

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти – бакалавр
за освітньо-професійною програмою
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

зі спеціальності
151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

тема роботи:

«Автоматична система керування трекером сонячної панелі з інвертором»

Виконав студент гр. АКІТ-22ск	_____ Кражан І. І.
Керівник	_____ Савицький О. І.
Нормоконтроль	_____ Маринич І. А.
Завідувач кафедри	_____ Рубан С. А.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: Бакалавр

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою: к.т.н. Рубан С.А.

« 28 » січня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студентові групи АКІТ-22ск Кражану Ігорю Івановичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматична система керування трекером сонячної панелі з інвертором»

затверджено наказом по університету № 106с від 29.01.2025 р.

2. Термін здачі кваліфікаційної роботи: 06.06.2024 р.

3. Склад кваліфікаційної роботи: Пояснювальна записка обсягом 76с., презентація у Microsoft PowerPoint (12 слайдів) в електронному та друкованому вигляді

4. Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-2

доц. Савицький О. І.

Нормоконтроль

доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>01.03.25</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>05.04.25</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>01.05.25</i>
4	<i>Висновки</i>	<i>25.05.25</i>
5	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>28.05.25</i>
6	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>20.05.25</i>
7	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>03.06.25</i>

6. Дата видачі завдання: 28.01.2025р.

Керівник _____ / Савицький О. І./

7. **Запевнення:** Я, Кражан Ігор Іванович, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету ознайомлений.

Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Студент _____ / Савицький О. І./

АНОТАЦІЯ

Кражан І.І. Автоматична система керування трекером сонячної панелі з інвертором: кваліфікаційна робота бакалавра : 151 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2025. 76 с.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення безпечної та ефективної системи перетворення електроенергії згенерованої сонячною панеллю у мережу 220В.

У першому розділі проведено аналіз сучасних підходів до побудови автономних сонячних енергетичних систем. Розглянуто основні компонент та системи, зокрема фотоелектричну панель, контролер заряду, інвертор, акумуляторну батарею. Визначено технічні характеристики основних елементів системи та їх вплив на ефективність роботи. Зроблено висновок, що для забезпечення надійного електропостачання в умовах нестабільної сонячної генерації доцільно використовувати інтелектуальну схему перемикання на резервне джерело енергії.

У другому розділі розроблено модель автономної сонячної енергосистеми у середовищі Simulink. Проведено моделювання динаміки роботи системи в різних режимах. Результати моделювання підтвердили правильність роботи схеми та її придатність для подальших досліджень і практичного впровадження в автономні енергетичні системи. Отримана модель може бути використана для аналізу енергетичних процесів, оптимізації конфігурації системи та підвищення її загальної ефективності.

СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА, ІНВЕРТОР, ТРЕКЕР, АВТОМАТИЗАЦІЯ, АВТОНОМНА СИСТЕМА, ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ, ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА, SIEMENS, TIA-PORTAL.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ</i>						
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>							
<i>Розроб.</i>		<i>Кражан І.І.</i>			<i>АНОТАЦІЯ</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>	
<i>Перевір.</i>		<i>Савицький О.І.</i>								4	91
								<i>КНУ АКТ-22ск</i>			
<i>Н. Контр.</i>		<i>Маринич І.А.</i>									
<i>Затверд.</i>		<i>Маринич І.А.</i>									

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СИСТЕМ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ	9
1.1 Принципи роботи сонячних панелей	9
1.2 Види трекерів сонячних панелей.....	14
1.3 Вимоги до системи керування. Постановка задачі.....	16
1.4 Огляд сучасних технологій автоматичного керування сонячними панелями.....	18
РОЗДІЛ 2	20
РОЗРОБЛЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ІНВЕРТУВАННЯМ ЕНЕРГІЇ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ З АДАПТАЦІЄЮ ДО ЗМІН ПОТРЕБ СПОЖИВАЧА	20
2.1 Вибір, калібровка сигналів сенсорів для відстеження положення сонця	20
2.2 Алгоритм роботи системи процесу інвертування	22
2.3 Розробка програмного забезпечення для інвертування енергії	24
2.4 Розробка візуалізації системи у програмному середовищі Step 7 (TIA-портал)	29
2.5 Структурна схема системи керування процесом генерації енергії з сонячної панелі	32
2.6 Розробка схеми принципової електричної інвертування.....	34
2.7 Характеристики електроенергії, що виробляється сонячною панеллю	36
2.8 Моделювання системи керування роботою інвертора при стохастичній зміні потреб споживачів.....	38
2.9 Наладка роботи інвертора для роботи на електричну мережу.....	43
2.10 Аналіз ефективності системи.....	52
2.11 Порівняння з фіксованими сонячними панелями.....	55

2.12	Можливості вдосконалення системи	64
ВИСНОВКИ		72
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ		65

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасний розвиток відновлюваної енергетики є одним із пріоритетних напрямів у світовій енергетичній стратегії. Зростаючі потреби в екологічно чистих та енергоефективних технологіях стимулюють до вдосконалення систем виробництва та передачі електроенергії. Одним із перспективних рішень у цій сфері є сонячні панелі, які дозволяють перетворювати енергію сонячного випромінювання на електричну. Однак ефективність таких панелей значною мірою залежить від їхнього орієнтування відносно сонця.

У традиційних сонячних електростанціях панелі найчастіше встановлюються у фіксованому положенні, що не дає змоги максимально використовувати сонячну енергію протягом усього дня. Для підвищення ефективності перетворення енергії застосовуються трекери – спеціальні механізми, що дозволяють автоматично змінювати положення панелі відповідно до руху сонця. Використання таких систем дає змогу збільшити виробництво електроенергії на 20–40% у порівнянні з нерухомими панелями.

Окрім правильного орієнтування панелі, важливим аспектом є ефективна передача згенерованої енергії в електромережу. Оскільки сонячні панелі виробляють постійний струм, його необхідно перетворити на змінний струм з напругою 220 В, який використовується в побутових і промислових електромережах. Для цього застосовуються спеціальні інверторні системи, які забезпечують безпечне та стабільне підключення сонячних установок до електромережі.

Метою даної роботи є розробка автоматичної системи керування трекером сонячної панелі, яка дозволяє максимально ефективно використовувати сонячну енергію, а також аналіз і розробка системи передачі постійного струму від панелі до мережі 220 В.

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП				
Розроб.		Кражан І.І.							
Перевір.		Савицький О.І.							
Н. Контр.		Маринич І.А.							
Затверд.		Маринич І.А.			КНУ АКІТ-22ск				

У процесі дослідження будуть розглянуті технічні особливості реалізації системи трекінгу, вибір відповідних сенсорів, алгоритми керування положенням панелі, а також методи ефективного перетворення та передачі електроенергії.

Актуальність теми визначається необхідністю підвищення ефективності використання сонячних електростанцій, зниженням залежності від традиційних джерел енергії та забезпеченням стабільного енергопостачання з використанням альтернативних джерел енергії.

Метою роботи є побудова принципової та функціональної схеми електрообладнання, розробка програмного забезпечення для забезпечення оптимального рівня сонячної генерації у продовж всього дня.

Завдання дослідження – провести аналіз існуючих систем трекінгу сонячних панелей, розробити структурну схему автоматичної системи керування та визначити оптимальні сенсори і виконавчі механізми для відстеження положення сонця. Необхідно розробити алгоритм керування трекером, обґрунтувати вибір інверторної системи для перетворення постійного струму в змінний та моделювати роботу системи для оцінки її ефективності. Також дослідження передбачає аналіз енергетичної ефективності запропонованого рішення у порівнянні з фіксованими сонячними панелями та розробку рекомендацій щодо вдосконалення системи.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СИСТЕМ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ

1.1 Принципи роботи сонячних панелей

Принцип роботи сонячних панелей ґрунтується на явищі фотоелектричного ефекту, який полягає у перетворенні світлової енергії на електричну за допомогою напівпровідникових матеріалів.

Сонячні батареї складаються із сонячних осередків, зазвичай виготовлених із кремнію або інших напівпровідникових матеріалів[6].

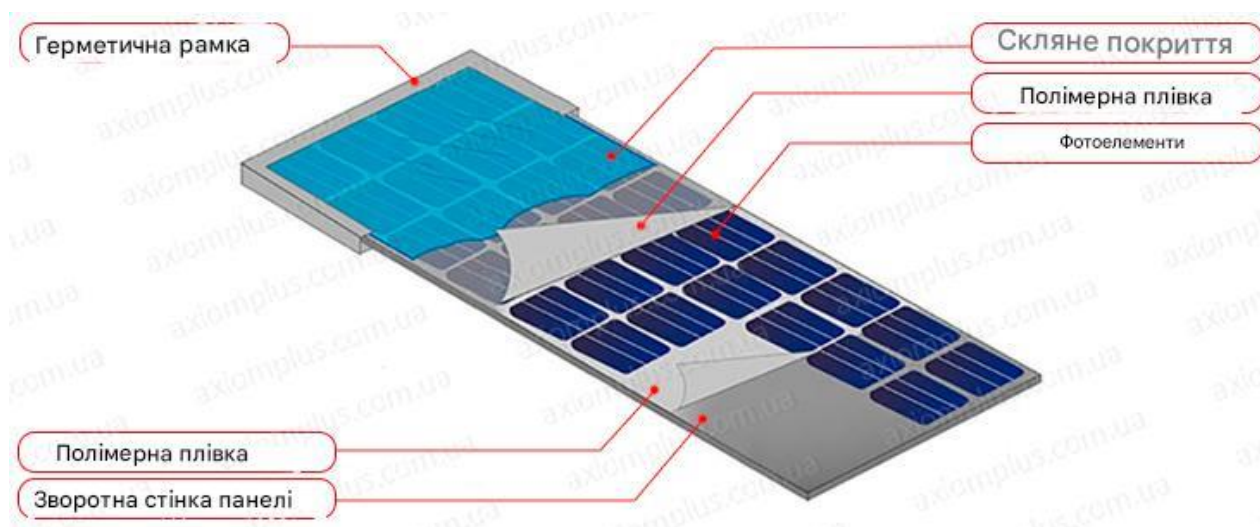


Рисунок 1.1 - Структура сонячної панелі

В усіх панелей схожа конструкція. В основі знаходяться напівпровідникові елементи, що виконують роль перетворювача енергії сонячного світла на електричну. Між собою вони пов'язані тонкими мідними каналами – провідниками виробленої енергії.

Кремнієві елементи та струмопровідні частини з обох боків покриті полімерною плівкою. Під впливом температури вона перетворюється на прозорий гель, що робить конструкцію повністю герметичною. З тильного боку їх захищає міцна металева стінка, а з фронтальної – склопне покриття.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>РОЗДІЛ 1</i>		
Розроб.		Кражан І.І.					
Перевір.		Савицький О.І.					
Н. Контр.		Маринич І.А.					
Затверд.		Маринич І.А.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						9	91
					<i>КНУ АКІТ-22ск</i>		

Тут застосовується удароміцне скло, яке витримує падіння великого граду і навіть великих гілок дерев. Воно не дряпається, не тріскається і не зтирається, зберігаючи бездоганну прозорість протягом багаторічної експлуатації.

Щоб металеві елементи всередині не зазнавали корозії, вся конструкція зафіксована в герметичній рамці з нержавіючої сталі. З неї виводиться кабель для підключення панелі до системи.

Через застосування металевих елементів маса панелі часто сягає 18 кг. Щоб компенсувати цей недолік були створені легші тонкоплівкові аналоги.

Коли сонячне світло падає на поверхню сонячного осередку, фотони світла впливають на атоми матеріалу, вириваючи їх електрони і створюючи вільні електрони. Вільні електрони в напівпровіднику створюють різницю потенціалів між двома кінцями сонячного осередку, що призводить до генерації електричного струму. Цей струм збирається за допомогою проводів, підключених до сонячного осередку, і направляється на використання в електричних пристроях або зберігання в батареях[7].

В основі фотоелектричної панелі знаходяться кремнієві осередки. В атомі кремнію всі електрони розташовані в кристалічних ґратах, через це в чистому вигляді він погано проводить електрику. Для поліпшення хімічних та фізичних властивостей кремній легують атомами фосфору та бору у пропорції 1:1000000.

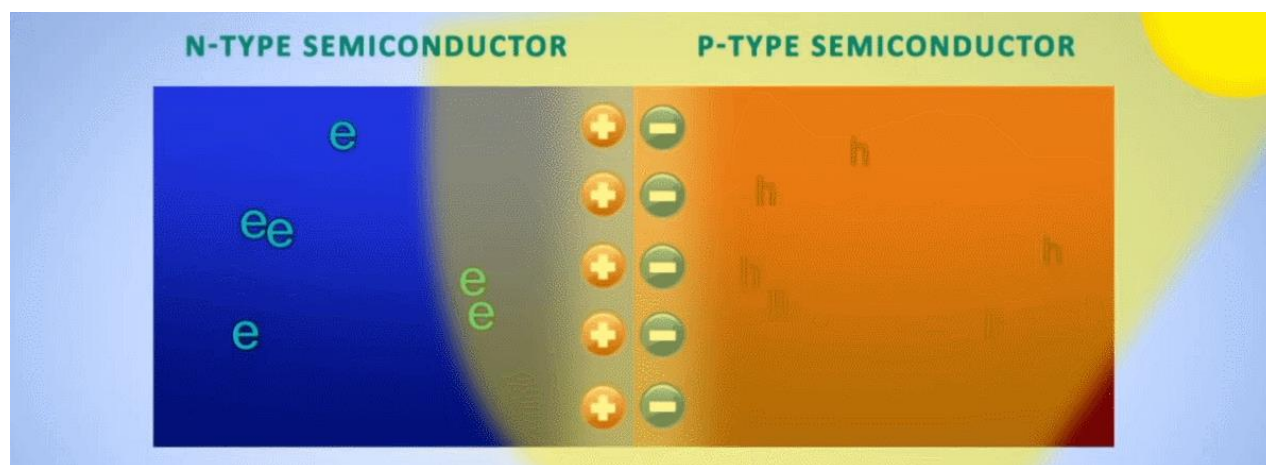


Рисунок 1.2 - Електрони в кристалічних ґратах

У структурі кремнію всього чотири електрони, а у фосфору - п'ять.

					КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

При легуванні чотири з них закріплюються в структурі, а п'ятий - висить. Легований фосфор кремній утворює негативне напівпровідникове поле n-типу, що виступає катодом в батареї.

У бору – три електрони, і виходить одне порожнє місце у структурі, так звана «дірка». У результаті утворюється напівпровідник р-типу і виступає анодом.

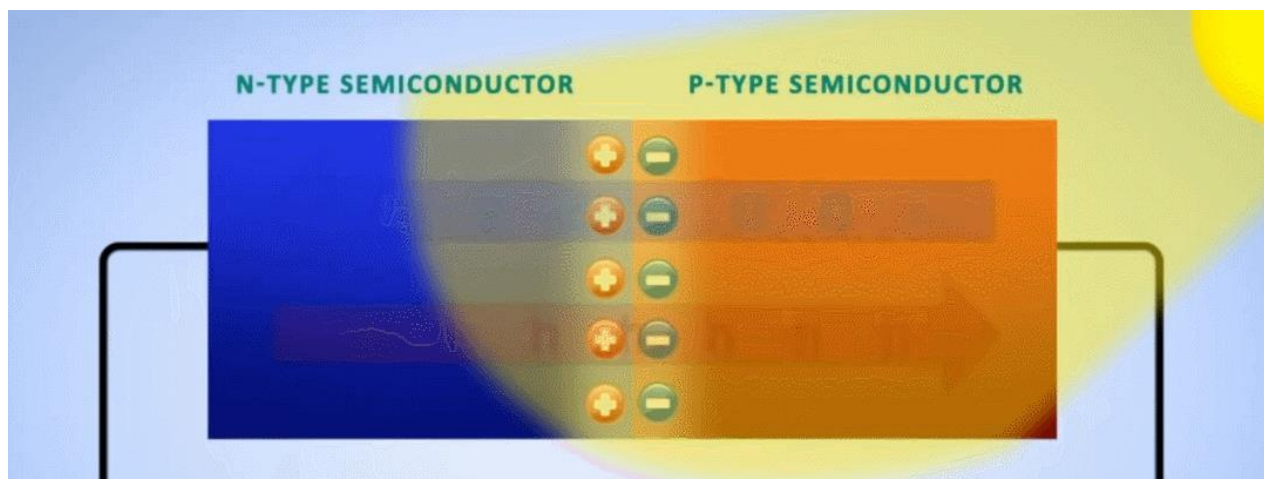


Рисунок 1.3 - Напрямок руху електронів

Фотони сонячного світла вибивають електрони з n-шару, після чого вони летять займати вільні місця в р-шарі, при цьому проходять через металевий провідник, через що в ньому виникає навантаження та струмовий заряд, що протікає до контролера.

Енергії одного фотона світла вистачає для того, щоб вибити вільний електрон зі своєї структури, де на його місці утворюється вільне місце. Але проблема в тому, що кремній добре відображає сонячне світло і більшість фотонів зникає марно. Щоб поліпшити ККД, на кремнієві осередки наносять шар покриття анти відблиску.

При рівномірному освітленні електрика виробляється на кожній ділянці пластини. Щоб його зібрати та вивести потрібні мідні смужки.

При з'єднанні осередків збільшується потужність батареї. Чим більша площа панелі, тим вона потужніша. Кремнієві елементи з'єднані послідовно і паралельно.

Сонячні батареї виробляють постійний струм із напругою 12В або 24В. По мідним провідникам він надходить у контролер, і з нього інвертор. Там він перетворюється на постійний струм з напругою 230В або 380В і протікає в мережу.

Сила струму і напруга, що йде з сонячних осередків, заміряється ще на етапі виробництва, до того як модулі набудуть свого звичного вигляду.

Виробництво сонячних панелей включає в себе декілька етапів. Перший етап включає вирощування кристалів. Їх роблять із кварцового піску з високим вмістом кремнію. Спочатку розплавляють його при високих температурах (до 2000°C), потім очищають і синтезують.

У результаті виходить легований кремній для вирощування монокристалічних або полікристалічних пластин. Для монокристалічних потрібен матеріал високого рівня очищення (99,99%), а цей дуже енерговитратний процес. Для виплавки 1 кг кремнію необхідно 13 кВт*год енергії, тому їх вартість вища.

Зовні вони нагадують квадрати чорного або темно-синього кольору зі зрізаними або закругленими кутами товщиною 0,2-0,3 мм.

А полікристалічні складаються з витягнутих правильних квадратів темно-синього чи сріблясто-сірого кольору. Товщина, як і монокристалічних – 0,2-0,3мм. ККД нижчий 12-18%, зате нижче поріг включення. Електрика виробляється під будь-яким кутом напряду променю, зокрема з відбитого світла[6].

Кристали робляться за технологією поступового охолодження кремнієвої основи, що менш витратно, тому полікристалічні модулі дешевше.

В обох типах осередки спаюють у секції, а секції в готові фотоелектричні модулі. На цьому етапі кожен з осередків проходить перевірку на струмові характеристики.

Потім, за допомогою вакуумних утримувачів, робот переносить секції на скляні плити та формує блоки.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ</i>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щоб панель у процесі роботи не вийшла з ладу під час часткового затемнення, її частини шунтуються діодами. Якби діодів не було, затемнені осередки замість того, щоб виробляти, почали б споживати електрику. При цьому вони почали грітися і руйнуватися від високої температури. А так, діоди перекривають контакти і струм по них не тече.

Після цього готові блоки спаюються і ламінуються етиленвінілацетатною плівкою. Під впливом температури вона перетворюється на гель, а вже на нього сідає захисне покриття.

На завершальному етапі готові конструкції монтуються в алюмінієву раму та герметизуються спеціальним клеєм-герметиком. Це потрібно, щоб усередину не потрапляла волога, інакше корозія знищить контакти.

Після цього готова панель проходить тестування, де вимірюється струм короткого замикання, напруга холостого ходу та максимальної потужності.

Весь процес виробництва потребує впровадження високих технологій та розвиненої ресурсної бази. Тому не всі бренди повністю його контролюють, вони лише замовляють готові кремнієві елементи та збирають із них власні фотоелектричні модулі.

Електричний струм, згенерований сонячними батареями, може бути використаний для живлення різних пристроїв та систем. Таких як домашні електроприлади, освітлення, транспортні засоби або передача до мережі для загального використання. У разі наявності батарей, енергія може бути збережена для використання в періоди нестачі сонячного світла, наприклад, уночі або в похмуру погоду. Таким чином, сонячні батареї забезпечують екологічно чистий та ефективний спосіб отримання електричної енергії із сонячного світла, що робить їх важливим та перспективним джерелом альтернативної енергії.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.01.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

1.2 Види трекерів сонячних панелей

Сонячний трекер — це революційний пристрій, який дозволяє отримати максимальну ефективність від сонячних панелей. Завдяки точному відстеженню руху сонця, трекер автоматично оптимізує положення панелей, орієнтуючи їх перпендикулярно до променів протягом усього дня. Це дозволяє збільшити виробництво енергії на вражаючі 40-50% від номінальної потужності, що є значним покращенням порівняно зі стаціонарними панелями, які забезпечують лише 10-15%.

Конструкція трекера може бути різноманітною, з різними типами механізмів та алгоритмів керування. Однак всі трекери поділяються на два основних типи: однокоординатні, що забезпечують обертання панелі від сходу до заходу, і двокоординатні, які здатні рухатися в двох осях, забезпечуючи ідеальне орієнтування панелей як протягом дня, так і в різні сезони[13].

