енергії з різних джерел (мережа, фотомодулі, акумулятори).

Це дозволяє оптимізувати використання ресурсів та економити кошти.

Ефективне використання генератора:

Інвертор може використовувати лише частину потужності генератора, що економить паливо та ресурс.

Важливо:

Для роботи схеми потрібен АВР та однофазний інвертор відповідної потужності.

Акумуляторна батарея та генератор (опціонально) підключаються додатково.

Наведемо детальний опис схеми.

На ввідний автомат поступають три фази з зовнішньої мережі 0,4кВт, далі через реле напруги яка захищає всі пристрої та інвертор від перенапруги та обриву нуля на лінії електро передач, три фази підключаються до блоку Автоматичного вводу резерву від нього три фази підключаються до автоматичних вимикачів навантаження. Також в свою чергу, одна фаза після ввідного автоматичного вимикача підключається на трьох позиційний рубильника до якого вже під'єднана розетка до котрої можна підключити генератор в разі необхідності таким чином ми можемо вибирати джерело живлення для входу в інвертор – це потрібно для того, щоб коли АКБ розрядиться, а мережа буде аварійно відключена, можна було б зарядити АКБ і раціонально використовувати енергію з генератора. Від трьох позиційного рубильника підключаємо вихід на фазний вихід до інвертора через автоматичний вимикач. Фазний вихід з інвертора через автоматичний вимикач підключаємо до блоку АВР на контакт джерела живлення «В », де робимо перемички по фазах, таким чином на блоці АВР в контактах живлення «В », ми імітуємо три фази. Також до інвертора через захист запобіжників і ОПН під'єднаний масив фото модулів.

Джерело живлення:

- Трифазна мережа 0,4 кВт
- Генератор (опціонально)
- Сонячні панелі

Захист:

- Реле напруги (від перенапруги та обриву нуля)
- Автоматичні вимикачі (для інвертора та генератора)
- Захист запобіжників (для фотомодулів)
- ОПН (обмежувач перенапруги)

Компоненти:

- Ввідний автомат

- Блок АВР (автоматичного вводу резерву)
- Автоматичні вимикачі навантаження
- 3-х позиційний рубильник
- Розетка для генератора
- Інвертор
- Акумуляторна батарея (АКБ)
- Масив фотомодулів

Схема роботи:

Мережа:

Три фази з мережі надходять на ввідний автомат. Реле напруги захищає пристрої та інвертор. Фази з ввідного автомата через блок АВР подаються на автоматичні вимикачі навантаження.

Інвертор:

Одна фаза з ввідного автомата через рубильник подається на інвертор.

Інвертор може використовувати енергію з:

- Мережі (якщо доступна).
- АКБ (якщо заряджена).
- Фотомодулів (сонячна енергія).

Фазний вихід інвертора через вимикач підключається до блоку АВР на контакт "В". За допомогою переминок на блоці АВР імітуються три фази.

Генератор:

- Підключається до рубильника.
- Використовується як резервне джерело живлення.
- Енергія генератора через рубильник подається на інвертор.

Сонячні панелі:

- Підключаються до інвертора через захист запобіжників і ОПН.
- Забезпечують зарядку АКБ та пряме живлення інвертора (вдень).

Переваги:

- Безперебійне живлення

- Економія коштів
- Гнучкість
- Захист

Ця схема підходить для:

Будинків та підприємств, які потребують безперебійного живлення. Тих, хто хоче економити на електроенергії за рахунок використання сонячних панелей. Власників генераторів, які хочуть використовувати їх більш ефективно.

2.2 Збірка реальної моделі автономної станції

Збірку станції згідно схеми розпочинаємо з інвертора, до інвертора підключили + ,та – від АКБ 24 В рисунок 2.3.



Рисунок 2.3 – Підключення акумуляторів до інвертора

Для підключення АКБ використано провід мідний 10мм² в подвійній ізоляції.

Акумуляторна батарея зібрана із двох акумуляторів Ritar GEL DG12-100 підключених послідовно для утворення 24 В (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Збірка АКБ в 24 В

До інвертора підключено вхідне джерело енергії змінної напруги для заряджання, яке наведено на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Підключення до інвертора вхідної і вихідної ліній

Для коректної роботи інвертора було встановлено на ввід в будинок трьох фазне реле контролю напруги (рисунок 2.6).

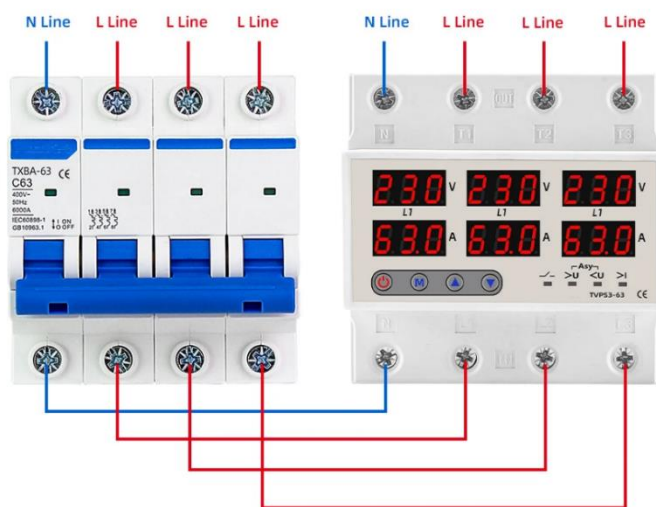


Рисунок 2.6 – Підключення реле контролю напруги

Реле контролю напруги – це пристрій призначений для постійного моніторингу значення напруги та струму, захисту електромережі у разі зниження або підвищення заданих значень мінімальної та максимальної напруги або струму. Вимірює та проводить струм за нормальних умов та вимикає його за умови відхилення від запрограмованого значення. Живлення поновлюється автоматично після відновлення відповідних значень та у заданий проміжок часу.

Для захисту вхідної і вихідної ліній використані автоматичні вимикачі (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Автоматичні вимикачі

Загальний вигляд станції зображений на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд станції

2.3 Оцінювання точності вимірювань

2.3.1 Ручні цифрові кліщі УТ-73091

Для тестування автономної станції були використані струйно-квадратичні кліщі змінного/постійного струму. Ручні цифрові кліщі УТ-73091. Зображені на рисунку 2.9. Далі наведено опис обладнання [25].

