

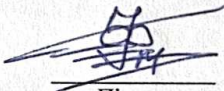
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

На здобуття першого (бакалаврського) ступеня вищої освіти


Розробка перемикача джерела живлення
для автономної електростанції


Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Енергетичний менеджмент

Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент(ка) 4 курсу група ЕМ-21-1  Максим ФЕДОРЕЦЬ
Шифр Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кандидат технічних наук, доцент  Світлана СМУТКО
Науковий ступінь, вчене звання Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер _____  О. ТИМОЩУК
Посада Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри МАЕЕС  Віталій НЕЙМАК
Назва Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

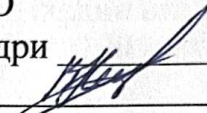
2.06.2025
Дата

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри


2 . 06 . 20 25 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Федорця Максима Михайловича

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка перемикача джерела живлення для автономної електростанції

Керівник роботи Смутко С.В., к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи на кафедру 2.06.2025

3. Вихідні дані до роботи умови роботи гібридних автономних електростанцій

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

Вступ. 1. Огляд та аналіз схем улаштування альтернативних електростанцій та конструкцій перемикачів джерел живлення. 2. Дослідження процесу роботи гібридної альтернативної електростанції. 3. Розробка схеми автоматичного перемикача джерел живлення альтернативної електростанції. 4. Підтвердження працездатності автоматичного перемикача джерел живлення для гібридних альтернативних електростанцій Висновки.

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

ДО. Альтернативні електростанції та конструкції автоматичних перемикачів живлення (А1). С1 Структурна схема включення автоматичного перемикача джерел живлення (А1). ЕЗ Принципова електрична схема перемикача джерела живлення (3 листа ф.А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завда прий

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примі
1. Огляд та аналіз джерел за темою кваліфікаційної роботи	березень 2025 р	
2. Розробка схеми перемикача джерел живлення	Квітень-травень 2025	
3. Дослідження процесу роботи гібридної альтернативної електростанції	Квітень-червень 2025	
4. Підтвердження працездатності автоматичного перемикача джерел живлення для гібридних альтернативних електростанцій	Квітень-червень 2025	
5. Оформлення пояснювальної записки та графічних документів кваліфікаційної роботи	Березень-червень 2025	

Студент(ка)

Керівник роботи



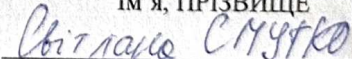
Підпис



Підпис



Ім'я, ПРІЗВИЩЕ



Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Енергетичний менеджмент

АНОТАЦІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Федорця Максима Михайловича

Прізвище, ім'я, по батькові студента

Тема роботи Розробка перемикача джерела живлення для автономної електростанції

1. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання рецензента _____

2. Обсяг кваліфікаційної роботи: креслень 5 арк, сторінок записки 58

3. Характеристика розділів пояснювальної записки:

Кваліфікаційна робота присвячена розробці конструкції автоматичного перемикача джерел живлення, що передбачає використання кількох різнорідних джерел електричної енергії. 1 розділ присвячено огляду та аналізу схем улаштування альтернативних електростанцій та конструкцій перемикачів джерел живлення. В 2 розділі представлено дослідження процесу роботи гібридної альтернативної електростанції. 3 розділ - розробка схеми автоматичного перемикача джерел живлення альтернативної електростанції. В 4 розділі підтвердження працездатності автоматичного перемикача джерел живлення для гібридних альтернативних електростанцій

Підпис студента

" 20 " червня 20 25 р.

Р І Ш Е Н Н Я Е К ЗА М Е Н А Ц І Й Н О Ї К О М І С І Ї:

Протокол 7 від 28 06 20 25 р.

Оцінка роботи ЕК 4/10

Рекомендації ЕК —

Особливі відмітки —

Технічний секретар

Підпис


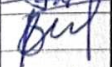

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

" 28 " 06 20 25 р.

Зміст

	стор.
Вступ.....	5
1 Огляд і аналіз схем улаштування альтернативних електростанцій та конструкцій перемикачів джерел живлення	7
1.1 Схеми улаштування альтернативних електростанцій	7
1.2 Автоматичні перемикачі джерела живлення	14
1.3 Висновки до розділу.....	25
2 Дослідження процесу роботи гібридної альтернативної електростанції	27
2.1 Розрахунок гібридної автономної електростанції	27
2.2 Висновки до розділу.....	33
3 Розробка схеми автоматичного перемикача джерел живлення альтернативної електростанції	33
3.1 Аналіз призначення перемикача джерела живлення в загальній схемі альтернативної електростанції	33
3.2 Розробка схеми перемикача джерела живлення	37
3.3 Розробка електричної схеми та програмного забезпечення	39
3.4 Висновки до розділу.....	47
4 Підтвердження працездатності автоматичного перемикача джерел живлення для гібридних альтернативних електростанцій	48
4.1 Опис конструкції автоматичного перемикача джерел живлення	48
4.2 Експериментальна апробація конструкції автоматичного перемикача джерела живлення в різних режимах роботи	50
4.3 Висновки по розділу.....	53
Висновки.....	54
Перелік посилань.....	55
Додатки.....	58

БРМА 25.00.00. 000 ПЗ

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Федорець М.М.			Розробка перемикача джерела живлення для автономної електростанції	Літера	Аркцш	Аркцшів
Перевір.		Смутко С. В.					4	58
Ч.контр. Затвер.		Тимошук Неймак В.С.			ХНУ зр. ЕМ-21-1			

Вступ

На сьогоднішній день, альтернативні джерела енергії набирають дедалі більшої популярності, особливо у контексті розвитку енергозберігаючих технологій. Методи отримання енергії, що раніше не мали попиту, зараз є вкрай актуальними. Ефективне енергозбереження складно уявити без використання альтернативних джерел енергії. Незалежність енергетична, фінансова вигода та постійно поновлювані ресурси – ось короткий перелік переваг, якими насолоджується власник незалежних енергетичних установок.

Сфера використання технологій альтернативних джерел енергії широка. Це і державний і приватний сектори економіки.

Майбутнє належить альтернативним джерелам енергії, оскільки вони майже безкоштовні, використовуючи дари природи: вітер, сонце, тепло землі. Вони безпечні та не викликають шкідливих викидів у довкілля. Крім того, це забезпечує автономність: зникає необхідність транспортувати енергію на далекі відстані. Це уникнення значних втрат енергії при передачі, а також мінімізація екологічного збитку, зокрема електромагнітного забруднення, яке виникає при передаванні високовольтної електроенергії.

Актуальність альтернативної енергетики складно переоцінити, особливо з огляду на перспективи вичерпання традиційних ресурсів. За оцінками, запаси нафти та газу виснажаться в найближчі 30-50 років, а вугілля – через 200-300 років. Енергетичні ресурси – фундамент суверенітету кожної країни. Це надзвичайно важливо для України, чия індустрія споживає в 4-5 разів більше енергії, ніж будь-яка європейська держава, що погіршує конкурентоспроможність виробленої продукції. Враховуючи дефіцит природного газу в Україні, раціональне споживання електрики та впровадження альтернативних джерел енергії є необхідними. Особливо це стає актуальним в умовах сучасних викликів та обставин, в яких перебуває наша країна.

									Арк.
									5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

Використання відновлювальних джерел енергії визначається низкою важливих рис, які обумовлені їхнім нерівномірним територіальним розташуванням, мінливістю у часі, низькою густиною енергоресурсів. [1-3]. У зв'язку з цим постає необхідність задіяння декількох різноманітних джерел електрики, систем накопичення та резервного живлення. [4]. Враховуючи значний вибір обладнання для відновлюваних джерел енергії (вітряні турбіни, сонячні панелі, акумулятори та інше), існує можливість сконструювати численні енергетичні системи з різними поєднаннями джерел енергії.