Сонячні панелі, встановлені на дахах, фасадах або на землі, працюють найефективніше, коли їх положення точно відповідає куту падіння сонячних променів. Проте, зафіксовані панелі втрачають до 50% своєї продуктивності в ранковий і вечірній час, коли сонце знаходиться низько на горизонті.

Трекери для сонячних панелей значно підвищують їх ККД, забезпечуючи динамічну зміну нахилу панелей для досягнення оптимального кута між сонячним світлом і робочою поверхнею. Завдяки цьому інтелектуальному пристрою, контролер з кількома датчиками постійно відслідковує положення сонця та автоматично орієнтує панелі у найефективнішу позицію. Як результат, ефективність роботи панелей може зрости до 50%.

Трекери сонячних панелей розділяють на такі напрямки:

1. Ручний — кут нахилу та кількість поворотів панелей регулює оператор. Ефективність СЕС у цьому випадку залежить від його досвіду та кваліфікації.

2. Пасивний — орієнтація панелей виконується за заздалегідь встановленим алгоритмом, що враховує географічне розташування фотомодулів.

3. Активний — система автоматично орієнтує панелі так, щоб їх робоча поверхня завжди була перпендикулярна до сонця[3].

Найбільше поширення отримав активний спосіб управління, адже він є найбільш економічно доцільним та потребує мінімального обслуговування.

До переваг встановлення трекерів для сонячних панелей можна віднести[3]:

- Збільшення виробництва електроенергії завдяки підвищенню ККД модулів без необхідності збільшення їх кількості;
- Можливість підвищення вихідної потужності в умовах обмеженої площі під установку СЕС.

У свою чергу недоліками є:

- Високі початкові інвестиції;
- Термін окупності для системи з трекером збільшується на 30% у порівнянні з традиційними стаціонарними панелями.

1.3 Вимоги до системи керування. Постановка задачі

У сучасному світі розвитку альтернативної енергетики питання ефективного використання сонячної енергії набуває особливої актуальності. Враховуючи залежність рівня генерації електроенергії від положення сонячної панелі відносно сонця, виникає потреба в розробці автоматизованих систем керування здатних забезпечити максимально ефективне функціонування фотоелектричних модулів упродовж доби.

Основною задачею дипломної роботи є створення системи автоматичного керування орієнтацією сонячної панелі, яка забезпечить її оптимальне положення у просторі відносно сонячних променів. Це дасть змогу максимально збільшити коефіцієнт корисної дії фотоелектричної панелі, що у свою чергу сприятиме генерації більшої кількості електричної енергії. Зібрана енергія надалі накопичується в акумуляторній батареї, з якої живиться інвертор, що перетворює постійний струм у змінний з напругою 220 В для подальшого використання у побутовій мережі.

Основні вимоги до системи керування визначаються як технічними, так і експлуатаційними характеристиками, а саме:

1. Автоматична робота — система повинна здійснювати процес відстеження без участі людини, в режимі реального часу;
2. Надійність та стійкість — система повинна безперебійно працювати протягом усього періоду експлуатації з мінімальним технічним обслуговуванням;
3. Енергоефективність — витрати енергії на керування панеллю не повинні перевищувати надходження додаткової енергії, отриманої завдяки слідкуванню за сонцем;
4. Інтеграція з контролером Siemens S7-1200 — розроблена система повинна бути сумісною з ПЛК, який забезпечує обробку сигналів, управління виконавчими механізмами та взаємодію з оператором через НМІ;

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Можливість програмного налаштування та модернізації — важливо забезпечити зручне внесення змін до алгоритму роботи системи з метою її подальшої оптимізації.

Система повинна реалізовувати функцію сонячного трекінгу ця функція буде реалізована через аналоговий метод, що включає в себе застосування фотодатчика, які реагує на зміну освітлення.

Для реалізації слідкування за положенням сонця система буде використовувати крокові двигуни, керування якими здійснюється через контролер Siemens S7-1200. Програмування логіки роботи здійснюється у середовищі TIA Portal, що дозволяє створити надійну та гнучку архітектуру системи, з можливістю візуалізації, архівування даних, налаштування порогових значень та реалізації аварійного зупину.

Крім того, система повинна бути здатна здійснювати перемикання джерел живлення, у разі недостатнього надходження енергії з сонячної панелі наприклад, уночі чи в умовах тривалої похмурої погоди або при різьких змінах потреб споживача, має автоматично вмикатися резервне живлення від класичної мережі 220 В. Це дозволить гарантувати стабільне енергопостачання незалежно від погодних умов.

Таким чином, сформульована задача дипломної роботи полягає у проектуванні, реалізації та дослідженні роботи системи автоматичного керування орієнтацією сонячної панелі на базі сучасних технологій ПЛК Siemens та програмного середовища TIA Portal, з метою максимізації ефективності перетворення сонячної енергії у електричну.

1.4 Огляд сучасних технологій автоматичного керування сонячними панелями.

У сучасному світі сонячні панелі стикаються з декількома факторами, які призводять до зниження їх продуктивності, самі виражені з яких це змінення кута нахилу відносно сонця та пилові забруднення.

Пилові забруднення більш притаманні для сонячних панелей розташованих у пустельній місцевості, але і не рідкість для нашого міста, де через промислові підприємства в повітрі присутність металевого пилу значно вища від екологічних норм. В таких випадках можуть використовуватися наступні засоби автоматизації:

1) Автоматичне очищення за допомогою полива сонячних панелей- основними перевагами таких систем є висока ефективність очищення, Швидкість процесу та зниження перегріву панелей. Але присутнє досить велика кількість недоліків, а саме: велика кількість споживання води, необхідність використання очищеної або демінералізованої води, ризик пошкодження (якщо тиск води занадто високий або температура надто низька чи висока, це може призвести до мікротріщин у склі або термічного шоку)[25].

2) Метод безводної очистки- безводна, безконтактна система використовує електростатичне відштовхування, щоб частинки пилу відокремлювалися без води або щіток. Щоб активувати систему, над поверхнею сонячної панелі проходить простий електрод. Електричний заряд, що виробляється ним, відштовхує частинки пилу від панелей. Система може працювати автоматично за допомогою простого електродвигуна та напрямних з боків панелі. Основними перевагами даної системи є повністю безводне очищення, безконтактність, мінімальне обслуговування. У свою чергу недоліки це: вартість впровадження, обмежена доведена довговічність.

Але все ж таки найбільшу розповсюдженість та ефективність показують автоматичні системи з використанням трекерів, які коригують положення сонячних панелей відносно джерела енергії. Для цього використовують

фотометричний датчик який відстежує положення відносно сонця, контролер який обчислює отриману інформацію та двигуни які переміщують сонячну панель у просторі. Серед переваг такої системи є підвищення ефективності генерації електроенергії, швидке повернення інвестицій (не дивлячись на значні витрати при закупці та пусконаладжувальних роботах, модернізована система значно швидше починає приносити прибуток ніж статична). Однак є і значні недоліки, а саме: вища вартість обладнання та монтажу, менша надійність в умовах сильного вітру чи пилових бур, складність монтажу на дахах, підвищені вимоги до обслуговування.

Висновки: У першому розділі було здійснено комплексний аналіз основних аспектів функціонування та керування сонячними енергетичними системами. Розглянуто принципи роботи фотоелектричних панелей, які полягають у перетворенні сонячного випромінювання в електричну енергію за рахунок фотогальванічного ефекту. Встановлено, що ефективність перетворення значною мірою залежить від кута падіння сонячних променів на поверхню панелі, що обґрунтовує необхідність використання систем відстеження положення сонця — трекерів.

У ході аналізу класифікації трекерів визначено їх типи та особливості конструкції. Були визначені основні вимоги до системи керування: точність, надійність, енергоефективність, інтеграція з ПЛК Siemens S7-1200, а також здатність до автоматичного перемикавання джерел живлення. Сформульовано технічну задачу проекту, що передбачає створення адаптивної системи автоматичного позиціонування сонячної панелі з урахуванням поточних умов освітлення. Останній підрозділ був присвячений огляду сучасних технологій, що використовуються для автоматичного керування сонячними панелями. Таким чином, теоретичні положення, викладені у першому розділі, створюють необхідне підґрунтя для подальшого розроблення, моделювання та впровадження системи автоматичного слідування за положенням сонця з метою підвищення ефективності роботи сонячної електростанції.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ІНВЕРТУВАННЯМ ЕНЕРГІЇ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ З АДАПТАЦІЄЮ ДО ЗМІН ПОТРЕБ СПОЖИВАЧА

2.1 Вибір, калібровка сигналів сенсорів для відстеження положення сонця

Переважає більшість сонячних панелей встановлюються під нахилом на нерухому опору і орієнтуються на південь. Подібний спосіб установки має безперечні переваги – простоту, дешевизну та надійність. Однак не варто забувати, що Сонце не висить нерухомо в одній і тій точці небосхилу, а переміщається по дузі від сходу на захід.

В цілому, в результаті відхилення сонячних променів від перпендикуляра до площини фотоелектричного перетворювача, загальна кількість світлової енергії, що потрапляє на панель, за добу становить від 40 до 70% від можливого. Звісно, постає питання - а чи можна якось уловлювати ці втрачені 30-60%? Можна. За допомогою нескладного пристрою, який називається сонячним трекером, який в свою чергу для виявлення оптимального положення панелі відносно сонця залежить від сенсора що відстежує оптимальну позицію для збільшення ефективності[0].

В моїй роботі сенсором для відстеження положення сонця слугує невеличкий сонячний фотоелемент розташований під кутом 90° збоку від сонячної панелі. Сонячний фотоелемент не призначений для генерування енергії, він виступає своєрідним датчиком освітленості. Система реагує не на теоретичні розрахунки, а на фактичну кількість сонячного світла, що робить її особливо надійною у сонячні дні.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Кражан І.І.			РОЗДІЛ 2			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Савицький О.І.								19	91
								КНУ АКІТ-22ск			
Н. Контр.		Маринич І.А.									
Затверд.		Маринич І.А.									

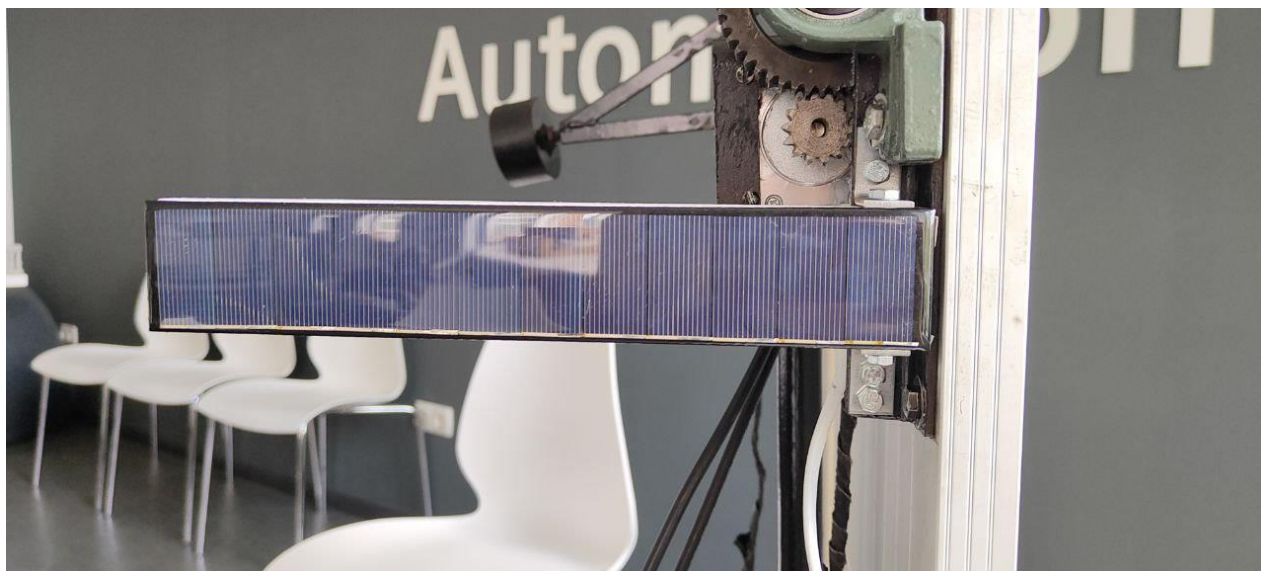


Рисунок 2.1 - Сенсор відстеження сонця

Основна ідея полягає в тому, що рівень потужності, який видає сенсор співвідноситься з потужністю яку видає сонячна панель, коли сонце світить на сенсор, він видає максимальну потужність це означає, що конструкція розташована неефективно, контролер оброблює цю інформацію та керуючи двигунами переміщує сонячну панель у максимально ефективне місце. Вся ця логіка може працювати як безперервно, так і з періодичним опитуванням, наприклад, раз на кілька хвилин. Хоча в умовах хмарності або сильної запиленості її точність може трохи знижуватися, це дуже вдале рішення для бюджетних і автономних сонячних трекерів.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Алгоритм роботи системи процесу інвертування

Сонячна панель виробляє постійний струм, рівень якого залежить від інтенсивності сонячного світла.

Силові кабелі підключені до контролера сонячної панелі Solar Charge Controller.



Рисунок 2.2 - Контролер сонячної панелі

Даний пристрій є основним у системі контролю та передачі електроенергії з сонячних панелей на батареї або на навантаження - саме контролер забезпечує взаємодію таких компонентів як сонячна панель, акумулятори для накопичення енергії, живлення драйверів електродвигунів. Підключення контролера дуже просто, у нього всього 3 роз'єми - для сонячної панелі, акумулятора та навантаження відповідно. В якості навантаження в моєму випадку це живлення драйверів електродвигунів які обертають сонячну панель, акумуляторна батарея 12В 18Ач свинцево-кислотні у кількості двох штук. Також на контролері є 2 USB-роз'єми, від яких можна заряджати різні пристрої. З контролера енергія передається на свинцево-кислотні акумулятори [10] які з'єднанні послідовно, тобто збільшиться ємність акумуляторів, на віддачу піде 24В. Вихід з акумуляторів підключено до інвертора. Інвертор в свою чергу перетворює 24В постійного струму в 220В змінного струму, та віддає цю напругу у змонтовану на стенді розетку.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22



Рисунок 2.3 - Алгоритм роботи системи процесу інвертування

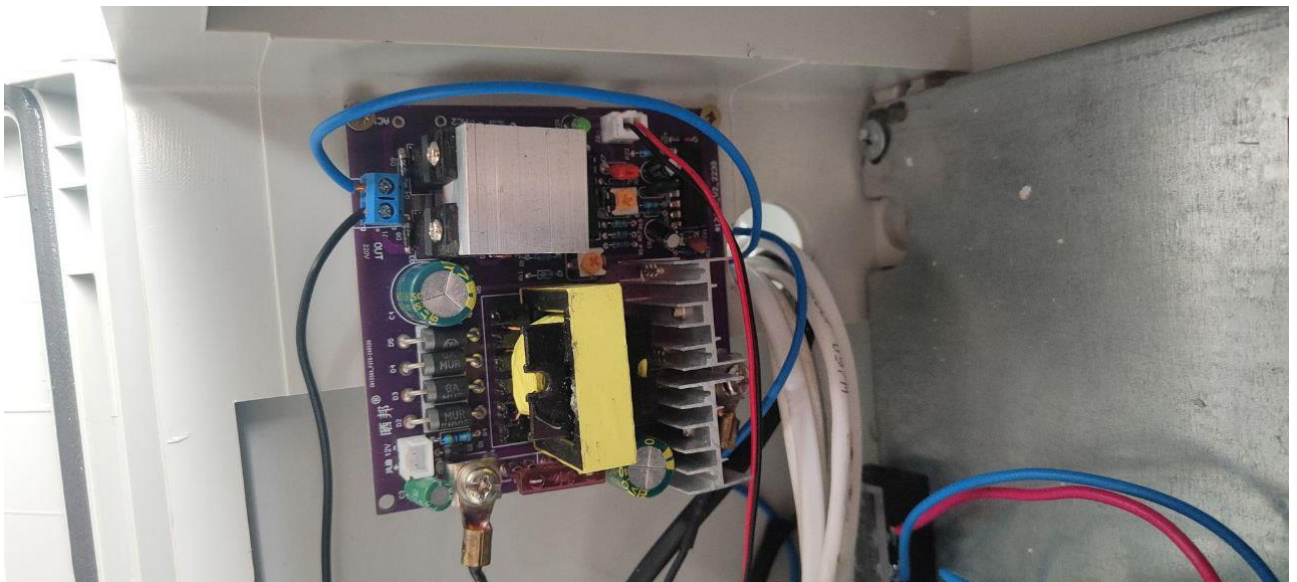


Рисунок 2.4 - Інвертор

Інвертор в свою чергу перетворює 24В постійного струму в 220В змінного струму, та віддає цю напругу у змонтовану на стенді розетку.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

2.3 Розробка програмного забезпечення для інвертування енергії

Інвертор є ключовим компонентом енергетичних систем, що перетворює постійний струм, отриманий від акумуляторів, сонячних панелей або інших джерел, на змінний, що відповідає параметрам побутових та промислових електромереж. Його функціонування засноване на принципах силової електроніки, цифрової обробки сигналів та методів автоматичного керування. Основна мета інвертора - забезпечити якісне перетворення енергії з мінімальними втратами, високою стабільністю вихідних параметрів та адаптивним регулюванням потужності залежно від навантаження. З погляду технічної реалізації, інвертори можна розділити на кілька типів, кожен із яких застосовується у різних сферах[26].

Автономні інвертори призначені для роботи в системах резервного або незалежного енергопостачання, які найчастіше використовуються в сонячних установках та гібридних енергетичних системах.



Рисунок 2.5 - Автономний інвертор

Grid-tie-інвертори синхронізуються з централізованою електромережою, дозволяючи передавати надмірну енергію назад у систему, знижуючи споживання традиційних джерел енергії[26].



Рисунок 2.6 - Grid-tie інвертор

Лінійно-інтерактивні інвертори часто зустрічаються в системах безперебійного живлення (UPS), забезпечуючи автоматичне перемикання між батарейним живленням та мережним джерелом.



Рисунок 2.7 - Лінійно-інтерактивний інвертор

Важливо враховувати, кожен тип інвертора має свої особливості схемотехніки, алгоритми управління та обмеження по ККД. ККД інвертора багато в чому залежить від використовуваних технологій перетворення. Сучасні моделі можуть досягати ефективності вище 95%, проте частина енергії неминуче втрачається через теплові процеси, опір провідників та динамічні зміни навантажень.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Один із ключових факторів, що впливають на ККД, — якість формування вихідного сигналу. В ідеалі інвертор повинен забезпечувати чистий синусоїдальний сигнал, який є найбільш безпечним та ефективним для живлення більшості електроприладів. Однак прості інвертори, що використовують метод грубої прямокутної модуляції, створюють спотворення, які можуть негативно вплинути на роботу чутливих приладів. Для генерації якісного синусоїдального сигналу застосовуються методи широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), що дозволяють синтезувати плавні переходи напруги шляхом швидкого перемикавання силових транзисторів. Залежно від конструкції інвертора використовуються MOSFET або IGBT – потужні ключові елементи, здатні працювати на високій частоті та витримувати значні струмові навантаження. Цифрова обробка сигналів (DSP) грає вирішальну роль аналізі вихідних параметрів і коригуванні роботи системи. Вона дозволяє компенсувати коливання напруги, мінімізувати гармонійні спотворення та забезпечити стабільну роботу при зміні навантаження. Важливим аспектом роботи інвертора є регулювання потужності та інтелектуальне керування. Сучасні системи інтегрують алгоритми MPPT (Maximum Power Point Tracking), які дозволяють аналізувати параметри вхідної напруги та струму, визначаючи оптимальну точку роботи сонячних панелей. Це особливо важливо у сонячних енергетичних установках, оскільки ефективність генерації безпосередньо залежить від умов довкілля. За допомогою машинного навчання можна адаптувати роботу інвертора у режимі реального часу, підвищуючи ефективність використання сонячної енергії. Розробка програмного забезпечення для інверторів грає вирішальну роль автоматизації енергосистем. В основі таких рішень лежать методи динамічного керування, які дозволяють інвертору змінювати параметри роботи залежно від вхідних умов, стану акумуляторів та потреб споживачів. Наприклад, інтелектуальна система може перемикатися між автономним живленням та подачею енергії в мережу, оптимізуючи розподіл енергії та продовжуючи термін служби акумуляторів.

Впровадження SCADA-платформ та сенсорних систем моніторингу дозволяє забезпечувати постійний контроль за параметрами мережі та оперативне реагування на нестандартні ситуації. З точки зору безпеки інверторні системи вимагають продуманих механізмів захисту. Сюди входить моніторинг перевантаження, термоконтроль силових елементів, а також алгоритми резервного копіювання, що запобігають критичним збоям. Застосування криптографічних технологій у програмному забезпеченні дозволяє захистити систему від зовнішніх загроз та забезпечити стабільність роботи інвертора навіть у екстремальних умовах. Таким чином, інверторні технології є не просто перетворювачами енергії, а складними інтелектуальними системами, що працюють на стику електроніки, цифрової обробки сигналів та автоматизованого керування[26].

Для реалізації управління інвертором було вирішено створити систему на основі релейного комутування, оскільки вона характеризується доступністю, простотою монтажу та високою надійністю. Використання реле в поєднанні з дискретними виходами контролера Siemens забезпечує логічне управління режимами роботи інвертора, а також моніторинг його стану та безпечне перемикання між робочими режимами. Контролер отримує дані про стан навантаження, аналізує їх і відповідно керує реле, змінюючи активний стан інвертора.