Універсальний засіб УТ-73091 оснащений вимірювальними затискачами, які дозволяють вимірювати силу змінного струму в одному проводі індукційним методом. Це дозволяє вимірювати значно вищі струми, ніж звичайні електролічильники серії УТ-7308Х (до 600А). Максимальний діаметр кабелю, протестованого мультиметром УТ-73091, становить 37 мм.

Крім вимірювання величини змінного струму цим приладом можна вимірювати постійну напругу, змінну напругу, опір, температуру та перевіряти роботу діодів.

Зумер корисний під час перевірки електроустановок – він дозволяє нам легко перевірити безперервність ланцюга. Функція автоматичного відключення мультиметра економить час роботи акумулятора. Додаткова кришка захищає мультиметр від падінь і ударів під час транспортування.



Рисунок 2.9 – Ручні цифрові кліщі YТ-73091

Крім того, цифровий вимірювач YТ-73086 дозволяє вимірювати температуру, що особливо корисно при виявленні несправних компонентів електроустановок (підвищений опір, наприклад, пошкодженого проводу викликає нагрів компонента).

Кнопка «DATA H» використовується для збереження виміряного значення на дисплеї. Кнопка "MAX H" використовується для збереження найвищого виміряного значення на дисплеї. Обидві ці кнопки дуже корисні для вимірювань із великою різноманітністю.

Екран вимірювача з підсвічуванням дозволяє працювати в умовах слабкого освітлення.

Технічні дані в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Основні характеристики YТ-73091

СИМВОЛ	YТ-73091
ЕАН	5906083730917
Бренд	Ято
вага (кг)	0,5750
Master Carton МС	20
приятель	480
Автоматичний діапазон	Так
Частота вибірки	3 рази на секунду
Вимірювання змінної напруги	0-600 В \pm 1,2%
Вимірювання постійної напруги	0-600 В \pm 1,0%
Вимірювання опору	0-20 М \pm 3%
Вимірювання температури	-20 до 1000°C
Змінний струм	0-600А \pm 3%
Перевірка безперервності ланцюга	вбудований зумер
Перевірка діодів	1 мА, 1,48 В

2.3.2 Оцінювання похибок при вимірюванні

Розрахунок похибок при вимірюванні.

Для розрахунків візьмемо наступні дані:

$$T = 27 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$I = 2 \text{ А}$$

$$U = 23.5 \text{ В}$$

Характеристики вимірювання приладу:

Вольтметр: Постійна напруга 0-600 В $\pm 1.0\%$

Амперметр: 0-600 А $\pm 3.0\%$

Термометр: 0-400 °С $\pm 1.0\%$

Похибка вольтметра:

Обчислити граничну абсолютну похибку: Використовуючи клас точності та максимальне значення шкали вольтметра, можна обчислити граничну абсолютну похибку за формулою:

$$\Delta A_{\max} = \pm (\gamma * U_{\max}) / 100 \quad (2.1)$$

де:

ΔA_{\max} – гранична абсолютна похибка;

γ – клас точності приладу (у відсотках);

U_{\max} – максимальне значення шкали вольтметра.

Обчислимо абсолютну похибку вольтметра.

Обчислити граничну абсолютну похибку (ΔU_{\max}):

$$\Delta U_{\max} = \pm (1.0\% * 600 \text{ В}) / 100 = \pm 6 \text{ В}$$

Оскільки вимірювана напруга (23.5 В) значно менша за максимальну шкалу (600 В), можна вважати, що гранична абсолютна похибка (ΔU_{\max}) буде також абсолютною похибкою (ΔU) при вимірюванні 23.5 В.

Оскільки вимірювана напруга (23.5 В) значно менша за максимальну шкалу (600 В), не можна використовувати граничну абсолютну похибку (ΔU_{\max}) безпосередньо як абсолютну похибку (ΔU).

Для більш точного визначення абсолютної похибки (ΔU) потрібно розрахувати її відносно вимірюваної величини (U), а не максимальної шкали.

Формула для розрахунку абсолютної похибки (ΔU):

$$\Delta U = \Delta U_{\max} * (U / U_{\max}) \quad (2.2)$$

Підставивши задані значення:

$$\Delta U = 6 \text{ В} * (23.5 \text{ В} / 600 \text{ В}) = 0.235 \text{ В}$$

Отже, абсолютна похибка (ΔU) вольтметра при вимірюванні напруги 23.5 В буде дорівнювати 0.235 В. Результат вимірювання матиме вигляд:

$$U = 23.5 \pm 0.235 \text{ В.}$$

Похибка амперметра

Обчислити граничну абсолютну похибку (ΔI_{max}):

$$\Delta I_{max} = \pm (3.0\% * 600 \text{ А}) / 100 = \pm 18 \text{ А}$$

Оскільки вимірюваний струм (2 А) значно менший за максимальний (600 А), не можна просто використовувати граничну абсолютну похибку (ΔI_{max}) як абсолютну похибку (ΔI).

Абсолютна похибка (ΔI) буде залежати від співвідношення вимірюваного струму (I) до максимального струму (I_{max}):

$$\Delta I = \Delta I_{max} * (I / I_{max}) \quad (2.3)$$

Підставити значення:

$$\Delta I = \pm 18 \text{ А} * (2 \text{ А} / 600 \text{ А}) = \pm 0.06 \text{ А}$$

Отже, абсолютна похибка (ΔI) амперметра при вимірюванні $I = 2 \text{ А}$ буде дорівнювати $\pm 0.06 \text{ А}$. А результат вимірювання матиме вигляд:

$$I = 2 \pm 0.06 \text{ А.}$$

Похибка термометра

Обчислити граничну абсолютну похибку (ΔT_{max}):

$$\Delta T_{max} = \pm (1.0\% * 400 \text{ }^\circ\text{C}) / 100 = \pm 4 \text{ }^\circ\text{C}$$

Оскільки вимірювана температура (27 °С) значно менша за максимальну шкалу (400 °С), можна вважати, що гранична абсолютна похибка (ΔT_{max}) буде також абсолютною похибкою (ΔT) при вимірюванні 27 °С.