Гарантування стабільності та безперебійності постачання електроенергії з різних джерел живлення є завданням першочергової важливості. І, безумовно, одним з ключових інструментів вирішення цього завдання є автоматизоване введення резервного електроживлення (АВР). Схеми АВР широко застосовуються в енергетичних системах та розподільчих електромережах усіх класів напруги. Відтак, створення конструкції автоматичного перемикача джерел живлення є завданням актуальним, саме йому присвячено дану кваліфікаційну роботу.

									Арк.
									6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

1 Огляд і аналіз схем улаштування альтернативних електростанцій та конструкцій перемикачів джерел живлення

1.1 Схеми улаштування альтернативних електростанцій

Звісно, зараз людство стикається з енергетичною кризою: потреби людей в електриці в кілька разів перевищують її виробництво! І це при тому, що обсяг виробництва просто вражає - 27-30 трильйонів кіловат-годин щорічно.

Величезні надії людство звертає до альтернативних джерел енергії, першість яких криється у їх поновлюваності, а також значуща користь від них полягає і в їхній екологічній чистоті.

До таких джерел можна віднести: [1]:

- енергія сонця;
- енергія вітру;
- енергія припливів;
- глибинне тепло Землі;
- паливо з біомаси.

Розширення та використання альтернативних та відновлюваних ресурсів (вітряна та сонячна енергія, біопаливо, інше) відіграють важливу роль у забезпеченні енергетичної незалежності та пом'якшенні негативного техногенного впливу на екологію. Актуальність розвитку альтернативної енергетики є беззаперечною, адже саме вона відіграє визначальну роль у скороченні викидів парникових газів, пом'якшенні згубного впливу на навколишнє середовище, сприяє зміцненню безпеки енергозабезпечення, а також зменшує залежність від імпорту енергоносіїв.

Автономна електростанція – оптимальний вибір для об'єктів, що розташовані далеко від централізованих мереж постачання електроенергії. У випадку, коли електрична мережа взагалі відсутня, це найбільш раціональне рішення, особливо у порівнянні з бензиновими або дизельними генераторами.

									Арк.
									7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

Вони не потребують постійного нагляду чи спеціального технічного обслуговування. Альтернативні джерела електроенергії стають дедалі поширенішими для забезпечення енергією приватних осель, баз відпочинку, пансіонатів у гірських та степових районах, а також для індивідуальних споживачів, таких як фермери, садівники, власники дач, мисливці та рибалки, а також для безперебійного живлення навігаційних, метеорологічних та інших станцій в польових умовах [5]. На рис. 1.1 зображено принципову схему функціонування вітрогенератора.

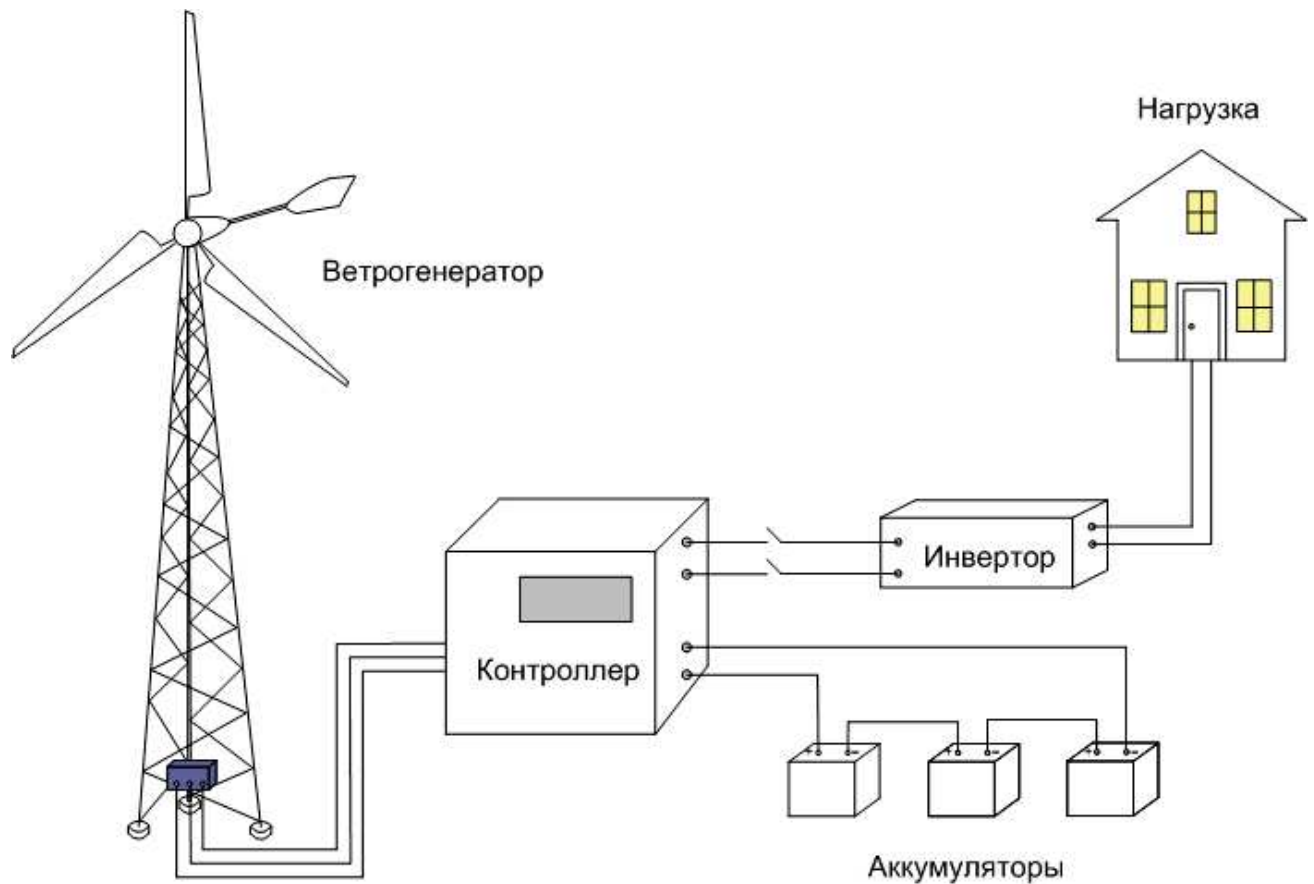


Рисунок 1.1 - Принципова схема роботи вітрогенератора

Вітрова та сонячна енергія здатні чудово підсилювати або замінювати одна одну. Так звані гібридні системи електропостачання виявляються надзвичайно ефективними для цілорічного автономного забезпечення електроенергією. Ці системи реалізовано у формі станцій, що базуються на вітрогенераторах та фотоелектричних модулях, з'єднаних в єдину енергетичну мережу.

Продуктивність сонячних панелей значно вища влітку, натомість взимку вона суттєво падає. Водночас забезпечення електроенергією від вітрових електростанцій влітку ускладнюється через велику кількість днів без вітру. Отже, переваги гібридної системи “вітер-сонце” (рис.1.2) виглядають досить очевидними.

