

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри
к.ф.-м.н., І.І. Чичура

«___» _____ 2023 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної бакалаврської роботи

на тему:

АВТОМАТИЧНА АВТОНОМНА СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ

Виконав:

Кошеля Михайло Михайлович
(прізвище, ім'я, по-батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник:

д.ф.-м.н., Іваницькій В.П. проф..
(вчене звання, ПІБ, посада)

_____ (підпис)

Ужгород – 2023

Ужгородський національний університет

Інженерно-технічний факультет
Кафедра приладобудування
Освітньо-кваліфікаційний рівень "Бакалавр"
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
к.ф.-м.н., доцент Ігор ЧИЧУРА


" 19 " червня 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кошелі Михайлу Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи «Автоматична автономна сонячна електростанція» та керівник роботи Іваницький Валентин Петрович, д.ф.-м.н., професор, (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання) затверджені Розпорядженням № 16 по ІТФ від " 12 " травня 2023 року.
- Строк подання студентом роботи на кафедру: "10" червня 2023 року.
- Вихідні дані до роботи: об'єктом розробки є автономна автоматична електростанція для окремого домогосподарства потужністю до 10 кВт.
Умови експлуатації пристрою:
 - температура навколишнього середовища: від -30°C до $+60^{\circ}\text{C}$;
 - атмосферний тиск: від 720 до 780 мм.рт.ст.;
 - відносна вологість повітря: до 95 %;
 - електроживлення: акумуляторна батарея у складі електростанції;
 - габарити і маса: мінімально можливі.Характеристики пристрою:
 - ввід базових параметрів керування: вручну при початковій інсталяції пристрою;
 - режим керування: неперервний під час світлового дня та дискретний протягом доби;
 - частота контролю параметрів виробленої електричної енергії протягом світлового дня: програмується, але не менше 1 Гц;
 - формат вихідних інформаційних сигналів: ліній цифрового послідовного коду;
 - максимальна потужність споживаної електричної енергії: до 10 кВт;
 - відображення режимів роботи пристроїв станції: за допомогою дисплею;
 - формування бази даних: на флеш-пам'яті;
 - сигналізація про нештатні ситуації: передбачити підключення захищеного Wi-Fi каналу передачі даних в мережу інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
 Аналіз проблем сучасної сонячної енергетики; огляд сучасних типів сонячних електростанцій; аналіз особливостей автономних сонячних електростанцій та сучасних підходів до їх проектування; принципи автоматизації функціонування автономних сонячних електростанцій; розробка структурної, монтажної та інших необхідних схем електростанції; розрахунок параметрів модулів електростанції; підбір енергетичних та інформаційних модулів.

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

- структурна або функціональна схема пристрою (1 аркуш А2);
- аналіз споживання електроенергії окремим домогосподарством (1 аркуш А2);
- обґрунтування технічних параметрів електростанції (1 аркуш А2);
- монтажна схема станції (1 аркуш А2);
- схема енергетичних потоків (1 аркуш А2);
- схема інформаційних потоків (1 аркуш А2).

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Алгоритм роботи промислового контролера	Роман МЕШКО, ст. викладач кафедри		

7. Дата видачі завдання: 05 березня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз проблем сучасної сонячної енергетики.	30.03.2023	
2	Огляд сучасних наукових підходів до проектування автономних сонячних електростанцій.	20.04.2023	
3	Аналіз завдання та розробка структурної схеми станції.	30.04.2023	
4	Розрахунок конструкції електростанції.	10.05.2023	
5	Підбір елементів та виготовлення креслень основних вузлів станції.	20.05.2023	
6	Розробка схем станції.	25.05.2023	
7	Написання пояснювальної записки.	05.06.2023	
8	Оформлення роботи та креслень.	10.06.2023	

Студент

Косиш
(підпис)

/Ковалюк М.М./
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи

Гвас
(підпис)

/Гвасевич І.І./
(ініціали та прізвище)

Гарант ОП «Бакалавр»

Чигур
(підпис)

/Чигур І.І./
(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної бакалаврської роботи: 64 сторінки, 12 таблиць, 12 рисунків, 3 додатки, 13 джерел посилань.

СОНЯЧНА ЕНЕРЕТИКА, АВТОНОМНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

Об'єкт дослідження – повністю автономна сонячна електростанція із електронною системою автоматичного керування на основі інформаційних модулів вимірювання параметрів електричного струму в різних енергетичних лініях.

Мета роботи – спроектувати автоматичну автономну сонячну електростанцію для окремого домогосподарства або для малого комерційного об'єкта.

Методи дослідження – технічний та економічний аналіз автономних сонячних енергетичних станцій та їхніх компонент; проектування структурної і монтажної схеми автономної сонячної електростанції та її інформаційних модулів керування; розробка схем енергетичних та інформаційних потоків електростанції.

Проведено технічний аналіз основних споживачів електричної енергії окремого невеликого домогосподарства та розраховано його сумарний об'єм енергоспоживання. На основі отриманих результатів аналізу спроектовано повністю автономну сонячну електростанцію і підібрано її енергетичні компоненти та інформаційні модулі. Розроблено структурну та монтажну схеми автономної електростанції, а також схеми її енергетичних та інформаційних потоків.

ABSTRACT

The bachelor's thesis contains: 64 pages, 12 tables, 12 figures, 3 additions, 13 reference sources.

SOLAR ENERGY, AUTONOMOUS POWER STATION, CONTROL OF ELECTRICAL SYSTEMS

The research object is a fully autonomous solar power station with an electronic automatic control system based on information modules for measuring electric current parameters in various power lines.

The purpose of the work is to design an automatic stand-alone solar power station for a single household or for a small commercial facility.

Research methods – technical and economic analysis of autonomous solar power stations and their components; design of the structural and assembly scheme of the autonomous solar power station and its control information modules; development of energy and information flow schemes of the power station.

A technical analysis of the main consumers of electric energy of a separate small household was carried out and its total volume of energy consumption was calculated. Based on the results of the analysis, a fully autonomous solar power station was designed and its energy components and information modules were selected. Structural and assembly schemes of an autonomous power station, as well as schemes of its energy and information flows, have been developed.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ОСОБЛИВОСТІ АВТОНОМНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ.....	11
1.1 Актуальність встановлення автономних сонячних електростанцій для домогосподарств та їх особливості.....	11
1.2 Генеруючі компоненти сонячних електростанцій.....	13
1.3 Сонячні електростанції.....	17
2 ОЦІНКА МІНІМАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОДОБОВОЇ ГЕНЕРОВАНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СТАНДАРТНОЮ ПАНЕЛЛЮ В УМОВАХ МІСТА УЖГОРОДА.....	23
3 АНАЛІЗ СЕРЕДНЬОДОБОВИХ ВИТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТИПОВИМ ДОМОГОСПОДАРСТВОМ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ.....	27
4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	30
5 ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРИ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	33
5.1 Сонячні панелі.....	33
5.2 Аналіз вибору акумуляторної батареї.....	37
5.3 Контролер заряду акумуляторної батареї.....	39
5.4 Інверторний модуль контролер-інверторів серії Conext SW.....	43
5.5 Комутаційні елементи сонячної електростанції.....	44
6 РОЗРОБКА СХЕМ ПРОЕКТОВАНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	46
6.1 Аналіз схеми енергетичних потоків.....	46
6.2 Аналіз схеми інформаційних потоків та вибір компонент системи керування.....	49

КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ						
	Прізвище ім'я	Підпис	Дата			
Розробив	Кошеля М.М.	<i>М.М. Кошеля</i>	14.06	Автоматична автономна сонячна електростанція Пояснювальна записка		
Перевірив	Іваницький В.П.	<i>В.П. Іваницький</i>	14.06			
Т. контроль						
Н. контроль	<i>Михайлик</i>	<i>М.М. Михайлик</i>				
Затвердив	Чичура І.І.	<i>І.І. Чичура</i>	14.06			
				Літера	Аркуш	Аркушів
				у	6	63
				ІТФ, кафедра ПБ, 4 курс бакалаври заочна форма		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

СЕС – сонячна електростанція

СП – сонячна панель

ТМП-контролери – або контролери із слідкуванням за точкою максимальної потужності (MPPT-controllers – Maximum power point tracker)

ФЕП – фотоелектричний перетворювач

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція (PWM – pulse-width modulation)

I_{kz} – струм короткого замикання СП

P – проектна потужність СП

P_m – електрична потужність на клеммах СП в точці максимальної потужності

P_s – падаюча на поверхню СП потужність сонячного випромінювання

U_{xx} – напруга холостого ходу СП

W – середньоденна генерована електроенергія однією СП в зимній період

η – ККД сонячної панелі

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

Природні енергетичні ресурси людства в наш час стрімко вичерпуються, а екологічні проблеми використання традиційних видів палива стають все гострішими. Тому постійно зростає актуальність пошуку і оптимального використання нових джерел енергії. Сонячній енергетиці відводиться важлива роль у розв'язанні відмічених проблем, що підтверджується стрімким ростом кількості сонячних електростанцій на Україні та у всьому світі.

Потенціал сонячної енергетики надзвичайно високий. Сумарна потужність випромінювання Сонця величезна і Земля, яка знаходиться на відстані біля 150 млн. км від Сонця, одержує приблизно 2 мільярдні частки його загального випромінювання. Не дивлячись на це, середня кількість сонячної енергії, яка потрапляє в атмосферу Землі складає біля 1,5 кВт/м². Такий потенціал енергії Сонця відповідає тому факту, що за 15 хвилин сонячне випромінювання приносить на земну кулю енергію, яку достатньо всьому людству на цілий рік;

Тому не дивним є прискорення розвитку сонячної енергетики на Україні та у світі. Цьому сприяють й економічні фактори. Ціна встановлення сонячних електростанцій (СЕС) щороку помітно зменшується завдяки удосконаленню технологій виробництва фотоелектричних модулів (сонячних панелей – СП), збільшенню їх потужності та коефіцієнту корисної дії. Все це зумовлює щорічне зменшення собівартості 1 кВт сонячної електричної енергії. Крім того, розвитку СЕС в Україні на сьогодні сприяє й «зелений» тариф, який є одним із найвищих у світі.

Враховуючи наведене вище, ми ставили завданням бакалаврської роботи спроектувати низько бюджетну автоматичну автономну сонячну електростанцію для окремого домогосподарства із сучасних доступних та надійних матеріалів і комплектуючих модулів. Повна автоматизація процесу функціонування такої електростанції має також забезпечити оптимальне використання сонячного та вкладеного технічного ресурсу і продовжити термін експлуатації її основних робочих модулів. Одночасно значно підвищиться й рівень сервісу при монтажі,

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

експлуатації та обслуговуванні спроектованої електроенергетичної системи. Такий комплексний підхід до розв'язання поставленої задачі підкреслює актуальність та значимість досліджень нашої бакалаврської роботи.

АКІТ
АКІТ
АКІТ
АКІТ
АКІТ

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1 ОСОБЛИВОСТІ АВТОНОМНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

1.1 Актуальність встановлення автономних сонячних електростанцій для домогосподарств та їх особливості

Розглядаючи сучасні ресурсозберігаючі варіанти автономного забезпечення житла електроенергією, варто особливу увагу звернути на СЕС невеликої потужності. Такі системи вже підтвердили свою надійність та довговічність, працюючи десятки років на космічних станціях та в наземних енергетичних системах багатьох країн світу. Крім того, автономна СЕС забезпечить домогосподарство незалежним постійним електропостачанням, що особливо актуально, якщо місцеві трансформаторні підстанції не підтримують необхідний рівень напруги та потужності в мережі змінного струму, наприклад, на дачах чи у віддалених місцях. Автономні фотоелектричні станції можуть працювати також як основне джерело електроенергії для віддалених від електричних мереж виробничих та комерційних об'єктів, наприклад готелів та інше.

Відмітимо особливості експлуатації автономних сонячних електростанцій для домогосподарств:

- тривалий термін роботи, який на сьогодні вважається рівним біля 25 років;
- наявність гарантійного обслуговування всіх компонентів більше 2-х років;
- можливість страхування обладнання сонячних електростанцій;
- автоматична електростанція вимагає мінімального технічного обслуговування;
- при необхідності можливість простого збільшення потужності електростанції;
- можливість легкого переходу до змішаної комерційно-автономної форми електростанції з отриманням компенсації за «зеленим тарифом» до 2030 року;

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- прив'язка розрахунків за електроенергію, яка продається за "зеленим тарифом", до курсу євро;
- невеликий термін окупності електростанції (до 10 років);
- екологічна безпечність;
- безшумність;
- автономність функціонування;
- безперебійність електричного живлення при правильному проектуванні електростанції;
- значна економія фінансових коштів при постійно "зростаючих" тарифах на енергоносії.