Отже, абсолютна похибка (ΔT) термометра при вимірюванні $T = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ буде дорівнювати $\pm 4 \text{ }^\circ\text{C}$. А результат вимірювання матиме вигляд:

$$T = 27 \pm 4 \text{ }^\circ\text{C.}$$

2.4 Висновки до другого розділу

В розділі два було розроблено схему для вимірювання характеристик інвертора під навантаженням, для цього була Реалізована система, яка дозволила провести детальні вимірювання та оцінювання роботи інвертора за різних типів та характеристик навантаження, яка включала розробку структурної, та принципової схем. Після чого було зібрано цю схему в реальну модель яка дала змогу провести всі потрібні дослідження. Для вірних досліджень було розраховано похибки вимірювання цифрових кліщів.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ІНВЕРТОРА ЗА ЗМІНИ ХАРАКТЕРУ ПІД'ЄДНАНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Далі проведено дослідження параметрів роботи інвертора за зміни під'єданого навантаження, часу роботи, вмикання вимикання активної вентиляції. Та вплив навантаження за проміжок часу вентиляції на роботу інвертора, і на показання засобів вимірювання.

Для цього використано побутові пристрої різної потужності від 450Вт. До 2500Вт.

А саме електролобзик потужністю 450 Вт, фен потужністю 1300 Вт, асинхронний двигун потужністю 2500 Вт номінально і близько 6000 Вт пускової.

Виходячи з цього можемо констатувати факт що дана система здатна жити наступні пристрої:

Резистивне навантаження:

- Лампи розжарювання (40 Вт, 60 Вт, 100 Вт)
- Електрочайник (2 кВт)
- Праска (2 кВт)
- Тостер (800 Вт)
- Мікрохвильова піч (800 Вт)
- Фен (1800 Вт)
- Телевізор (400 Вт)
- Комп'ютер (300 Вт)

Індуктивне навантаження:

- Холодильник (150 Вт - 300 Вт)
- Кондиціонер (500 Вт - 2000 Вт)
- Перфоратор (800 Вт - 1500 Вт)

- Порохотяг (1000 Вт - 2000 Вт)
- Електроінструмент (500 Вт - 2000 Вт)

Ємнісне навантаження:

- Пральна машина (500 Вт - 2000 Вт)
- Мікрохвильова піч (800 Вт)
- Комп'ютер (300 Вт)
- Монітор (100 Вт)
- Телевізор (400 Вт)

Вимірювання проводились за однакових зовнішніх умов:

Температура: 20°C

Вологість: 50%

Освітлення: штучне, без прямих сонячних променів

Напруга мережі: 230 В

Використовувався інвертор з наступними характеристиками:

Потужність: 3 кВт

Тип навантаження: резистивне, індуктивне, ємнісне

Форма синусоїди: НЕ модифікована

Ефективність: 90%

3.1 Вимірювання параметрів інвертора

Перевірка інвертора на вихідну змінну частоту за допомогою осцилографа. Для цього було використано портативний цифровий Осцилограф Hantek 2D42 (рисунок 3.1).

Вихідна синусоїда з інвертора перед синхронізацією інвертора з мережею наведена на рисунку 3.2.

Вихідна синхронізована синусоїда з інвертора після синхронізації наведена на рисунку 3.3.



Рисунок 3.1 – Осцилограф Hantek 2D42 [26]

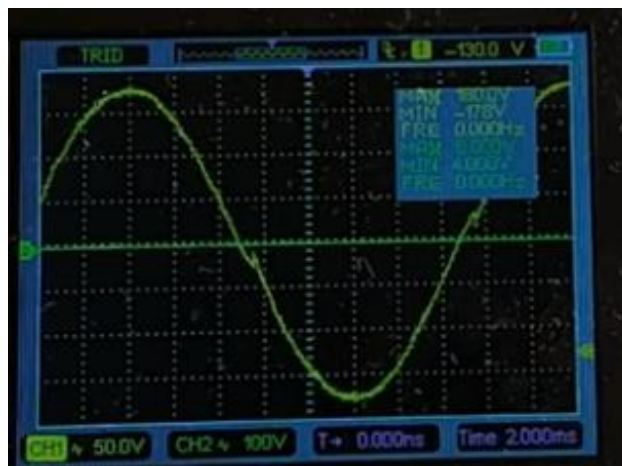


Рисунок 3.2 – Синусоїда до синхронізації

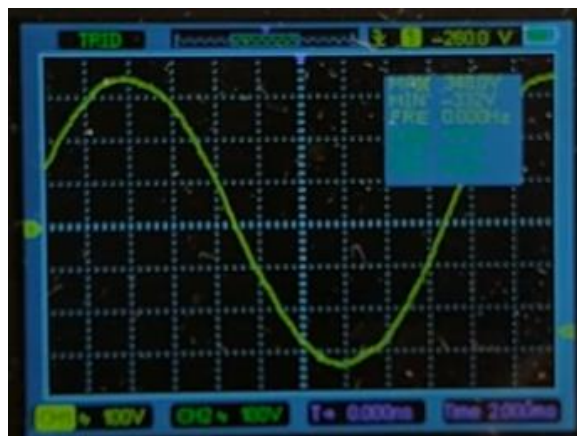


Рисунок 3.3 – Синхронізована синусоїда

3.2 Дослідження інвертора під навантаженням

Дослідження інвертора під навантаженням – це процес оцінювання характеристик інвертора при підключенні до нього навантаження. Ці характеристики можуть включати:

Вихідна напруга: Напруга, яку інвертор видає на своєму виході.

Вихідна частота: Частота, з якою інвертор видає змінний струм (АС).

Вихідна потужність: Кількість потужності, яку інвертор може видавати.

ККД: Відношення корисної потужності, що видається інвертором, до споживаної потужності.

Форма хвилі: Форма вихідної напруги інвертора.

Час переходу: Час, який потрібно інвертору для переходу від одного джерела живлення до іншого (наприклад, від мережі до акумулятора).

Регулювання навантаження: Здатність інвертора підтримувати постійну вихідну напругу при зміні навантаження.

Захист: Захисні функції інвертора, такі як захист від перевантаження, перегріву та короткого замикання.

Навантаження 450Вт.

Підключаємо до виходу з інвертора електролобзик потужністю 850Вт.(рисунок 3.4) В третій швидкості.



Рисунок 3.4 – Електролобзик

Перевіряємо струм навантаження струмовими кліщами рисунок 3.5.



Рисунок 3.5 – Струм навантаження

Залежність температури інвертора від часу навантаження – потужністю 450Вт. відображене в таблиці 3.1, а також в рисунок 3.6.