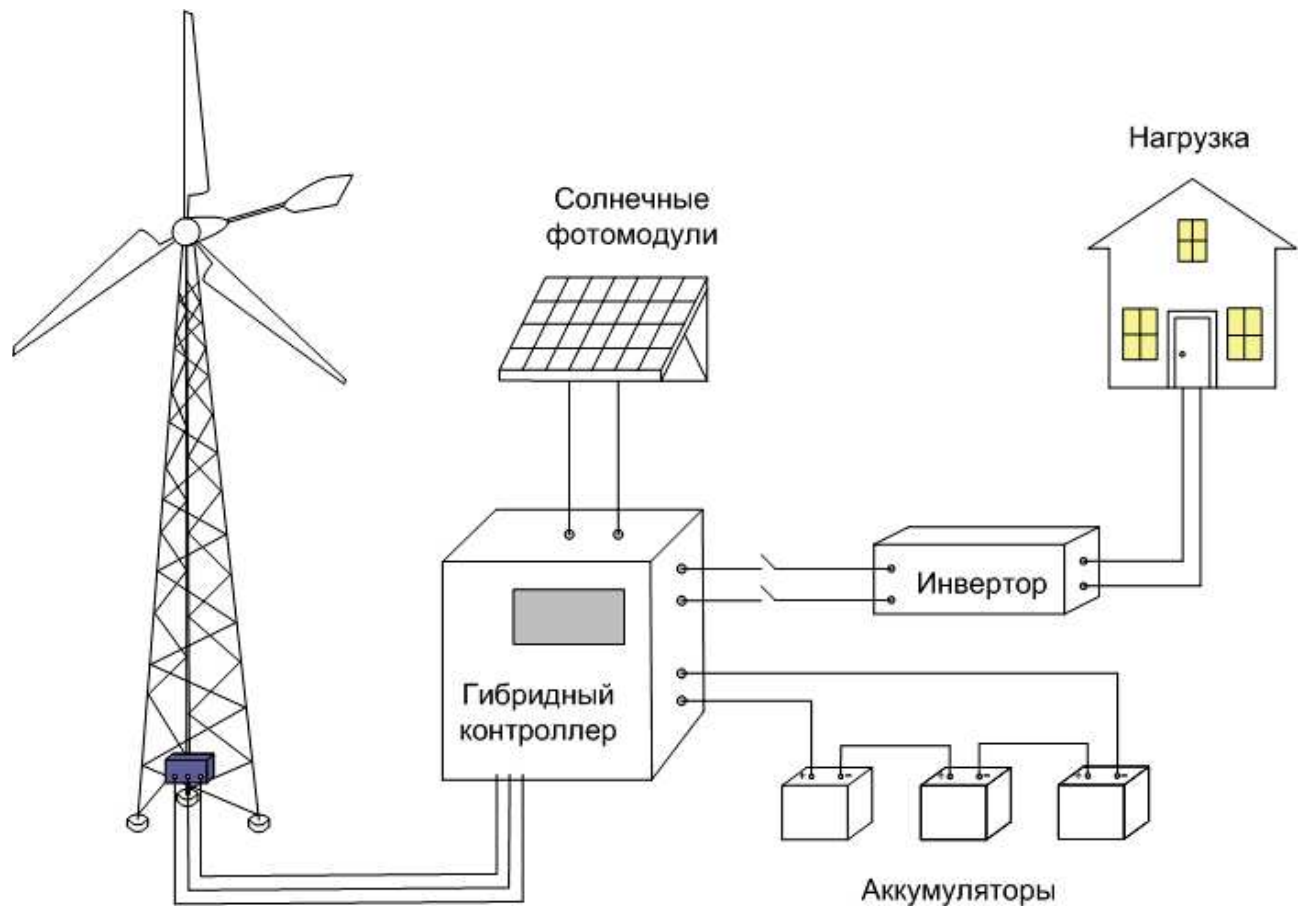


Рисунок 1.2 - Система енергозабезпечення “вітер-сонце”

Вітроелектростанція із накопиченням енергії в акумуляторах здатна функціонувати і спільно з загальною мережею (рисунок 1.3). Спільна робота реалізується через пристрій АВР (автоматичне введення резерву). АВР дає можливість переключити живлення об'єкту, коли немає вітру й акумулятори повністю розряджені, на електромережу, або навпаки, переводить навантаження на акумулятори у разі зникнення живлення з мережі. Пріоритет можна встановити вручну, враховуючи особливості конкретного об'єкта.

Це рішення знаходить широке використання на об'єктах, де спостерігаються часті перебої з електропостачанням, або її якість не відповідає потребам клієнтів. Також система може бути встановлена для збільшення доступної потужності та оптимізації споживання електроенергії.

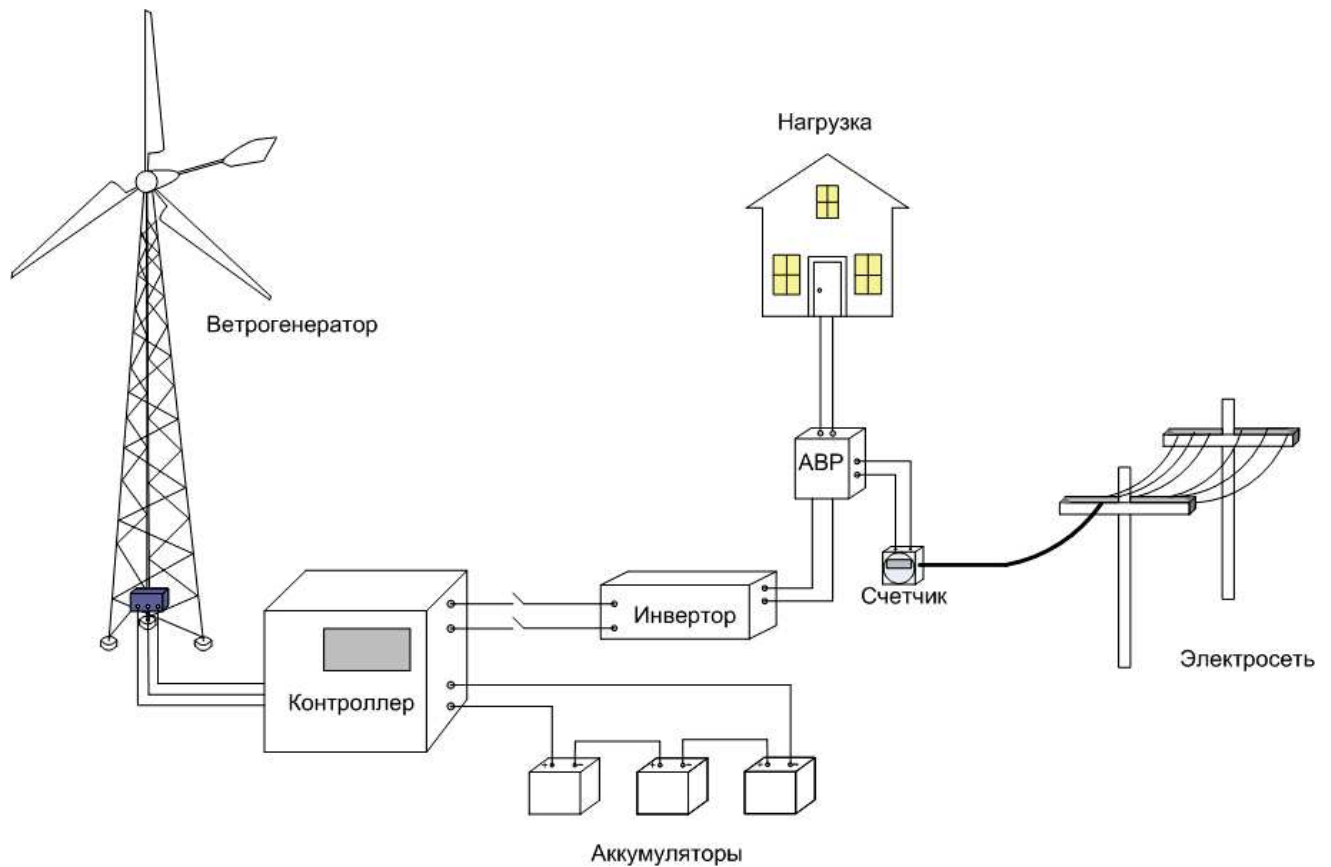


Рисунок 1.3 - Робота альтернативних гібридних джерел енергії і комутацією з мережею

Мережева станція, що представлена на рисунку 1.4, розроблена для синхронної роботи з мережею 220 або 380В/50 Гц. В якості «безкінечного» акумулятора в цій системі виступає звичайна електрична мережа. В умовах, коли виробництво електроенергії перевищує потреби, мережевий інвертор стає засобом повернення надлишків до загальної мережі. Якщо вітер стихає, він автоматично перемикається на живлення від централізованої електромережі. Перехід між режимами відбувається без втручання, в автоматичному порядку. Облік обсягів виробленої та спожитої електроенергії здійснюється за допомогою спеціалізованих лічильників.