Крім позитивних якостей сонячні електростанції мають і ряд недоліків. До основних із них можна віднести:

- все ще відносно висока вартість;
- значне нерівномірність генерації енергії;
- вимагають відносно великих площ для розміщення;
- вибагливі до місця встановлення та до умов навколишнього середовища.

У цілому, на сьогодні сонячні електростанції не підтримують паралельну роботу з централізованою електричною мережею. Але вони легко об'єднуються в єдину систему з дизельними генераторами, вітро генераторами та міні гідроелектростанціями.

1.2 Генеруючі компоненти сонячних електростанцій

Основними генеруючими компонентами сонячних електростанцій є сонячні панелі (СП) або сонячні батареї. Їх формують шляхом поєднання між собою окремих комірок фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) у незалежні модулі різних розмірів (рис.1.1). У залежності від необхідних електричних характеристик модуля (струм, напруга і потужність) фотоелектричні перетворювачі з'єднують на одній несучій основі як послідовно, так і паралельно. При послідовному з'єднанні фотоелектричних перетворювачів збільшується вихідна напруга, при

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

паралельному – вихідний струм. Для того, щоб збільшити і струм і напругу комбінують два цих способу з'єднання. Крім того, при такому способі з'єднання вихід з ладу одного з сонячних фотоелектричного перетворювача не призводить до виходу з ладу всієї СП, тобто підвищує надійність роботи всієї батареї.

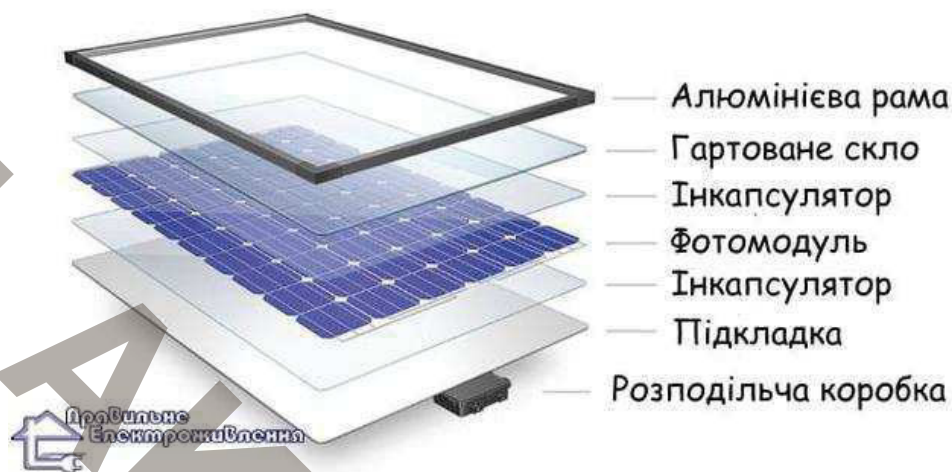
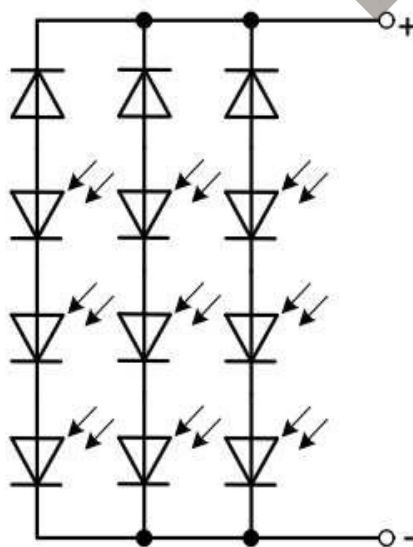


Рисунок 1.1 – Поєднання комірок фотоелектричних перетворювачів та загальна структура СП [1]

Таким чином, сонячна панель складається з паралельно-послідовно з'єднаних сонячних (ФЕП). Величина потужності, яка віддається СП навантаженню, прямо пропорційна кількості паралельно та послідовно включених таких сонячних комірок (рис.1.2).



Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ

Арк.

13

Рисунок 1.2 – Послідовно-паралельне з'єднання комірок фотоелектричних перетворювачіву СП

Послідовно з кожним ланцюжком послідовно з'єднаних ФЕП вмикають напівпровідникові діоди Шотки(рис.1.2). Їх застосовують для усунення зворотних струмів через ті ланцюжки комірок, які мають меншу, ніж в інших ланцюжках СП, сумарну ЕРС (наприклад, через затінення одного з його фотоелементів). За рахунок введення діодів відбувається відключення працюючих у нештатному режимі ланцюжків від навантаження. Зрозуміло, що в такому випадку зменшується генерована СП потужність електричного струму.

ФЕП в СП електрично ізолюють один від одного тонкими шарами інкапсулятора – спеціальною плівкою EVA товщиною 500 мкм. Ці плівки одночасно і герметизують комірки, захищаючи їх від корозії та впливу навколишнього середовища. Розміщене зверху гартоване скло додає конструкції механічної міцності та виконує захисну функцію у випадку дощу, граду та будь-яких інших ударів по СП. Закріплює це все у єдиній конструкції алюмінієва рама, яка також призначена для кріплення СП до тієї чи іншої основи (даху будинку, підставка, каркас тощо). Окрім наведених компонентів у склад СП входять і струмознімні металеві доріжки, котрі переносять згенерований ФЕП струм до розподільчої пластикової коробки. Дана коробка в більшості сучасних СП розміщується на їхній тильній стороні. У даній коробці також поміщають згадані вище діоди Шотки, які захищають СП від паразитних процесів при затіненні та перегріванні.

Основною експлуатаційною характеристикою СП є її ККД. При цьому ККД СП завжди нижчий, ніж ККД її складових сонячних комірок. Це зумовлено втратами, які виникають внаслідок не ідентичності характеристик окремих фотоелектричних перетворювачів, оскільки характеристика кожного із них індивідуальна. Тому, у разі послідовно-паралельного з'єднання сонячних комірок, точки максимальної потужності на їхніх ВАХ не співпадають.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

ККД СП переважно визначають експериментально. Для цього знаходять відношення корисної електричної потужності P_m на клеммах СП до падаючої на поверхню СП потужності сонячного випромінювання P_s , тобто ККД $\eta = (P_m/P_s) \cdot 100\%$. Зрозуміло, що P_m СП знаходиться за допомогою її ВАХ при експлуатації з оптимальним навантаженням. Величина ж P_s визначається як добуток сумарної інтенсивності сонячного випромінювання I_s на площу СП S . Інтенсивність I_s вимірюється при цьому за допомогою спеціального приладу – піранометра.

Важливим експлуатаційним параметром СП є їх номінальна проектована потужність. Вона відповідає роботі СП при інтенсивності сонячного випромінювання 1000 Вт/м^2 , при температурі СП 25°C і при узгодженості опору навантажувального кола з вихідним опором СП, що відповідає оптимальному режиму роботи СП в точці максимальної потужності. При відсутності узгодженості відповідних опорів, від СП відбирається менша потужність для живлення споживачів.

Типова ВАХ СП наведена на рис.1.3. На ній виділяють ряд основних експлуатаційних параметрів:

- струм короткого замикання $I_{kз}$, який є максимальним струмом, який може протікати через СП при заданому рівні інтенсивності сонячного випромінювання на поверхні СП (у такому випадку напруга на його клеммах рівна нулю);

- напруга холостого ходу $U_{хх}$ – максимальна напруга, яка створюється СП на своїх клеммах при розімкненому колі з навантаженням і практично рівна ЕРС СП;

- точка максимальної потужності P_m , яка задає оптимальні умови експлуатації СП, коли вона віддає максимально можливу потужність електричного струму в навантаження. Ця точка задає параметри оптимального узгодження умов роботи СП із навантаженням: силу струму I_m та напругу U_m . Загалом, точка максимальної потужності за напругою складає приблизно від $0,7U_{хх}$ до $0,8U_{хх}$, а за струмом – від $0,85I_{kз}$ до $0,93I_{kз}$. При цьому

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

координати точки максимальної потужності мало залежать від інтенсивності падаючого на СП сонячного випромінювання. (рис.1.3).

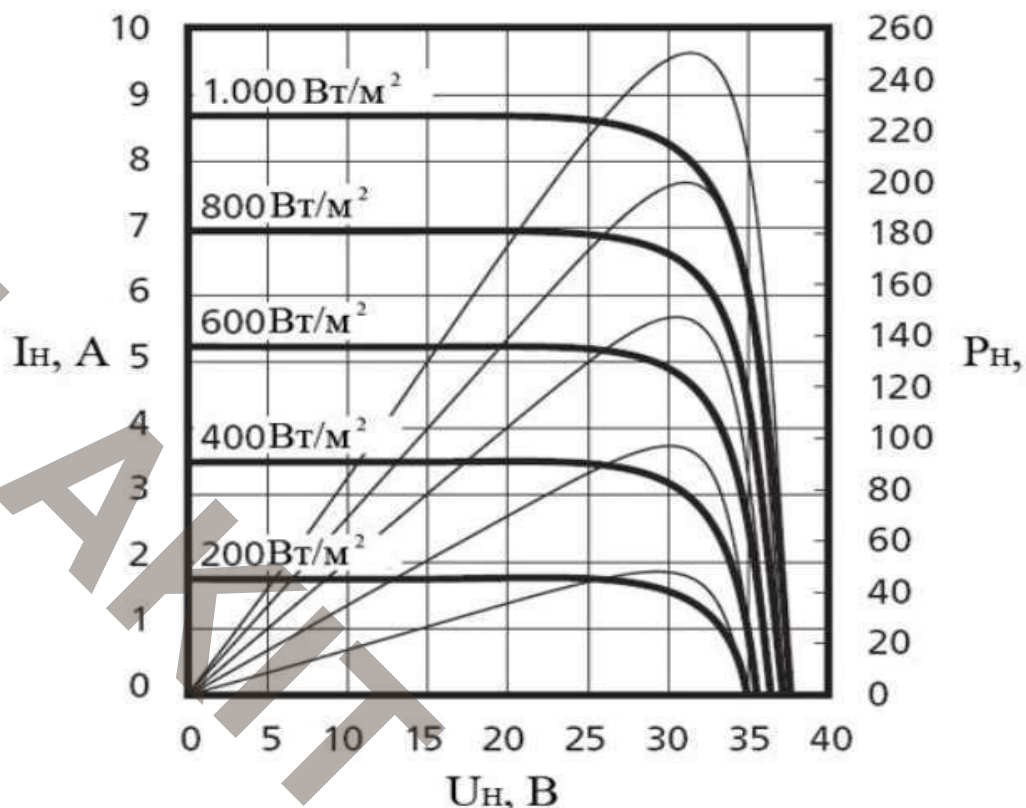


Рисунок 1.3 – Сімейство ВАХ СП FVG 72-156 при різних рівнях інтенсивності сонячного випромінювання[2]

Для прикладу, кремнієві полікристалічні СП СП FVG 72-156 мають $U_{XX} \approx 36$ В, а сила їхнього струму короткого замикання приблизно прямо пропорційна інтенсивності падаючого випромінювання і змінюється до свого максимального значення біля 8,5 В. При цьому напруга холостого ходу майже не залежить від рівня освітленості СП. Враховуючи наведені параметри, можна визначити максимальну теоретичну проектну потужність таких СП – $(36 \text{ В}) \cdot (8,5 \text{ А}) \approx 300 \text{ Вт}$. У паспорті такої СП дана величина для реального режиму роботи вказується як 285 Вт.

Ефективність перетворення сонячної енергії в електричну залежить переважно від внутрішньої однорідності структури та оптичних властивостей напівпровідника ФЕП, застосованих у конструкції СП.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Основні втрати енергії в СП пов'язані також з такими зовнішніми процесами:

- відбиттям сонячного випромінювання від поверхні СП;
- проходженням частини фотонів сонячного випромінювання через СП без поглинання в ньому;
- затінення частини поглинаючої поверхні металевими контактами;
- наявністю внутрішнього опору СП та опором її контактів;
- невідповідністю енергії фотонів робочому енергетичному інтервалу ФЕП даної СП.