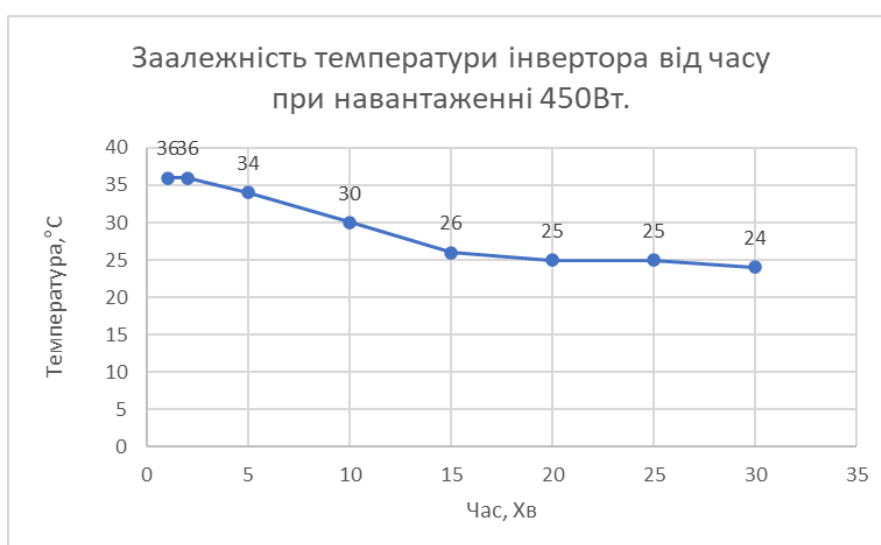


Рисунок 3.6 – Залежність температури інвертора від часу при навантаженні 450 Вт

Таблиця 3.1 – Виміряні дані при тестуванні інвертора на залежність температури до часу при потужності 450 Вт

Виміряні дані при тестуванні інвертора на залежність температури до часу при потужності 450 Вт					
№	Час, Хв	Температура, °С	Струм, А	Напруга АКБ, В	Примітка
1	1	36	2	22,4	вмикання вентиляторів
2	2	36	2	22,4	
3	5	34	2	24,3	
4	10	30	2	24,3	
5	15	26	2	24,3	
6	20	25	2	24,2	
7	25	25	2	24,2	
8	30	24	2	24,1	

При навантаженні 450Вт. охолодження інвертора увімкнулося миттєво, і температура стрімко почала падати до температури $25 \pm, ^\circ\text{C}$, проте вентилятори не вимикалися впродовж тесту.

Навантаження 1300Вт.

Підключаємо до виходу з інвертора Фен потужністю 1300Вт (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 – Фен

Перевіряємо струм навантаження струмовими кліщами (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Струм навантаження 1300 Вт

Залежність температури інвертора від часу навантаження – потужністю 1300Вт. Відображене в таблиці 3.2, та на рисунок 3.9.

Таблиця 3.2 – Виміряні дані при тестуванні інвертора на залежність температури до часу при потужності 1300 Вт.

Навантаження 1300Вт.					
№	Час, Хв	Температура,°С	Струм, А	Напруга АКБ ,В	Примітка
1	1	42	5,8	23,3	вмикання вентиляторів
2	2	42	5,8	23,3	
3	5	41	5,8	24,3	
4	10	39	5,8	24,3	
5	15	36	5,8	24,3	
6	20	34	5,8	24,2	
7	25	34	5,8	24,2	
8	30	33	5,8	24,1	

При цьому дослідженні (тесті) струм від АКБ становив 20А (рисунок 3.10).

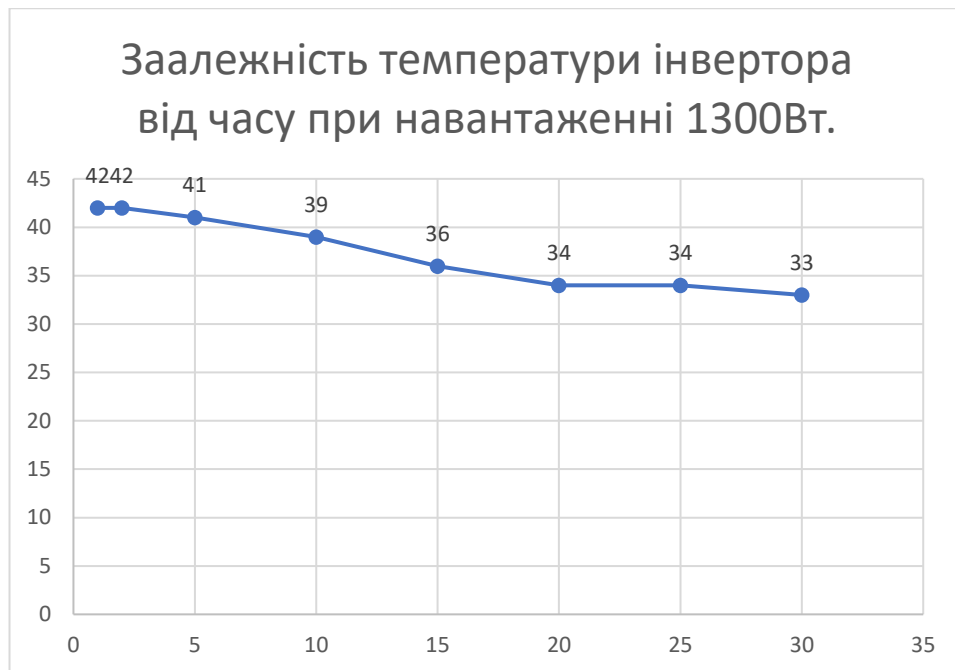


Рисунок 3.9 – Залежність температури інвертора від часу при навантаженні 1300 Вт



Рисунок 3.10 – Струм навантаження від АКБ до інвертора

Дослідження інвертора при пусковому струмі.

Пусковий струм асинхронного двигуна – це максимальний струм, який споживає двигун під час запуску. Він може бути в 5-10 разів вище

номінального струму, що може призвести до перевантажень в мережі та негативно вплинути на роботу інших електроприладів.

Фактори, що впливають на пусковий струм:

Потужність двигуна: Чим більша потужність двигуна, тим вищий його пусковий струм.

Конструкція двигуна: Асинхронні двигуни з короткозамкнутою білкою мають більший пусковий струм, ніж двигуни з фазорозщепленим пуском.

Напруга живлення: Зниження напруги живлення може призвести до збільшення пускового струму.

Інерція навантаження: Чим більша інерція навантаження, тим вищий пусковий струм.