Програмна логіка роботи передбачає аналіз поточного рівня напруги акумулятора, що є критично важливим параметром для забезпечення ефективного та безпечного використання накопиченої енергії. Якщо напруга падає нижче 23,7 В, система негайно відключає реле, тим самим припиняючи роботу інвертора, щоб уникнути глибокого розряду батареї, який може негативно вплинути на її ресурс. При перевищенні порогу 29 В контролер активує реле, відновлюючи роботу інвертора і дозволяючи використання накопиченої енергії. Для реалізації схеми було використано контролер Siemens S7-1200 з дискретними виходами, реле на 24V для комутації потужності інвертора, а також мультиметр для калібрування сигналів та блок живлення

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

для тестування роботи системи. Підключення здійснювалося через керуючий вихід контролера, який подавав 24V сигнал на котушку реле, викликаючи його спрацьовування та відповідне увімкнення чи вимкнення інвертора.

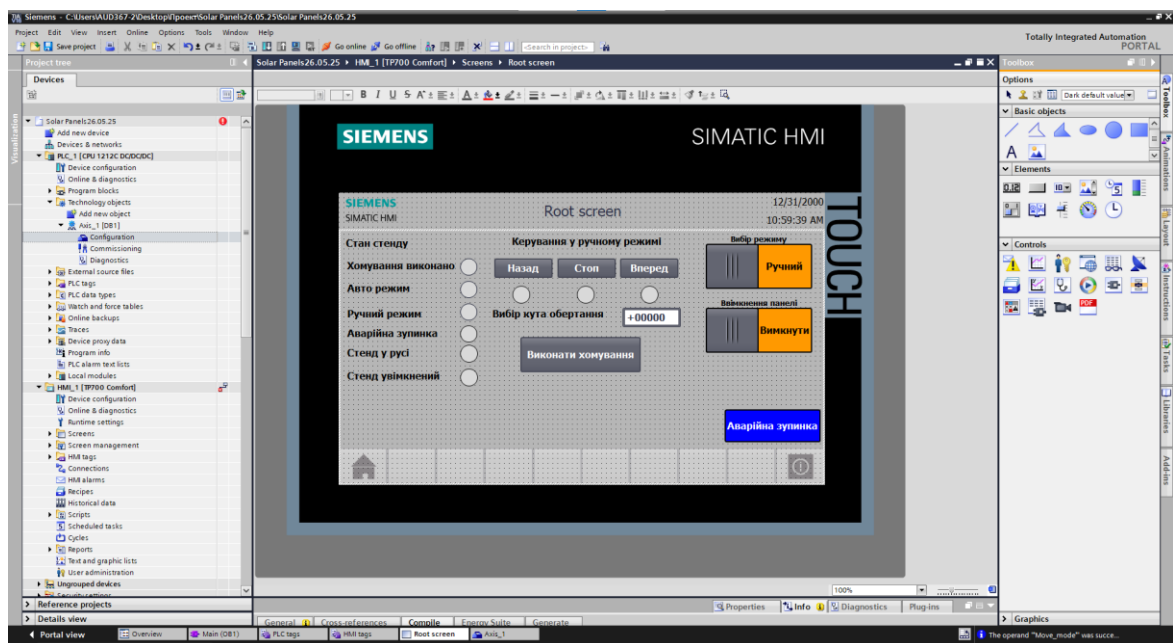
Окрім основної логіки управління, було вирішено додати функцію аварійного вимкнення інвертора у разі перевантаження. Для цього контролер Siemens був запрограмований на моніторинг параметрів навантаження та обробку критичних ситуацій. При роботі інвертора в режимах високого споживання його вихідна потужність може перевищити допустимий рівень, що загрожує перегрівом компонентів, нестабільністю системи та потенційними пошкодженнями. Тому контролер проводить постійний аналіз вихідного цифрового сигналу від інвертора, що містить дані про стан навантаження.

Якщо потужність або струм перевищують встановлені межі, контролер негайно деактивує реле, тим самим примусово вимикаючи інвертор, щоб уникнути критичних перевантажень. У програмному забезпеченні Siemens додано перевірку аварійного стану через дискретний вхід, що сигналізує про проблему. При перевищенні вихідного струму понад 1 А контролер автоматично відключає реле, зупиняючи роботу інвертора до стабілізації системи.

Головною перевагою цієї методики є повна автоматизація контролю та запобігання небажаним перевантаженням, що знижує ризики виходу з ладу системи та збільшує її загальну надійність. Однак, як і у будь-яких технічних рішень, є і певні недоліки: можливі затримки при обробці сигналу контролером, ризик хибного спрацьовування при короточасних піках навантаження, а також обмеженість у переданих параметрах, оскільки використовується лише бінарний сигнал «включено» або «вимкнено». Незважаючи на ці потенційні обмеження, розроблена система управління забезпечує ефективну роботу інвертора, адаптуючи його до змін навантаження і унеможливорюючи критичні перевантаження.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливим етапом у розробці систем автоматизованого керування є створення зручного, функціонального та інформативного інтерфейсу взаємодії між оператором і технічним об'єктом керування. У контексті керування кроковим двигуном така візуалізація дозволяє не лише ініціювати та контролювати процес переміщення, а й своєчасно виявляти помилки та коригувати параметри роботи без необхідності безпосереднього втручання в програмний код ПЛК. Для реалізації візуалізації у даному проєкті використано інтегровані засоби створення HMI у середовищі TIA Portal, що дозволяє з високим рівнем інтеграції поєднувати програмну логіку контролера Siemens S7-1200 із графічним інтерфейсом на базі панелі оператора.



Візуалізація базується на використанні елементів керування, таких як кнопки, індикатори та засоби введення значень користувачем. У межах розробленого інтерфейсу реалізовано управління ключовими командами системи Motion Control, зокрема MC_Power, MC_Halt, MC_MoveAbsolute, MC_Stop та MC_Reset. Для кожної функціональної команди передбачено відповідні елементи керування, що дають змогу подавати сигнали на активацію, а також візуально спостерігати результати виконання — наприклад, під час руху

панелі у будь яку із сторін, індикатор «Стенд у русі» майорить зеленим коліром.

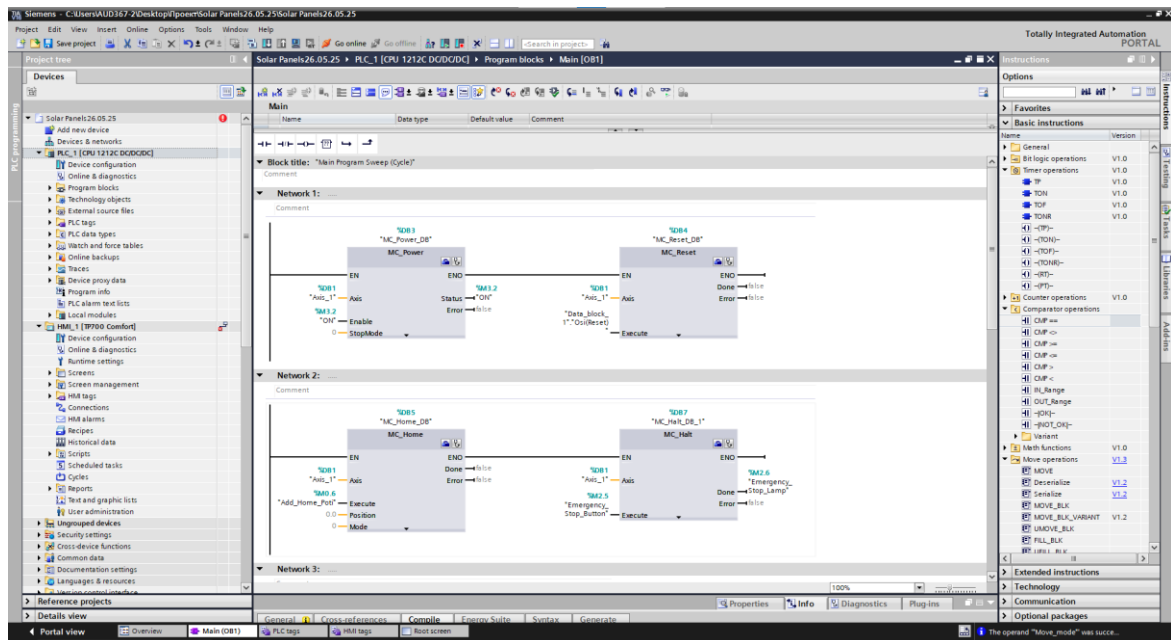


Рисунок 2.9 - Вигляд програми для керування кроковим двигуном

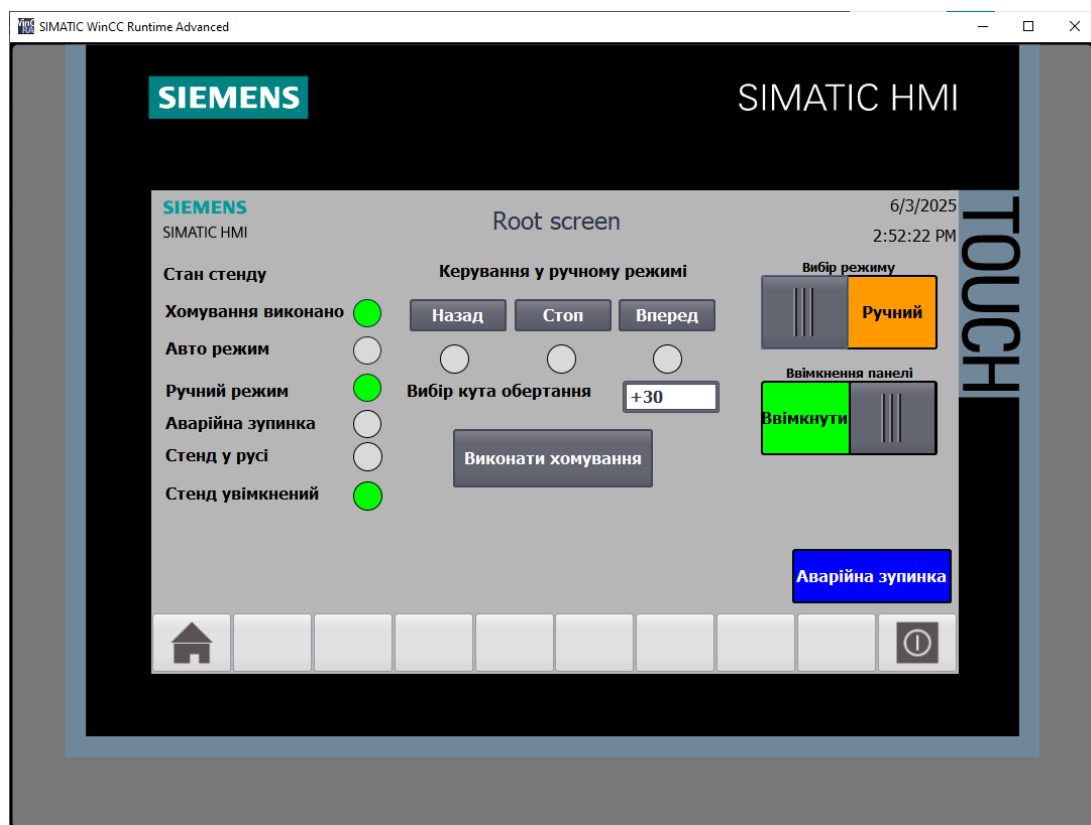


Рисунок 2.10 - Приклад виконання команди

Особливу увагу було приділено інтерактивному введенню параметрів: користувач має змогу задавати швидкість переміщення через HMI, у ручному режимі, що значно підвищує гнучкість системи та дозволяє адаптувати її до різних умов експлуатації.

									Арк.
									30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ				

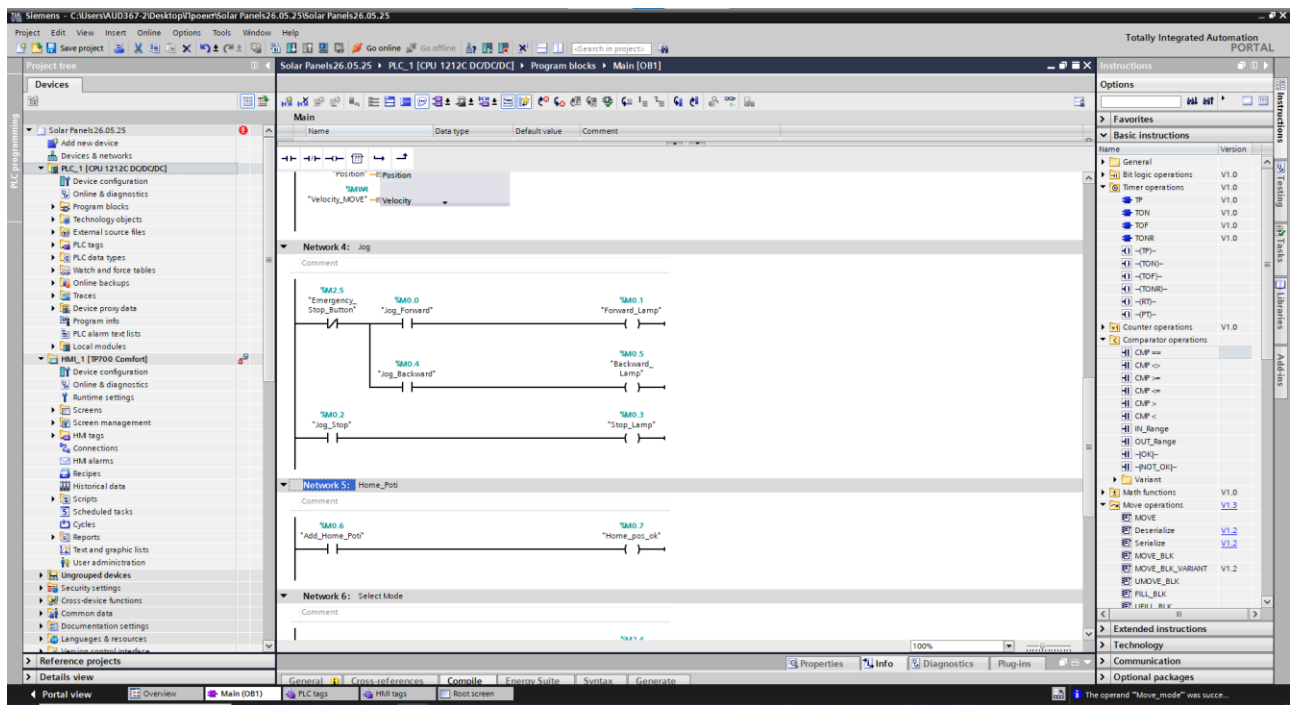


Рисунок 2.11 - Вигляд програми для кервання кроковим двигуном

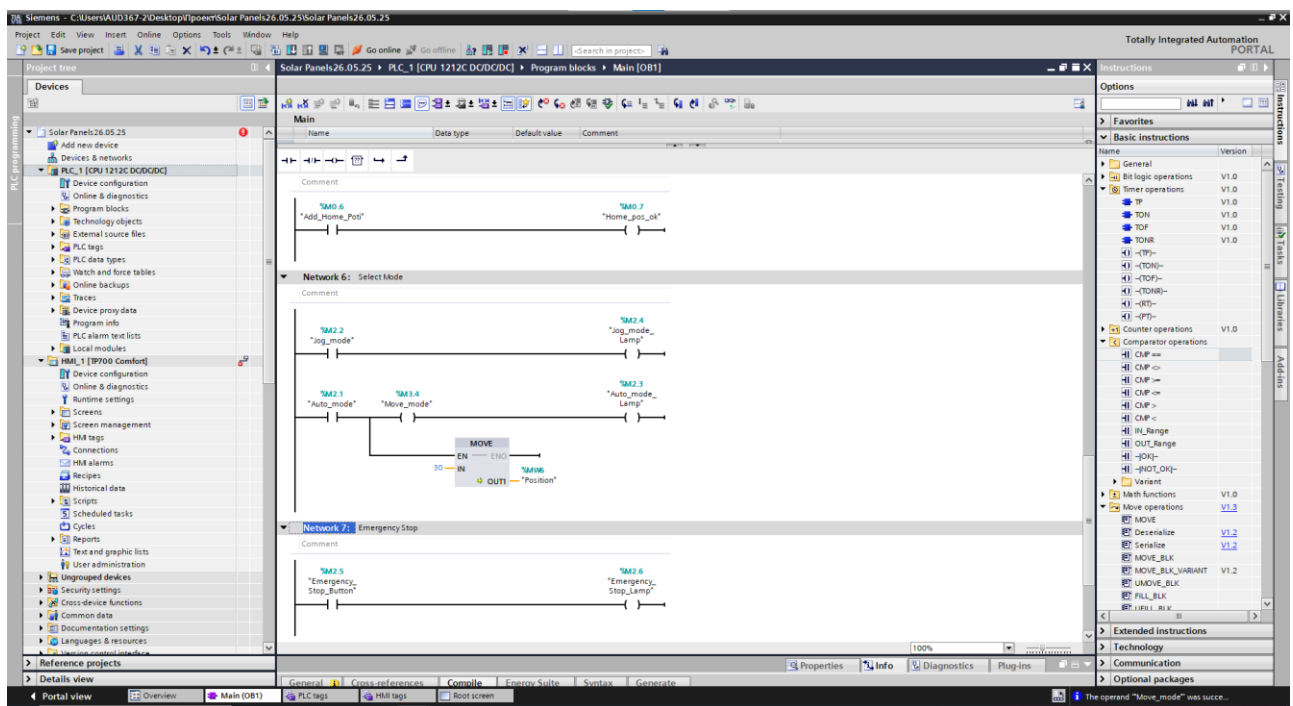


Рисунок 2.12 - Вигляд програми для кервання кроковим двигуном

Розробка візуалізації також враховує аспекти ергономіки й безпеки: інтерфейс побудований логічно, із чіткою структурою та візуальним поділом елементів за функціональним призначенням. Текстові підказки полегшують сприйняття інформації, знижують ймовірність помилок оператора та підвищують загальну надійність системи.

2.5 Структурна схема системи керування процесом генерації енергії з сонячної панелі

Структурна схема була розроблена з метою узагальненого представлення складу автономної енергосистеми та розуміння основних функціональних зв'язків між її елементами. На відміну від принципової схеми, структурна не відображає конкретні електричні з'єднання, але дозволяє наочно відобразити логіку взаємодії підсистем, ієрархію компонентів, напрямки потоків енергії та інформації.

У верхньому рівні розташована сонячна панель, що виконує роль основного джерела енергії. Ця панель перетворює сонячну радіацію на електричну енергію постійного струму, рівень якої залежить від освітленості, часу доби та погодних умов. Панель з'єднана з контролером заряду, який виступає сполучною ланкою між генератором та акумулюючим елементом, акумуляторами. Основним завданням цього блоку є регулювання режиму заряду відповідно до характеристик акумуляторів та запобігання їх перезаряду або глибокому розряду.

Наступним ключовим елементом схеми є акумулятори, що складаються із двох послідовно з'єднаних акумуляторів. Вони виконують буферну функцію, а саме накопичення енергії в періоди активної генерації та віддачу її у мережу в моменти дефіциту сонячного світла. Контролер також керує напрямом енергії — залежно від умов він або заряджає акумулятори, або спрямовує енергію безпосередньо до інвертора. Інвертор перетворює постійну напругу акумуляторів на змінну напругу 220 вольт. Інвертор підключений до розетки, у яку в свою чергу може бути підключене навантаження, наприклад - це можуть бути освітлювальні прилади, побутова техніка та інше. Він також має вбудовані засоби захисту від перевантаження, перегріву та короткого замикання. Особливість даної енергосистеми полягає в наявності резервного джерела живлення — напруги мережі, до якого здійснюється автоматичне підключення у разі нестачі потужності сонячної генерації.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

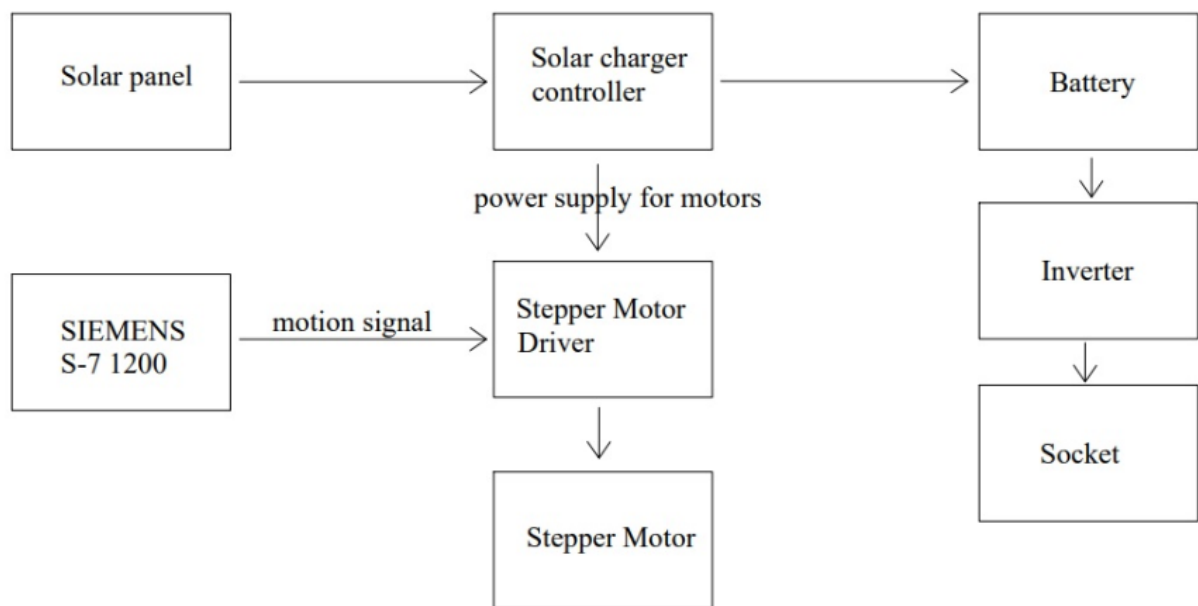


Рисунок 2.13 - Структурна схема

За перемикавання між автономним та мережевим режимом відповідає блок автоматики, який порівнює поточний вироблення та споживання, і за потреби ініціює підключення до зовнішньої мережі. Контролер Siemens S7-1200 забезпечує обробку сигналів і реалізацію заданих алгоритмів управління. Структурна схема відображає архітектуру всієї системи та взаємозв'язок між основними компонентами, а саме генерацією, накопиченням, перетворенням, перемиканням і управлінням. Вона дозволяє відобразити загальне уявлення про логіку функціонування установки та є основою для подальшого аналізу, моделювання та експлуатації енергосистеми.