1.3 Сонячні електростанції

Сонячні електростанції являють собою один або кілька генеруючих модулів та масивів, складених із окремих СП (рис.1.4). Модульна конструкція спрощує налаштування сонячних електростанцій і дозволяє використовувати їх у різних конструкційних виконаннях.

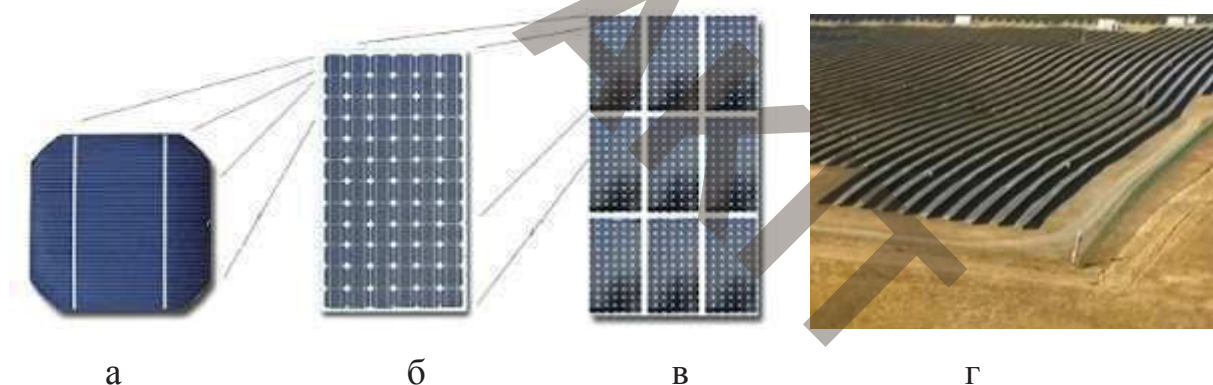


Рисунок 1.4 – Сонячний ФЕП (а), СП (б), сонячний модуль (в) та масив (г)

Всі сонячні енергетичні системи умовно можна поділити на кілька великих груп:

- спеціально збудовані електростанції із великою потужністю, більшою 50 кВт;
- малі електростанції комерційного призначення із потужністю до 50 кВт;

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

- автономні малі енергетичні системи для окремих будівель та домогосподарств із потужністю до 10 кВт;
- електростанції невеликої потужності до 50 кВт комплексного використання – для автономного живлення домогосподарства та для продажу енергопостачаючим організаціям;
- малі стаціонарні електростанції періодичного використання (наприклад, дача) з потужністю до 1 кВт;
- мобільні міні електростанції потужністю до 200 Вт для використання в авто туризмі, польових умовах та інше;
- переносні мікро електростанції потужністю до 10 Вт для підзаряджання різних гаджетів у туризмі, на відпочинку тощо.

Системи першого типу, як правило, розміщуються на спеціально відведених для цього земельних ділянках і займають велику площу. Для них оптимальним є періодичне сезонне ручне переорієнтування СП.

Малі комерційні системи можуть розміщуватися як на невеликих ділянках землі, так і на дахах великих будівель. Для таких систем можуть застосовуватись як сезонний ручний так і трекерний методи підвищення ефективності СП [3].

Найімовірнішими ж місцями розміщення сонячних генеруючих елементів для стаціонарної автономної малої енергетики є переважно нерухомі тяжко доступні конструкції індивідуальних будівель (дах, вікна, напівпрозорі перекриття тощо). Для них, у більшості випадків, ручна зміна кутового орієнтування СП утруднена і оптимальним є застосування різних автоматичних трекерних пристроїв для підвищення їх ефективності.

Готова сонячна електростанція включає в себе повний комплект пристроїв, необхідних для її успішної експлуатації. Основними із них є акумулятори, сонячні панелі, контролер, інвертор, перетворювачі постійного струму, деталі кріплення та інші витратні матеріали.

Крім СП, одним з найдорожчих елементів автономної сонячної електростанції є акумуляторна батарея. До її вибору слід віднести з особливою відповідальністю.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Акумулятори – це хімічні джерела струму. Вони накопичують електричну енергію під час своєї зарядки. Даний процес відбувається тоді, коли до акумулятора прикладено електричний потенціал, який більший від ЕРС акумулятора. Таким чином, генеруючий модуль сонячної електростанції має мати таку конструкцію, щоб його робоча напруга перевищувала ЕРС акумуляторної батареї (з урахуванням падіння напруги на проміжних компонентах), а сумарний струм генеруючого модуля забезпечував необхідну величину зарядного струму. Наприклад, для зарядки свинцевої акумуляторної батареї з ЕРС 12 В необхідно мати генеруючий модуль із СП, який на виході видає постійний електричний струм з напругою більше 14 В та силою струму від кількох ампер до десятка ампер.

На сьогодні існує багато різних видів акумуляторних батарей. Кожен із цих видів розрахований на певне використання. У цьому відношенні для автономних електростанцій не підходять акумулятори, які не передбачені для роботи в режимах з глибокою розрядкою. Тому оптимальним є використання акумуляторів глибокого циклу, які надійно працюють як при регулярних часткових розрядах, так і при повільному глибокому розряджанні.

Найбільш ефективним у ресурсозберігаючій енергетиці на сьогодні є використання літєвих, гелієвих і спеціальних свинцевих акумуляторних батарей, які виготовлені за AGM-технологією. Таким батареям не потрібні спеціальні умови для встановлення та експлуатації і вони не потребують постійного обслуговування. Паспортний термін служби таких батарей лежить в межах від 10 років до 12 років. При цьому допускається глибина розряду до 20% від номінальної ємності. Увага! Такі акумуляторні батареї ніколи не повинні розряджатися нижче цього значення, інакше їх термін служби різко скорочується! Важливо також пам'ятати, що чим частіше трапляються глибокі цикли розряду, тим швидше зменшується термін експлуатації акумулятора.

При малій потужності генерованого модулем струму акумуляторна батарея віддає електричну енергію споживачам і її заряд зменшується. Тобто, накопичувальні буферні акумуляторні батареї постійно працюють у режимі

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

розряд-підзаряд. Ці процеси мають свої оптимальні режими протікання. Для забезпечення такої оптимальності застосовують спеціальні електронні пристрої, які називають контролерами заряду та розряду.

Контролери виконують цілий спектр функцій. Основними із них є:

- контроль ступеня зарядженості батареї;
- відключення батареї від заряджання при досягненні номінального заряду;
- підключення батареї при необхідності до заряджання;
- підтримання необхідної сили струму заряджання на різних етапах процесу зарядки;
- підтримання оптимальної напруги на батареї під час всього процесу заряджання;
- переключення на різні режими заряджання при різних рівнях розрядки акумуляторної батареї;
- відключення батареї від споживачів при досягненні максимально допустимого ступеня розряду;
- переключення генеруючого модуля на баластне навантаження, якщо вироблена енергія не споживається споживачами і не потрібна для подальшого заряджання акумулятора (у якості такого навантаження може бути бойлер гарячого водопостачання домогосподарства);
- підтримання положення точки передачі максимальної потужності від СП;
- моніторинг параметрів генерованого та споживаного електричного струму;
- виконання різних сервісних та інформаційних функцій.

Як видно із наведеного переліку, на контролер покладається дуже багато функцій. Зрозуміло, що пристрої, які виконують усі наведені операції в комплексі, досить дорогі. Тому на ринку присутні багато моделей дешевих контролерів, які виконують лише кілька із перерахованих вище функцій. Тому вибір того або іншого контролера покладається на господаря автономної електростанції. Однак, для досягнення максимальної ефективності використання генерованої електроенергії, слід вибирати контролер, який виконує більшість із важливих операцій.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Увесь наявний спектр широкого вибору контролерів на ринку можна розділити на три основні групи:

- контролери типу ON/OFF;
- ШІМ-контролери (PWM-controllers – pulse-width modulation);
- ТМП-контролери (або контролери із слідкуванням за точкою максимальної потужності – (MPPT-controllers — Maximum power point tracker).

Контролери першого типу не використовуються для стаціонарних автономних електростанцій. Їхня сфера використання – це малопотужні мобільні пристрої підзарядки різних акумуляторних батарей потужністю до 1 кВт.

Таким чином, для автономних електростанцій домогосподарств оптимальним є використання лише ШІМ-контролерів або ТМП-контролерів.

Для більш ефективного використання генерованої потужності при малих рівнях освітлення доцільно ввести до складу автономної електростанції й перетворювач постійного струму. Він дозволяє передавати електричну енергію малої потужності від СП до споживачів при тих умовах, при яких контролер не може забезпечити своє функціонування.

Для можливості підключення до автономної електростанції споживачів змінного струму вводять модуль інвертора.

Автоматизацію процесу функціонування автономної електростанції має забезпечити її система керування.

Висновок. Для розв'язання поставленої в завданні до бакалаврської роботи задачі, необхідно провести достовірний аналіз необхідної потужності автономного сонячного модуля, яка забезпечуватиме електричною енергією всіх споживачів домогосподарства. При такому аналізі слід врахувати реальні середні метеорологічні дані щодо інтенсивності сонячного випромінювання, яке потрапляє на земну поверхню. Виходячи з отриманого результату можна підібрати інші функціональні модулі електростанції, розробити її функціональну та принципову електричну схеми, спроектувати основні вузли та деталі. Для автоматизації роботи автономної електростанції на стадії дипломного

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

проектування доцільно використати готовий модуль мікроконтролера найпростішої серії, наприклад, типу ATMEGA328, або серійний промисловий контролер. На розроблену систему керування доцільно покласти забезпечення максимального перетворення сонячної енергії в електричну, контроль за параметрами функціонування електростанції та ведення бази даних щодо отримання електричної енергії протягом різних періодів часу (година, день, місяць, рік).

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

2 ОЦІНКА МІНІМАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОДОБОВОЇ ГЕНЕРОВАНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СТАНДАРТНОЮ ПАНЕЛЛЮ В УМОВАХ МІСТА УЖГОРОДА

При встановленні автономної сонячної електростанції потрібно врахувати велику кількість різноманітних факторів: фінансові витрати, середньодобову інсоляцію, місце та спосіб встановлення, кути нахилу СП та ін. У результаті аналізу всіх важливих параметрів потрібно розробити проект, який забезпечить найкращі умови для експлуатації даної системи та отримання максимальної генерованої потужності.

Особливістю автономних сонячних електростанцій полягає в тому, що вони мають безперервно забезпечувати енергетичні потреби відповідного домогосподарства протягом року. Визначальним параметром тут виступає середня добова сонячна інсоляція протягом зимових місяців, оскільки в цей період тривалість дня мінімальна, а погода в умовах міста Ужгорода переважно хмарна і дощова. Але і в цих найгірших умовах сонячна електростанція має забезпечувати безперебійне живлення електроенергією всього домогосподарства.

Першим кроком такого аналізу має бути розрахунок об'єму середньодобового вироблення електроенергії стандартною СП. Основою таких розрахунків є середньодобова інсоляція у місці встановлення електростанції. Для розрахунків скористаємось метеорологічними даними для міста Ужгорода за 2022 та 2023 роки [4]. Вони показують, що найбільш хмарними в цей період є місяці грудень та січень, для яких статистичні дані наведені на рис.2.1 та 2.2.

Для спрощення своїх розрахунків ми аналізували дані лише для світлового періоду доби. При цьому були визначені такі три основні типи днів щодо умов хмарності та опадів:

- переважно сонячний день;
- наполовину сонячний день, а наполовину хмарний;
- переважно хмарний день;
- день переважно з опадами.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Результати проведеного нами аналізу наведено в таблиці 2.1.