Температура: В холодну погоду пусковий струм може бути трохи вище.

Для тесту інвертора з пусковим струмом використовуємо асинхронний двигун номінальною потужністю 2500 Вт / 220 В / 2850 об/хв. Зображено на рисунку 3.11.



Рисунок 3.11 – Зображено характеристики асинхронного двигуна

При вмиканні даного двигуна від АКБ через інвертор, двигун не увімкнувся, а інвертор відключився і потрапив в захист код помилки

зображено на рисунку, 3.12. даний тест був випробуваний три рази поспіль результат був однаковий.



Рисунок 3.12 – Зображено код помилки

З інструкції ми можемо зрозуміти що це помилка перевантаження (рисунок 3.13).

Код несправностей		
Код несправності	Подія несправності	Зображення
01	Вентилятор заблокований, коли інвертор вимкнено.	F01
02	Перегрів	F02
03	Напруга акумулятора занадто висока	F03
04	Напруга акумулятора занадто низька	F04
05	Коротке замикання на виході.	F05
06	Вихідна напруга занадто висока.	F06
07	Тайм-аут перевантаження	F07
08	Напруга в шині зависока	F08
09	Помилка плавного пуску шини	F09
10	PV надструм	F10
11	PV перенапруження	F11
12	DCDC надструм	F12
13	Розряд акумулятора надструмом	F13
51	Надструм	F51
52	Напруга в шині занадто низька	F52
53	Помилка плавного пуску інвертора	F53
55	Підвищена напруга постійного струму на виході змінного струму	F55
57	Помилка датчика струму	F57
58	Вихідна напруга занадто низька	F58

Рисунок 3.13 – Зображення кодів помилок

Проте інвертор увімкнув на одну секунду двигун (рисунок 3.14). і миттєво потрапив в захисти.



Рисунок 3.14 – Струм при пуску двигуна

Таке могло трапитися через посаджені АКБ напруга на них під навантаженням просідала до 19В.

Згідно з інструкцією рисунок 3.15 бачимо, що інвертор має захисти від перевантаження.

Overload Protection	5s@ $\geq 150\%$ lo ad; 10s@ 110% ~ 150% lo ac
Surge Capacity	2* rated power for 5 seconds

Рисунок 3.15 – Зображено фрагмент інструкції

Захист від перевантаження:

5 секунд за навантаження 150%: Це означає, що інвертор може витримувати перевантаження 150% протягом 5 секунд. Наприклад, якщо

номінальна потужність інвертора становить 3000 Вт, він може витримувати навантаження до 4500 Вт (3000 Вт x 1,5) протягом 5 секунд.

10 секунд за навантаження 110%~150%: Інвертор може витримувати навантаження від 110% до 150% від своєї номінальної потужності протягом 10 секунд.

Струмовий удар:

2x номінальна потужність протягом 5 секунд: Інвертор може витримувати короткочасний струмовий удар, що вдвічі перевищує його номінальну потужність, протягом 5 секунд. Таким чином, інвертор потужністю 3000 Вт може витримувати струмовий удар потужністю до 6000 Вт протягом 5 секунд.

Важливо зазначити:

Це обмеження захисту від перевантаження та струмового удару самого інвертора. Електронні пристрої, підключені до інвертора, можуть не мати такого самого захисту від перевантаження чи струмового удару.

Тестування інвертора при байпасу з мережею

Підключимо до інвертора живлення від мережі і провіримо цей дослід ще раз з байпасом від мережі. З мережею пусковий струм становив 30А (рисунок 3.16) про те інвертор однаково, пішов в захист.



Рисунок 3.16 – Струм при пуску двигуна 2500Вт

Розрахуємо потужність двигуна:

Пусковий струм (I_n): 31 А

Номинальна напруга (U_n): 220 В

Коефіцієнт пускового струму (K_n): 5 (для асинхронних двигунів зазвичай 2,5 - 7,5)

Коефіцієнт корисної дії ($\cos(\varphi)$): 0,85 (для асинхронних двигунів зазвичай 0,8 - 0,9)

Розрахуємо потужність двигуна:

$$P = (31A * 220V * 5 * 0.85)\sqrt{3} \approx 2344W \quad (3.1)$$

Отже, потужність асинхронного двигуна з пусковим струмом 31 А, номінальною напругою 220 В, коефіцієнтом пускового струму 5 та коефіцієнтом корисної дії 0,85 становить приблизно 2344 Вт.

Розрахунок пускового струму асинхронного двигуна

Згідно з даними:

- Потужність: 2500 Вт
- Напруга: 220 В
- Частота обертання: 2850 об/хв
- Частота мережі: 50 Гц

Для розрахунку пускового струму (I_n) можна скористатися методом коефіцієнта пускового струму (K_n):

Визначити тип двигуна: З даних неможливо однозначно визначити тип двигуна. Зазвичай, для даної потужності та частоти обертання використовуються асинхронні двигуни. Прийmemo, що двигун асинхронний.

Знайти коефіцієнт пускового струму (K_n): Для асинхронних двигунів K_n може варіюватися в діапазоні 2,5 - 7,5. Візьmemo середнє значення $K_n = 5$.

Розрахувати номінальний струм (I_n):

$$I_H = P / (U * \sqrt{3} * \cos \varphi) \quad (3.2)$$

де:

- P - потужність, Вт;
- U - напруга, В;
- $\cos(\varphi)$ - коефіцієнт потужності (для асинхронних двигунів $\cos(\varphi) \approx 0,85$).

$$I_H = 2500 \text{ Вт} / (220 \text{ В} * \sqrt{3} * 0,85) \approx 13,8 \text{ А}$$

Розрахувати пусковий струм (I_n):

$$I_n = K_n * I_H \quad (3.3)$$

$$I_n = 5 * 13,8 \text{ А} \approx 69 \text{ А}$$

Отже, пусковий струм асинхронного двигуна потужністю 2500 Вт, 220 В, 2850 об/хв, 50 Гц становить приблизно 69 А.

Важливо зазначити, що:

Це орієнтовний розрахунок. Точне значення пускового струму може відрізнятися залежно від конструкції двигуна, режиму його роботи та інших факторів.

Пусковий струм може бути в декілька разів більшим за номінальний, що може призвести до перевантажень в мережі та спрацювання захисних пристроїв.

Для зменшення пускового струму рекомендується використовувати методи плавного пуску, такі як:

Плавний пуск за допомогою тиристорних або реостатних пускових пристроїв;

Зірко-трикутні з'єднання обмоток статора асинхронного двигуна.