2.6 Розробка схеми принципової електричної інвертування

На даному етапі проекту було виконано розробку принципової електричної схеми, що відображає структуру та взаємозв'язки всіх основних компонентів автономної енергосистеми. Система призначена для забезпечення лабораторного навантаження за рахунок використання відновлюваного джерела енергії – сонячної панелі – з можливістю автоматичного переходу на мережу при недостатньому виробленні потужності. Схема включає такі основні елементи, як: сонячна панель, що є основним джерелом постійної напруги, контролер заряду, що забезпечує оптимальні умови заряду акумуляторної батареї та захищає її від перерозряду, акумуляторні батареї, які призначені для накопичення енергії та забезпечення живлення за відсутності генерації, інвертор, що перетворює постійну напругу акумулятора на змінну мережеву напругу 220 вольт.

З метою підвищення ефективності та надійності функціонування автономної системи в склад схемного рішення були також включені елементи моніторингу та керування. Зокрема, передбачено підключення програмованого логічного контролера Siemens S7-1200, який виконує збір і обробку даних з датчиків струму, напруги, температури акумуляторів, а також реалізує логіку перемикавання між джерелами живлення. Це дозволяє забезпечити адаптивне управління енергопотоками та захист системи від перевантажень, перенапруг, коротких замикань або надмірного розряду акумуляторів. Такий підхід сприяє підвищенню загальної стабільності системи та подовженню ресурсу її ключових компонентів.

Схема розроблена з урахуванням стійкості системи у різних режимах роботи, включаючи перехідні процеси та аварійні ситуації. Усі компоненти відображені у їх функціональному зв'язку, що дозволяє наочно простежити потік енергії від генерації до споживання, а також роботу керуючих та захисних ланцюгів. Розробка схеми проводилася у графічному редакторі AutoCAD з можливістю подальшого редагування.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7 Характеристики електроенергії, що виробляється сонячною панеллю

Сонячні панелі генерують електричний струм завдяки фотоелектричному ефекту. Цей процес починається з того, що фотоелектричні елементи, які зазвичай складаються з кремнію, поглинають сонячне світло. Кремній є напівпровідником і його особлива структура дозволяє вивільняти електрони під впливом фотонів світла. При цьому електрони одержують достатню енергію, щоб залишити свої атоми та почати рух. У середині фотоелектричного елемента є шари кремнію з різними властивостями: один шар збагачений електронами, а інший, навпаки, бідний на них. Це створює електричне поле, яке направляє електрони, що звільнилися, в певному напрямку, що і призводить до виникнення електричного струму. Так формується постійний струм (DC), який надалі перетворюється на змінний (AC) за допомогою інвертора, щоб відповідати вимогам побутових електроприладів[7].

Сама ефективність процесу залежить від багатьох факторів. Важливу роль відіграє інтенсивність сонячного світла: що більше фотонів досягає поверхні панелі, то більше електроенергії можна отримати. Також критичний кут нахилу панелі, оскільки оптимальна орієнтація збільшує кількість поглиненого світла. Температура також впливає ефективність роботи – перегрів знижує потужність генерації через збільшення опору матеріалу. Якість використовуваних фотоелементів визначає загальний коефіцієнт корисної дії. Монокристалічні кремнієві елементи, наприклад, мають вищий ККД порівняно з полікристалічними. Це з тим, що монокристали мають більш упорядковану структуру, що дозволяє електронам рухатися вільніше і з меншими втратами[0].

Додатково сонячні системи можуть містити контролер заряду, який регулює потік енергії та захищає акумулятор від перевантаження. Акумулятор зберігає енергію для використання в нічний час або при недостатньому сонячному освітленні. Таким чином, принцип роботи сонячних панелей ґрунтується на перетворенні енергії сонячного випромінювання в електрику через взаємодію фотонів світла з напівпровідниковим матеріалом. Це

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фундаментальне явище використовується в сучасних технологіях, дозволяючи ефективно отримувати електрику з одного з найдоступніших та екологічно чистих джерел енергії – сонячного світла.

На стенді представлена сонячна панель компанії AXIOMA energy, модель AX-65P з потужністю 65 Вт постійного струму. Вона виготовлена з кремнієвих елементів вищої категорії, що є гарантією високої надійності, продуктивності та довговічності пристрою. Така конструкція дозволяє ефективно працювати навіть при частковому затіненні, що є важливою перевагою при встановленні на дахах складної конфігурації. Сонячна панель виробляє постійний струм, потужність панелі змінюється залежно від інтенсивності сонячного випромінювання та кута падіння променів. Номінальна напруга становить 18,2 В, максимальний струм - 3,58 А, що дозволяє забезпечити максимальну потужність в 65 Вт. У режимі короткого замикання струм може сягати 3,96 А. Панель оснащена вбудованими діодами, що захищають систему від втрати потужності при затіненні. Завдяки малій вазі (5,5 кг) вона є зручною у монтажі. Отримана енергія може бути використана для живлення акумуляторних батарей або подаватись до мережі через інвертор. Сонячна панель AX-65P — це надійний джерело постійного струму, оптимальна для створення малих сонячних систем, яка поєднує ефективність, довговічність і стійкість до зовнішніх умов.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

2.8 Моделювання системи керування роботою інвертора при стохастичній зміні потреб споживачів

У сучасних автономних або гібридних системах електропостачання, що використовують відновлювані джерела енергії, надзвичайно важливо забезпечити надійне та стабільне живлення споживачів. Одним з ключових компонентів таких систем є інвертор, який перетворює постійну напругу від сонячної панелі або акумуляторів у змінну напругу 220 В, придатну для живлення побутових або лабораторних приладів. Однак через обмеженість потужності сонячного джерела, яка залежить від погодних умов, часу доби та заряду акумуляторів, не завжди можливо забезпечити безперервне енергопостачання тільки від інвертора. У таких випадках необхідно автоматично перемикає живлення навантаження на зовнішню мережу 220 В, щоб уникнути збоїв у роботі споживачів.

Особливістю реальних систем є те, що енергоспоживання змінюється у випадковий спосіб — вмикаються та вимикаються прилади, змінюється потужність навантаження залежно від сценаріїв користування. Такі зміни називаються стохастичними, тобто випадковими або непередбачуваними. Саме тому виникає необхідність моделювати систему, здатну реагувати на подібні коливання у споживанні електроенергії та приймати рішення щодо джерела живлення на основі поточного енергетичного балансу.

У цьому пункті здійснюється побудова моделі, яка дозволяє дослідити поведінку системи енергозабезпечення за умов випадкової зміни навантаження. Модель реалізується в середовищі Simulink та включає джерело постійної напруги, яке було реалізовано через елемент Constant. Навантаження зі змінною потужністю через елемент Sine Wave, контролер логіки перемикавання Relation Operator та перемикач Switch, що дозволяє подавати живлення на споживача або з інвертора, або з зовнішньої мережі. Особлива увага приділяється реалізації логіки контролю, яка здійснює постійний моніторинг потужності споживання та потужності, яку здатне забезпечити сонячне джерело. У разі

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дефіциту потужності система автоматично перемикає навантаження на традиційну електромережу, і навпаки — повертає живлення на інвертор при зменшенні навантаження до допустимого рівня.

Моделювання роботи інвертора в умовах стохастичних змін енергоспоживання дозволяє перевірити ефективність керуючого алгоритму, забезпечити безперебійність живлення та створити передумови для подальшої реалізації такої логіки в реальній системі з використанням контролера. Це важливий етап у розробці надійної систем автономного енергопостачання з урахуванням реальних умов експлуатації.

Побудова моделі в середовищі Simulink дозволило здійснити детальне дослідження поведінки складної енергетичної системи без необхідності фізичного втручання у реальне обладнання, що є особливо важливим у процесі навчання. Моделювання є ключовим етапом, яке дозволяє перевірити ефективність логіки керування інвертором в умовах змінного навантаження, не наражаючи на ризик справжні електронні компоненти а людей.

Simulink надає можливість працювати з динамічними системами в зручному графічному середовищі, де всі процеси відображаються у вигляді блок-схем. Це дозволяє візуалізувати роботу перемикача, навантаження, контролера, а також побачити результат у вигляді графіків. За допомогою моделі можна експериментувати з різними значеннями навантаження, параметрами джерел енергії, алгоритмами керування, і при цьому швидко оцінювати ефективність прийнятих рішень.

Ще однією перевагою є можливість імітації ситуацій, які складно або небезпечно відтворити на реальному стенді — наприклад, раптове перевантаження, відмова джерела живлення або випадкові збурення. Модель дозволяє заздалегідь протестувати поведінку системи в подібних умовах та адаптувати керуючу логіку відповідним чином.

Simulink модель є не лише інструментом перевірки правильності теоретичних розрахунків, а й важливим етапом підготовки до реалізації системи в реальному середовищі.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це також дає змогу оптимізувати систему за критеріями надійності, ефективності та безперебійності електропостачання.

Під час виконання роботи в середовищі Simulink була побудована повноцінна модель енергосистеми з інвертором, навантаженням і можливістю перемикавання на мережу 220 В у разі нестачі потужності. Метою моделювання було перевірити, як працює логіка керування інвертором при стохастичній зміні навантаження, а також протестувати умови автоматичного перемикавання між джерелами живлення.

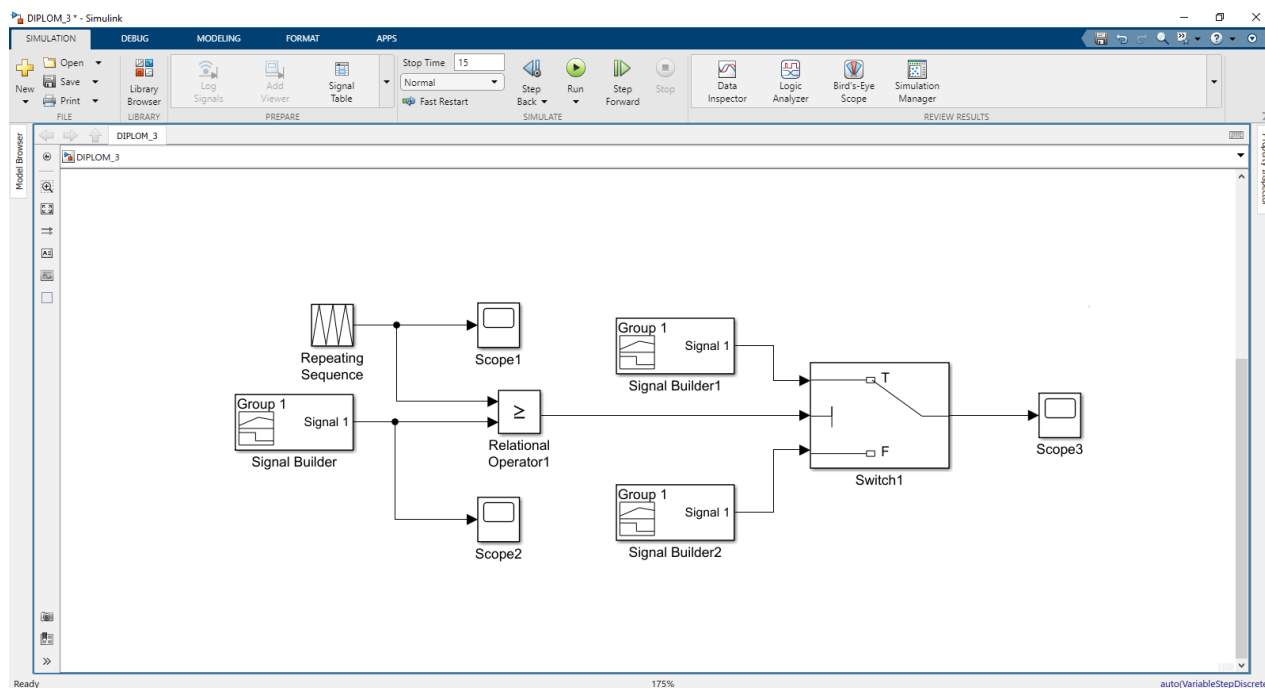


Рисунок 2.14 - Вигляд системи у середовищі Simulink

Роботу інвертора в представленій моделі імітує елемент Signal Builder2. Для імітації резервного живлення в моделі додано Signal Builder1 як друге джерело яке імітує змінну напругу 220 В, яке представляє собою звичайну побутову електромережу. Напруга з інвертора та мережі подається на вхід перемикача Switch, який імітує реальне електромагнітне реле. Перемикавання між джерелами реалізовано на основі Relation Operator1, який порівнює поточні навантаження, які спостерігаються в системі. Навантаження імітує блок Repeating Sequence, на початку роботи програми він імітує навантаження у 50 Вт, воно порівнюється із Signal Builder, значення якого відповідають потужності інвертора, а саме 65 Вт, після проходження 5 секунд Repeating

Sequence імітує навантаження у 100Вт, після чого відбувається перемикання на живлення від мережі, після проходження ще 5 секунд імітується зниження навантаження до 50 Вт, система перемикається знову на роботу від інвертора. Усі ключові величини виводились на Scope — зручний графічний інструмент в Simulink, який показував часові залежності.

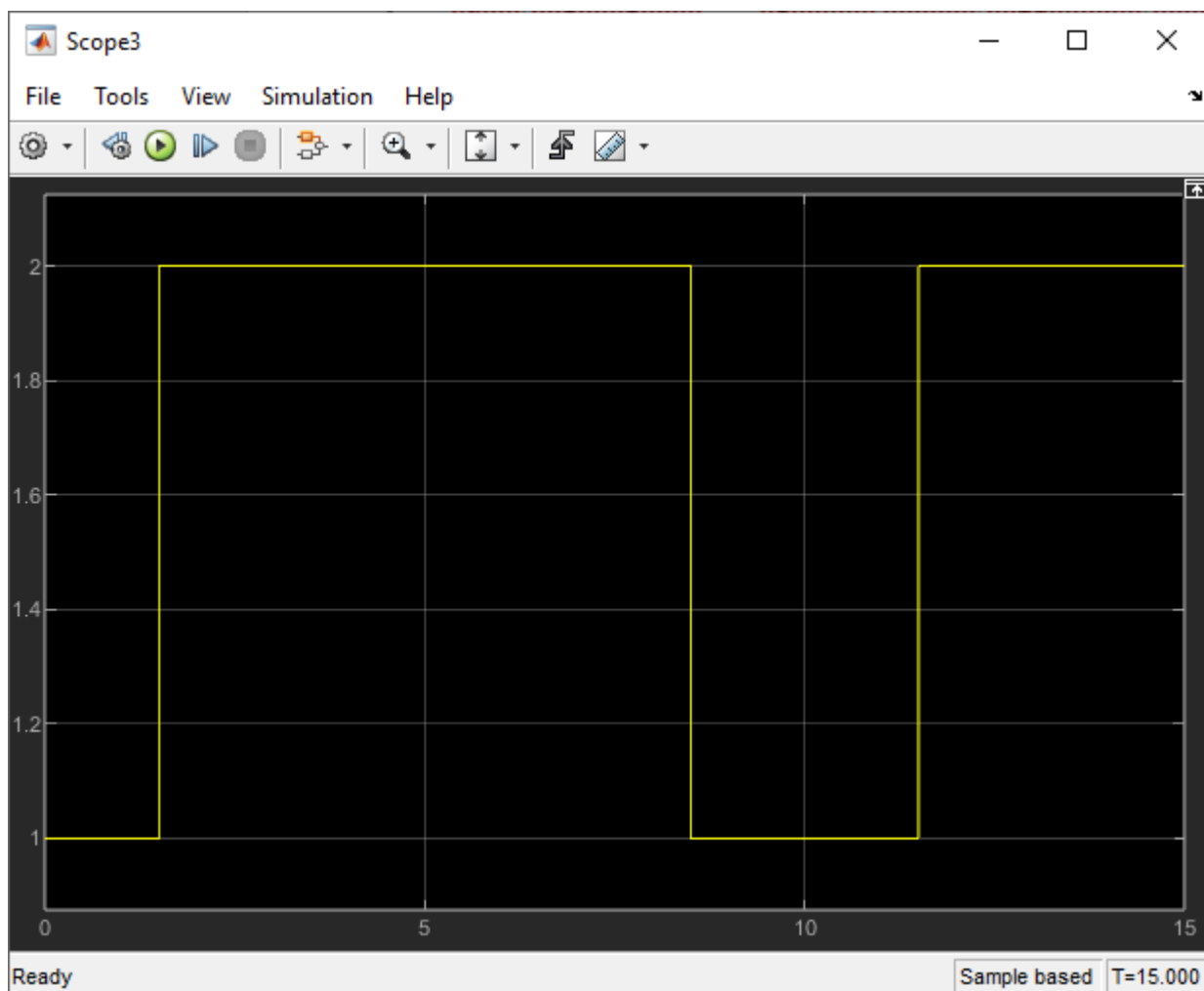


Рисунок 2.15 - Результат роботи системи

В результаті моделювання отримав графік, який демонструє спочатку живлення від інвертора, а саме одиницю, а при перевищенні навантаження система перемикалася на мережу, яка на графіку зображена двійкою. Таким чином було підтверджено працездатність розробленої схеми.

Завдяки моделі вдалося візуалізувати не тільки процес перемикання, а також вплив стохастичних навантажень на якість електропостачання.

Після успішного моделювання системи в середовищі Simulink було здійснено практичну реалізацію логіки перемикання живлення з інвертора на

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

мережу 220 В на лабораторному стенді. Для цього було використано наявні елементи стенду: сонячна панель, контролер сонячної панелі, інвертор, два послідовно з'єднаних акумулятори, а також контролер Siemens S7-1200, який керує положенням панелі та логікою перемикавання.

Для реалізації перемикавання живлення було додатково встановлено електромагнітне реле (контактор) змінного струму з двома незалежними входами: один — від виходу інвертора, інший — від мережі 220 В. Вихід реле підключено до розетки навантаження на стенді. Котушка реле живиться від керуючого сигналу, який формується контролером Siemens через модуль цифрових виходів.

Контролер був запрограмований у середовищі TIA Portal. Логіка контролю базувалася на вимірюванні потужності споживання та залишкової потужності інвертора. Якщо навантаження перевищувало встановлений поріг у 65 Вт, інвертор подавав дискретний сигнал на контролер який у свою чергу деактивував живлення котушки реле, і навантаження автоматично перемикалося на мережеву напругу 220 В.

Під час тестування до розетки стенду підключались споживачі з різною потужністю. За умови навмисного перевищення допустимого навантаження, було з імітовано пікове споживання, система миттєво реагувала: спрацьовувало реле, і відбувалося перемикавання на мережу з мінімальними перебоями у живленні.

Результати показали, що розроблена логіка повністю відповідає поставленим вимогам, а саме забезпечується безперебійне живлення споживачів, пріоритет надається живленню від сонячної енергії, а перемикавання відбувається автоматично у випадку дефіциту потужності.

Також було підтверджено працездатність керування реле з контролера Siemens, а використання гістерезису в логіці перемикавання дозволило уникнути частого миготіння реле при незначних коливаннях навантаження. Таким чином, отримано підтвердження ефективності як програмного, так і апаратного рішень, реалізованих у рамках цієї роботи.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.9 Наладка роботи інвертора для роботи на електричну мережу

Інвертори для сонячних панелей відіграють важливу роль у створенні ефективних та надійних систем сонячного енергозабезпечення. Вони дозволяють максимально використовувати енергію, отриману з відновлюваних джерел, для покриття потреб у електроенергії як у побуті, так і в промисловості[26].

Інвертор у фотоелектричній системі (solar inverter) — це електронний пристрій, призначений для перетворення постійного струму (DC), що виробляється сонячними модулями, у змінний струм (AC). Саме такий тип струму використовується в більшості електричних мереж та побутових електроприладів. Основна функція інвертора полягає в тому, щоб узгодити вихідні параметри струму (частоту та напругу) з характеристиками споживчої електромережі.

Без інвертора використання електроенергії, що виробляється сонячними панелями, є неможливим, оскільки більшість електропристроїв працюють саме від змінного струму. Таким чином, інвертор є ключовим елементом будь-якої сонячної енергетичної установки.