За подібною структурою працюють найбільш динамічні станції, що дають змогу реалізувати електричну енергію у мережу за «Зеленим тарифом».

Останнім часом відкрилася можливість інтегрувати автономну та мережеву станції, використовуючи гібридний перетворювач. Плюс таких систем полягає у можливості не тільки прямого живлення навантаження, а й наявності запасу енергії в акумуляторних батареях, що дозволяє використовувати його згідно з визначеними пріоритетами.

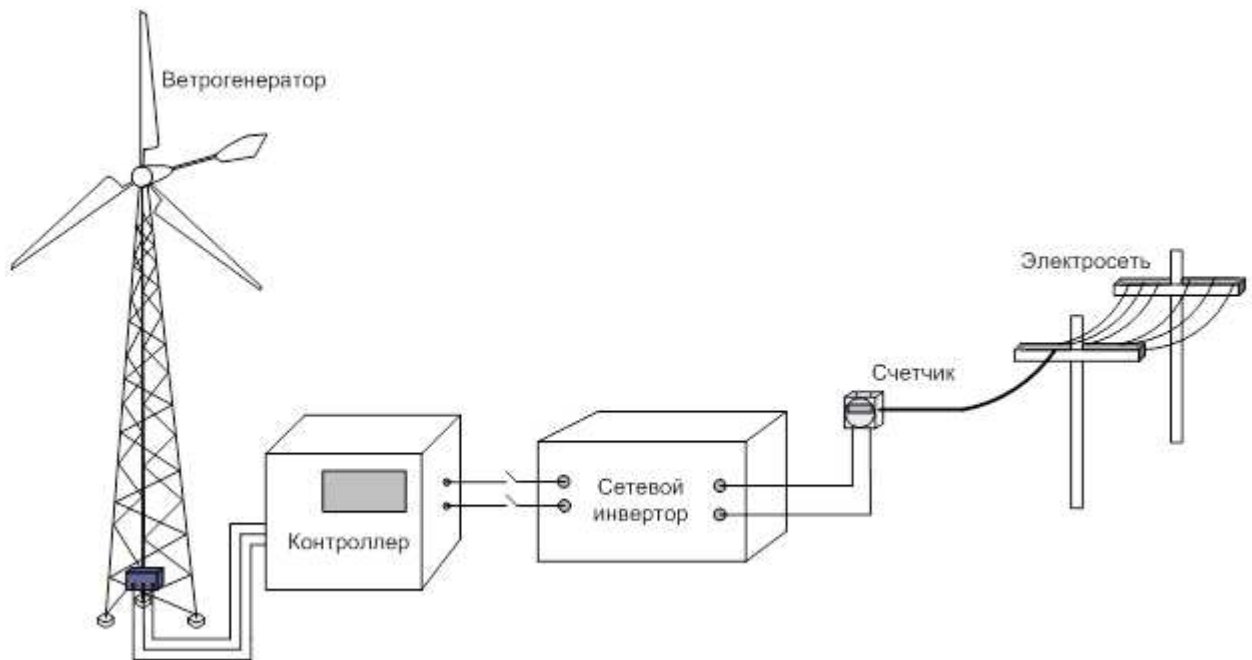


Рисунок 1.4 - Вітроустановка в мережі

Слід зауважити, що вище представлено лише кілька спрощених прикладів реалізації на основі вітрових електростанцій. Враховуючи значний вплив різних чинників на продуктивність конкретної станції на кожному окремому об'єкті, кожна ситуація розглядається індивідуально.

Конструкція автономної електростанції складається з:

- вітрогенераторної установки та/або сонячних панелей;
- контролера;
- акумуляторної батареї;
- автоматичного перемикача джерела живлення;
- інвертора.

Вітрогенератор (вітрова електроустановка, ВЕУ, вітряк) – це механізм, що перетворює енергію вітру на електричний струм. Вітрова електростанція – це комплекс, що складається з кількох вітрогенераторів, з'єднаних між собою спеціальним устаткуванням для спільної роботи у мережі. [6].

У спрощеному вигляді механізм дії вітрогенератора виглядає так. Потік вітру приводить у рух лопаті, котрі, використовуючи спеціальний механізм передачі, обертають ротор. Завдяки обмоткам статора, механічна енергія перетворюється на електроенергію. Аеродинаміка лопатей забезпечує високу швидкість обертання турбіни генератора. Далі оберտальна потужність трансформується в електроенергію, яка збирається в акумуляторі. Що інтенсивніший потік повітря, то швидше обертаються лопаті, генеруючи більше енергії. Для запобігання виходу з ладу установки при великому тиску повітря, вона оснащена спеціальною гальмівною системою. При швидкості вітру, що перевищує 50 км/год, гальма автоматично зменшують швидкість обертання ротора. Коли швидкість вітру досягає 80 км/год, гальмівна система повністю блокує лопаті. Усі складові турбіни розроблені для ефективного використання енергії повітряного потоку [6]. Відмінно підходить для монтажу у приватних оселях, котеджах та на дачних ділянках, що розташовані на будь-якій території України.

Сонячна панель – це різновид панелей, призначених для вловлювання сонячного світла і перетворення його в електроенергію або тепло. Звичайна сонячна панель, яку ми найчастіше бачимо на дахах будівель та на автомобілях, має жорстку конструкцію. Ефективність такої панелі визначається матеріалом, з якого вона виготовлена [7].

Конструкція фотоелектричного модуля елементарна. Головна складова панелі – це кремнієві фотоелементи (напівпровідники), котрі й відіграють роль мініатюрних генераторів електроенергії. Всі фотоелементи з'єднані між собою та надійно зафіксовані у герметичній алюмінієвій рамі. Зверху напівпровідники захищені полімерною плівкою та міцним загартованим склом.

									Арк.
									12
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

На тильній частині сонячної панелі розміщено герметичну розподільну коробку. У ній здійснюється перехід від фотоелементів до електричних дротів, які далі прямують до контролера.

Кремнієві елементи ефективно відбивають сонячне світло, що призводить до втрат значної частини сонячної енергії. Для зменшення цих втрат та підвищення ефективності сонячної батареї, фотоелементи покриваються спеціальним антибліковим шаром. [7].

Контролер заряду – це прилад, що автоматично коригує показники струму та напруги від джерела (скажімо, сонячних панелей), задля забезпечення процесу заряду акумуляторів, отже, захищаючи їх від можливих пошкоджень. Рівень заряду акумулятора визначається величиною напруги між його виводами. Ніщо не стає на заваді з'єднати джерело (наприклад, сонячні панелі) безпосередньо з акумулятором, контролюючи при цьому показники напруги на виводах та силу струму від джерела (аби акумулятор не зазнав пошкоджень). Коли напруга на клеммах досягне максимуму зарядки, необхідно просто від'єднати джерело. Це дозволить заряджувати акумулятор на 60-70% від його максимальної місткості. Щоб зарядити його повністю, до 100%, акумулятор повинен стабілізуватися – деякий час після досягнення максимальної напруги продовжувати заряджатися, утримуючи це напруження [8].

При використанні цього методу заряджання акумуляторів існує високий ризик зменшення номінальної ємності (через систематичний недозаряд) або пошкодження через надмірний струм або напругу. З цієї причини застосовуються різноманітні контролери заряду [8].