Перевірка заряду АКБ

Маємо вхідні данні А саме температура початкова 18°C, Напруга АКБ 2В.

Дослідимо залежність температури від часу заряду та вплив охолодження, таблиця 3.3. рисунок 3.17.

Таблиця 3.3 – Залежність температури від часу заряду та вплив охолодження.

Заряд АКБ					
№	Час, хв	Т, °С	Напруга АКБ, В	Струм заряду, А	Примітка
1	1	26	26,5	16,7	
2	2	23	26,5	16,7	вмикання вентиляторів
3	5	23	27	7,2	вимкнулись
4	10	29	27,9	1,2	вмикання вентиляторів
5	15	25	28	0,2	вимкнулись

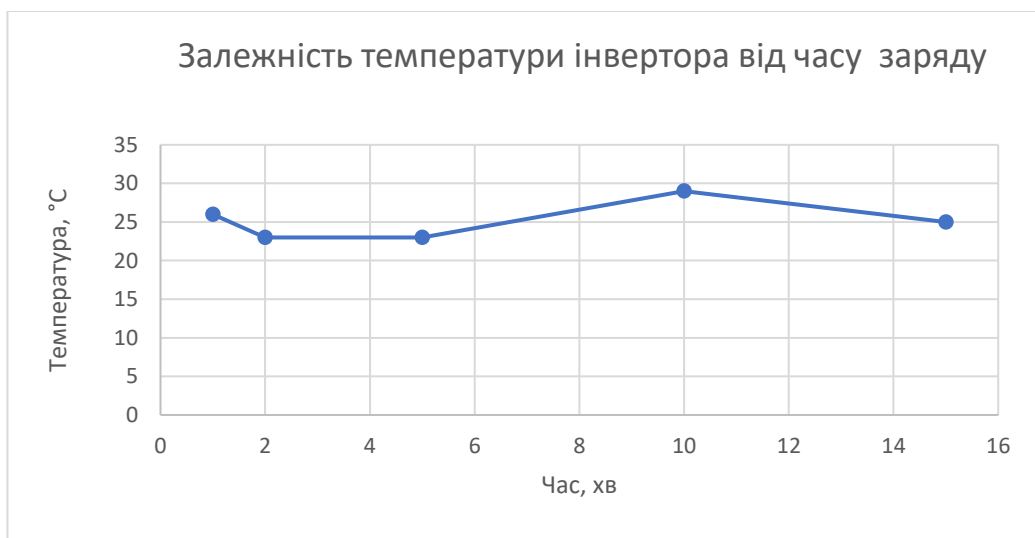


Рисунок 3.17 – Залежність температури інвертора від часу заряду

Як бачимо з тестів за рахунок вентиляторів температура під час заряду нормалізується. До того на рисунок 3.18. зображено залежність напруги АКБ, до струму заряду.

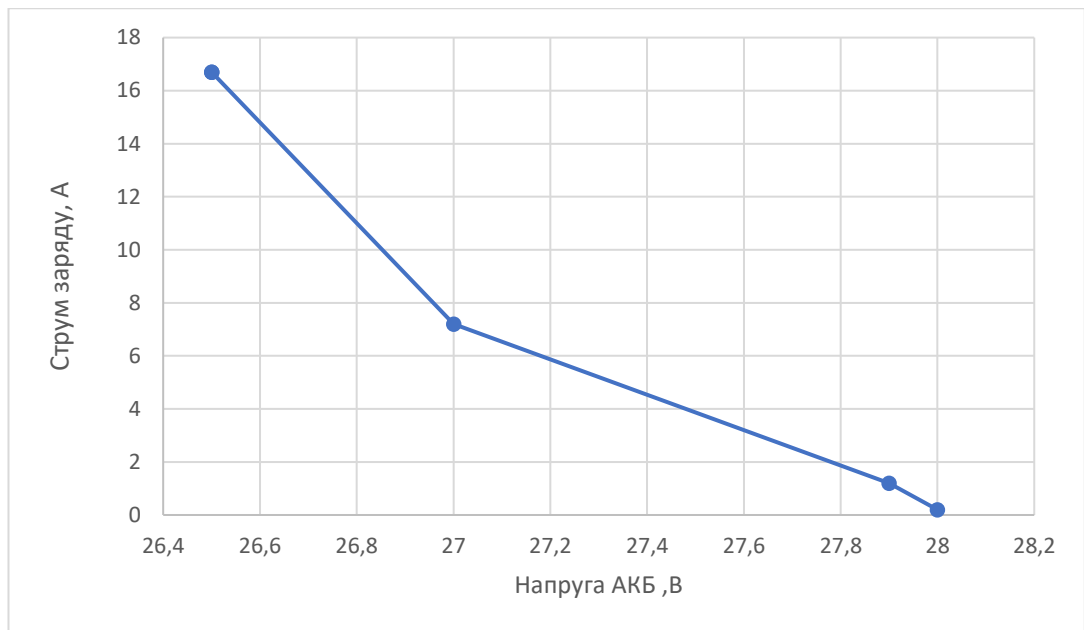


Рисунок 3.18 – Залежність напруги АКБ, до струму заряду

Розрахунки роботи даної системи

Розрахунок часу заряду гелевого АКБ 24В ємністю 200А струмом заряду 20А.

Згідно з даними:

Ємність АКБ (C): 200 (200 Ампер-годин)

Струм заряду (I): 20 А (20 Ампер)

Напруга АКБ (U): 24 В (24 Вольти)

Коефіцієнт корисної дії заряду (η): Для гелевих АКБ η зазвичай становить 0,9 - 0,95. Використаємо значення 0,9.

Використовуючи формулу:

$$T = C / I * (1 + \eta) \quad (3.4)$$

Підставляємо значення:

$$T = 200 \text{ Агод} / 20 \text{ А} * (1 + 0,9) \approx 12,8 \text{ год}$$

Отже, час заряду гелевого АКБ 24В ємністю 200А струмом заряду 20А становить приблизно 12,8 години.