Окрім базової функції перетворення струму, сучасні сонячні інвертори виконують низку додаткових завдань. Вони, зокрема, підвищують ефективність роботи фотоелектричної системи завдяки функції відстеження точки максимальної потужності (MPPT), а також здійснюють моніторинг параметрів роботи панелей. Залежно від типу — автономні, мережеві чи гібридні — інвертори також забезпечують захист системи від перевантажень, коротких замикань та інших аварійних ситуацій.

Сонячні інвертори поділяються на кілька типів залежно від способу їх використання: мережеві (on-grid), автономні (off-grid) та гібридні.

Мережеві інвертори застосовуються в системах, які підключені до загальної електромережі. Вони здатні не лише забезпечувати живлення споживачів, але й передавати надлишкову електроенергію, вироблену

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

сонячними панелями, назад у мережу. Це дозволяє ефективно використовувати енергію та, за необхідності, компенсувати витрати шляхом продажу надлишків.

Автономні інвертори призначені для забезпечення електропостачання в умовах, де немає доступу до централізованої мережі. Такі системи зазвичай застосовуються в сільській місцевості, на віддалених об'єктах або в аварійних резервних джерелах енергії. Вони працюють виключно з локальними джерелами живлення, як-от сонячні панелі та акумуляторні батареї.

Гібридні інвертори поєднують функції як мережевих, так і автономних систем. Вони можуть гнучко перемикатися між різними джерелами енергії — сонячними панелями, акумуляторами та електромережею — залежно від поточних умов і потреб споживача. Це робить їх універсальним рішенням для побудови енергонезалежних та ефективних систем живлення.

Мережеві інвертори (on-grid) для сонячних батарей призначені для підключення до централізованої електромережі. Їх основна функція — перетворення постійного струму, що виробляється сонячними панелями, у змінний струм із параметрами, сумісними з електромережею. Такі інвертори дозволяють не лише забезпечувати живлення побутових приладів за рахунок сонячної енергії, але й передавати надлишкову електроенергію до мережі, отримуючи за це компенсацію у вигляді зниження рахунків або платежів за зеленим тарифом.

Основні переваги мережевих (on-grid) інверторів:

Простота встановлення та експлуатації. Такі інвертори зазвичай мають нескладну конфігурацію та легко інтегруються в наявну електросистему. Вони не потребують акумуляторних батарей, що спрощує обслуговування й знижує витрати на систему.

Максимальна ефективність використання енергії. Вся вироблена сонячна енергія використовується максимально ефективно: спочатку на власні потреби, а залишок — подається до електромережі. Це дозволяє уникнути простою системи в години пікової генерації.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Фінансова вигода. Можливість продажу надлишкової енергії за «зеленим тарифом» дозволяє скоротити термін окупності системи та отримувати додатковий прибуток, що підвищує інвестиційну привабливість таких установок.

Екологічність. Застосування мережевих інверторів сприяє зменшенню викидів вуглекислого газу та зниженню залежності від викопного палива. Це позитивно впливає на довкілля та сприяє розвитку сталої енергетики.

Недоліки мережевих (on-grid) сонячних інверторів

Попри численні переваги, мережеві інвертори мають низку обмежень, які варто враховувати при проектуванні та встановленні сонячної енергетичної системи.

Залежність від електромережі. Для роботи мережевий інвертор обов'язково повинен бути підключений до загальної електромережі. У разі її аварійного відключення або перебоїв у живленні інвертор автоматично припиняє роботу, навіть якщо сонячні панелі продовжують виробляти електроенергію. Це означає, що така система не може працювати в режимі резервного живлення.

Відсутність енергетичної автономії. Як правило, on-grid системи не оснащуються акумуляторами для зберігання надлишкової енергії. Це унеможливорює використання накопиченої енергії у вечірній час або в похмурі дні, що знижує гнучкість і самостійність енергоспоживання.

Складність інсталяції. Монтаж мережевого інвертора може вимагати спеціальних технічних знань, узгодження з енергопостачальними компаніями та отримання дозвільної документації. Це, в свою чергу, може вплинути на загальну вартість і тривалість встановлення системи.

Залежність від стабільності мережі. Якість електроенергії в централізованій мережі впливає на роботу інвертора. Перепади напруги, часті збої або нестабільна частота можуть негативно позначитися на ефективності або навіть спричинити зупинку системи.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обмежені можливості для зберігання енергії. Більшість мережевих інверторів не передбачають підключення акумуляторів. Це означає, що користувачі не можуть накопичувати енергію для подальшого використання під час пікових навантажень або збоїв у мережі.

Автономні інвертори для сонячних панелей (off-grid)

Автономні інвертори широко застосовуються у системах сонячного енергопостачання, які функціонують без підключення до централізованої електромережі. Такі системи особливо актуальні для використання в регіонах із відсутнім або нестабільним електропостачанням.

Переваги автономних інверторів:

Енергетична незалежність. Однією з ключових переваг автономних інверторів є повна незалежність від електромережі. Це дозволяє забезпечити живлення в умовах, де мережеве підключення відсутнє або часто переривається — наприклад, у віддалених районах або під час аварійних відключень електроенергії.

Можливість накопичення енергії. Автономні системи, як правило, працюють у парі з акумуляторними батареями. Надлишок виробленої сонячної енергії зберігається для подальшого використання в нічний час або в похмурі дні, що забезпечує безперервність живлення незалежно від змін погодних умов.

Гнучкість і сумісність із різними джерелами. Багато автономних інверторів здатні працювати не лише з сонячними панелями, а й з іншими джерелами енергії — такими як вітрогенератори чи бензинові/дизельні генератори. Це дозволяє створити гнучку та надійну систему, адаптовану до конкретних умов і потреб користувача.

Екологічність та енергоефективність. Використання автономних інверторів сприяє зменшенню споживання енергії з традиційних джерел (вугілля, нафти) та знижує шкідливі викиди в довкілля. Це робить такі системи привабливими з точки зору сталого розвитку та збереження природних ресурсів.

Недоліки автономних (off-grid) сонячних інверторів

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Попри очевидні переваги, автономні інвертори мають і певні недоліки, які важливо враховувати при виборі та впровадженні автономної сонячної системи:

Залежність від погодних умов. Робота автономної енергосистеми безпосередньо залежить від інтенсивності сонячного випромінювання. У хмарні дні або вночі ефективність генерації електроенергії знижується, що може призводити до дефіциту живлення.

Необхідність у накопичувачах енергії. Для зберігання надлишкової енергії, виробленої у світлий період доби, автономні системи потребують використання акумуляторних батарей. Це суттєво збільшує загальну вартість системи, а також потребує періодичної заміни акумуляторів після завершення їхнього терміну служби.

Обмежена потужність. Потужність автономних установок, як правило, обмежена, що може бути недостатнім для живлення енергоємного обладнання або забезпечення великого побутового споживання. У таких випадках потрібне ретельне планування енергоспоживання.

Необхідність регулярного обслуговування. Системи, які включають акумулятори, вимагають постійного технічного нагляду: перевірки стану батарей, контролю рівня заряду, заміни несправних елементів тощо. Це додає складності у користуванні й може потребувати додаткових витрат.

Складність монтажу та налаштування. Установка автономної системи потребує спеціалізованих знань, грамотного розрахунку потужності, вибору відповідного обладнання та правильного підключення компонентів. Це робить проєкт більш складним і потенційно дорожчим у реалізації, порівняно з типовими мережевими рішеннями.

Гібридні інвертори для сонячних панелей (Hybrid)

Гібридні інвертори нового покоління поєднують у собі функціональність як мережових, так і автономних інверторів. Їх також називають сонячними інверторами з функцією змішування джерел енергії. Такі пристрої забезпечують максимальну гнучкість та ефективність у використанні сонячної енергії.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Переваги гібридних інверторів:

Універсальність застосування. Гібридні інвертори можуть працювати як у складі автономних систем з акумуляторами, так і в мережових установках, що дозволяє адаптувати систему до різних умов споживання та наявності мережі.

Ефективне використання надлишкової енергії. Надлишок енергії, згенерований у денний час, може бути спрямований як на заряджання акумуляторів, так і в електромережу, що підвищує загальну ефективність використання поновлюваних джерел.

Резервне живлення. Багато моделей гібридних інверторів мають вбудовану функцію аварійного живлення, яка дозволяє забезпечити подачу електроенергії з акумуляторів у разі відключення центрального електропостачання. Це важливо для безперебійної роботи критично важливих пристроїв.

Інтелектуальне керування. Сучасні гібридні інвертори підтримують функції моніторингу та керування енергоспоживанням через мобільні додатки або веб-інтерфейси, що забезпечує зручність експлуатації та ефективний контроль за всіма енергетичними потоками.

Зменшення залежності від електромережі. Завдяки наявності акумуляторного модуля, гібридна система здатна працювати незалежно від зовнішньої мережі, що забезпечує стабільність енергопостачання навіть у разі аварій або перебоїв у електроподачі.

Недоліки гібридних інверторів для сонячних батарей

Незважаючи на численні переваги, гібридні сонячні інвертори мають і певні недоліки, які слід враховувати при проектуванні та впровадженні систем автономного або комбінованого електропостачання:

Висока вартість. Гібридні інвертори зазвичай є дорожчими порівняно з традиційними мережевими або автономними інверторами. Це зумовлено складнішою архітектурою пристрою, широким функціоналом та підтримкою декількох джерел живлення.

Складність налаштування та монтажу. Установлення та конфігурація гібридної системи вимагає глибших технічних знань та досвіду. Без фахової підготовки належна інтеграція такої системи може бути складною та ризикованою.

Підвищене споживання енергії. Через наявність додаткових функцій і постійне керування енергетичними потоками, гібридні інвертори можуть споживати більше електроенергії для власних потреб, що впливає на загальну ефективність системи.

Обмежена ємність зберігання. Незважаючи на можливість використання акумуляторів, їх загальна ємність у більшості гібридних систем залишається обмеженою. У випадку тривалого періоду низької сонячної активності це може призвести до нестачі енергії.

Потреба в технічному обслуговуванні. Гібридні системи потребують регулярного моніторингу та обслуговування — зокрема, контролю стану акумуляторів, оновлення програмного забезпечення та перевірки роботи елементів системи. Це створює додаткові експлуатаційні витрати.

Основні критерії вибору інвертора:

Потужність інвертора. Інвертор повинен відповідати сумарній потужності сонячних панелей або акумуляторних батарей. Наприклад, для системи з панелями загальною потужністю 5 кВт доцільно обрати інвертор аналогічної номінальної потужності — 5 кВт.

Тип інвертора. Залежно від типу системи (мережева, автономна або гібридна) обирається відповідний тип інвертора. Це забезпечить ефективну роботу системи відповідно до умов експлуатації.

Функціональність. Варто звертати увагу на наявність додаткових можливостей, таких як дистанційний моніторинг і керування через мобільний застосунок, вбудований захист від перевантаження, здатність працювати за різних кліматичних умов тощо.

Якість та надійність. Важливо обирати продукцію перевірених виробників із позитивною репутацією. Це гарантує довготривалу експлуатацію інвертора та стабільну роботу всієї сонячної енергосистеми.

Налаштування інвертора для роботи на електричну мережу — це важливий процес, який включає точне регулювання параметрів вихідної напруги і частоти, щоб пристрій коректно синхронізувався з мережею. У моєму випадку було вирішено використовувати вбудовані регулятори (потенціометри) на корпусі інвертора для налаштування вихідних параметрів, а мультиметр відіграв роль основного інструменту контролю. Такий підхід дозволив вручну встановити точні характеристики роботи інвертора, забезпечуючи його стабільне функціонування в умовах мережного підключення. Процес налагодження починається з визначення необхідних параметрів мережі, з якою буде працювати інвертор. У більшості випадків стандартні параметри мережі становлять 220–230 В змінного струму з частотою 50 Гц. Інвертор має можливість ручного регулювання, по суті під час налаштування було підлаштовано його під ці параметри, щоб уникнути невідповідностей, які можуть призвести до нестабільної роботи або пошкодження підключених пристроїв. Перед початком установки важливо перевірити паспортні характеристики інвертора, щоб переконатися, що він підтримує потрібні параметри. Потім можна приступити до регулювання вихідної напруги. Використовуючи потенціометри, поступово змінював рівень напруги та паралельно вимірював його мультиметром, порівнюючи отримані значення із заданими нормами. Важливо це робити з високою точністю, оскільки навіть невеликі відхилення можуть призводити до збоїв роботи підключеного навантаження. Після налаштування напруги перейшов до регулювання частоти. Представлений інвертор підтримує зміну частоти, за допомогою регулятора можна встановити потрібне значення, яке має точно відповідати частоті мережі.

Додатково варто звернути увагу на коефіцієнт потужності (PF). Деякі інвертори мережі мають можливість регулювання цього параметра для забезпечення більш ефективного використання енергії. Якщо система

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передбачає підключення інвертора до суспільної електромережі (Grid-tie режим), необхідно враховувати правила синхронізації та захисту, щоб інвертор коректно працював з іншими джерелами живлення. У таких випадках зазвичай потрібна перевірка фази, щоб інвертор не створював конфліктів між мережним та автономним живленням. Для фінальної перевірки роботи інвертора варто протестувати його під навантаженням. Підключив навантаження, а саме освітлювальний прилад, що допомогло оцінити стабільність роботи пристрою при зміні споживаної потужності. Виходячи в вище сказаного, налаштування інвертора вручну за допомогою регуляторів та мультиметра - це надійний спосіб тонкого підстроювання параметрів вихідної напруги, що забезпечує коректне функціонування пристрою в мережі.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.10 Аналіз ефективності системи

У сучасних умовах розвитку технологій та бізнес-процесів ефективність системи відіграє ключову роль у забезпеченні її конкурентоспроможності та стабільності. Аналіз ефективності системи дозволяє визначити її сильні та слабкі сторони, оцінити рівень продуктивності та знайти шляхи вдосконалення. У даному розділі буде розглянуто основні методи оцінки ефективності, критерії її вимірювання та фактори, що впливають на результативність роботи системи.

Аналіз ефективності системи показує, що використання рухомої сонячної панелі суттєво покращує її продуктивність порівняно зі стандартними фіксованими конструкціями. Основним фактором, що впливає на ефективність генерації електроенергії, є кут нахилу панелі щодо сонця. Статичні сонячні системи не змінюють своє положення протягом дня, що призводить до того, що їхня продуктивність змінюється залежно від часу доби. Вранці та ввечері, коли сонячні промені падають під гострим кутом, фіксовані панелі не можуть поглинати максимальної кількості енергії, тоді як рухомі системи коригують своє положення, підтримуючи високу генерацію електроенергії. Це означає, що загальна вихідна потужність значно зростає за рахунок більш ефективного використання сонячного світла.

При куті 90° панель видавала максимальну потужність у 64.8 Вт, що відповідає її теоретичній продуктивності. Однак, коли кут змінювався до 75° , потужність падала до 37.8 Вт, а при 30° — до 3.2 Вт. Ці дані підтверджують, що без можливості коригування положення панелі суттєві втрати енергії неминучі, а також невелике відхилення від оптимального положення веде до зниження продуктивності системи.

Водночас рухома панель підтримує оптимальний рівень вироблення електроенергії в будь-яку годину доби, що дозволяє уникнути падіння потужності через зміну сонячного положення. Ще одним важливим аспектом є вплив часткового та повного затінення на ефективність роботи сонячної панелі. Проведені дослідження показали, що спосіб затінення має значний вплив на рівень генерації. Коли сонячна панель закривається вертикально листом А4, її

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

продуктивність падає до 15.81 Вт, адже перекривається цілий ряд фотоелементів, що блокує проходження струму по ланцюгу. У разі горизонтального накриття продуктивність зменшувалась до 46.5 Вт, оскільки частково засвітлені елементи могли продовжувати виробляти електроенергію. Це підтверджує, що рухома панель може частково компенсувати втрати через зміну свого положення, що робить її більш ефективною в умовах змінного освітлення.

Окремо варто розглянути стабільність роботи системи у різні сезони. Фіксовані панелі найкраще працюють у період, коли кут падіння сонячного світла відповідає їхньому встановленому нахилу, але в зимовий період, коли сонце знаходиться нижче над горизонтом, їхня ефективність суттєво знижується. У регіонах з вираженим сезоном така різниця може призводити до значних втрат вироблення електроенергії. У представленій системі, цей недолік усунутий, адже її механізм дозволяє слідкувати за положенням сонця та коригувати кут нахилу відповідно до поточної ситуації, що гарантує більш стабільне виробництво енергії. Крім того, рухома панель позитивно впливає на роботу акумуляторної системи.

У традиційних фіксованих панелях рівень напруги може змінюватися залежно від часу доби та сезону, що може створювати проблеми при зарядці акумуляторів. Під час експерименту було встановлено, що при 90° напруга досягала 18 В, що дозволяє ефективно заряджати акумулятор, але при 30° вона зменшувалась до 6.41 В, що може бути недостатнім для стабільної роботи накопичувача енергії. Завдяки рухомій конструкції система підтримує оптимальний рівень напруги, що забезпечує кращу зарядку акумуляторів та знижує втрати енергії.

Аналіз ефективності системи показує, що використання рухомої сонячної панелі значно покращує продуктивність генерації електроенергії. Вона мінімізує втрати через зміну кута нахилу, зменшує негативний вплив затінення, забезпечує стабільну роботу в різні сезони та покращує ефективність акумуляторного накопичення. У довгостроковій перспективі така система

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

дозволяє отримати більше електроенергії, що підвищує її рентабельність та економічну ефективність у порівнянні з традиційними фіксованими сонячними панелями.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						54
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2.11 Порівняння з фіксованими сонячними панелями

Сонячна енергетика відіграє дедалі важливішу роль у сучасному світі, пропонуючи екологічно чисте та відновлюване джерело електроенергії. Одним із ключових аспектів оптимізації використання сонячних панелей є їх розташування та механізми орієнтації щодо сонця. В цьому контексті виникає питання вибору між фіксованими сонячними панелями та сонячними станціями з трекерами, які здатні змінювати своє положення відповідно до руху сонця.

Фіксовані сонячні панелі є найпоширенішим варіантом для побутового та комерційного використання завдяки простоті конструкції, нижчим початковим витратам та меншій потребі в обслуговуванні. Водночас вони мають суттєвий недолік—неможливість динамічно адаптуватися до зміни положення сонця, що може обмежувати їхню ефективність, особливо в ранкові та вечірні години.

На противагу цьому, системи з сонячними трекерами здатні збільшувати рівень поглинання сонячного випромінювання за рахунок рухомих механізмів, що дозволяють орієнтувати панелі таким чином, щоб вони отримували максимальну кількість сонячного світла протягом дня. Це сприяє підвищенню ефективності виробництва електроенергії, хоча супроводжується додатковими витратами на встановлення, обслуговування та можливими технічними ризиками. У цьому розділі буде детально проаналізовано переваги та недоліки кожного підходу, що дозволить оцінити їхню доцільність у різних умовах експлуатації.

Сонячна панель — це пристрій, що перетворює сонячну енергію на електричну шляхом фотоелектричного ефекту. Основним елементом панелі є фотоелементи, виготовлені з напівпровідникових матеріалів, найчастіше з кремнію. Коли на поверхню такого елемента потрапляє сонячне світло, фотони збуджують електрони в кристалічній решітці матеріалу, в результаті чого виникає електричний струм. Цей струм збирається і передається в зовнішнє електричне коло для подальшого використання або збереження в акумуляторах. Кількість електроенергії, яку генерує панель, залежить від багатьох факторів,

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

серед яких одним з основних є кут, під яким падають сонячні промені на її поверхню[0]. Тому основна мета роботи вивчити вплив зовнішніх факторів таких як змінення кута інсоляції, затемнення, часткове затемнення, на роботу сонячної електростанції та навчитися вибирати оптимальні робочі параметри.

Оптична ефективність панелі досягає максимуму, коли сонячне світло падає на неї перпендикулярно, тобто під кутом 90 градусів. У такому положенні найбільша кількість енергії поглинається поверхнею, і, відповідно, електрогенерація буде максимальною. Коли ж кут між сонцем і площиною панелі змінюється, зменшується кількість світлової енергії, яка потрапляє на поверхню. Частина променів починає відбиватися або розсіюватися, і тому електричний струм, що виникає у фотоелементах, також зменшується. У ранкові й вечірні години, коли сонце розташоване низько над горизонтом, промені потрапляють на панель під гострим кутом, що призводить до значного зниження її потужності. Також у зимовий період, коли кут падіння сонячного світла є меншим через низьке положення сонця, ефективність панелей зменшується, якщо не скоригувати їхній нахил.

Щоб максимально ефективно використовувати сонячну енергію, панелі встановлюють під певним фіксованим або регульованим кутом нахилу до горизонту. Ідеальний кут підбирається залежно від географічного розташування, з урахуванням широти місцевості. Наприклад, в Україні рекомендований річний кут нахилу панелі дорівнює широті місця встановлення плюс-мінус 10–15 градусів залежно від пори року. У деяких системах використовуються автоматичні трекери, які змінюють кут нахилу панелі протягом дня або сезону, орієнтуючи її на сонце для досягнення максимальної генерації.

Таким чином, правильне розташування та орієнтація сонячної панелі відіграє вирішальну роль у забезпеченні стабільної та ефективної роботи всієї сонячної енергосистеми. Зміна кута падіння сонячного світла може як покращити, так і суттєво погіршити вироблення електроенергії, тому під час

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

експлуатації або проєктування таких систем необхідно обов'язково враховувати цей фактор.