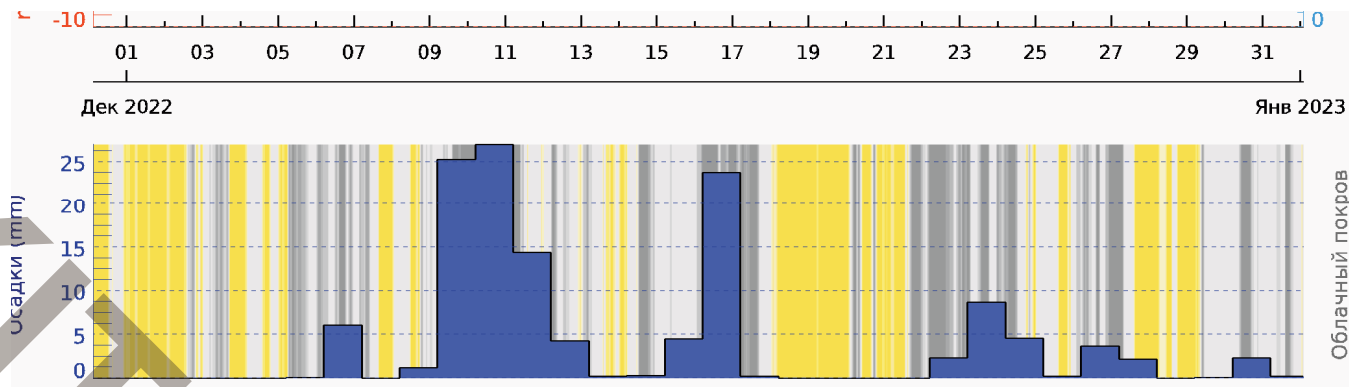


Рисунок 2.1 – Статистичні дані щодо хмарності та опадів протягом грудня 2022 року[4]

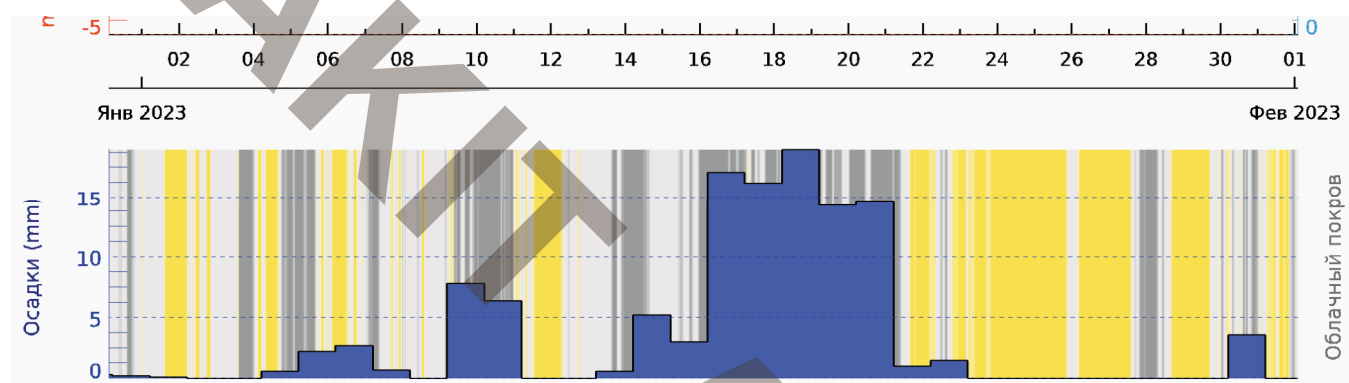


Рисунок 2.2 – Статистичні дані щодо хмарності та опадів протягом січня 2022 року[4]

Таблиця 2.1 – Результати спрощеного аналізу статистики різних погодніх умов у місті Ужгороді за грудень 2022 року та січень 2023 року

Погодні умови	Кількість днів у грудні 2022 року	Кількість днів у січні 2023 року
Сонячно	8	10
Сонячно-хмарно	4	10
Хмарно	15	5
Дощ	4	6

Підсумовуючи отримані результати можна зробити висновок, що протягом досліджуваного періоду тривалістю 62 дні 30% днів були сонячні, 22% – сонячно-хмарні, 32% – хмарні, 16% – дощові.

Для подальших розрахунків приймемо результати досліджень [5], згідно з якими, по відношенню до проектної потужності при сонячній погоді, під час хмарних днів сонячна електростанція генерує біля 25% енергії, під час сонячно-хмарних днів – біля 50% енергії, а під час дощових днів – практично не генерує енергію на вихід.

Приймемо до уваги також загальні кількісні дані щодо параметрів експлуатації окремих стандартних СП [6]:

- проектна потужність P : 280 Вт;
- спосіб встановлення: стаціонарний;
- кут нахилу: оптимальний для зимнього періоду;
- середня температура зовнішнього середовища: $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- середня тривалість світлового дня в аналізованій період: 8 год;
- середньоденна максимальна генерована потужність: 50% від проектної.

Проведемо кінцеві розрахунки для однієї СП.

1. Технічні параметри СП приводять для температури оточуючого середовища 25°C . Підвищення цієї температури істотно знижує ефективність виробництва електричної енергії. При цьому напруга і потужність генерованого струму зменшуються, а сила струму підвищується. У результаті в жарку погоду ККД СБ замість проектних 16 % буде мати 14 %. Зимом ж навпаки ККД буде підвищуватись і досягати величини до 19 %. Використаємо просту закономірність, що зі зміною температури на $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ генерована потужність сонячною електростанцією змінюється приблизно на 0,41%. Тоді для зимового періоду проектна потужність СП збільшиться на

$$P \cdot 0,0041 \cdot 25 = 28 \text{ Вт}$$

і становитиме приблизно 305 Вт.

2. Кількість середньоденної генерованої електричної енергії при сонячному дні

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$W_s = 0,5 \cdot (305 \text{ Вт}) \cdot (8 \text{ год}) \approx 1,2 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

3. Середньоденна генерована електроенергія однією СП за весь аналізований період

$$W = (18 \cdot 1,2 + 14 \cdot 1,2 \cdot 0,5 + 20 \cdot 1,2 \cdot 0,25) / 62 = (21,6 + 8,4 + 6) / 62 \approx 0,6 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Висновок до розділу 2. Протягом грудня та січня місяця в умовах міста Ужгорода одна стандартна СП проектною потужністю 280 Вт кожного дня у середньому може виробляти лише приблизно 0,6 кВт·год електричної енергії.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

3 АНАЛІЗ СЕРЕДНЬОДОБОВИХ ВИТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТИПОВИМ ДОМОГОСПОДАРСТВОМ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ

Розглянемо перелік основних споживачів електричної енергії типового домогосподарства та визначимо, яку кількість електроенергії споживає у середньому кожен тип споживачів. При цьому не будемо враховувати прилади обігріву приміщень та основні прилади приготування їжі – будемо вважати що ці прилади забезпечуються іншим джерелом енергії, наприклад, газом чи твердим паливом.

Для розрахунків скористаємось паспортними даними більшості аналізованих споживачів (табл.3.1).

Таблиця 3.1 – Розрахунок середньодобового споживання електроенергії типовим домогосподарством у зимовий період

Споживачі	Середньодобове споживання, кВт·год
Холодильник 2-х камерний, 2-х компресорний	0,9 (300 Вт на 3 год)
Чайник електричний	0,45 (1500 Вт на 0,3 год)
Мікрохвильова піч	0,45 (1500 Вт на 0,3 год)
Автоматика та циркуляційні насоси системи опалення	0,30 (50 Вт на 6 год)
Освітлення – зональне із 10 світлодіодних ламп потужністю по 10 Вт	0,40 (10 Вт на 4 год)
Гаджети	0,2
Телевізор із антенним обладнанням	0,50 (100 Вт на 5 год)
Інші не враховані витрати	0,3
Загальне середнє споживання енергії на добу	3,4

Таким чином, загальне споживання енергії взимку на одну середню добу для типового домогосподарства становить біля 3,5 кВт·год.

Серед загального споживання електроенергії нам необхідно виділити «нічний» енергетичний ресурс, джерелом якого є акумуляторна батарея. Для цього визначимо споживання різних приладів домогосподарства саме в інтервал часу, коли СП перестають генерувати електроенергію. Результати такого аналізу наведено в табл.3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок середньодобового споживання електроенергії типовим домогосподарством у зимовий період від акумуляторної батареї

Споживачі	Середньодобове споживання, кВт·год
Холодильник 2-х камерний, 2-х компресорний	0,6 (320 Вт на 2 год)
Чайник електричний	0,30 (1500 Вт на 0,2 год)
Мікрохвильова піч	0,30 (1500 Вт на 0,2 год)
Автоматика та циркуляційні насоси системи опалення	0,2 (40 Вт на 5 год)
Освітлення – зональне із 10 світлодіодних ламп потужністю по 10 Вт	0,40 (10 Вт на 4 год)
Гаджети	0,2
Телевізор із антенним обладнанням	0,50 (100 Вт на 5 год)
Інші не враховані витрати	0,2
Загальне середнє споживання енергії на добу	2,5

Отримані результати показують, що у «нічний» час протягом однієї доби за рахунок акумуляторних батарей мають житися споживачі із використанням біля 2,5 кВт·год електроенергії.

При подальших розрахунках врахуємо, що СП мають генерувати трохи більшу енергію, ніж розраховано в табл.3.1 та 3.2. Це зумовлено втратами електроенергії при зарядці акумулятора та при роботі інвертора. У сумі ці витрати для потужних систем складають від 5 % до 10 % від загального об'єму споживання енергії. Візьмемо такі втрати максимальними. У такому разі за одну середню зимову добу автономна електростанція має генерувати $1,1 \cdot 3,5$ кВт·год $\approx 4,0$ кВт·год електроенергії. Відповідно, «нічні» витрати енергії акумулятором приймемо рівними $1,1 \cdot 2,5$ кВт·год $\approx 2,8$ кВт·год.

Висновок до розділу 3. Проведений аналіз та розрахунки показують, що для типового господарства в зимовий період сонячна електростанція має генерувати протягом доби у середньому біля 4,0 кВт·год електроенергії. При цьому акумуляторна батарея має мати добовий запас електроенергії, не менше 2,8 кВт·год.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

При розробці структурної схеми врахуємо основні особливості експлуатації автономних сонячних електростанцій:

- вони мають забезпечувати максимальний відбір генерованої СП енергії, тобто працювати навіть при мінімальних рівнях інтенсивності сонячного випромінювання біля 100 Вт/м^2 ;

- у склад системи має входити хороший контролер з максимальним ККД для забезпечення оптимальних режимів заряджання та розрядки акумулятора;

- автономність та автоматичний режим функціонування мають забезпечуватися спеціальним модулем керування.

Виходячи із окреслених базових вимог, пропонуємо базову структурну схему автоматичної автономної сонячної електростанції, яка наведена в додатку А.

Зрозуміло, що основою електростанції є окремий силовий генеруючий модуль із СП. Вироблена енергія таким модулем має досить широку варіацію своїх параметрів. Тому використовувати таку електроенергію напряму споживачі не зможуть. Відповідно, живлення споживачів має відбуватися через буферний енергетичний резервуар, у якості якого беремо акумуляторну батарею.

Відповідно, для оптимального узгодження модуля СП та системи акумулятор-споживачі застосуємо спеціалізований контролер. Вимога максимальної ефективності використання генерованої енергії може бути забезпечена лише застосуванням ТМП-контролера (контролер із слідкуванням за точкою максимальної потужності).

Оскільки відбір електроенергії від даного модуля має відбуватися і в режимах мінімальних рівнів освітлення СП, то у таких режимах між генеруючим модулем та контролером слід додатково ввести перетворювач постійного струму. Основна його функція полягатиме у перетворенні генерованої силовим модулем електроенергії малої потужності в енергію з параметрами, достатніми для безперебійного функціонування контролера.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Перетворювачі постійного струму переважно працюють у режимі підвищення та стабілізації свого вихідного струму чи напруги при поступленні на вхід слабкого електричного струму від модуля СП. Для сонячних електростанцій досить високої потужності функції перетворювача може одночасно виконувати сам контролер.

Автоматичну, взаємоузгоджену і оптимальну роботу між собою модуля СП, перетворювача постійного струму, контролера та акумулятора буде забезпечувати система керування. Вона планується проектуватися у вигляді окремих інформаційних блоків I1, I2, I3 та I4, кожен із яких буде вимірювати і контролювати параметри енергетичних потоків у різних енергетичних лініях та каналах електростанції. Всю обробку поступаючих від інформаційних модулів даних та виконання необхідних логічних операцій з керування електростанцією покладаємо на спеціалізований модуль промислового контролера (MCU).

Відбір всієї енергії сонячної електростанції споживачами відбувається через буферну акумуляторну батарею. Для живлення споживачів передбачимо дві незалежні енергетичні лінії: лінія постійного струму та лінія стандартної мережі змінного струму 220 В.

Перша лінія споживачів отримує електричну енергію безпосередньо із акумуляторної батареї. При цьому, якщо параметри напруги живлення певних споживачів не відповідають величині ЕРС акумуляторної батареї, то в цій лінії передбачено застосування автономних перетворювачів постійного струму, зокрема, приладів типу 12 В на 5 В (24 В на 5 В або 48 В на 5 В), які є найбільш поширеними на сьогодні для живлення різних гаджетів).