Розрахунок часу живлення від АКБ 24В 200А з інвертором 3200Вт при споживанні 1000Вт

Щоб розрахувати час автономної роботи від акумуляторної батареї (АКБ) 24В 200А з інвертором 3200Вт при споживанні 1000Вт, нам знадобляться наступні дані:

Ємність АКБ (С): 200 Ач (200 Ампер-годин)

Напруга АКБ (U): 24 В (24 Вольти)

Потужність інвертора ($P_{інв}$): 3200 Вт (3200 Ватт)

Споживана потужність ($P_{спож}$): 1000 Вт (1000 Ватт)

Формула для розрахунку часу автономної роботи (Т):

$$T = (C * U) / (P_{спож} * \eta) \quad (3.5)$$

Де:

T: Час автономної роботи, год (години)

C: Ємність АКБ, Ач (Ампер-годин)

U: Напруга АКБ, В (Вольти)

$P_{спож}$: Споживана потужність, Вт (Ватт)

η : Коефіцієнт корисної дії інвертора (зазвичай 0,85 - 0,9)

Підставляємо значення:

$$T = (200 \text{ А} \cdot \text{год} * 24 \text{ В}) / (1000 \text{ Вт} * 0,9) \approx 5,33 \text{ год}$$

Отже, час автономної роботи від АКБ 24В 200А з інвертором 3200Вт при споживанні 1000Вт становить приблизно 5,33 години.

Розрахунок споживання трифазної мережі

Згідно з даними:

Споживання по кожній фазі (I_{ϕ}): 1,5 А (1,5 Ампер)

Напруга мережі (U): 230 В (230 Вольт)

Для розрахунку загальної потужності (P) трифазної мережі використовується наступна формула:

$$P = \sqrt{3} * U * I_{\phi} * \cos(\varphi) \quad (3.6)$$

Де:

P : Загальна потужність, Вт (Ватт)

$\sqrt{3}$: Коефіцієнт для трифазних мереж (приблизно 1,73)

U : Напруга мережі, В (Вольт)

I_{ϕ} : Споживання по кожній фазі, А (Ампер)

$\cos(\varphi)$: Коефіцієнт потужності (зазвичай приймається 0,8 - 0,9 для житлових приміщень)

Коефіцієнта потужності ($\cos(\varphi)$), припустимо, що він становить 0,85.

Підставляємо значення:

$$P = \sqrt{3} * 230 \text{ В} * 1,5 \text{ А} * 0,85 \approx 591 \text{ Вт}$$

Отже, загальна потужність вашої трифазної мережі становить приблизно 591 Вт.

Розрахунок часу живлення від АКБ 24В 200А з інвертором 3200Вт при споживанні 600Вт в трифазній мережі

Згідно з даними:

Ємність АКБ (С): 200 Ач (200 Ампер-годин)

Напруга АКБ (U): 24 В (24 Вольти)

Потужність інвертора ($P_{\text{інв}}$): 3200 Вт (3200 Ватт)

Споживана потужність ($P_{\text{спож}}$): 600 Вт (600 Ватт)

Трифазна мережа: Так

Важливо зазначити, що інвертори зазвичай не можуть працювати з трифазними мережами.

Однак, якщо у вас є трифазний інвертор, який може розподіляти навантаження на всі три фази, то можна використовувати наступний метод розрахунку:

1. Розрахунок споживання по кожній фазі:

$$I_{\phi} = P_{\text{спож}} / (\sqrt{3} * U) \approx 106 \text{ А} \quad (3.7)$$

Де:

I_{ϕ} : Споживання по кожній фазі, А (Ампер)

Рспож: Споживана потужність, Вт (Ватт)

$\sqrt{3}$: Коефіцієнт для трифазних мереж (приблизно 1,73)

U: Напруга мережі, В (Вольт)

2. Розрахуйте час автономної роботи для однієї фази:

$$T_{\phi} = C / I_{\phi} \approx 1,9 \text{ Агод} \quad (3.8)$$

Де:

T_{ϕ} : Час автономної роботи для однієї фази, год (години)

C: Ємність АКБ, (Ампер-годин)

I_{ϕ} : Споживання по кожній фазі, А (Ампер)

3. Оскільки трифазна мережа має три фази, то час автономної роботи буде:

$$T = 3 * T_{\phi} \approx 5,7 \text{ Агод} \quad (3.9)$$

Де:

T: Час автономної роботи, год (години)

T_{ϕ} : Час автономної роботи для однієї фази, год (години)

Отже, час автономної роботи від АКБ 24В 200А з трифазним інвертором 3000Вт при споживанні 600Вт становить приблизно 5,7 години.

3.3 Висновки до третього розділу

В третьому розділі, проведено дослідження параметрів роботи інвертора за зміни під'єданого навантаження, часу роботи, вмикання вимикання активної вентиляції, та вплив навантаження, і часу вентиляції на роботу інвертора, і на показання засобів вимірювання.

Для цього використано побутові пристрої різної потужності від 450Вт. До 2500Вт.

А саме електролобзик потужністю 450 Вт, фен потужністю 1300 Вт, та асинхронний двигун потужністю 2500Вт. номінально і близько 6000Вт. пускової. Інвертор підчас діагностики показав себе добре, відповідав заявленим характеристикам зі всіма тестами, дослідями справився добре.

ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена розробці системи вимірювання характеристик гібридного інвертора за зміни характеру під'єданого навантаження.

В ході роботи проведено аналіз стану використання ВДЕ в Україні. Зроблено висновок, що використання ВДЕ, зокрема сонячної енергії, стрімко зростає.

Також досліджено особливості застосування сонячних інверторів, їх класифікацію, принципи роботи та основні характеристики.

Досліджено особливості застосування сонячних інверторів. Розроблено схему та конструкцію системи вимірювання характеристик гібридного інвертора. Дана схема буде корисна для реалізації в будь якому будинку з трифазною мережею.

Проведено експериментальні дослідження характеристик інвертора, проаналізовано та узагальнено результати досліджень, дані результати будуть корисні для вибору інвертора, і акумулятора, а також для розрахунків тривалості роботи того чи іншого пристрою чи підключеного навантаження.

Результати досліджень можуть бути використані для:

- Оптимізації роботи сонячних електростанцій;
- Підвищення ефективності використання сонячних інверторів;
- Розробки нових алгоритмів управління інверторами.

Рекомендації:

Продовжувати дослідження та розробку нових, більш ефективних та доступних компонентів для автономних сонячних станцій. Створити програми стимулювання та фінансування для популяризації автономних сонячних станцій серед населення. Підвищити рівень обізнаності про переваги та можливості використання автономних сонячних станцій. Вважаємо, що

автономні сонячні станції мають значний потенціал для вирішення проблем енергетичної безпеки та захисту навколишнього середовища.