Кроковий двигун — це особливий тип електродвигуна, який широко використовується у випадках, коли необхідне точне керування положенням або кутом повороту. Його робота базується на поділі повного оберту на велику кількість дискретних кроків. На відміну від звичайних двигунів, що обертаються безперервно при подачі живлення, кроковий двигун здійснює обертання поетапно: кожен імпульс струму, що надходить на його обмотки, викликає поворот ротора на певний фіксований кут. Такий принцип роботи дає змогу досягти високої точності позиціонування без використання систем зворотного зв'язку, хоча при складніших завданнях їх усе ж можуть додавати[0]. Дослідити принципи роботи крокового двигуна та керування їм за допомогою ПЛК SIEMENS S7-1200 за допомогою технологічного об'єкта

В основі конструкції крокового двигуна — статор з кількома обмотками і ротор, який може бути як з постійними магнітами, так і магнітно-м'яким. Статор утворює магнітне поле, що змінюється у часі відповідно до послідовності керуючих сигналів. Ротор реагує на це поле, переходячи з одного положення в інше, слідуючи за віртуальним магнітним "потокком". Весь процес обертання базується на комбінаціях сигналів, які подаються у строго визначеному порядку, залежно від бажаного напрямку руху та точності позиціонування. Швидкість обертання при цьому залежить від частоти подачі імпульсів: чим швидше надходять сигнали, тим швидше обертається ротор.

Кут одного кроку зазвичай складає від $0,9^\circ$ до $7,5^\circ$, що означає, що для повного оберту двигуна потрібно від 48 до 400 імпульсів. У сучасних пристроях часто використовується мікрошагове керування, при якому за допомогою зміни амплітуди струму в обмотках досягається ще менший кут переміщення, що дозволяє працювати з високою точністю та плавністю ходу. Такий режим особливо актуальний для задач, де важливе не тільки точне, але й безшумне позиціонування.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крокові двигуни можуть працювати в різних режимах, наприклад, з постійною швидкістю, із плавним розгоном або гальмуванням, а також за заданою траєкторією. Ще однією перевагою є простота конструкції, що дає змогу інтегрувати їх у найрізноманітніші системи — від 3D-принтерів до супутникових антен або сонячних трекерів. В останніх крокові двигуни особливо цінні через здатність повертати панелі строго за положенням Сонця без використання складних сенсорних систем.

Однак, як і будь-який технічний пристрій, кроковий двигун має свої обмеження. Наприклад, при перевищенні певної частоти імпульсів ротор може втратити синхронізацію і пропустити кроки. Тому системи керування повинні враховувати інерційні властивості механізму і коригувати швидкість обертання. Саме з цією метою в автоматизованих системах часто застосовують програмовані логічні контролери, які дозволяють точно формувати сигнали керування відповідно до заданого алгоритму.

Принцип керування кроковим двигуном базується на подачі імпульсів електричного струму до його обмоток у строго визначеній послідовності. На відміну від звичайного асинхронного або колекторного двигуна, де ротор обертається безперервно, тут переміщення відбувається дискретно: один імпульс — один крок. Завдяки цьому забезпечується точне позиціонування, що дуже важливо у випадках, коли потрібно точно контролювати положення механічного вузла без застосування додаткових датчиків[5].

Усередині двигуна встановлено кілька пар обмоток, які послідовно активуються. При подачі напруги на одну з них створюється магнітне поле, що притягує ротор у певне положення. Наступний імпульс змінює полярність або активує іншу обмотку, внаслідок чого ротор перескакує на наступну позицію. Така схема роботи дозволяє обертати вал із заданим кроком, кут якого визначається конструктивними особливостями двигуна. Якщо швидко змінювати стан обмоток, двигун починає обертатися з певною швидкістю, яка залежить від частоти імпульсів.

Існує декілька схем подачі сигналів, які впливають на плавність і точність обертання. Найпростіша — повнокроковий режим, коли активується одна або дві обмотки одночасно, забезпечуючи максимальний момент і відносно просту реалізацію. У півкроковому режимі команди подаються так, щоб ротор зупинявся не тільки в положеннях з активною обмоткою, але і в проміжних, що дозволяє подвоїти кількість кроків за оберт. Для ще більшої точності застосовують мікрокроковий режим, при якому керування струмами в обмотках здійснюється плавно, що дозволяє розбити один стандартний крок на кілька дрібних. Це робить рух менш ривковим і дає змогу керувати навіть дуже делікатними механізмами.

Ще одним важливим аспектом є контроль за напрямком обертання. Він визначається послідовністю активації обмоток: якщо її змінити на зворотну, ротор почне рух у протилежний бік. Також на основі кількості поданих імпульсів можна визначити, на який кут зроблено поворот. Ця властивість дозволяє реалізовувати системи, де необхідно точно дотримуватись траєкторії або виконувати повторювані рухи з високою точністю.

Варто зазначити, що при роботі з кроковим двигуном необхідно враховувати інерцію навантаження. Якщо відразу подати імпульси з великою частотою, ротор може не встигнути перейти в нове положення, в результаті чого виникає втрата кроків і порушення точності. Щоб цього уникнути, часто використовують профілі розгону й гальмування, що дозволяють плавно нарощувати і знижувати частоту імпульсів. Саме такі алгоритми легко реалізуються у середовищі програмування контролерів, наприклад у ТІА Portal.

Таким чином, принцип керування кроковим двигуном полягає в чітко контрольованому поданні імпульсів, які визначають не лише кут повороту й напрям руху, а й характер обертання — від різкого крокового до плавного мікрошагового. Ця гнучкість і є причиною того, чому такі двигуни так широко використовуються в автоматизованих системах.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологічний об'єкт у середовищі TIA Portal — це спеціальна програмна структура, яка дозволяє зручно та швидко налаштовувати і керувати певними типами пристроїв або функцій, зокрема осьовим рухом, позиціонуванням, частотними перетворювачами, температурним регулюванням тощо. Його використання значно спрощує процес проектування систем автоматизації, адже дає змогу обійтись без ручного написання великих обсягів коду, натомість опираючись на готові шаблони та параметричне конфігурування[0].

Коли мова йде про керування кроковим двигуном у TIA Portal за допомогою ПЛК Siemens S7-1200, зазвичай використовується технологічний об'єкт типу TO_PositioningAxis. Він дає змогу реалізувати точне позиціонування, зокрема задавати цільову позицію, швидкість руху, прискорення та гальмування. Крім того, цей об'єкт надає інструменти для моніторингу стану осі — можна відстежувати, чи досягнуто цільової точки, чи виникла помилка, чи відбувається рух у даний момент. Завдяки цьому забезпечується надійна та стабільна робота системи, навіть якщо в механіці присутні інерційні або навантажувальні фактори.

Створення технологічного об'єкта починається з конфігурування відповідної осі, яка може працювати в імпульсному режимі (через РТО — Pulse Train Output) або через інтерфейси зв'язку з драйвером крокового двигуна. Після створення такого об'єкта користувач отримує доступ до структурованого набору команд, які використовуються для запуску, зупинки, повернення в нульову позицію, абсолютного або відносного переміщення. Замість того щоб вручну програмувати ці алгоритми, достатньо задати потрібні параметри у відповідних полях, і система самостійно сформує потрібну логіку.

Суттєвою перевагою технологічного об'єкта є також його взаємодія з НМІ (людино-машинним інтерфейсом): у TIA Portal налаштування об'єкта автоматично підключаються до панелей оператора, що дозволяє реалізувати нагляд і керування рухом двигуна без додаткового кодування. У межах лабораторної роботи це відкриває широкі можливості для дослідження

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

алгоритмів руху, регулювання швидкості, аналізу помилок та поведінки двигуна в реальних умовах.

Таким чином, використання технологічного об'єкта в TIA Portal є сучасним і ефективним підходом до побудови систем керування, зокрема у задачах точного позиціонування з використанням крокових двигунів, і відіграє ключову роль у спрощенні розробки, підвищенні надійності та адаптивності автоматизованих рішень[9].

Фіксовані та рухомі сонячні панелі представляють два різні підходи до використання сонячної енергії, та їх порівняння має важливе значення при виборі оптимальної системи для генерації електроенергії. Фіксовані панелі - це традиційний варіант, який не вимагає складних механізмів для зміни кута нахилу, але має ряд обмежень щодо ефективності[8].

Рухливі панелі, оснащені механізмами стеження за сонцем, дозволяють підвищити рівень генерації енергії, адаптуючись до положення сонця, що змінює свою траєкторію. Фіксовані сонячні панелі встановлюються під фіксованим кутом, що розраховується виходячи із середньорічної інсоляції у конкретній географічній зоні. Зазвичай, цей кут вибирається таким чином, щоб забезпечити максимально можливу кількість сонячного світла протягом року.

Однак сонце змінює своє положення протягом дня і змінює своє становище сезонно, що призводить до того, що фіксовані панелі не завжди знаходяться під оптимальним кутом. Це обмеження знижує ефективність використання сонячної енергії, особливо в ранкові та вечірні години, коли промені падають під великим кутом, і частина енергії втрачається через відбиття або розсіювання.

Рухомі панелі вирішують цю проблему за рахунок автоматичного стеження за сонцем. Вони регулюють кут нахилу таким чином, щоб сонячні промені падали на поверхню панелі максимально перпендикулярно, що сприяє збільшенню випромінювання, що поглинається. Дослідження показують, що системи стеження можуть підвищити загальний виробіток електроенергії на 20-40% порівняно з фіксованими панелями, особливо в регіонах з великою

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

кількістю сонячних днів. Крім того, вони особливо ефективні взимку, коли сонце знаходиться нижче над обрієм, і фіксовані панелі втрачають значну частину своєї продуктивності. Ще одним важливим аспектом порівняння є стійкість до часткового затемнення.

У проведених експериментах встановлено, що при вертикальному перекритті фіксована панель втрачає практично всю потужність, оскільки фотоелементи з'єднані послідовно, і блокування одного ряду значно знижує загальний струм.

При горизонтальному перекритті втрати потужності знижуються, але однаково негативно впливають на генерацію електроенергії. Рухливі системи дозволяють мінімізувати вплив затінення, оскільки можуть регулювати положення та компенсувати зміну освітлення. Додатково варто зазначити, що фіксовані панелі мають переваги з погляду вартості та надійності.

Вони дешевші в установці, оскільки не вимагають додаткових механізмів регулювання кута, а їх обслуговування потребує мінімальних витрат. На відміну від них, рухомі панелі потребують регулярного технічного обслуговування, оскільки механічні компоненти можуть піддаватися зносу. Однак збільшення рівня генерації енергії дозволяє компенсувати ці витрати, роблячи рухливі системи вигіднішими в довгостроковій перспективі. Загалом вибір між фіксованими та рухомими панелями залежить від низки факторів, включаючи кліматичні умови, потреби в електроенергії та економічну доцільність.

Якщо у регіоні спостерігається висока сонячна активність, але сонячне становище сильно змінюється протягом року, рухомі панелі можуть забезпечити значне підвищення ефективності. Якщо проект орієнтований на зниження витрат і мінімальне технічне обслуговування, фіксовані панелі залишаються надійним і доступним варіантом.

Рухлива сонячна панель дала значний приріст ефективності в порівнянні з фіксованою системою, що виражається в декількох ключових аспектах.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Насамперед динамічне стеження за сонцем дозволило уникнути втрат, пов'язаних із зміною кута падіння сонячних променів.

У моєму експерименті було показано, що при оптимальному положенні (кут 90°) потужність досягала 64.8 Вт, тоді як при фіксованій панелі та зниженні кута до 60° потужність падала більш ніж у 2,8 рази-до 22.66 Вт. Це підтверджує, що без коригування кута відносно сонця ефективність системи швидко зменшується. Завдяки тому, що панель адаптується до руху сонця, вдалося зберегти високий рівень генерації енергії протягом усього дня. Ще одна велика перевага - стійкість до часткового затемнення.

У випадку фіксованої системи вертикальне накриття знижує потужність до 15.81 Вт, що більш ніж у 4 рази гірше в порівнянні з максимальною потужністю при повному освітленні. Рухлива панель може компенсувати такі втрати, змінюючи кут і відновлюючи оптимальний рівень генерації. Завдяки рухомому механізму здобув велику стабільність роботи системи протягом сезону.

У довгостроковій перспективі економічна вигода від використання рухомої сонячної панелі є очевидною. Завдяки сонячному трекеру вдалося не тільки збільшити виробництво електроенергії, а й знизити ризики втрат через несприятливий кут падіння світла та затінення. Це дозволяє швидше окупити вкладені кошти, підвищити автономність системи та покращити загальну стійкість енергозабезпечення. У результаті отримав набагато ефективнішу систему, яка компенсує недоліки фіксованих панелей, дозволяє мінімізувати втрати та значно збільшує вихідну потужність.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

2.12 Можливості вдосконалення системи

При обговоренні процесу вдосконалення системи не слід і забувати про фінансовий бік питання, мною будуть запропоновані декілька варіантів з покращення та приблизною вартістю кожного з варіантів й можливістю подальшого прибутку системи.

Перш з усіх слід виділити варіант перенесення сонячної панелі з лабораторії на дах університету, з очевидних плюсів це те, що панель стане більш ефективною та почне виробляти більше енергії упродовж всього дня, особливо якщо розробити програмне забезпечення яке буде не тільки переміщувати панель не тільки по горизонтальному радіусу, а й по вертикальному, що забезпечить повне слідкування за сонцем з світанку і до заходу. Не слід і забувати про недоліки такого варіанту, оскільки панель буде піддаватися природнім факторам слід подбати про кращу ізоляцію токопровідних частин та герметизацію шафи з контролером. Це найдешевший варіант покращення системи, що обійдеться у відносно невеликі кошти.

Більш прогресивним варіантом, але суттєво затратнішим є розглядання можливості встановлення додаткових сонячних панелей, на даний момент держава закуповує електроенергію, якщо її генерація перевищує 10кВт і не більш ніж 30кВт. Для зручності розрахую можливість генерації на 30кВт.

Насамперед розглянемо вартість зеленого тарифу, тарифна ставка була визначена Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКУ, НКРЕКП). Отже, актуальний розмір зеленого тарифу виглядає так:

Таблиця 2.1 - Вартість закупок сонячної енергії у населення

Дата підписання договору та запуску СЕС	Вартість сонячної електроенергії
01.01.2025 - 31.12.2029	4,2646 грн/кВт*ч

Виходячи з таблиці важливо зрозуміти два фактори: Тарифну ставку буде визначено датою підключення до програми. Якщо підключиться до 31 грудня

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

2029 року, вартість 4,2646 грн/кВт*ч буде зафіксована до закінчення дії програми.

Передбачений термін дії України до 31 грудня 2029 року. Зменшення тарифної ставки викликane тим, що з кожним роком дедалі більше людей стають учасниками програми, а, відповідно, зростає попит. Виходить, що раніше Ви підключитеся, тим вигідніше. Вартість таблиці подана у гривневому еквіваленті, але часті коливання курсу національної валюти щодо долара ніяк не торкнуться прибутку. Уряд передбачав таку ймовірність і прив'язав ціну за кіловат до євро у перерахунку за офіційним курсом НБУ. Так, з 2025 по 2029 рік розмір зеленого тарифу становить: 0.14 Євроцентів за 1кВт для малопотужних аналогів (до 30 кВт). Для нас актуальна ставка 0.14 Євроцентів за 1кВт, тому що згідно із Законом України «Про електроенергетику» потужність сонячної електростанції для будинку якраз обмежується 30 кВт. Розібравшись з тим, як нараховуватиметься прибуток, варто перейти до окупності панелей.

Які фактори впливають на окупність сонячних панелей[11]?

Для розрахунків необхідно знати середній виробіток електрики за рік з кіловата потужності. Справа в тому, що точних розрахунків не існує, тому що на неї впливає низка факторів, тому все відносно: Географічна широта - чим ближче до екватора, тим більше сонячного світла падає на землю, відповідно більша ефективність батареї; Погода - чим більше буде безхмарних днів на рік, тим більше електрики буде вироблено. У похмуру погоду вироблення знижується до 10%; Довжини світлового дня - що довше, то більше. Влітку, коли день довгий, а ніч – коротка, денна продуктивність більша, ніж узимку. У наших широтах навіть у безхмарну погоду сонячні панелі дуже рідко працюють на повну потужність. У середньому цей показник становить 50-60% улітку та 10-15% взимку. Наприклад, панель потужністю 275 Вт літнього дня вироблятиме близько 140-145 Вт на годину. У середньому з 1 кВт потужності СЕС в Україні за рік виробляється 1100 кВт*год електрики.

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

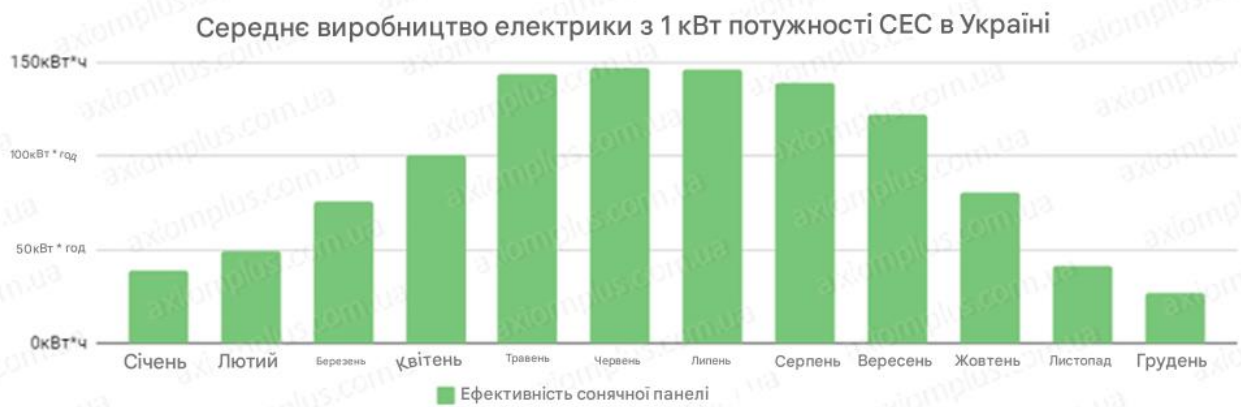


Рисунок 2.21 - Графік згенерованої потужності по місяцям

Не менш важливий фактор – споживання електроенергії. Справа в тому, що за умовами Ви повинні скористатися своєю електрикою, а різниця реалізується державі. Якщо домашня мережа споживає більше, ніж виробляє електростанція - оплата різниці за стандартним тарифом 1,68 грн/кВт*год. Це відбувається так: якщо за місяць Ви, наприклад, продали 500 кВт*год, а витратили 430 кВт*год, то в результаті держава Вам заплатить за 70 кВт*год за 5,3268 грн/кВт*год. Якби Ви витратили 530 кВт*год, У платіжці вже Вам було б нараховано вартість 30 кВт*год але по 1,68 грн/кВт*год. Проте більшість власників таких електростанцій мало витрачають власну електроенергію або не користуються нею взагалі, бо вироблені кіловати вигідніше продати державі. Так багато хто ставить панелі навіть не в себе вдома, а на дачі, де практично не живе. У результаті всю вироблену електрику реалізується за зеленим тарифом, а домашня мережа забезпечується дешевшим державним.

Для генерації такого рівня необхідно приблизно 52 сонячні панелі потужністю у 580 Вт, загальною площею близько 180м². Які ж варіанти прибутку у випадку встановлення 52 сонячних панелей для генерації 30кВт потужності. Наразі держава закуповує сонячну енергію за 0.14 Євроцентів за 1кВт, цю суму можна збільшити на 10% якщо встановити 50% сонячних панелей Українського виробництва, але нажаль український ринок наповнений неякісною продукцією, великою кількістю немісцевого виробництва та захмарними цінами, тому цей варіант не розглядається.

За приклад узяв панелі китайського виробництва Longi Solar LR5-72НТН-580М. Вартість самих тільки панелей буде складати 4221 доларів або 174 772 гривень. Однак такий рівень генерації зміг би покрити всі вимоги університету з електроенергії, або почати приносити прибуток у разі продажу електроенергії державі.

Для системи яка представлена вище необхідно також закупити інвертор який буде контролювати надійність системи електроживлення, та зможе віддавати електроенергію в мережу для продажу державі, для прикладу можна розглянути SUN2000-30KTL-A, вартість якого складає 1460 доларів або 62 050 гривень.

Також необхідно закупити дріб'язок, а саме металеві каркаси для встановлення панелей, на суму приблизно 30 000 гривень. Кабельну продукцію приблизно на 15 000 гривень. Двонаправлений лічильник вартістю у 8 000 гривень.

І не менш значущою статтею видатків є монтажні та пусконаладжувальні роботи, звісно університет може залучитися підтримкою студентів у цьому напрямку, але краще найняти професіоналів, вартість такої роботи приблизно 45 000 гривень.