Друга лінія стандартної мережі 220 В основним компонентом має спеціалізований інвертор чистої синусоїди частотою 50 Гц. Даний компонент має мати достатню вихідну потужність для тривалого забезпечення необхідною енергією всіх споживачів домогосподарства, які працюють на стандартному змінному струмі.

Виходячи із отриманої структурної схеми, на систему керування можна покласти і ряд додаткових функцій:

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

- контроль параметрів електричної енергії по обох лініях живлення споживачів;
- контроль нештатних та аварійних ситуацій в основних компонентах структурної схеми та в її енергетичних каналах;
- моніторинг параметрів генерованої електричної енергії;
- інформування власника автономної електростанції про відхилення від її штатної роботи;
- інші основні або сервісні функції.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

5 ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

5.1 Сонячні панелі

За основу генеруючого модуля візьмемо монокристалічні кремнієві СП, які на сьогодні серед комерційних продуктів мають найвищий ККД та найбільшу довговічність. Хорошими експлуатаційними властивостями наділені СП фірми LongiSolar марки LR5-72HPH 535WMONO [7]. Їхні основні параметри та характеристики наведені в табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Паспортні дані СП LongiSolar LR5-72HPH 535W [7]

Параметр	Значення параметра
Тип	LR5-72HPH
Модель	LR5-72HPH 535W
Ефективність (середній ККД)	20 %
Ефективність (середній ККД) ФЕП	21 %
Максимальна проектна потужність	530 Вт
Максимальна проектна напруга	Біля 42 В
Максимальний проектний струм	13 А
Напруга холостого ходу	49 В
Струм короткого замикання	Біля 14 А
Температурний коефіцієнт потужності	-0,36 %
Діапазон робочих температур	Від -40 °С до +80 °С
Кількість ФЕП	144
Розміри	2256 мм x 1133 мм x 35 мм
Вага	Біля 27,2 кг
Вартість(оптова)	Менше 200 Євро

Сонячні панелі LR5-72HPH 535W є генеруючими модулями спліт-типу, тобто складаються з двох частин (верхньої та нижньої). У основі модуля покладено окремі кремнієві монокристалічні фотоелектричні перетворювачі, поверх яких нанесено дев'ять струмопровідних шин за технологією 9BB. Задня поверхня фотоелементів покрита діелектриком, а контакт із основою всієї конструкції – пластиковим металізованим листом – відбувається через мікроотвори за технологією PERC. З лицьового боку кремнієві пластини покриті прозорим загартованим склом. Всю конструкцію обрамляє алюмінієвий, стійкий до атмосферних впливів профіль.

Особливостями вибраних СП є гарантійний термін збереження основних параметрів та характеристик протягом 25 років. При цьому після закінчення вказаного терміну рівень потужності СП зменшується не більше ніж на 15 % і залишається на рівні 440 Вт. При виробництві модулів використовується нова технологія пайки провідників, яка зменшує відстань між фотоелементами та дозволяє максимально використовувати всю площу. Крім того, дані модулі мають низький температурний коефіцієнт та рекордні параметри генерації електричної енергії при низькій інтенсивності падаючого світлового випромінювання. Звертає на себе увагу і значне снігове та вітрове навантаження до 5400 Па, яке здатна витримати рама СП.

Розрахуємо кількість N СП LR5-72HPH 535W, які необхідно увести у склад генеруючого модуля автономної електростанції. Для цього розділимо середньодобову потребу домогосподарства в електроенергії, рівню 4,0 кВт·год, на середньодобову продуктивність однієї вибраної СП. При цьому також врахуємо, що аналіз впливу погодних умов ми проводили для СП проектною потужністю 280 Вт, а вибрані панелі мають таку потужність на рівні 530 Вт. Тоді отримаємо:

$$N = (4,0 \text{ кВт} \cdot \text{год}) / (0,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}) \cdot (280 \text{ Вт}) / (530 \text{ Вт}) \approx 4.$$

Заокруглення кількості СП при розрахунках проводилося у сторону більшої величини.

Таким чином, для забезпечення електроенергією домогосподарства автономна електростанція має мати не менше 4 СП, які будуть працювати кожен

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

день. Однак, у наведених вище розрахунках було використано досить грубе наближення – всі зимові дні мають середні погодні умови, при яких відбувається генерація електроенергії. У реальності ж протягом зими буває кілька періодів з опадами кілька днів, для яких генерація практично відсутня.

Якщо сонячна електростанція працює в умовах туману, хмарності або ж Сонце знаходиться низько над горизонтом, то вона виробляє лише частку своєї продуктивності. Аналіз показує, що при невеликій хмарності вона може видавати до 80% максимальної потужності, а в похмуру погоду – лише до 30% (рис. 1.7). При зниженні освітленості до певної межі електростанція припиняє виробництво електричної енергії. Для кремнієвих кристалічних модулів це біля 150 Вт/м², а для аморфних – близько 100 Вт/м².

Для врахування у наших проектних розрахунках даної ситуації можливі кілька основних технічних рішень:

- збільшення кількості СП електростанції в кілька разів;
- введення в систему електроживлення додаткового генеруючого джерела, наприклад, дизель генератора;
- з'єднання автономної електростанції з мережею змінного струму 220 В.

Останнє рішення суперечить одній із вимог завдання на нашу кваліфікаційну роботу – повна автономність. Якщо ставиться питання проводити кабельну лінію 220 В, то тут оптимальним рішенням буде не автономна сонячна електростанція, а комбінована. Крім того, вартість проекту кабельної лінії може бути значно вища від вартості самої автономної електростанції.

Виходячи із вказаного, ми зупиняємося у своєму проекті на поєднанні двох перших варіантів технічних рішень: збільшення кількості СП удвічі та введення в систему живлення домогосподарства невеликого генератора на зрідженому газі. Таке рішення ґрунтується на вихідних умовах до проекту – готування їжі та гаряче водопостачання не входять у функції автономної електричної мережі. Тому тут найбільш доцільно використати газову плиту та водонагрівач на бало́нах із зрідженим газом. Відповідно, такі балони кілька разів у зимній період можуть

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

живити і додатковий генератор. Використання генератора може бути корисним і при появі певних неполадок у роботі автономної електростанції.

Таким чином, у якості генеруючого модуля автономної електростанції вибираємо масив із восьми СП LR5-72HPH 535W. Такий модуль забезпечує виконання умов завдання на кваліфікаційну роботу протягом переважаючої більшості днів року. При такому рішенні генерований обсяг електроенергії буде недостатнім лише протягом біля 15 днів із 365. У такі дні додатково буде підключатися генератор на зрідженому газі.

Відмітимо, що сам генератор ми не вводимо до складу нашої автономної автоматичної електростанції, оскільки це виходить за межі виконуваного проекту. Така система може стати предметом окремої технічної розробки. Однак при виборі комплектуючих електростанції ми будемо надати перевагу тим компонентам, які дозволяють просте підключення до системи зовнішнього генератора змінного струму.

На закінчення доцільно вибрати спосіб електричного з'єднання окремих СП в єдиний генеруючий модуль. Для зменшення сили струму у провідниках доцільно забезпечити достатньо високу вихідну напругу генеруючого модуля. Тому застосуємо послідовне з'єднання двох СП в один електричний ланцюг, що дасть нам вихідну робочу напругу модуля біля 80 В. Маючи в розпорядженні 8 СП, ми можемо конструктивно створити чотири таких ланцюгів і з'єднати їх паралельно.

Сумуючи результати аналізу даного розділу, можемо констатувати основні проектні параметри генеруючого модуля автономної сонячної електростанції у табл 5.2.

Таблиця 5.2 – Проектні параметри генеруючого модуля електростанції

Параметр	Значення параметра
Тип СП	LR5-72HPH
Тип орієнтації	Оптимальна з періодичною сезонною переорієнтацією

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Продовження таблиці 5.2

Параметр	Значення параметра
Кількість СП	8
Ефективність (середній ККД)	20 %
Максимальна проектна потужність	4,3 кВт
Проектна пікова вихідна напруга	Біля 85 В
Проектний піковий вихідний струм	Біля 50 А
Площа модуля	Біля 25 м ²
Загальна вага	Біля 230 кг
Ціна	Біля 1600 Євро

5.2 Аналіз вибору акумуляторної батареї

Враховуючи всі наведені вище обставини, необхідно зупинити свій вибір на акумуляторній батареї глибокого циклу розряду із терміном експлуатації не менше 10 років. При цьому врахуємо рекомендації [8] застосовувати для автономних електростанцій невеликої потужності стандарт напруги постійного струму 48 В або 72 В. Оскільки робоча напруга однієї СП біля 42 В, то вона не зможе забезпечити оптимальне функціонування контролера електростанції. Послідовне з'єднання двох таких СП дає нам робочу напругу біля 84 В. Така величина напруги не задовольняє оптимальні режими контролера щодо заряджання акумуляторних батарей з напругою живлення 72 В. Таким чином, ми зупиняємо свій вибір на акумуляторній батареї із робочою напругою 48 В. Для ефективного заряджання такої батареї необхідно застосовувати напруги приблизно на 25 % більші за робочу. Даній умові відповідає максимальна напруга зарядки біля 70 В. Така напруга може бути просто отримана від нашого генеруючого модуля із робочою вихідною напругою до 85 В.

Згідно з розрахунками другого розділу, акумуляторна батарея має мати середньодобовий запас електричної енергії біля 2,8 кВт·год. При циклах розряджання до 20 % даному запасу відповідає електрична ємність батареї біля $2,8/0,8 \approx 3,5$ кВт·год. Для врахування днів із поганою погодою, коли

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

акумуляторна батарея не буде практично заряджатися протягом всієї доби, візьмемо подвійний запас ємності енергії акумуляторів – біля 7,0 кВт·год.

Для обґрунтованих параметрів легко розрахувати необхідну для автономної електростанції стандартну ємність акумуляторної батареї:

$$W_A = (7,0 \text{ кВт} \cdot \text{год}) / (48 \text{ В}) \approx 150 \text{ А} \cdot \text{год}.$$

Таким чином, умовам автономної роботи сонячної електростанції для нашого домогосподарства відповідає акумуляторна батарея ємністю 150 А·год із робочою напругою 48 В. Оптимальною конструкцією такої акумуляторної батареї є набір універсальних літій-залізо-фосфатних акумуляторів. Оскільки такі акумулятори мають досить велику вагу, то для полегшення монтажу і експлуатації акумуляторної батареї змонтуємо останню у вигляді двох автономних акумуляторів із робочою напругою 24 В. Основні експлуатаційні параметри таких акумуляторних приладів наведено в табл. 5.3 [9].

Таблиця 5.3 – Експлуатаційні параметри акумуляторів Challenger LF24-150T

Параметр	Значення параметра
Тип	Challenger LF24-150T
Максимальний вихідний струм (до 30 с)	150 А
Максимальний струм заряду	60 А
Робочий струм заряду	30 А
Робоча напруга	24 В
Напруга повного заряду	Біля 30 В
Середня кількість робочих циклів	3000
Втрата ємності після 3000 робочих циклів	Біля 20 %
Температура зовнішнього середовища	Від -20 ° до + 40 °
Загальна вага	Біля 42 кг
Вартість	Біля 1500 Євро

Літій-залізо-фосфатний акумулятор Challenger LF24-150T – це батарея нового покоління літєвих акумуляторів на літій-залізо-фосфатній основі. Такі акумулятори мають значно більшу щільність енергії на одиницю маси, ніж

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ

Арк.

38

свинцево кислотні. Водночас, вони більш стабільні та безпечні у використанні, ніж Li-ion батареї. Суттєвою перевагою є і термін їх служби – у середньому біля 10 років.

Повний життєвий цикл літій залізо-фосфатних батарей досягає до 8000 циклів із зниження їх ємності приблизно до 50% від початкової. Крім того, із-за відсутності ефекту пам'яті, такі акумуляторні батареї дозволяють в окремих випадках проводити і практично 100% розрядку. Позитивною їхньою рисою є також швидка швидкість заряджання та розряджання на споживача.

Для аналізованих батарей характерний і низький саморозряд (біля 3% на місяць), висока щільність енергії, відносно невеликі розміри і вага. Вони чудово працюють як при високих, так і при низьких температурах.