На майбутнє планується розвивати дану автономну станцію приєднавши до неї масив фотоелектричних модулів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. У 2017 р. удвічі зросли потужності відновлюваної електроенергетики порівняно із 2016 роком [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://saee.gov.ua/uk/news/2158>
2. Renewable energy sector: Unlocking sustainable energy potential, National Investment Council of Ukraine, 2018 <https://image.slidesharecdn.com/investinukrainerenewableenergysector-180615094259/75/Invest-in-Ukraine-Renewable-Energy-Sector-16-2048.jpg>
3. Renewable energy sector: Unlocking sustainable energy potential, National Investment Council of Ukraine, 2018 <https://image.slidesharecdn.com/investinukrainerenewableenergysector-180615094259/75/Invest-in-Ukraine-Renewable-Energy-Sector-14-2048.jpg>
4. Чи можливий повний перехід України на ВДЕ? [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://avenston.com/articles/100re/>
5. Renewable energy sector: Unlocking sustainable energy potential, National Investment Council of Ukraine, 2018. <https://image.slidesharecdn.com/investinukrainerenewableenergysector-180615094259/75/Invest-in-Ukraine-Renewable-Energy-Sector-26-2048.jpg>
6. Інвестуйте в Україну: сектор відновлюваної енергетики [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://image.slidesharecdn.com/investinukrainerenewableenergysector-180615094259/75/Invest-in-Ukraine-Renewable-Energy-Sector-18-2048.jpg>
7. Renewable energy sector: Unlocking sustainable energy potential, National Investment Council of Ukraine, 2018 <https://www.slideshare.net/slideshow/invest-in-ukraine-renewable-energy-sector-102487805/102487805#2>

8. Законодавчі зміни у сфері енергетики України [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/uosid>
9. Потужність вітчизняних об'єктів відновлювальної енергетики у 2017 році перевищила за 1 ГВт [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/uoshw>
10. Все що потрібно знати про сонячні батареї [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://sunsayenergy.com/technology/vse-scho-potribno-znati-pro-domashni-sonyachni-elektrostantsiyi>
11. Сонячні станції: будова, принцип роботи і секрети довговічності [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://generacia.energy/zelenyj-tarif/budova-ses/>
12. Типи СЕС для приватної оселі [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://sunsayenergy.com/technology/sonyachna-domashnya-elektrostantsiya-dlya-privatnogo-budinku>
13. Мережева сонячна електростанція
http://solar.kvkelectric.com.ua/wp-content/uploads/2018/05/ses_merezheva.png
14. Автономна сонячна електростанція
http://solar.kvkelectric.com.ua/wp-content/uploads/2018/05/ses_avtonomna.png
15. Гібридна сонячна електростанція http://solar.kvkelectric.com.ua/wp-content/uploads/2018/05/ses_gibrydna.png
16. Приватні СЕС: типи сонячних електростанцій [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://solar.kvkelectric.com.ua/pryvatni-ses/>
17. Як вибрати акумулятор? Типи батарей та їх особливості. [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/uoskb>
18. Як вибрати акумулятор для сонячної станції [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.solargarden.com.ua/yak-vybraty-akumulyator-dlya-sonyachnoi-elektrostantsii/>

19. Гелевий акумулятор: переваги та недоліки [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: https://auto.24tv.ua/helevyi_akumuliator_perevahy_ta_nedoliky_n42820
20. Переваги техніки з літій-йонною батареєю [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://toyota-bt.com/ua/materials/preimuschestva-litij-ionnoj-batarei>
21. Типи акумуляторних батарей: повний огляд [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://deps.ua/ua/knowegable-base/reference-information/10591.html>
22. Ritar DG Series Deep Cycle GEL VRLA Batteries [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ritarpower.com/products/176.html>
23. Інвертори: Важливість, Призначення та Основні Аспекти Вибору [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://akbcenter.com.ua/inventory-vazhlyvist-pryznachennya-ta-osnovni-aspekty-vyboru>
24. Типи сонячних інверторів [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://avenston.com/articles/types-of-solar-inverters/>
25. Струйно-квадратичні кліщі змінного/постійного струму Ручні цифрові кліщі YT-73091 [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.yatohandtools.com/Automotive-tools/true-rms-acdc-clamp-meter-handheld-digital-clamp-meter-yt-73091>
26. Цифровий Осцилограф портативний Hantek 2D42 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/uosne>
27. Яворський А.В. Основи проектування та монтажу систем відновлюваної енергетики // Лекція №3 Основи проектування і розрахунку автономних фотоелектричних станцій.

28. Яворський А.В. Основи проектування та монтажу систем відновлюваної енергетики // Лекція №4 Основи проектування і розрахунку мережевих фотоелектричних станцій
29. ДСТУ-Н В.2.5-80:2015 Настанова з проектування систем електропостачання підприємств – К.: Мінрегіон, Київ – 2015
30. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019. 177 с.
31. Інвертор Powmr 3000Watt 220Vac 24Vdc All In One Inverter Charger [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://powmr.com/products/3000watt-220vac-24vdc-all-in-one-inverter-charger>
32. Чи можливий повний перехід України на ВДЕ [Електронний ресурс]. – 2023. – – Режим доступу до ресурсу: <https://avenston.com/articles/100re/>
33. Сонячні електростанції: проектування, монтаж, експлуатація Автор: І.С. Папушин
34. Енергозбереження та альтернативні джерела енергії Автори: В.В. Гончаренко, А.І. Гусаров, В.М. Ковальчук
35. Гібридні сонячні електростанції: принципи роботи, проектування, монтаж Автори: О.В. Сидоренко, О.М. Петренко
36. Гібридні інвертори: порівняльний аналіз та переваги <http://surl.li/umgye>
37. Як вибрати гібридний інвертор для сонячної електростанції [Електронний ресурс]. – 2023. – – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/umgyi>
38. Автономна сонячна електростанція для будинку ОСББ / О. О. Савченко, Х. Р. Козак, Т. ФедакЮ. // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва. - 2018. - № 888. - С. 117-122. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPTPB_2018_888_18

39. Асоціація сонячної енергетики України: [Електронний ресурс]. –
Режим доступу до ресурсу: <https://aseu.org.ua/>
40. Міністерство енергетики України: <https://mev.gov.ua/>
41. Gemini <https://gemini.google.com/app>
42. Принцип роботи СЕС та особливості будови <http://surl.li/umhco>