Загальні витрати краще представити у вигляді таблиці:

Таблиця 2.2 - Загальні витрати на проект

Обладнання	Вартість
52 сонячні панелі 580 Вт	174 772
Інвертор на 30 кВт	62 050
Металевий каркас	30 000
Кабельна продукція	15 000
Двонаправлений лічильник	8 000
Монтажні роботи	45 000
Разом	334 822

Формули для розрахунку вироблення електроенергії, виглядають наступним чином.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

1. Формула для розрахунку вироблення електроенергії

$$E_{\text{год}} = P_{\text{встановлена}} \times N_{\text{годин}} \times \eta, \quad (2.1)$$

Де:

$E_{\text{год}}$ – Річний виробіток, кВт · год,

$P_{\text{встановлена}}$ – Встановлена потужність СЕС, кВт,

$N_{\text{годин}}$ – Середньорічна кількість сонячних годин, год,

η – середньорічний коефіцієнт використання встановленої потужності

2. Розрахунок встановленої потужності

$$P_{\text{встановлена}} = 52 \times 580 \text{ Вт} = 30\,160 \text{ Вт} = 30,16 \text{ кВт}, \quad (2.2)$$

3. Оцінимо середньорічний коефіцієнт

Враховуючи:

Влітку (4 місяці): 55%,

Взимку (4 місяці): 12.5%,

Весна/осінь (що залишилися 4 місяці): близько 30%.

$$\eta = \frac{(4 \times 0.55 + 4 \times 0.125 + 4 \times 0.3)}{12} = \frac{(2.2 + 0.5 + 1.2)}{12} = \frac{3.9}{12} = 0.325, \quad (2.3)$$

4. Річна кількість сонячних годин

$$E_{\text{год}} = 30,16 \times 3 \times 0.325 = 29,406 \frac{\text{кВт}}{\text{ч}}, \quad (2.4)$$

За рік така станція зможе генерувати приблизно 29,406 кВт/ч

$$29,406 \times 4,2646 = 125\,404 \text{ гривень}, \quad (2.5)$$

Повна окупність проекту становитиме приблизно:

$$\frac{334882}{125\,404} = 2,6 \text{ років}, \quad (2.6)$$

До 2029 року з цього проекту можна витягнути приблизно

$$125\,404 \times 4 = 501\,616 \text{ гривень}, \quad (2.7)$$

Чим більша потужність проекту, тим швидше він окупиться, і відповідно вигіднішим буде. У будь-якому випадку за 5-6 років будь-який проект вже точно «вийдете в нуль». Але, на окупність впливає як потужність устаткування,

					КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

а й його розташування. Кожна українська область одержує певну кількість сонячної радіації за рік. На цей показник впливає географічна широта та кліматичні особливості.

Скільки може «давати» сонячна електростанція у різних регіонах.

Щоб дізнатися результати, введу дані до одного з калькуляторів СЕС. В інтернеті їх багато, тому за бажання, ніхто не заважає самостійно перевірити ще раз отриману інформацію. Для наочності також розрахую прибуток за зеленим тарифом.

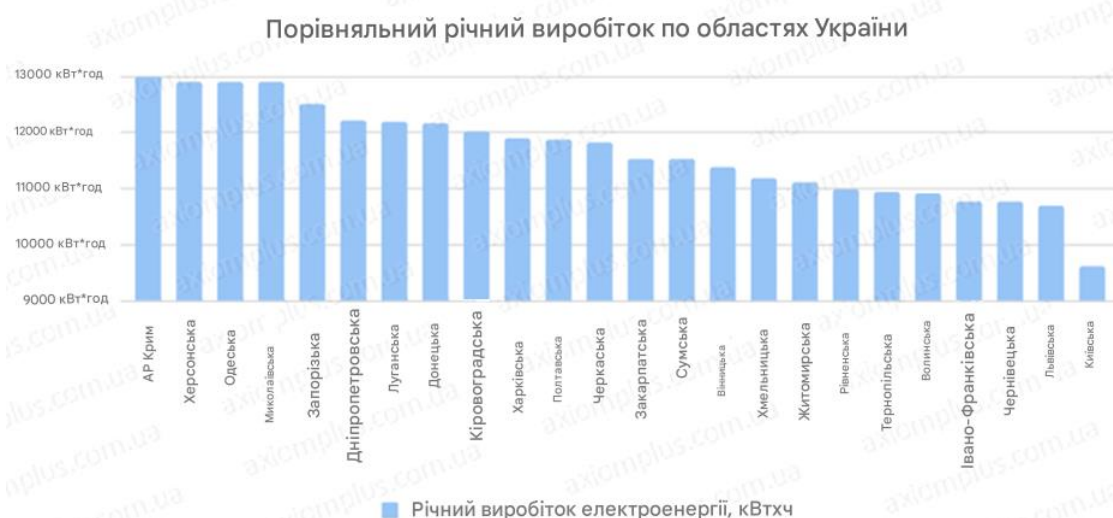


Рисунок 2.22 - Порівняння генерації в різних областях України



Рисунок 2.23 - Порівняння прибутку в різних областях України

Виходячи з графіків, найбільш ефективно така електростанція працюватиме у південних областях, трохи гірше – у східних, та найменша продуктивність у Київській та Чернігівській областях. Не дивлячись на те, в якій області ставити СЕС, в результаті отримав багато переваг від сонячних батарей. Багато хто не наважується їх ставити через те, що зелений тариф діятиме лише до кінця 2029 року. А, далекоглядніші розуміють, що навіть без нього, це хороше капіталовкладення, і вигода буде тільки зростати.

Що буде після закінчення дії зеленого тарифу наразі не відомо. Але держава не перестане купувати електрику, хіба що не буде завищеної ціни. Навіть великий проект на 30 кВт буде цілком рентабельним у такому разі. Термін служби сонячних панелей понад 30 років, але це чисто формально. Кремнієві пластини довговічні, але згодом втрачають продуктивність. У деяких панелях було прийнято стандарт, який гарантує, що за перші 25 років експлуатації втрати не становитимуть більше 20% від номіналу. Таким чином, після 2029 року суми у платіжках, швидше за все, у кілька разів перевищать сьогоднішні. Але, маючи альтернативні джерела енергії, Ви не платитимете їх. Так що, виходячи з принципу «заощадив - заробив», Ви точно не залишитеся в мінусі.

Якщо відійти від великого проекту то можна розглянути й інші можливості вдосконалення системи. У випадку збільшення генерації (покупки додаткових сонячних панелей) з'явиться потреба у збільшенні ємності акумуляторних батарей, на випадок розглядання 52 сонячних панелей без продажу електроенергії державі, потрібно буде будувати окреме приміщення для збереження згенерованих потужностей, такий варіант розглядати недоцільно оскільки це потребує більше інформації про споживання електроенергії університетом, на даний момент, пікові навантаження у доповідний час, та побажання щодо автономності. Натомість розглянемо більш бюджетний варіант, де генерація збільшиться частково, у випадку закладення у проект збереження генерації на рівні 5кВт годин (чого вистачить на базові потреби лабораторії, такі як включення у мережу освітлювальних приладів, підключення комп'ютера та зарядки для телефона), вартість такого

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

акумулятору буде приблизно становити 34 860 гривень, за модель Must LP16-48100 LiFePO₄, а автономність від такого акумулятора буде становити приблизно 11 годин роботи.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.02.ПЗ</i>	Арк.
						71
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВКИ

Було досліджено принципи побудови автоматизованої системи керування трекером сонячної панелі, яка забезпечує оптимальне орієнтування сонячної панелі відповідно до положення сонця з метою підвищення ефективності перетворення сонячної енергії. Було змодельовано систему, що включає сонячну панель, механізм стеження, контролер керування та інвертор, який перетворює постійний струм у змінний для живлення потреб споживачів.

Результати моделювання свідчать про те, що використання трекера дозволяє суттєво збільшити кількість зібраної енергії порівняно зі стаціонарним розміщенням панелі, особливо у ранкові та вечірні години. Було встановлено, що ефективність роботи системи значною мірою залежить від точності алгоритму позиціонування та чутливості сенсорів, які визначають кут нахилу панелі.

Підтверджено, що інтеграція інвертора у систему з трекером потребує узгодженого керування, оскільки зміна рівня споживаної потужності на виході безпосередньо впливає на стабільність системи. У зв'язку з цим особливу увагу приділено реалізації механізмів відстеження робочої точки потужності та автоматичного перемикавання джерел живлення за потреби.

Створена модель автоматичної системи підтвердила доцільність застосування трекерів у малопотужних сонячних енергетичних установках. Отримані результати можуть бути закладені для подальшої розробки більш складних систем з енергонакопичувачами, прогнозуванням сонячної активності та віддаленим моніторингом роботи обладнання.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *cacheindustry*.
URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/459/109766459/att_1026087/v1/s71500_s71500t_motion_control_overview_function_manual_ru-RU_ru-RU.pdf.
2. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=O4d1PekbaXI> (дата звернення: 30.05.2025).
3. *Watt*. URL: https://watt.ua/trekery_dlya_sonyachnykh_paneley.html/.
4. *Рефим*. URL: <https://refit.com.ua/ru/productions/drajver-shagovogo-dvigatelya-2dm542/>.
5. *Рефим*. URL: <https://refit.com.ua/wp-content/uploads/2024/11/2dm542.pdf>.
6. *Своя Енергія*. URL: <https://svoya-energy.com.ua/z-chogo-zrobleni-sonyachni-batareyi/#:~:text=Пристрій%20сонячних%20батареї%20включає%20кілька,еле>.
7. *СонцеДім*. URL: https://soncedim.com.ua/blog/soniachna-panel-z-chogovona-skladaetsia-ta-iak-pratsiue?srsltid=AfmBOoqqrAhfWNAmluoBplcBNj4hruiLqda4DhHXYzHxW6yyez_LsS_v.
8. *СонцеДім*. URL: https://soncedim.com.ua/blog/soniachna-panel-z-chogovona-skladaetsia-ta-iak-pratsiue?srsltid=AfmBOoqqrAhfWNAmluoBplcBNj4hruiLqda4DhHXYzHxW6yyez_LsS_v.
9. *Хабр*. URL: <https://habr.com/articles/584728/>.
10. *ALFA Solar*. URL: <https://alfa.solar/uk/content/yak-obrati-akumulyatornu-batareyu-dlya-sonyachnoyi-elektrostantsiyi-id17#:~:text=Типи%20акумуляторних%20батареї,i%20GEL%20->

					КНУ.КРБ.151.25.01.00.ПЗ							
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ			Літера	Аркуш	Аркушів		
Разробив		Кражан І. І.									73	91
Перевірів		Савицький О.І.										
Н.контроль		Маринич І.А.										
Затвердив		Маринич І.А.						КНУ АКИТ – 22СК				

%20не%20обслуживающую.

11. *Alteco*. URL: <https://alteco.in.ua/economics/raschet-teo/raschet-okupaemosti-setevoj-solnechnoj-stanczii-30-kvt>.
12. *Ekotechnik*. URL: <https://ekotechnik.in.ua/blog/yak-pravilno-vibratsionnyachni-batareyi>.
13. *Habr*. URL: <https://habr.com/companies/ruvds/articles/718680/>.
14. Аккумуляторы для солнечных батарей – особенности и срок службы. *Магазин электротехники и автоматики – системы электроснабжения под ключ в Украине «Vinur»*. URL: https://vinur.com.ua/aboutus/usefull-info/articles/akkumulyatory-dlya-solnechnyh-batarej-osobennosti-i-srok-sluzhby?srsltid=AfmBOorwDAQ0rMBFFsTg1j6Tapt72c_KeS0D_fksbXBUgj9G041d-wUX (дата звернення: 30.05.2025).
15. Ерёменко Е. Идеальный гибридный инвертор для квартир, дач и домов. Фильм №11, Часть 1. Низковольтный вход рулит!, 2025. *youtube*. URL: https://www.youtube.com/watch?v=bmqwxW_Nku0.
16. Инвертора для солнечных электростанций. *Volta - интернет-магазин электрики и электротоваров, электротовары электрооборудование по доступным ценам*. URL: <https://www.volta.com.ua/blog/invertora-dlya-solnechnykh-elektrostantsiy/?srsltid=AfmBOoqZa-Obx0mY55dUVJwxwIVecgt4blQbhRhoeAApizcmBxTww79a> (дата звернення: 30.05.2025).
17. Как настроить фотоэлектрический датчик: экспертное руководство. *kwoco-plc.com*. URL: <https://kwoco-plc.com/ru/adjust-photoelectric-sensor/> (дата звернення: 30.05.2025).
18. Мальков А. Так вот почему в ПУСТЫНЕ ЭТО сделать проблемно. *YouTube*. URL: <https://www.youtube.com/shorts/42TQbSVEnHA>.

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

- 19.Олег KOV. Обзор с настройками солнечного контроллера "SOLAR CHARGE CONTROLLER", модель W88-B. Подготовка к зиме, 2023. *YouTube*.
- 20.Подключение солнечных панелей к инвертору: подробная инструкция. *ForPeopleShop*.
URL: <https://forpeopleshop.com/ru/pidkliuchennia-soniachnykh-panelei-do-invertora-dokladna-instruktsi/?srsltid=AfmBOopuwUfVodDS3lSsUET5NVQxQnGYoF6cdoomI8KsP3dBfQogYCL9> (дата звернения: 30.05.2025).
- 21.Contributors to Wikimedia projects. Инвертор для солнечных панелей – Википедия. *Википедия – свободная энциклопедия*.
URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Инвертор_для_солнечных_панелей (дата звернения: 30.05.2025).
- 22.DmitrySpb79. Солнечная батарея на балконе: тестирование контроллера заряда. *Хабр*. URL: <https://habr.com/ru/articles/404035/> (дата звернения: 30.05.2025).
- 23.TIA portal technology objects for siemens motion control systems. *SolisPLC | Online PLC & Automation Training*.
URL: <https://www.solisplc.com/tutorials/tia-portal-technology-objects-for-siemens-motion-control-systems#:~:text=TIA%20Portal%20provides%20the%20means,is%20employed%20within%20the%20application>. (date of access: 30.05.2025).
- 24.*RealStroyService*. URL: <https://realstroysevice.kiev.ua/ua/blog-ua/849-tekhnologichni-innovaciyi-v-sonyachnii-energetici-perspektivi-dlya-ukrayini-u-2024-roci> (дата звернения: 28.05.2025).
- 25.*Solarinvest*. URL: <https://www.sig.energy/innovacziyi-v-sonyachnij-energetyczi-shho-novogo/>.
- 26.*Termico*. URL: <https://www.termico-solar.com/yak-vibrati-invertor-dlya-sonyachnih-panelej/>.

- 27.Маринич І. А., Рубан С.А. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”. Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2022. 50 с.
- 28.ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с. (Інформація та документація).
- 29.ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).
- 30.ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень в українській мові. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП «УкрННЦ», 2013. 23 с. (Інформація та документація)
- 31.ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення Київ, Держстандарт України, 1998. 27 с. (Інформація та документація).

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Лабораторна робота №1

Тема: Дослідження впливу кута інсоляції на генерацію сонячної панелі

Мета: Вивчити вплив зовнішніх факторів таких як змінення кута інсоляції, затемнення, часткове затемнення, на роботу сонячної електростанції, та навчитися вибирати оптимальні робочі параметри.

Хід роботи

1. Провів підготовку лабораторного стенду до роботи. Перевінив правильність підключення фотоелектричної панелі, контролера заряду, акумуляторних батарей та контролера Siemens. Увімкнув систему та переконався в наявності напруги на виході панелі за нормального освітлення.

2. Встановив панель у положення з максимально прямим потраплянням світлового потоку (кут близький до 90°). Зафіксував значення напруги, струму та потужності при нормальних умовах освітлення. Це значення прийняв за номінальне для подальшого порівняння.

3. Здійснив експеримент зі зміною кута нахилу панелі. Змінював кут нахилу панелі відносно джерела світла (приблизно 90° , 75° , 60° , 45° , 30°) та в кожному випадку вимірював напругу. Зафіксував, як зі зменшенням кута падає генерація енергії через зменшення площі ефективного освітлення.

4. Провів дослідження в умовах часткового затемнення, виставивши заздалегіть панель під найефективнішим кутом відносно сонячних променів, а саме 90° . Вирішив закрити сонячну панель двома методами за допомогою листа А4, горизонтальним та вертикальним накриттям.

Різниця між горизонтальним та вертикальним накриттям сонячної панелі аркушем А4 полягає в тому, які саме фотоелементи панелі перекриваються — а від цього залежить, наскільки сильно впаде її потужність.

Вертикальне накриття: фотоелементи в панелі з'єднані послідовно по вертикалі, перекриття одного вертикального ряду елементів (навіть частково) призводить до різкого зменшення струму у всьому ланцюзі. В цьому випадку

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вся панель може втратити майже всю потужність, навіть якщо лише одна її частина в тіні.

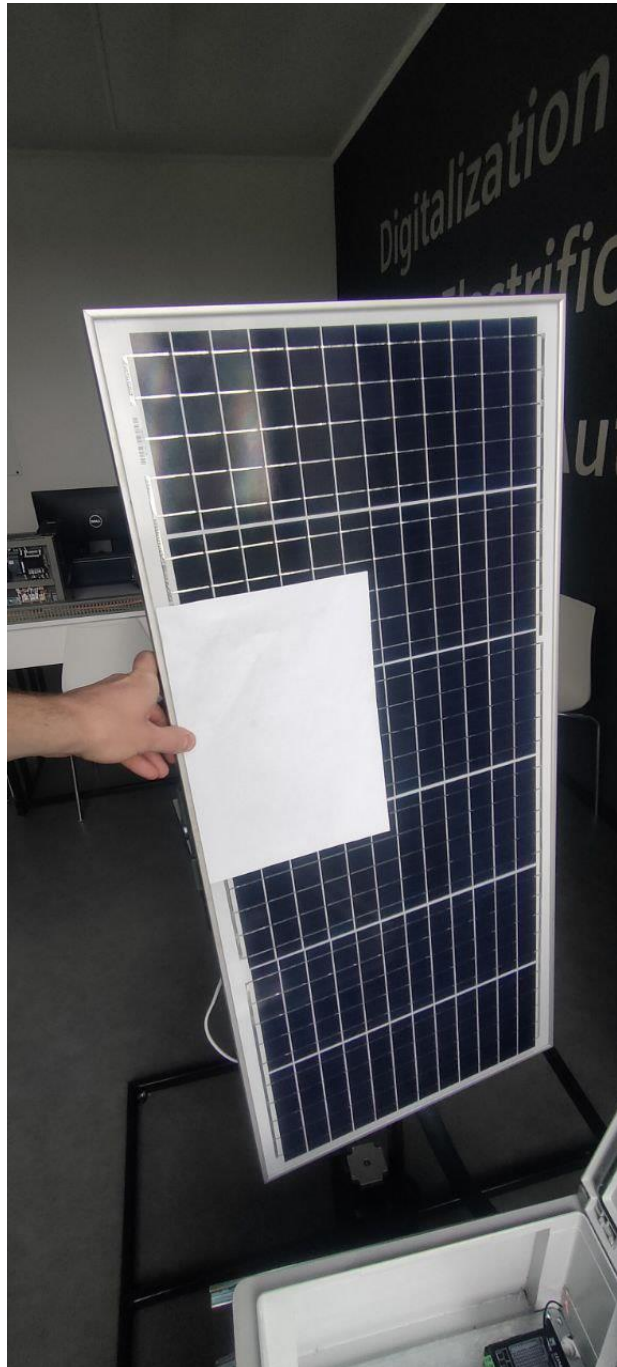


Рисунок А.1 - Закриття частини панелі вертикальним аркушем А4

Горизонтальне накриття: Коли аркуш покладений горизонтально, він може перекрити частини різних вертикальних рядів елементів. Це менше впливає на загальний струм, бо частково засвітлені елементи все ще можуть виробляти енергію. У такому разі потужність зменшується, але не так критично, як при вертикальному перекритті.

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78



Рисунок А.2 - Закриття частини панелі горизонтальним аркушем А4
Підсумок:

- **Вертикальне накриття** призводить до сильнішого падіння потужності (через блокування цілої серії елементів у ланцюгу).
- **Горизонтальне накриття** в свою чергу має менший вплив, особливо якщо контролер має функцію байпасу або часткової генерації.

5. Повністю затемнив панель, моделюючи ситуацію повного перекриття світлового потоку. Зафіксував нульову генерацію електроенергії, що підтвердило залежність ефективності від рівня освітлення.

6. Здійснивши аналіз отриманих даних. Побудував графіки залежності вихідної потужності від кута нахилу панелі та ступеня її затінення. Порівняв режими роботи системи та визначив оптимальні умови для ефективного використання сонячної панелі.