Акумуляторні батареї - це пристрої, що здатні багато разів постачати електроенергію, створені для збирання та утримання електричної енергії. Їх функціонування базується на зворотних окислювально-відновних процесах, що дозволяє використовувати їх неодноразово. Головна мета акумуляторів - забезпечувати електрикою: домашні прилади, такі як: лампи, телефони, дистанційні пульти, іграшки та інші; транспортні засоби; промислове

									Арк.
									13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

обладнання: виступаючи запасними джерелами живлення; у сонячних системах: в промисловості та в побуті, як тимчасові накопичувачі енергії [9].

Автоматичний перемикач живлення (АВР) дає можливість перевести живлення об'єкта на електромережу, коли вітру або сонця немає, а акумулятори повністю розряджені. Ця ж схема може функціонувати у зворотньому напрямку – вітрогенератор та сонячні панелі виступають як резервне джерело енергії. Тоді АВР перемикає на акумуляторні батареї у разі зникнення напруги з електромережі.

Інвертори – це електронні пристрої, що змінюють постійну напругу (DC) на змінну напругу (AC). Вони постачають живлення різноманітним електричним приладам у тих випадках, коли доступ до основного джерела живлення обмежений або відсутній. Сучасні інвертори знайшли широке застосування: від забезпечення електроенергією помешкань до промислового використання та роботи автономних систем. Інвертор – це важлива складова резервних систем живлення, особливо у тих, що базуються на сонячній енергії. Перетворювач напруги дає змогу отримати 220В змінного струму з 12, 24 або інших значень [10].

1.2 Автоматичні перемикачі джерела живлення

Оскільки альтернативні електростанції зазвичай поєднують в собі різноманітні джерела струму, системи накопичення енергії та резервні джерела, необхідно включати автоматичні перемикачі між ними. Ці пристрої гарантують надійне та безперебійне електрозабезпечення.

Автоматичне введення резерву (АВР) – це складна система, яка розроблена для миттєвого перекидання навантаження на запасне джерело живлення, якщо основне джерело вийде з ладу або трапиться аварія. Завдяки АВР, обладнання

									Арк.
									14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

зазнає найменшого часу простою, а також вдається уникнути потенційних збитків, зумовлених перебоями з електропостачанням [11].

Принцип дії автоматичного введення резерву базується на безперервному спостереженні за показниками електричної мережі та оперативності у відповідь на будь-які відхилення від стандартних значень.

Проаналізуємо ключові етапи функціонування АВР.

Моніторинг мережі: АВР безперервно відстежує напругу, частоту та інші показники основного живлення.

Виявлення аварії: У випадку виявлення відхилень від встановлених параметрів (наприклад, зниження напруги нижче дозволеного значення) система фіксує аварійну ситуацію.

Відключення основного введення: АВР відключає основне джерело живлення для уникнення потенційних пошкоджень обладнання.

Вмикання резерву: Автоматика миттєво перемикає живлення на додаткове джерело, гарантуючи безперебійну роботу пристроїв та обладнання.

Повернення до основного живлення: Після ліквідації несправності та відновлення нормальних параметрів у головній мережі, система автоматично переводить живлення назад на основне джерело.

Вимкнення резервного джерела: Резервне джерело припиняє роботу, і система повертається до початкового режиму.

Для забезпечення ефективної роботи автоматичного введення резерву потрібні наступні ключові складові: [11]:

- Контролер АВР: Це "мозок" системи, що відповідає за аналіз параметрів мережі та управління перемиканнями.
- Силові вимикачі: автоматичні вимикачі або контактори, що фізично перемикають джерела живлення.
- Датчики напруги та сили струму: Забезпечують інформацією контролер про стан електричної мережі.

- Пристрої захисту: Різноманітні реле та запобіжники, що гарантують безпеку системи та захист від коротких замикань.
- Панель керування: Інтерфейс для налаштування параметрів АВР та відстеження його функціонування.

Запровадження автоматичного введення резерву відкриває низку важливих переваг[11]:

- Зведення до мінімуму простоїв: АВР гарантує майже миттєве перемикання на резервне живлення, значно скорочуючи час відключення електроенергії.
- Захист устаткування: Негайне відключення у разі збою унеможлиблює ушкодження чутливої апаратури від перепадів напруги.
- Автоматизація: АВР функціонує автономно, виключаючи людський вплив та збільшуючи надійність системи.
- Економічна вигода: Уникнення простоїв та втрат продукції сприяє відчутній фінансовій економії.
- Підвищення безпеки: Критично важливо для об'єктів, де переривання електропостачання може спричинити небезпеку.

Однією з ключових складових технічного облаштування будь-якої споруди є система електропостачання. Припинення подачі електрики, навіть короткочасне, в теперішніх умовах, зазвичай, є вкрай небажаним, а іноді й недопустимим. Для уникнення таких ситуацій використовуються системи гарантованого електропостачання.

Гарантоване електропостачання (система гарантованого електропостачання - СГЕ) - це комплекс заходів, що включають організацію та технічне забезпечення. Вони призначені для відновлення подачі електричної енергії, якщо основні джерела зовнішнього живлення припиняють функціонувати. Це досягається шляхом активації аварійних (резервних) джерел зовнішнього електропостачання або генераторів. Час роботи цих джерел обмежується лише наявністю паливних ресурсів.

										Арк.
										16
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата						

Надійність будь-якої системи – поняття багатогранне, яке визначається, в першу чергу, здатністю безперебійно функціонувати, навіть якщо певні компоненти вийшли з ладу. Досягнення високого рівня надійності вимагає комплексу технічних та організаційних рішень. Важливим фактором також є швидке реагування обслуговуючого персоналу. Найбільш результативним способом підвищення надійності вважається резервування, де основне джерело електроенергії забезпечується додатковим, резервним. Однак надійне резервування такого критичного елемента, як АВР, з огляду на практичне застосування, є досить комплексним завданням. На рисунку 1.5 представлено узагальнену функціональну схему гарантованого електроживлення [11-14], що включає систему безперебійного гарантованого електропостачання (СБГЕ)..