Заряджання літій залізо-фосфатних батарей відбувається постійним струмом. Однак для цього не обов'язково використовувати дорогі інтелектуальні зарядні пристрої. Достатньо скористатися звичайним пристроєм, який керує струмом заряджання.

5.3 Контролер заряду акумуляторної батареї

Згідно з проведеними розрахунками в попередніх підрозділах, нам слід застосувати в автономній електростанції контролер заряду акумуляторної батареї на робочу напругу 48 В із максимальним струмом 60 А. Відповідно, нам слід підібрати контролер заряду акумуляторів від СП з робочою напругою системи 85 В та максимальним струмом 50 А. Враховуючи необхідність відбору від СП максимальної потужності в окремі дні з поганою погодою, доцільно вибрати саме MPPT-контролер (див. розділ 1).

Такі сучасні прилади мають ряд позитивних рис:

- керування за рахунок вбудованого високопродуктивного інтегрального контролера DSP;
- висока швидкість знаходження точки максимальної потужності, яка у кілька разів вища, ніж у традиційних контролерів;

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

- можливість автоматичного визначення стандартної робочої напруги батареї (24 В, 48 В, або 72 В);
- наявність надійного захисту від підвищеного вихідного струму, перенавантаження та перегріву;
- заздалегідь проінстальовані програми проведення процесу заряду для свинцево-кислотних, вентильованих гелевих та літієвих акумуляторів;
- при необхідності легко можна встановити параметри заряду акумуляторів у ручному режимі.

Алгоритм керування процесом зарядки таких контролерів передбачає проведення 3 стадій зарядки для досягнення оптимальної роботи акумулятора та їх тривалої експлуатації.

Серед сервісів контролера, доступних оператору, слід відзначити:

- зручне налаштування інтерфейсу через вбудований дисплей;
- наявність керування системою освітлення дисплея з таймерами;
- доступне гнучке ручне налаштування більшості параметрів контролера та процесу зарядки акумулятора;
- можливість підключення контролера до ПК для моніторингу роботи сонячної електростанції та налаштування режимів;

У процесі пошуку контролера, який відповідає нашим умовам проектування, ми виявили нову розробку для сонячних електростанцій – комплексні інтегральні прилади, які поєднують в одному корпусі електронні модулі як контролера, так і інвертора. Серед таких комерційних виробів для вирішення нашої задачі оптимальним варіантом є модель Conext SW 4048 120/240.

На рис.5.1 наведено зовнішній вигляд вибраного приладу, а в таблиці 5.4 – його основні загальні параметри. У свою чергу, у табл. 5.5 наведено основні параметри контролерного модуля даного приладу, які характеризують його електричні з'єднання як із сонячною електростанцією, так і з акумуляторною батареєю та інвертором.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



Рисунок 5.1 – Зовнішній вигляд контролер-інверторів серії Conext SW [10]

Таблиця 5.4 – Загальні експлуатаційні параметри приладів серії Conext SW [10]

Параметр	Значення параметра
Тип	Conext SW 4048 120/240
Стандарт та сертифікація	UL 1741, CSA C22.2 No 107.1
Температура зовнішнього середовища	Від -20 °C до + 60 °C
Вологість	Менше 95 %, без конденсації
Умови експлуатації	Закрите приміщення
Тип монтажу	Настінний
Габаритні розміри: висота, ширина, глибина	387 мм, 343 мм, 197 мм
Клас електричного захисту	IP20
Загальна вага	Біля 31кг
Вартість	Біля 2500 Євро

Таблиця 5.5 – Експлуатаційні параметри контролерного модуля приладу Conext SW 4048 120/240 [10]

Параметр	Значення параметра
Максимальний вихідний струм	110 А
Діапазон вхідної напруги на СП для забезпечення заряду акумуляторів	Від 40 В до 70 В
Точність контролю напруги заряду акумуляторів	$\pm 0,2$ В
Максимальна потужність СП	4,8 кВт
Температура в корпусі для включення вентилятора	Більше + 45 °С
Температура в корпусі для виключення вентилятора	Менше + 40 °С
Температура включення теплового захисту	Більше +75 °С
ККД	Біля 92 %
Вихідний струм спрацювання захисту	Більше 110 А
Напруга захисту від перезаряджання	62 В
Напруга відключення акумулятора від споживачів	42 В
Діапазон напруги для автоматичного визначення типу акумулятора	Від 20 В до 60 В
Клас електричного захисту	IP21

Відповідно до алгоритму функціонування контролера виконуються такі основні операції:

- вимірювання часу з початку зарядки;
- вимірювання течучих напруги і струму на вході акумулятора;
- зміна величин струму і напруги заряду в залежності від виміряних течучих значень;

- повторення циклів розряд/заряд (при необхідності відновлення ємності акумулятора);
- заряд до 90% ємності акумулятора (при необхідності збільшення терміну служби).

Алгоритм визначення системою керування оптимальної робочої точки на ВАХ сонячної електростанції з максимальною потужністю полягає в постійному вимірюванні миттєвих значень сили вихідного струму і напруги електростанції та розрахунку її вихідної потужності. Після чого вхідні кола контролера регулюють вихідний струм і напругу електростанції таким чином, щоб її робоча точка на ВАХ зміщувалась у напрямку збільшення вихідної потужності.

5.4 Інверторний модуль контролер-інверторів серії Conext SW

Інверторний модуль вибраного нами комбінованого приладу Conext SW 4048 120/240 за вхідними та вихідними параметрами повністю задовольняє умови, поставлені перед нами для проектування, про що свідчать дані, наведені в табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Експлуатаційні параметри інверторного модуля приладу Conext SW 4048 120/240

Параметр	Значення параметра
Мережа змінного струму	Однофазна
Форма вихідної ЕРС	Чиста синусоїда
Частота вихідної ЕРС	50 Гц або 60 Гц (програмується)
Вихідна ЕРС	240 В
Вихідна потужність в неперервному режимі	3,4 кВт
Вихідна потужність в періодичному режимі	4,0 кВт протягом 30 хвилин
Імпульсна вихідна потужність	7,0 кВт протягом 5 с
Максимальний вихідний струм	40 А

Продовження таблиці 5.6

Параметр	Значення параметра
Діапазон вихідних напруг додаткового генератора (режим зарядки акумулятора)	Від 135 В до 240 В
Вихідний струм додаткового генератора (режим зарядки акумулятора)	Біля 13 А.
Час перемикання режимів	Біля 17 мс
ККД	Біля 92 %
Клас електричного захисту	IP21

При проектуванні електронної частини сонячної електростанції слід враховувати особливість функціонування контролера-інвертора. Вона полягає в тому, що якщо частина СП буде в тіні, то це негативно впливає на вироблення електричної енергії всіма генеруючими модулями, які підключені до даного контролера-інвертора. При цьому не лише падає ефективність роботи сонячної електростанції, а й страждають самі СП.

Якщо на одній з СП падає вироблення енергії, то контролер-інвертор підлаштовується під її струмові характеристики. Тобто, МРРТ модуль змінює параметри електричних кіл під не оптимальні режими роботи, завдяки чому втрати електричної енергії можуть бути досить суттєві. Практичний досвід показує, що дані втрати можуть перевищувати 40 %.

Таким чином до одного контролера-інвертора слід підключати лише однаково освітлені генеруючі блоки електростанції.

5.5 Комутаційні та конструктивні компоненти сонячної електростанції

Для монтажу всіх компонентів автономної сонячної електростанції в єдину функціонуючу систему необхідно також передбачити цілий ряд механічних конструкцій та зовнішніх комутуючих електричних кабелів. Для проектування даних елементів слід мати досить великий об'єм додаткової вихідної інформації:

- місце, розміри та особливості основи розміщення СП;

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

- тип приміщення для розміщення, акумуляторів, електронних модулів та системи керування;
- план сумісного розміщення СП та приміщення;
- наявність та тип мобільних систем комунікації;
- особливості та план розміщення додаткового генератора на зрідженому газі;
- інші конструкційні дані.

Оскільки в завданні на бакалаврську роботу ці дані не визначені, то повну проектну проробку автономної сонячної електростанції доцільно зробити окремою темою досліджень. Ми ж скористаємося лише практичними рекомендаціями [11], згідно з яким на комутаційні елементи витрачається біля 10 % вартості всіх основних компонентів електростанції. Тому в кінцевому розрахунку орієнтованої вартості автономної електростанції застосуємо лише цей показник.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

6 РОЗРОБКА СХЕМ ПРОЕКТОВАНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

6.1 Аналіз схеми енергетичних потоків

Враховуючи розроблену нами вище структурну схему автономної електростанції, вихідні дані для проектування та інструктивні рекомендації виробника (рис.6.1), проаналізуємо енергетичні лінії між різними компонентами системи та складемо на основі такого аналізу схему енергетичних потоків (див. додаток Б).

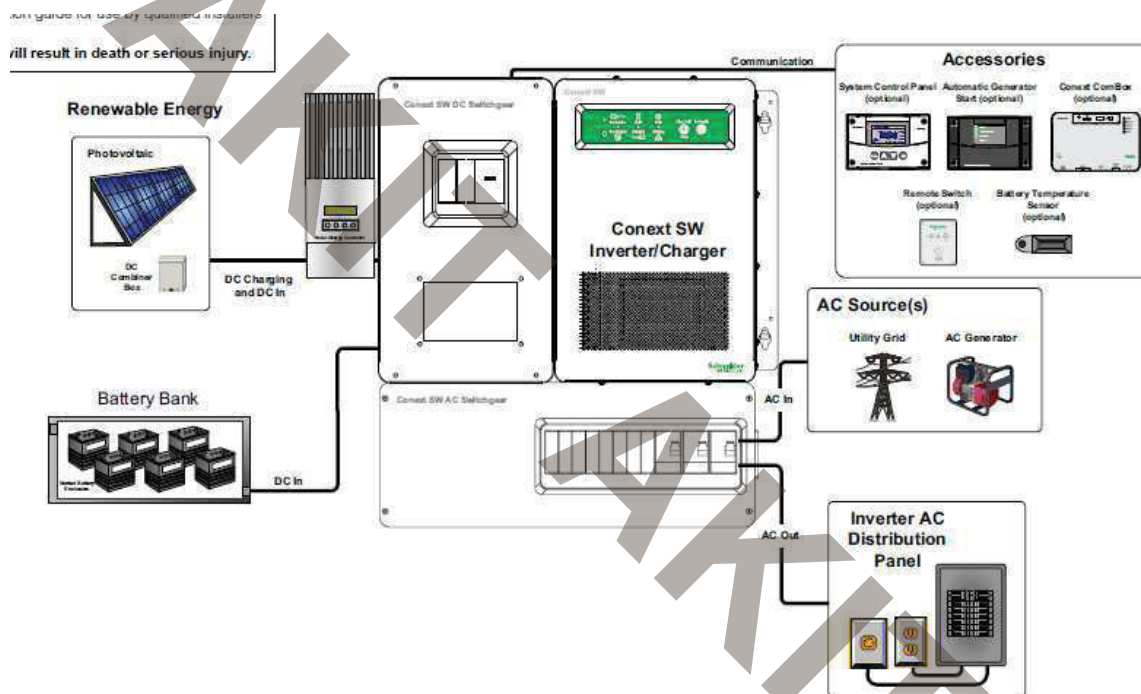


Рисунок 6.1 – Основні енергетичні потоки між компонентами автономної сонячної електростанції

Відповідно до наведеного графічного матеріалу, базовим джерелом електричної енергії є генеруючий модуль сонячних панелей. Робочим його режимам відповідає діапазон вихідних ЕРС від 50 В до 80 В та змінами вихідного струму від кількох ампер до максимального пікового значення 50 А.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Отриманим від СП енергетичним потоком керує контролер. У першу чергу він забезпечує електричною енергією роботу споживачів, Для цього він скеровує основний енергетичний потік в інвертор. Параметри цього потоку залежать від сумарної текучої величини споживаної потужності всіма приладами домогосподарства. При цьому граничним режимом є пропускання контролером всієї потужності СП до споживачів через інвертор.

Якщо СП генерують потужність більшу, ніж потрібно для функціонування споживачів, то контролер залишки електричної енергії направляє на зарядку акумуляторної батареї. Цей заряджаючий енергетичний потік контролер підтримує з параметрами напруги зарядки від 50 В до 70 В та максимальним струмом зарядки 30 А.