Після проведених дослідів сформував наступну таблицю:

Таблиця А.3- Результат дослідження

Умова	Напруга (В)	Струм (А)	Потужність (Вт)
Повне освітлення (кут 90°)	18	3.6	64.8
Кут 75°	14	2.7	37.8
Кут 60°	11.33	2	22.66
Кут 45°	8	1.3	10.4
Кут 30°	6.41	0.5	3.2
Вертикальне накриття	9.3	1.7	15.81
Горизонтальне накриття	15.5	3	46.5
Повне затемнення	0	0	0

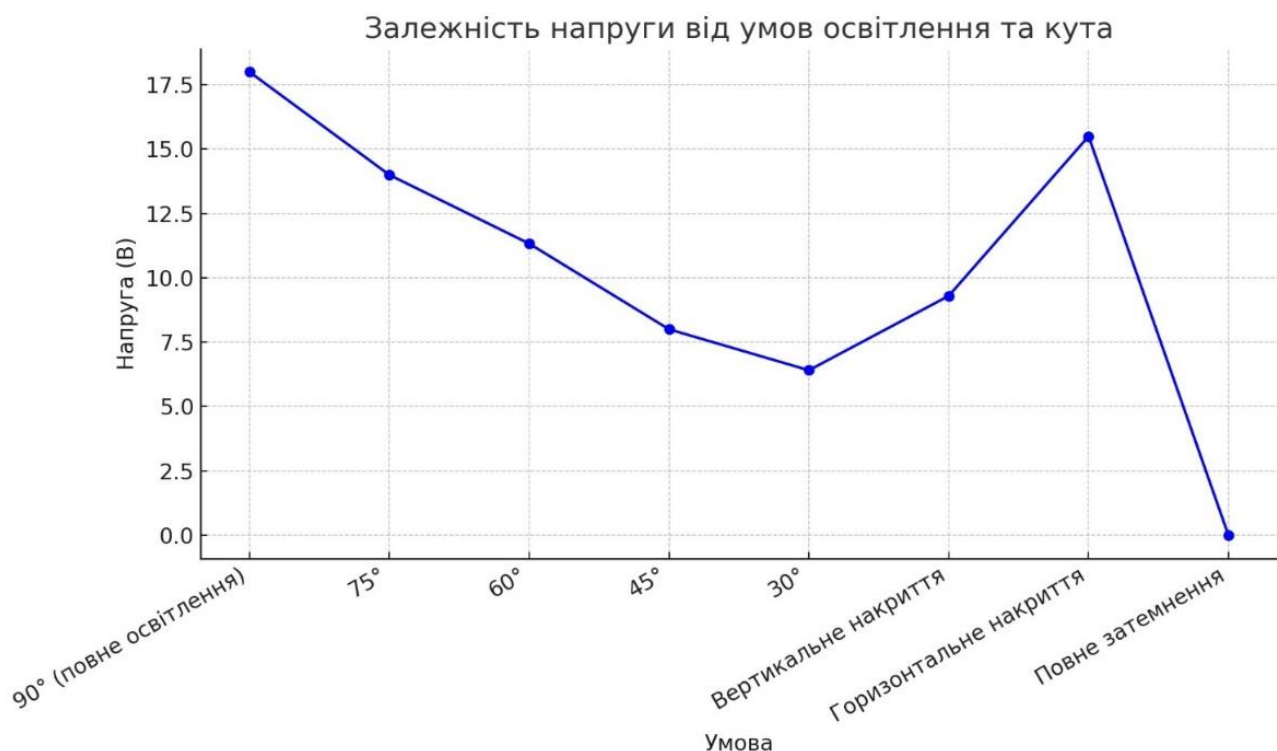


Рисунок А.3 - Графік залежностей

Висновок: Під час розробки матеріалу для лабораторної роботи було досліджено залежність вихідних параметрів сонячної панелі від умов освітлення та змін кута нахилу. При оптимальному розташуванні під кутом 90° панель забезпечувала максимальну потужність 64.8 Вт (18 В, 3.6 А), що демонструє її призначену ефективність за умов прямого падаючого світла. З поступовим зменшенням кута нахилу спостерігалось значне зниження як напруги, так і струму, що прямолінійно впливало на потужність – від 37.8 Вт при куті 75° до лише 3.2 Вт при куті 30°. Це свідчить про важливість правильного орієнтування панелі до сонячного проміння для досягнення максимальної енергоефективності.

Особлива увага була приділена дослідженню впливу затінення на роботу панелі. Вертикальне накриття, яке призводить до перекриття послідовно з'єднаних елементів, викликало різке зниження вихідних характеристик до 15.81 Вт.

Натомість горизонтальне накриття дозволило деяким елементам залишатися під освітленням, що забезпечило більш пристойний показник –

46.5 Вт. Ці результати чітко демонструють, що навіть часткове вертикальне затінення може критично вплинути на загальну продуктивність, тоді як горизонтальне накриття має менший негативний ефект.

Отже, проведені дослідження підтвердило, що максимальна ефективність сонячної панелі досягається за умов оптимального кута нахилу і відсутності затінення. Важливо враховувати як геометричне розташування панелі, так і специфіку затінення, оскільки вони визначають реальну вихідну потужність пристрою. Ці висновки мають практичне значення для оптимізації роботи та проектування сонячних електростанцій у реальних умовах, де навіть незначне відхилення від ідеальних умов може суттєво вплинути на конструктивні та експлуатаційні характеристики системи.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ</i>	Арк.
						82
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Лабораторна робота №2

Тема: Вибір інвертора для фотоелектричної системи автономного енергозабезпечення.

Мета: Ознайомлення з принципами роботи інверторів у складі фотоелектричних систем, аналіз їх технічних характеристик та виконання обґрунтованого вибору інвертора відповідно до параметрів сонячної панелі та навантаження в автономній системі енергозабезпечення.

Хід роботи

Який сонячний інвертор підійде саме мені?

Правильний вибір інвертора для сонячної енергосистеми є одним із ключових рішень під час проєктування та впровадження автономного чи мережевого живлення. Вибір типу інвертора залежить від ряду важливих чинників, серед яких основними є:

Наявність доступу до електромережі. Якщо ваш об'єкт має стабільне підключення до централізованої електромережі, доцільним буде використання мережевого (on-grid) інвертора. Така система дозволить не лише використовувати сонячну енергію у реальному часі, але й автоматично компенсувати нестачу живлення із загальної мережі або передавати надлишкову енергію назад у систему.

Географічне розташування. У разі, якщо об'єкт розташований у віддаленій місцевості без доступу до електромережі, варто звернути увагу на автономні (off-grid) або гібридні інвертори. Вони дозволяють накопичувати енергію в акумуляторах і забезпечувати електроживлення вночі або у похмурі дні.

Бюджет проєкту. Ціна інвертора також є визначальним чинником. Гібридні інвертори є більш універсальними, але зазвичай коштують дорожче через наявність додаткових функцій, таких як одночасна робота з мережею, сонячними панелями та батареями. Якщо фінансування обмежене, варто обрати тип інвертора відповідно до основних потреб системи.

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім того, під час вибору сонячного інвертора важливо враховувати й інші ключові чинники, такі як очікуване навантаження, розмір і розташування сонячної системи, кліматичні умови регіону, а також технічні вимоги проекту.

Таблиця А.4 - Порівняння різних типів інверторів

Параметр	On-Grid (Мережевий)	Off-Grid (Автономний)	Hybrid (Гібридний)
Принцип роботи	Подає енергію в мережу, не має вбудованого акумулятора	Працює незалежно від мережі, використовує акумулятори для зберігання енергії	Може працювати як від мережі, так і автономно, має вбудований акумулятор
Ціна (приблизно)	1000-3000 грн	600-3000 грн	1000-6000 грн
Переваги	Ефективно використовує сонячну енергію, дозволяє продавати надлишкову електроенергію	Незалежність від мережі, можна використовувати у віддалених місцях	Забезпечує резервне живлення, дозволяє економити на рахунках за електроенергію
Недоліки	Не працює при відключенні електропостачання, потребує сонячної енергії для роботи	Потребує додаткових акумуляторів, вища вартість встановлення	Висока вартість, складність встановлення та обслуговування
Рекомендована зона застосування	Для будинків або бізнесу, де енергія споживається вдень	Віддалені місця без доступу до мережі, кемпінги, котеджі, при частих відключеннях мережі	Для місць з нестабільним постачанням електроенергії, де потрібне резервне живлення

Кожен із перелічених у таблиці типів інверторів підходить для конкретних сценаріїв використання, а саме:

Інвертор на 3 кВт або 4 кВт — підходить для невеликих автономних систем, наприклад, для освітлення, заряджання пристроїв або живлення дачного будинку.

Інвертори на 5 кВт та 10 кВт — використовуються в мережевих системах для передачі надлишкової енергії до електромережі, або в автономних системах з високим рівнем споживання енергії (наприклад, для приватного будинку з великою кількістю електроприладів).

Гібридний інвертор на 1 кВт — призначений для невеликих енергосистем, які мають працювати як від електромережі, так і від акумуляторів, наприклад, для квартир чи будинків із помірним енергоспоживанням.

Інвертор для дому на 5 кВт з акумулятором — оптимальне рішення для автономних систем, які мають забезпечувати електропостачання впродовж усього дня і ночі завдяки накопиченню сонячної енергії в батареях протягом світлового дня.

В ході дослідження, було вирішено обрати інвертор напруги типу Off-Grid 300 Вт постійного струму у змінний (12 В → 220 В) з модифікованою синусоїдою. Це компактний перетворювач напруги з силовим трансформатором, який підходить для використання в автономних системах. Його пікова потужність становить 300 Вт, однак рекомендовано не перевищувати навантаження у 100 Вт для безпечної та стабільної роботи. У випадку тривалого використання з навантаженням понад 100 Вт обов'язково необхідно встановити активне охолодження — наприклад, вентилятор. Навіть за умови хорошого розсіювання тепла потужність не повинна перевищувати 200 Вт протягом тривалого часу, і тривала робота на повну потужність (300 Вт) не допускається.

Цей модифікований синусоїдальний інвертор підходить для живлення ноутбуків, телевізорів, аудіосистем, фото- та цифрових камер, принтерів, зарядних пристроїв, ігрових приставок, мобільних та іншої цифрової та

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

побутової електроніки з невеликим споживанням електроенергії. Інвертори з вищою потужністю можуть застосовуватись для невеликих електричних нагрівальних приладів — таких як фени, електричні чашки та деякі кухонні пристрої.

TopPCB

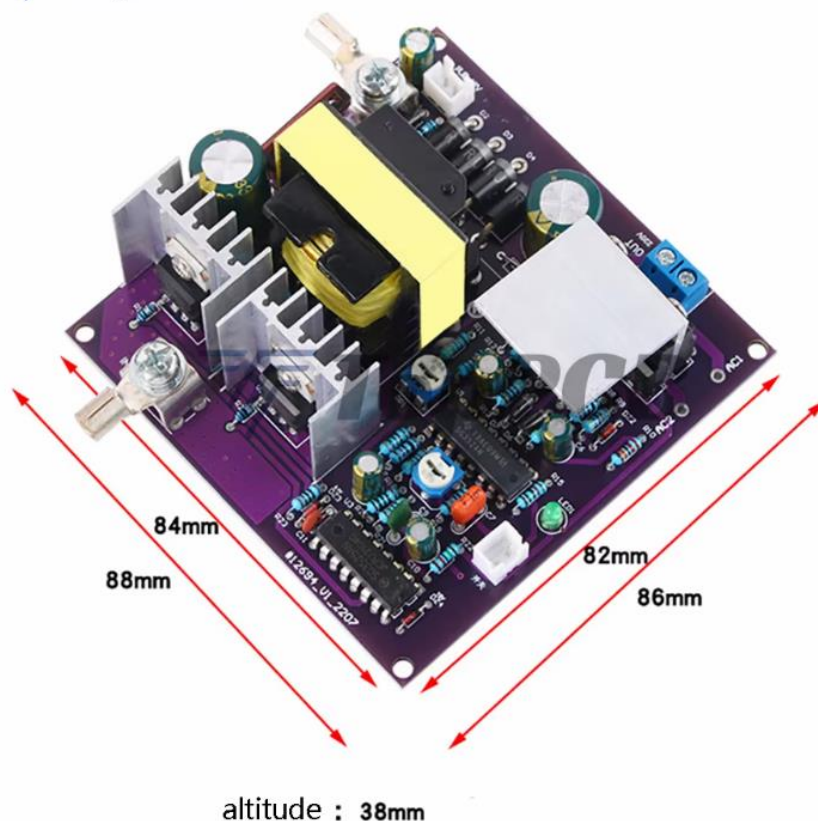


Рисунок А.4 - Вигляд вибраного інвертора

Водночас такий інвертор не підходить для живлення приладів з індуктивним навантаженням, таких як холодильники, електродрилі, електродвигуни, компресори, реле, люмінесцентні лампи, електричні вентилятори, індукційні плити чи кондиціонери. Використання інвертора з такими пристроями може призвести до його перегріву, пошкодження як самого інвертора, так і підключених приладів, або значного скорочення їхнього терміну служби. У кожному випадку слід переконатися, що споживана потужність електроприладу відповідає можливостям інвертора.

Висновки: В ході розробки матеріалу для лабораторної роботи було досліджено принцип вибору інверторів, та був вибраний автономний інвертор

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

з потужністю до 300 Вт з модифікованою синусоїдою. Визначено, що інвертор ефективно перетворює постійний струм 12 В у змінний 220 В, забезпечуючи живлення побутових пристроїв малої потужності (до 100–200 Вт).

При тривалому використанні інвертор потребує додаткового охолодження для запобігання перегріванню та виходу з ладу. Також встановлено, що цей тип інвертора не підходить для живлення приладів з індуктивним навантаженням (електродвигуни, компресори, холодильники тощо) через ризик пошкодження пристрою або зниження його ресурсу.

Через обмежену потужність сонячної панелі (65 Вт) та характер умов експлуатації, було доцільно використати саме малопотужний інвертор. Це дозволило уникнути перевантажень системи, забезпечити безпечні умови роботи та зменшити втрати енергії при перетворенні. Такий інвертор ідеально підходить для лабораторного стенду та живлення малопотужних пристроїв таких як лампи, зарядні пристрої, вентилятори малої потужності, тощо.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

Лабораторна робота №3

Тема: Дослідження керування кроковим двигуном за допомогою технологічного об'єкта у TIA Portal.

Мета: Дослідити принципи роботи крокового двигуна та керування їм за допомогою ПЛК SIEMES S7-1200 за допомогою технологічного об'єкта.

Хід роботи

Для виконання даної лабораторної роботи був вибраний кроковий двигун Stepper Motor JK60HSSS-300S, для керування двигуном взято у роботу контролер Siemens S7-1200 1212C DC/DC/DC, драйвером крокового двигуна виступив 2DM542.

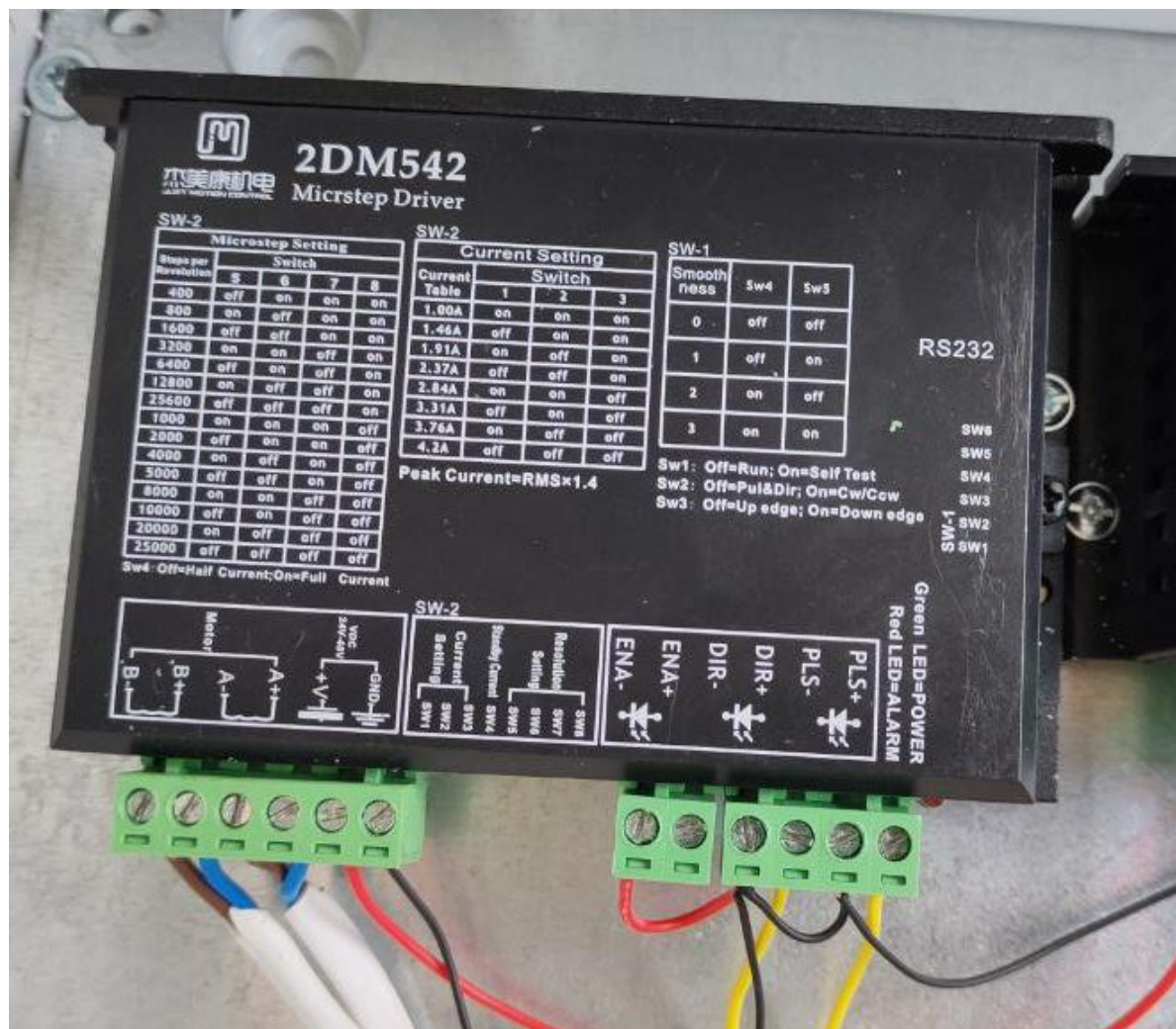


Рисунок А.5 - Вигляд драйвера

На початковому етапі створив новий проект у Tia portal додавши у нього контролер Siemens S7-1200 1212C, після чого використав Technology objects.

Додавши новий технологічний об'єкт у дереві проекту, приступив до його налаштування, а саме, додав необхідний генератор пульсів (Pulse_1), вибрав тип сигналу (PTO pulse A and direction B). Керуючими сигналами в свою чергу виступили дискретні виходи Q0.1 та Q0.0, ці сигнали керують напрямком обертання двигуна. Далі було налаштовано значення яку кількість пульсів двигуну необхідно на повний оберт, цим числом було 4500. Виконав налаштування швидкості, для забезпечення безпечної роботи двигуна.

На другому етапі було вирішено перевірити роботу двигунів для цього у блок OB1 було додано наступні елементи з бібліотеки Motion Control:

MC_Power- відповідає за підготовку осі до роботи, вмикає драйвер та дозволяє подавати сигнали керування до крокового двигуна через імпульсні виходи PTO або інтерфейс, і забезпечує готовність системи до виконання рухових команд.

MC_Reset- використовується для скидання помилок, що виникли під час роботи технологічного об'єкта, відіграє роль «відновлення стану» після виникнення аварійної або некоректної ситуації, яка призвела до зупинки руху чи блокування керування.

MC_Home- функціональний блок необхідний, для виконання обнулення, або хомування об'єкта. Для вказівки нульової точки необхідно вручну виставити бажане розміщення панелі і подати на MC_Home живлення, після чого на виході блоку з'явиться Done.

MC_Halt- це функціональний блок, який використовується для зупинення руху технологічного об'єкта. Він служить для завершення виконання програми руху та зупинення механічних компонентів, наприклад, приводних механізмів.

MC_MoveAbsolute- це функціональний блок, який використовується для виконання абсолютних переміщень осі. Він дозволяє встановити кінцеву позицію для осі і здійснити рух до цієї позиції, враховуючи при цьому всі параметри руху, такі як швидкість, прискорення та інші.

Також вирішив створити дата блок для зручного керування двигуном. Після створення додав у нього наступні змінні з заголовною назвою Osi:

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

On/Off- необхідний для вмикання та вимикання живлення двигуна, дана зміна розташована у блоці MC_Power на вході.

Reset – необхідний для квітування помилок у разі їх виникнення, розташував у блоці MC_Reset на вході.

Home – використовується у блоці MC_Home, та виконує функцію хомування панелі.

Stop – Використовується для зупинки руху крокового двигуна, у разі необхідності, знаходиться на вході блоку MC_Halt.

Position – на відмінну від вище перерахованих елементів, має не Bool структуру (1 або 0), а int що дозволяє задавати різні значення від -2 147 483 648 до 2 147 483 647, використовується для задання позиції до якої має рухатись двигун, розташований у блоці MC_MoveAbsolute.

Move – команда на початок руху для MC_MoveAbsolute.

Velociti- як і Position має int структуру, використовується для задання швидкості обертання двигуна у блоці MC_MoveAbsolute.

Після завершення додавання елементів та налаштування дата блоку, зберіг проект, скомпілював та завантажив на контролер.

Логіка роботи доволі проста, задаються параметри Position та Velociti, наприклад 100 та 15 відповідно. На блок MC_Power подається сигнал On/Off, що призводить до початку роботи системи, після чого необхідно анулювати позицію панелі, для цього зводиться Home, після чого можна подавати сигнал Move на блок MC_MoveAbsolute, після чого почнеться рух панелі, у разі необхідності зупини панель завчасно до досягнення нею заданою точки, подати команду Stop.

Висновки: У ході розробки матеріалу для лабораторної роботи було детально досліджено принципи керування кроковим двигуном з використанням програмованого логічного контролера Siemens S7-1200 у середовищі TIA Portal. Завдяки використанню технологічного об'єкта стало можливим реалізувати точне та надійне позиціонування, що є надзвичайно важливим у задачах автоматизації, де необхідна висока точність і передбачуваність руху.

					КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

У процесі реалізації керування було застосовано стандартні команди з Motion Control. Особливу увагу було приділено послідовності команд і правильному конфігуруванню параметрів технологічного об'єкта, що дозволило досягти стабільної роботи приводу.

Отримані результати демонструють ефективність поєднання апаратного забезпечення Siemens із гнучкими можливостями TIA Portal для розробки і тестування алгоритмів керування. Таким чином, у результаті виконання роботи було на практиці відпрацьовано методи програмного керування кроковими двигунами за допомогою технологічного об'єкта у середовищі Tia Portal.

					<i>КНУ КРБ.151.25.01.00.ПЗ</i>	Арк.
						91
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		