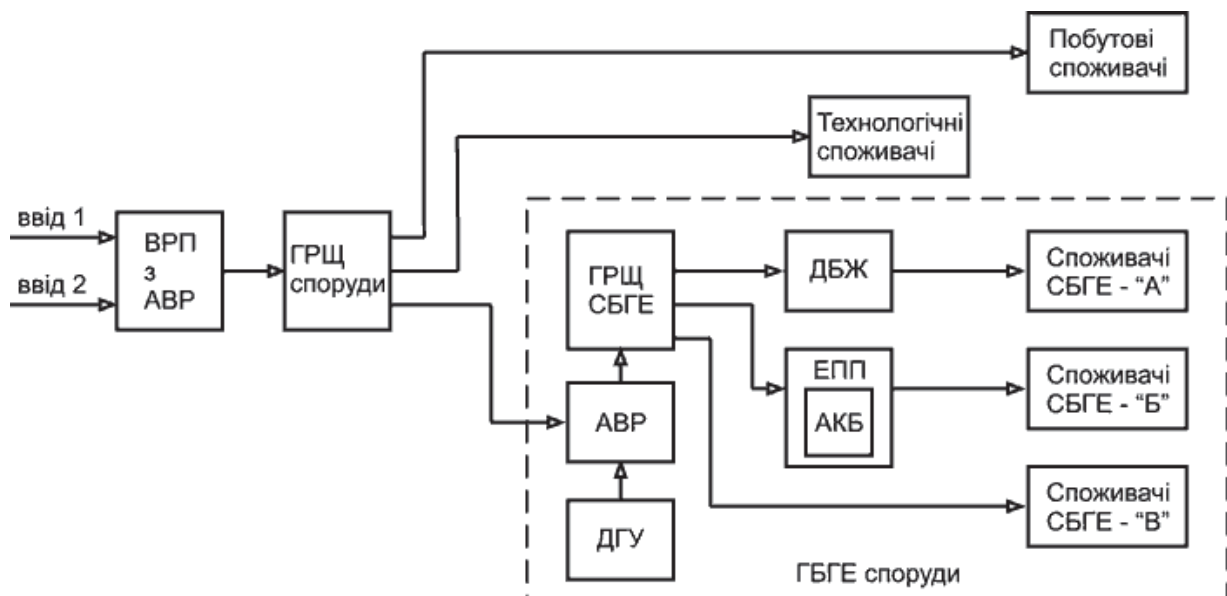


Рисунок 1.5 - Узагальнена функціональна схема гарантованого електропостачання

Ось, як приклад, відмова пристрою АВР СБГЕ призводить до того, що в разі вимкнення основної електромережі, навіть успішно та своєчасно запуснена електростанція вже не здатна допомогти. За екстремальних умов навантаження ситуацію може врятувати джерело безперебійного живлення (ДБЖ), проте, переважно ненадовго, і навіть найзабезпеченіші споживачі опиняться без

електрики. Іншими словами, на перший погляд незначний пристрій АВР є вкрай важливим компонентом системи гарантованого електропостачання.

При проектуванні систем гарантованого електропостачання, що передбачені для безперервної роботи електроприймачів першої категорії та особливо важливих споживачів тієї ж категорії надійності, ключове значення має вибір типу пристрою автоматичного введення резерву (АВР) (рис. 1.6).

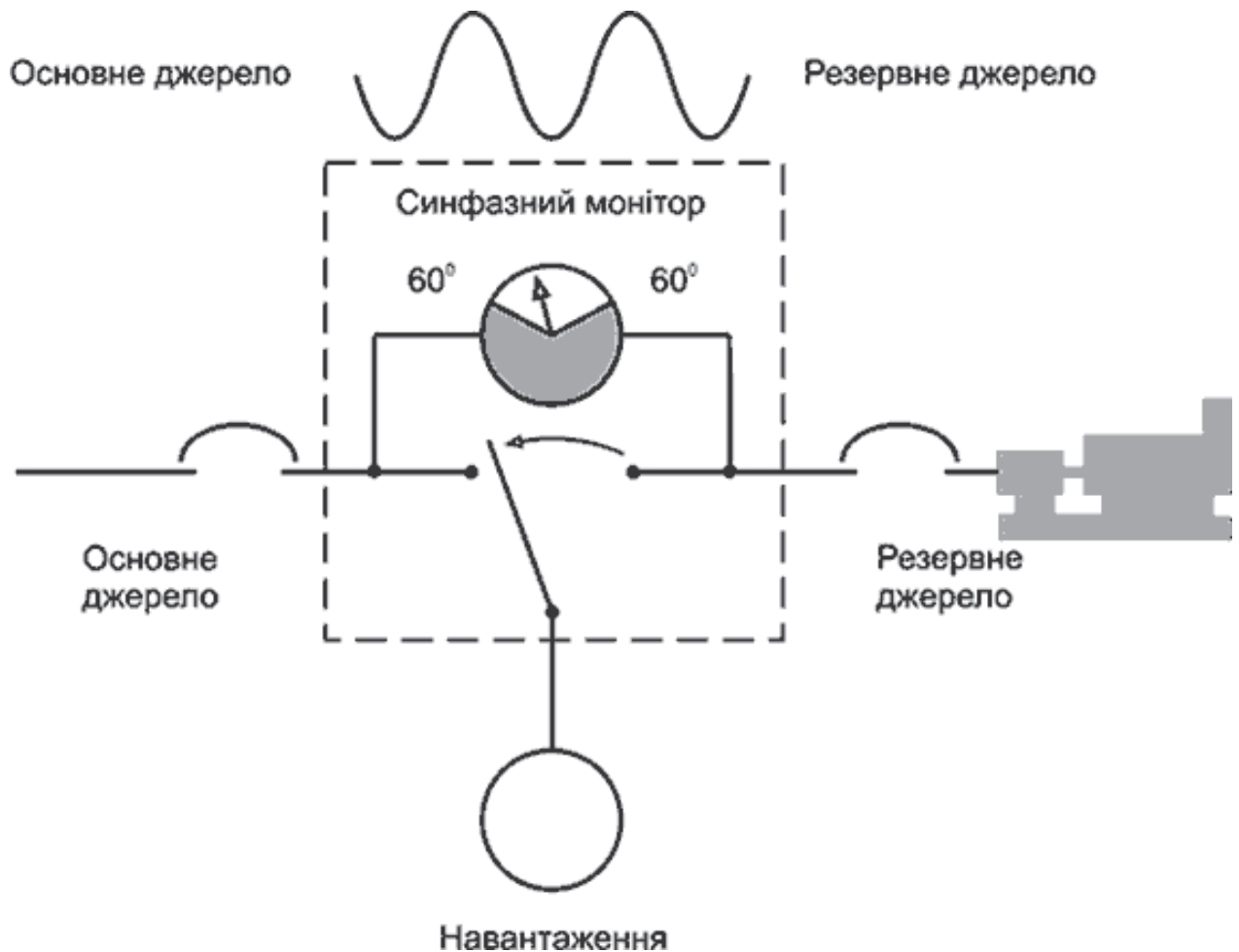


Рисунок 1.6 - Вибір типу пристрою автоматичного вмикання резерву

Розглянемо ключові вимоги до пристроїв АВР під час спорудження СБГЕ. [11-15].

1). Електроприймачі найвищої категорії надійності мають обов'язково отримувати електроенергію від двох незалежних одне від одного джерел живлення з резервуванням, а для живлення особливо важливих

електроприймачів першої категорії потрібне ще й третє незалежне джерело. В обох випадках одним з резервних джерел живлення може слугувати автоматизована дизель-електростанція (ДЕС), що необхідно враховувати при виборі конкретної схеми АВР. Щодо резервного джерела, яким є дизель-електростанція, схема АВР має містити необхідні компоненти для керування її функціонуванням (автоматичний запуск і зупинка ДЕС, налаштування різних параметрів, пов'язаних з часом, зокрема затримки зворотного перемикачання на мережу, часу роботи ДЕС на холостому ході, для охолодження та інше).

2). При впровадженні АВР необхідно вжити заходів для уникнення з'єднання двох незалежних джерел живлення, а крім вимог ПУЕ, енергетичні служби, як правило, наполягають на передбаченні не лише електричного, але й механічного блокування компонентів комутації.

3). Найдовший час переключення резервування зумовлюється особливостями споживачів електрики, однак, якщо в системі є джерела безперебійного живлення (ДБЖ), він не відіграє ключової ролі. Щоб уникнути хибних спрацьовувань під час автоматичного введення резерву (АВР), слід передбачити функцію регулювання часу затримки перемикачання через виникнення проблем в одному з мережевих каналів.

4). Ключове значення відіграє можливість регулювання порогів реагування АВР в межах контрольованої напруги для кожного вводу. Скажімо, якщо під'єднати ДБЖ до виходу АВР, то відповідність діапазонів вхідної напруги обох пристроїв забезпечує оперативне перемикачання на резервне живлення при відхиленнях напруги основного живлення від визначених в блоці керування АВР значень. Це, зокрема, дозволяє уникнути тривалої роботи ДБЖ від акумуляторів, коли резервна мережа функціонує справно.

5). Пристрій АВР, зазвичай, зобов'язаний забезпечувати можливість своєї роботи у випадку зникнення напруги на шинах споживача, незалежно від причини, включно з коротким замиканням (КЗ) на цих шинах. Цей аспект визначає здатність силової комутаційної частини АВР витримувати

									Арк.
									19
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

перевантаження, тобто перемикання навіть за умов КЗ в навантаженні не повинно призводити до пошкодження АВР.