Якщо потужності СП стає недостатньо для живлення споживачів, то контролер переключує вхідний потік сонячної електростанції повністю на зарядку акумулятора, Одночасно інвертор переходить у режим роботи від енергії, запасеної в акумуляторній батареї. Даний енергетичний потік має напругу від 46 В до 52 В та може передавати силу струму до 110 А.

При малих значеннях інтенсивності сонячного освітлення (менше 100 Вт/м²) сила вихідного струму СП стає недостатня для підтримання робочих параметрів всієї електростанції і генеруючий сонячний модуль відключається контролером від системи. Автоматично інвертор переходить повністю на отримання електричної енергії від акумуляторної батареї, якщо запас електричної енергії в ній відповідає встановленим величинам. Даному режиму відповідає конфігурація системи живлення, наведена на рис.6.2.

У випадку розряджання акумуляторної батареї до певного встановленого граничного режиму система керування електростанцією видає сигнал, за яким оператору необхідно приймати рішення про вихід з такої ситуації. Наприклад, у цьому випадку можна запустити резервний однофазний генератор змінного струму 220 В. Для проектованої електростанції генератор має мати потужність, не меншу 4 кВт.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Instructions for installing the
in guide for use by qualified installers
It result in death or serious injury.

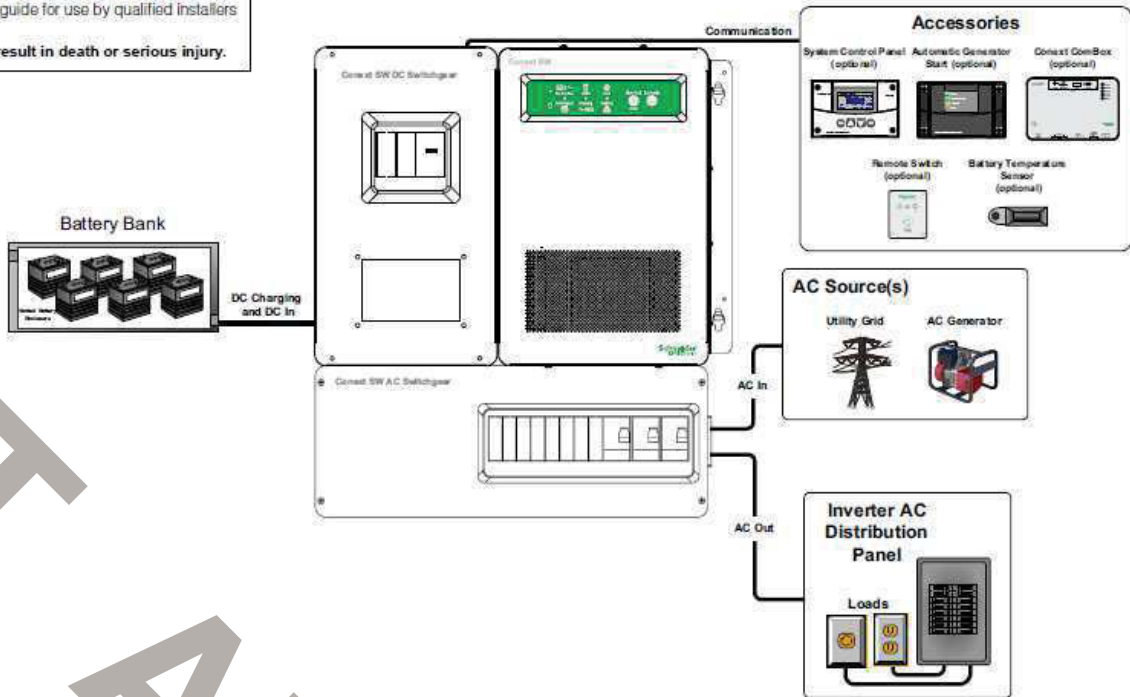


Рисунок 6.2– Основні енергетичні лінії між компонентами автономної сонячної електростанції при живленні лише від акумуляторної батареї

Іншою граничною ситуацією є режим, коли СП генерують енергії більше, ніж потрібно для споживачів та для заряджання акумуляторів. У такому випадку СП не функціонують з повною енергетичною віддачею. Такі режими будуть особливо часто виникати під час літнього періоду. Тому можна передбачити для таких ситуацій автоматичне підключення до сонячної електростанції додаткових споживачів: нагрівачі системи гарячого водопостачання, підігрів води в басейні, робота електричних інструментів та інше. Однак, детальний розгляд даних питань може бути предметом додаткових досліджень окремої проектної кваліфікаційної роботи.

Відповідно з вибраними приладами, інвертор автономної електростанції може видавати споживачам енергетичний потік у вигляді стандартного змінного струму з робочою напругою від 200 В до 240 В та максимальною силою до 40 А.

Одночасно, контролер має окремий канал живлення споживачів постійного струму із робочою напругою окремих ліній 12 В, 24 В та 48 В. Максимальна вихідна сила струму для цих ліній рівна 20 А.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

6.2 Аналіз схеми інформаційних потоків та вибір компонент системи керування

Функціональні завдання системи керування та автоматизації автономної сонячної електростанції, відповідно до розробленої структурної схеми (додаток А), мають включати:

1. Контроль та обробку параметрів електричної енергії, генерованої СП електростанції. Такий контроль ми покладемо на окремий інформаційний блок І1 (додаток А).

2. Контроль енергетичного стану акумуляторної батареї та протікання процесу її зарядки. Дану функцію покладемо на інформаційний модуль І2 (додаток А).

3. Інформаційний модуль І2 має забезпечувати й контроль струму розрядки акумуляторної батареї протягом часових інтервалів, коли вона виступає джерелом енергії для споживачів.

4. Контроль параметрів електричної енергії, яку використовують споживачі змінного струму, покладемо на ще один інформаційний модуль І3.

5. І, нарешті, використання енергії споживачами постійного струму будемо контролювати за допомогою інформаційного модуля І4 (додаток А)

6. Крім вказаних вище операцій контролю параметрів різних енергетичних каналів сонячної електростанції на систему керування покладемо також функцію найпростішої статистичної обробки даних, які поступають від всіх чотирьох інформаційних блоків.

7. Ще однією функцією системи керування є передача операторові основної поточної інформації про функціонування електростанції та вчасне оповіщення про виникнення нештатних ситуацій в її роботі.

Задля детальної характеристики сигналів кожного з інформаційних блоків системи керування та автоматизації, визначених вище, доцільно скласти таблицю інформаційних потоків у вигляді опису вхідних-вихідних сигналів. Згідно з

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

вимогами до такої технічної документації, дана таблиця має містити наступну інформацію:

- характер сигналу: відображення, зберігання, сигналізація тощо;
- основні параметри сигналу;
- наявність здійснення регулювання цього сигналу;
- перелік керуючих органів, які діють на даний сигнал;
- характеристика середовища, у якому знаходяться як давачі, так і керуючі сигналами органи (при наявності);
- інші інформаційні дані.

Враховуючи вказані вимоги складемо таблицю вхідних-вихідних сигналів системи керування (див.табл.6.1).

Таблиця 6.1 – Опис сигналів інформаційних потоків системи керування електростанцією

№	Параметр	Номінальне значення	Відображення	Керівний вплив	Середовище давача
1	Вихідна потужність СП	Від 200 Вт до 4000 Вт	Пряма індикація	Сигнал оператору	Закрите приміщення
2	Напруга на акумуляторній батареї	Від 42 В до 52 В	Пряма індикація	Сигнал оператору	Закрите приміщення
3	Струм зарядки акумуляторної батареї	Від 1 А до 30 А	Пряма індикація	Сигнал оператору	Закрите приміщення
4	Струм, споживаний від акумуляторної батареї	Від 0 А до 110 А	Пряма індикація	Сигнал оператору	Закрите приміщення
5	Потужність, споживана каналом змінного струму	До 7 кВт	Пряма індикація	Сигнал оператору	Закрите приміщення
6	Потужність, споживана каналом постійного струму	До 1 кВт	Пряма індикація	Сигнал оператору	Закрите приміщення

Основою функціонування системи керування є набір давачів, які вимірюватимуть параметри сигналів, описаних в табл.6.1. Проаналізуємо поканально вимоги до цих давачів та підберемо конкретні прилади, які відповідають встановленим нами вимогам.

Канал інформаційного модуля ІІ. Параметри енергетичного потоку від генеруючого модуля електростанції мають вимірюватися постійно протягом тривалості світлового періоду кожної доби року. При цьому контролю підлягають вихідна напруга, вихідний струм та вихідна потужність.

При виборі давача для даного інформаційного сигналу будемо враховувати таке:

- комбіноване вимірювання всіх трьох параметрів;
- цифровий характер вихідних сигналів;
- наявність інформаційного дисплея;
- можливість використання й для інших інформаційних каналів системи керування;
- легкість під'єднання до мікроконтролерного модуля системи керування.

Відміченим умовам повністю відповідаю інтелектуальний давач параметрів електричної енергії [12]. Це цифровий вольтметр-амперметр з вбудованим дисплеєм на рідких кристалах. Він дозволяє синхронно вимірювати як напругу, так і силу постійного струму. При цьому вимірювання сили струм проходить за допомогою стандартного зовнішнього прецизійного резисторного шунта. Зміною номінального опору даного шунта можна змінювати верхню межу вимірювання сили струму. Основні експлуатаційні параметри приладу наведено в таблиці 6.2. На рис.6.3 наведено загальну монтажну схему підключення амперметра-вольтметра до системи керування електростанцією, яка відповідає положенню інформаційного модуля ІІ на структурній схемі (додаток А). Як видно із рис.6.3, для живлення амперметра-вольтметра необхідно передбачити окрему лінію, оскільки напруги від СП можуть бути більшими, за допустиму верхню межу діапазоні ЕРС, рівну 30 В.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Таблиця 6.2 – Основні експлуатаційні параметри амперметра-вольтметра

[12]

Параметр	Значення параметра
Діапазон вимірювання напруги	Від 0 до 100 В
Відносна похибка вимірювання напруги	Не більше 0,5 %
Діапазон вимірювання сили струму (для шунта із комплекту приладу)	Від 0 до 100 А
Відносна похибка вимірювання сили струму	Не більше 1 %
Діапазон робочих температур	Від -10° до +65°
ЕРС живлення (можна забезпечувати від вхідного енергетичного каналу)	Від 4 В до 30 В Один дюйм.
Діагональ дисплея	Один дюйм.
Геометричні розміри	48 мм; 29 мм; 22 мм
Зовнішній вигляд разом із шунтом	
Вартість	Біля 5 Євро

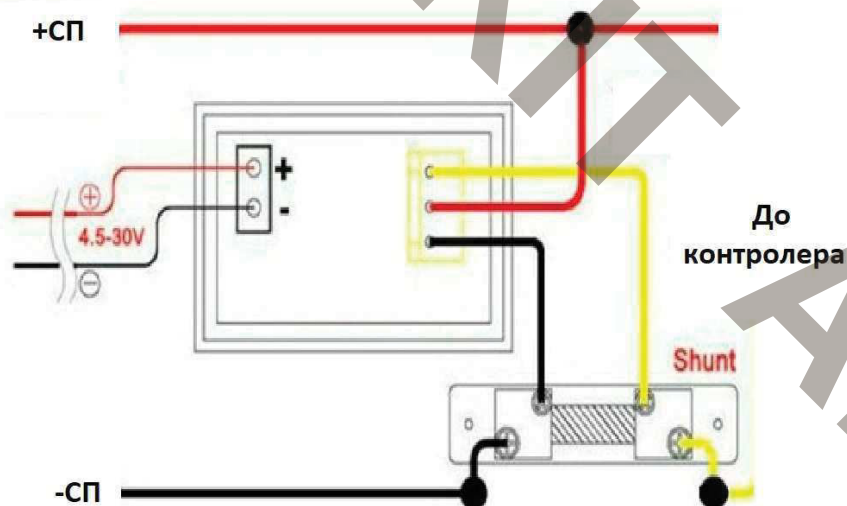


Рисунок 6.3 – Монтажна схема підключення амперметра-вольтметра в коло енергетичного потоку від СП електростанції

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
						52

Таку лінію доцільно буде організувати від акумуляторної батареї через лінійний стабілізатор напруги на 12В, Відмітимо також, що вибраний нами прилад має надійний електронний захист кола вимірювання сили струму від короткого замикання (гранична сила струму 150 А).