6). Варто передбачити індикацію стану джерел живлення та підключеного навантаження, а також можливість ручного керування автоматичним введенням резерву (АВР).

7). В залежності від типу навантажень, підключених до АВР, іноді необхідно синхронізувати роботу джерел під час перемикання (ліфти, кондиціонери, синхронні двигуни та інше). Необхідно не лише перевіряти правильність послідовності фаз, але й контролювати синфазність, тобто визначати кутовий зсув між однойменними фазами основного та резервного джерел в межах допустимого відхилення у момент перемикання навантаження. Синфазне перемикання дозволяє суттєво скоротити стрибки сили струму під час перемикання, гарантуючи безперервну роботу технологічних операцій. На рисунку 2 зображено принцип синфазного перемикання. Команда на перемикання відправляється у момент синхронізації (входу в зону синхронізму), кут якої встановлюється контролером. Ця функція важлива при застосуванні як резервного автономного джерела, як правило ДЕС.

Отже, для повного задоволення цих вимог, та ключового забезпечення високого рівня надійності АВР, необхідно ретельно дослідити кожен елемент АВР. Надійність пристрою загалом залежить від надійності його компонентів, а також їх взаємодії в різноманітних умовах використання. Найкращим рішенням у такій ситуації було б створення оптимального пристрою для конкретних задач, який виконує їх максимально стабільно, результативно та функціонально [11-14].

Найширше застосування АВР знаходять у мережах 230/400 В. Очевидно, що попит створює пропозицію, тому існує безліч схемних рішень для забезпечення функцій автоматичного введення резерву. В основному, вони далекі від ідеалу, та складаються з компонентів, кожен з яких виконує певну

									Арк.
									20
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

задачу. Причиною цього є те, що в чинних ПУЕ просто відсутній термін "автоматичний перемикач".

Автоматичний перемикач – це цілісний виріб, що об'єднує в собі всі складники АВР:

- комутаційну секцію (механічну);
- багатфункціональний керуючий блок;
- модуль індикації та управління.

Головна мета автоматичних перемикачів полягає у перекиданні живлення між основним та запасним джерелами, керуючись встановленими параметрами комутації (в українській електротехніці ця функція визначається як "автоматичне введення резерву", тобто АВР).

Саме автоматичний перемикач і є тим пристроєм, що задовольняє всі вимоги до АВР.

Ще у 1920 році американська компанія ASCO (Automatic Switch Company) вигадала та запатентувала електромеханічний автомат введення резерву (АВР) (рис. 1.7) «коромислового» типу з односоленоїдним пристроєм керування та механічним утриманням замкнених контактів. Саме цей винахід є основою для сучасного виробництва автоматичних перемикачів. На рис. 3 зображено спрощену конструкцію такого перемикального механізму. Принцип конструкції виявився настільки успішним, що фактично без змін дійшов до наших днів.

									Арк.
									21
Зм.	Арк.	№ док.им.	Підпис	Дата					

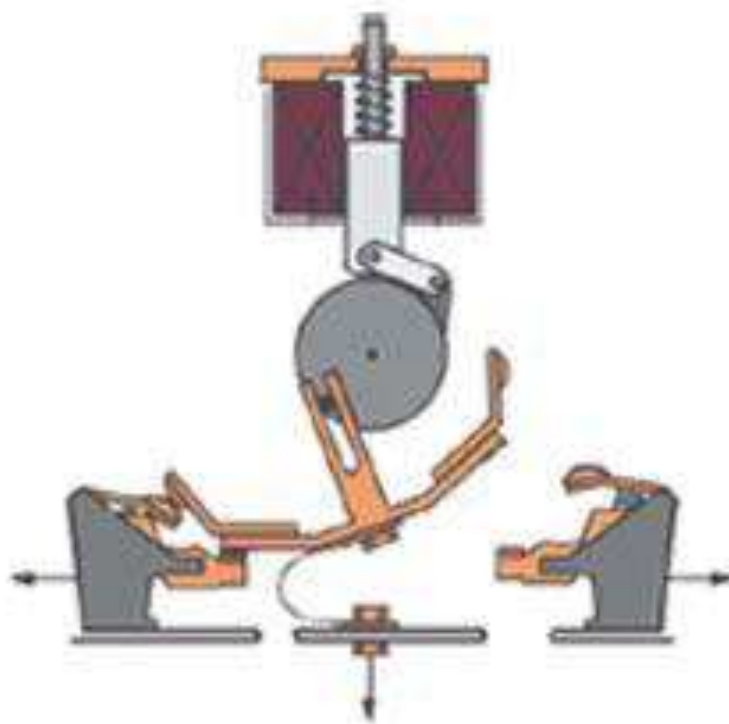


Рисунок 1.7 - Електромеханічний автомат вмикання резерву (АВР)

Відповідальність, покладена на пристрої АВР, є незаперечною, тому й автоматичні перемикачі, створені задля забезпечення автоматичного ввімкнення резерву, повинні відповідати найвищим стандартам як щодо силової комутаційної складової, так і щодо електроніки управління. Найнадійнішим може виявитися лише той прилад, який спроектовано спеціально з метою виконання цих задач, проходить ретельне тестування та сертифікується відповідно до критеріїв, встановлених для конкретного типу обладнання. Автоматичні перемикачі (АВР) – це єдиний електромеханічний пристрій, що має сертифікацію Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) як перемикальний апарат (ІЕС 60947-6-1). Найсуворіші вимоги до АВР визначено у стандарті UL 1008.

Для гарантування відповідного рівня надійності АВР автоматичні перемикачі мусять пройти сертифікацію та бути внесені до реєстру обладнання, що відповідає нормам стандартів UL 1008, ІЕС 60947-6-1, як «комутаційне обладнання». Тільки після цього можна констатувати, що фундамент системи

						Арк.
						22
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

гарантованого електропостачання дійсно міцний і здатний забезпечити надійну підтримку всіх "надбудов".

Функціонал, що інтегровано у мікропроцесорні блоки керування автоматичними перемикачами, вельми широкий та дозволяє застосовувати їх з різними завданнями. Безперечно, однаково ефективно підтримується функціонування автоматичних перемикачів у конфігураціях "мережа - мережа", "мережа - ДЕС". Під час експлуатації дизель-електричної станції реалізується автоматизований запуск та припинення роботи, передбачене налаштування різноманітних тимчасових налаштувань. Це включає в себе параметри тривалості затримок під час переходу назад на живлення від централізованої електромережі, а також часу функціонування ДЕС на холостому ході з метою охолодження.

Розглянемо деякі переваги автоматичних перемикачів, що входять до складу комплексних пристроїв АВР[11-14]:

По-перше, це забезпечення безперебійного живлення. Автоматика миттєво реагує на зникнення основного джерела та оперативно перемикає живлення на резервне, мінімізуючи час переви.

По-друге, простота встановлення та експлуатації. Такі пристрої, як правило, мають компактні розміри, прості в монтажі та не потребують складного обслуговування.

По-третє, підвищена надійність. Завдяки використанню якісних компонентів та надійних алгоритмів роботи, автоматичні перемикачі забезпечують тривалий термін служби та мінімізують ризики відмов.

По-четверте, економія. Автоматизація процесу перемикання дозволяє уникнути потреби в постійному контролі та ручному перемиканні, що економить час та кошти.

По-п'яте, інтеграція з системами управління. Багато моделей підтримують можливість інтеграції з системами диспетчеризації, дозволяючи віддалено контролювати та керувати роботою пристрою.