Канал інформаційного модуля I2. Даний інформаційний модуль має забезпечувати вимірювання параметрів двох енергетичних потоків постійного струму: потік заряджання акумуляторної батареї та потік живлення зовнішніх споживачів від акумуляторної батареї. Граничні межі зміни параметрів цих двох потоків відповідають експлуатаційним характеристикам розглянутого вище амперметра-вольтметра (див. позиції 2, 3 та 4 табл.6.1). Тому з метою уніфікації схеми системи керування використаємо два такі прилади у якості інформаційного модуля I2 (додаток А). При цьому один прилад мірятиме напругу на акумуляторній батареї та струм її заряджання, а другий прилад – силу струму розряджання та споживану потужність від акумуляторної батареї у процесі живлення від неї зовнішніх споживачів. Відповідно з таким рішенням монтажна схема об'єднання двох приладів у модуль I2 та включення цього модуля в канали енергетичних потоків акумуляторної батареї наведена на рис.6.4.

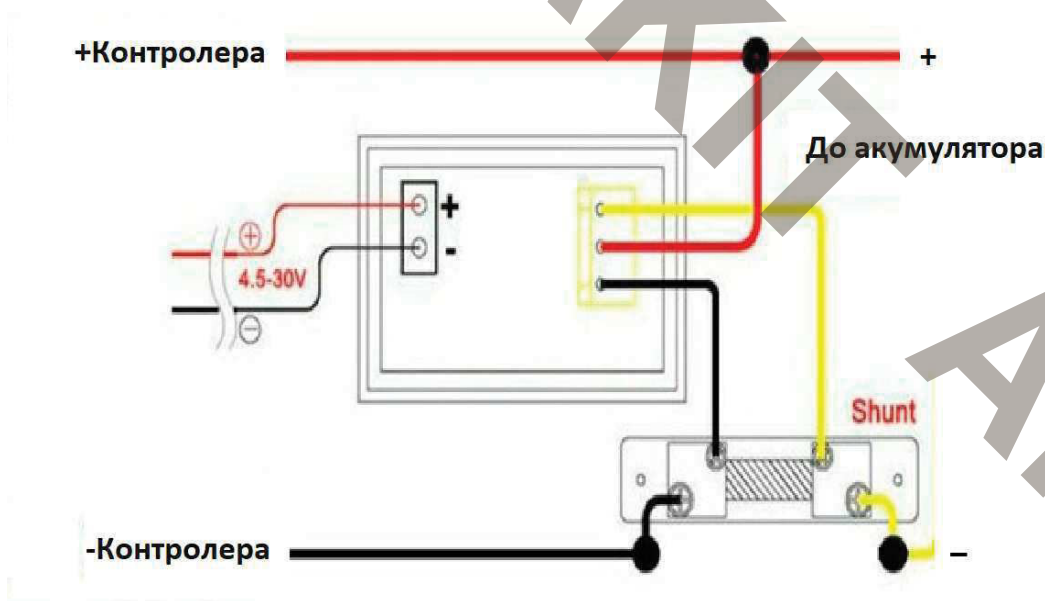


Рисунок 6.4 – Монтажна схема підключення інформаційного модуля I2 в канал енергетичних потоків акумуляторної батареї

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Канал інформаційного модуля ІЗ. Даний інформаційний модуль відповідає за контроль та вимірювання потужності постійного електричного струму, яка споживається зовнішніми пристроями домогосподарства безпосередньо від СП або акумуляторної батареї. Граничні межі зміни параметрів такого енергетичного потоку відповідають експлуатаційним характеристикам вже використаного нами амперметра-вольтметра (див. схему додатку Б). Таким чином модуль ІЗ може бути спроектованим тотожним модулю ІІ (див. рис. 6.3).

Канал інформаційного модуля І4 відповідає за контроль та вимірювання параметрів стандартного однофазного змінного струму частотою 50 Гц. Відміченим на схемі параметрам енергетичних потоків даного змінного струму (додаток Б) повністю відповідаю інтелектуальний давач параметрів електричної енергії [13] фірми Keweisi KWS-AC300. Особливістю даного приладу є можливість вимірювання крім вказаних трьох параметрів електричної енергії додатково температури та часу проходження енергетичного потоку. Це дозволяє розширити функціональні можливості системи керування, введенням в неї каналу контролю температури СП та каналу підрахунку часу активної роботи електростанції протягом кожної доби. Однак, введення таких додаткових функцій виходить за межі нашої кваліфікаційної роботи і може бути предметом проектування у рамках іншої практичної розробки.

Ще однією позитивною рисою приладу KWS-AC300 є функція пам'яті всіх параметрів початкового інсталювання навіть при відключенні джерела ЕРС живлення.

Основні параметри давача KWS-AC300 наведені в таблиці 6.3, а його зовнішній вигляд наведено на рис. 6.5.

Слід відмітити наявність у приладі хорошої сервісної властивості – кольоровий екран на рідких кристалах з хорошим кутовим оглядом індукованих даних.

Підключення давача струму KWS-AC300 до енергетичної електричної лінії здійснюється за допомогою не рознімного кільцевого сенсора у вигляді

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

трансформатора змінного струму із зовнішнім діаметром біля 33 мм. Виносний давач температури має довжину інформаційного кабелі біля 40 см.

Таблиця 6.3 – Основні експлуатаційні параметри приладу KWS-AC300[13]

Параметр	Значення параметра
Діапазон вимірювання змінної напруги	Від 50 В до 300 В
Діапазон вимірювання сили змінного струму	Від 0 до 100 А
Діапазон вимірювання потужності	Від 0 до 30 кВт
Діапазон вимірювання спожитої електроенергії	Від 0 до 20 МВт·год
Діапазон встановлення часу вимірювань	Від 0 до 200 год
Діапазон вимірювання температури виносним зондом	Від -10 ° до +100 °
Геометричні розміри блоку	8,5 см; 4,3 см, 2 см
Вага	Біля 50 г
Вартість	Біля 5 Євро



Рисунок 6.5 – Зовнішній вигляд інтелектуального давача KWS-AC300[13]

Відмітимо також, що давач KWS-AC300 може також бути використаний для розширення функцій керування автономною електростанцією. Для цього

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

рекомендуємо ввести ще один додатковий інформаційний модуль у канал енергетичного потоку від зовнішнього генератора на природному газі. Це дозволить строго контролювати стан та параметри функціонування всієї автономної енергетичної електричної системи домогосподарства.

6.3 Проектування монтажної схеми автономної електростанції та розрахунок її орієнтовної вартості

Використовуючи всі наведені вище матеріали, спроектуємо монтажну схему автономної електростанції, яка наведена в додатку В.

Останнім завданням бакалаврської роботи є розрахунок орієнтовної вартості спроектованої нами автономної електростанції. Для цього основні економічні показники, отримані при виконанні роботи, зведемо в одну таблицю 6.4.

Таблиця 6.4 – Розрахунок орієнтовної вартості автономної сонячної електростанції

Компонент електростанції	Орієнтовна вартість компонента, євро
Модуль із 8 СП	1600
Контролер-інвертор	2500
Батарея із 2 акумуляторів	3000
Інформаційні модулі	30
Промисловий контролер Simens	400
Комп'ютерна система дистанційного контролю, керування та обробки даних	600
Конструкційні та комутаційні компоненти, проект	900

Підсумовуючи наведені вище дані, отримаємо сумарну орієнтовну вартість автономної сонячної електростанції з піковою споживаною потужністю 7 кВт біля 9000 євро або біля 350 000 грн за цінами на період літа 2023 року. Це відповідає

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

вартості електричної енергії для побутових споживачів загальним об'ємом біля 100 МВт·год. Для порівняння можна вказати, що такій вартості відповідає проведення однофазної електричної лінії на напругу до 400 В довжиною біля 2 км. Ці дані можуть бути орієнтиром при виборі варіантів між автономною сонячною електростанцією чи підведенням до домогосподарства стандартної однофазної лінії живлення змінного струму.

Враховуючи також загальне розраховане добове енергоспоживання домогосподарства біля 4 кВт·год, можна очікувати самоокупності побудованої електростанції без зміни в майбутньому тарифів на електроенергію протягом 60 років. Якщо ж врахувати прогнозоване на майбутні 10 років підвищення вартості електроенергії у три – п'ять разів, а також перейти на ціни на електроенергію для комерційних споживачів, то термін самоокупності зменшиться приблизно до 10 років.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської роботи:

1. Проведено короткий аналіз особливостей і перспектив та проблем розвитку автономних сонячних електростанцій. У результаті аналізу визначено основні задачі, які слід розв'язати у процесі виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи.

2. На основі метеорологічних даних проведено розрахунки мінімальної середньодобової генерованої електроенергії стандартною сонячною панеллю в умовах міста Ужгорода.

3. Для визначення технічних параметрів проєктованої автономної електростанції зроблено короткий аналіз середньодобових витрат електричної енергії типовим домогосподарством в регіоні міста Ужгорода.

4. Розроблена структурна схема автономної сонячної електростанції, параметри якої відповідають поставленому завданню щодо виконання бакалаврської роботи. Дана схема містить модуль сонячних панелей, модуль контролера-інвертора, батарею акумуляторів, канал живлення споживачів змінного струму, канал живлення споживачів постійного струму, резервний генератор на зрідженому газі та систему автоматичного контролю і керування сонячної електростанцією.

5. Згідно з технічними параметрами автономної сонячної електростанції та її структурною схемою проведено вибір сучасних компонентів всієї системи.

6. Проведено аналіз схеми енергетичних потоків, які реалізуються при різних режимах функціонування електростанції.

7. Визначено інформаційні електронні модулі, які здійснюють контроль всіх енергетичних потоків системи та забезпечують автоматичне керування її роботою.

8. Спроектована монтажної схеми автономної електростанції і розрахована її орієнтована вартість та економічні показники самоокупності.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

9. Основні технічні параметри спроектованої автономної сонячної електростанції:

- вихідні канали: стандартний змінний струм, постійний струм +5 В, +12 В, та +24 В.

- робоча сумарна вихідна потужність – 4 кВт;

- максимальна пікова вихідна потужність (тривалістю до 30 хвилин) – 7 кВт;

- резервне джерело електроенергії – генератор на зрідженому газі;

- система керування на основі промислового контролера фірми Siemens.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Вербицький Є. В. Енергозбереження і енергоефективність. Конспект лекцій для студентів напрямку підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи». - К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 106 с.

2. Іваницький В.П., Лукша О.В., Чичура І.І. Ресурсозберігаюча енергетика: підручник. – Ужгород: УжНУ, 2023. – 100 с.

3. Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data for Solar Energy Applications: Second Edition. Edited by Manajit Sengupta, Aron Habte, Christian Gueymard, Stefan Wilbert, Dave Renné, and Thomas Stoffel / National Technical Information Service. 5301 Shawnee Road Alexandria, VA 22312.

4. Електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.meteoblue.com/ru/%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B0/historyclimate/weatherarchive>.

5. Ivanitsky, V. P., Ryaboschuk, M. M., Stojka, M. V., Tiutiunnykov, S. V. Astronomical and geographical model for programming microcontrollers of ground-based trackers. Science and education a new dimension. Natural and Technical Sciences, 2021, no. 255, pp. 11-13.

6. Електронний ресурс] – режим доступу: https://energy.in.ua/files/lp182_m_72_mh_530_550w_ua_2.pdf.

7. Електронний ресурс] – режим доступу: https://brandsolar.com.ua/p1646821378-solnechnaya-monokristallicheskaya-panel.-html?source=merchant_center&gclid=CjwKCAjwrJ-BhB7EiwAuyBVXY9AtU7YGaywXHDniSM2zsQxtGpoWFIGU-KKJhaHhtHFtpIfOycFRoCfG0QAvD_BwE.

8. Електронний ресурс] – режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D0%B1%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B5%D1%8F.

9. Електронний ресурс] – режим доступу: <https://i-energy.com.ua/ua/p1426494130-litievuj-tyagovuj-akkumulyator.html>.

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

10. Электронний ресурс] – режим доступу: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/7654-conext-xw/#overview>.

11. Электронний ресурс] – режим доступу: <https://sayanukr.com.ua/ua/p1413610090-komplekt-solnechnoj-elektrostantsii.html>.

12. Электронний ресурс] – режим доступу: <https://fd24.com.ua/p1690584007-tsifrovoj-voltmetr-ampermetr.html>.

13. Электронний ресурс] – режим доступу: <https://voltik.com.ua/ua/p-1555176613-tsifrovoj-voltmetr-ampermetr.html>.

АКІТ

АКІТ

АКІТ

					КБР.АКІТ.17050004.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61