									Арк.
									23
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

Надійність – це багатогранне поняття. Розглянемо лише декілька його складових:

– конструкція, що відкидається, за будь-яких умов унеможлиблює механічне з'єднання двох джерел електроенергії для паралельної роботи;

– навантаження неможливо підключити до неактивного джерела. Електроживлення на керуючий соленоїд надходить виключно від робочого джерела, яке задіяно перемикачем;

– силові контакти не перегріваються завдяки їх розподілу на частини, малому електричному опору в точці контакту, а також додатковому притисканню контактів у разі нагрівання, викликаного зростанням сили струму;

– захист основних контактів: електричну дугу переводять на дугогасні контакти, що гарантує їхній захист від ушкоджень, збільшує надійність роботи та експлуатаційний термін.;

– загасання електричної дуги: використовується спеціальна конструкція, котра пригнічує дугу, спираючись на магнітне поле, сформоване безпосередньо нею самою.;

– самоочисні контакти: траєкторія руху силової контактної групи влаштована так, що в момент зіткнення вони поступально переміщуються, тобто відбувається притирання контактної пари.;

– висока електродинамічна міцність проти надлишкових навантажень і струмів короткого замикання: струм динамічної стійкості для автоматичних вимикачів, що мають сертифікацію UL 1008, з номінальним струмом понад 70 А досягає 200 кА. Це означає, що проходження струму такої величини протягом часу, необхідного для спрацювання захисного механізму (плавкого запобіжника), не викличе пошкодження вимикача.;

– стійкість до стрибків напруги, падінь напруги, раптових змін сили струму в мережі.

Вказані фактори не впливають негативно на змикання силових контактів, гарантуючи стабільне механічне утримання їх у закритому положенні; -

									Арк.
									24
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

наявність опції перемикачів навантаження в момент фазової синхронізації головного та резервного джерел енергії. Ця функція призначена для безперебійного переключення навантаження під час роботи перемикача з джерелами (ДЕС-Мережа).

Енергоощадність. Вимикачі використовують технологію заощадження енергії: односоленоїдний керуючий механізм функціонує імпульсно (0,02 с), в стані спокою котушка соленоїда знеструмлена.

Зручність користування: вбудований мікропроцесор дає змогу запрограмувати необхідні межі напруги та частоти, встановити часові затримки для перемикачів, під'єднати модем для управління автоматичним перемикачем за допомогою комп'ютера; інформація про стан перемикача виводиться на передній панелі за допомогою світлової індикації.

Переваги під час використання: в процесі роботи магнітний провідник не тремтить, не нагрівається надмірно та не піддаються зносу обмотки соленоїда.

Монтаж. Автоматичний перемикач оснащений затискачами, виготовленими зі спеціального сплаву срібла, отже, для приєднання можна застосовувати силові кабелі як з алюмінію, так і з міді.

Вдала конструкція автоматичних вимикачів, жорсткі вимоги до них у поєднанні з передовими технологіями дали змогу якнайкраще наблизити цей тип обладнання до того ідеалу АВР, про який мріяли кілька поколінь енергетиків. Автоматичні вимикачі виробляються на струми від 30 до 4000 А.

На малюнку 1.8 показано спрощену схему системи гарантованого електропостачання, що використовує автоматичні перемикачі.

На сьогодні існує значна потреба в заміні або модернізації схем АВР з міжсекційним вимикачем на різних об'єктах. Використання автоматичних перемикачів у переважній більшості подібних ситуацій дозволяє, без необхідності кардинальних змін, звести до мінімуму втрати при модернізації чинної схеми АВР, встановивши перемикачі в наявних шафах замість демонтованих елементів старої схеми АВР.

									Арк.
									25
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

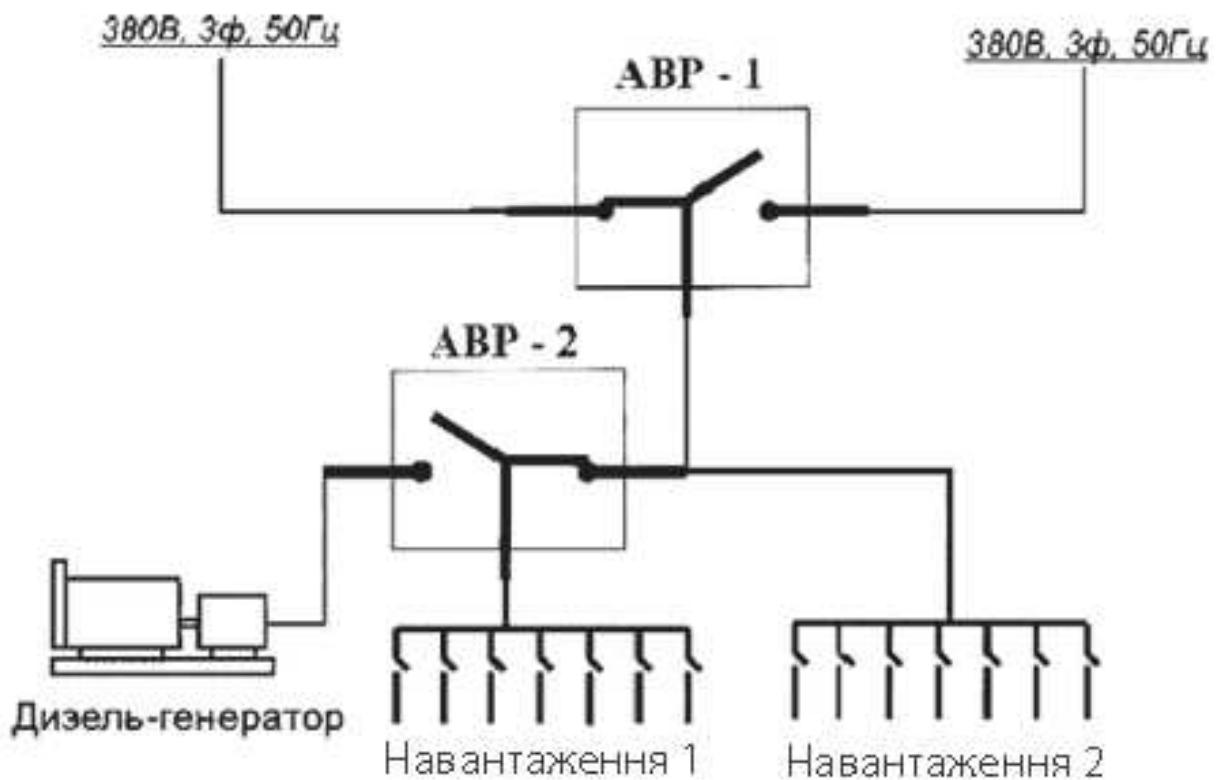


Рисунок 1.8 - Спрощений варіант схеми системи гарантованого енергопостачання на базі автоматичних перемикачів

Отож, використання автоматичних вимикачів в системах безперебійного живлення підвищує стійкість роботи АВР, що є актуальним на сьогодні.

1.3 Висновки до розділу

В результаті огляду та аналізу організаційних схем альтернативних електростанцій і конструкцій автоматичних перемикачів живлення (БРМА 25.00.00.000 ДО) стало очевидним, що ці прилади забезпечують необхідний рівень надійності та безперебійності в електропостачанні.

Проведений аналіз існуючих конструкцій пристроїв автоматичного перемикачів між джерелами живлення виявив певні недоліки в них: наявні рішення здебільшого орієнтовані на потужні електростанції, відсутні вбудовані

системи захисту від надмірного навантаження, а також вони вирізняються високою вартістю.

Таким чином, розробка автоматичного перемикача джерела живлення разом з відповідним програмним забезпеченням є актуальним завданням сучасності.

										Арк.
										27
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата						

2 Дослідження процесу роботи гібридної альтернативної електростанції

2.1 Розрахунок гібридної автономної електростанції

Враховуючи велику різноманітність обладнання для відновлюваних джерел енергії (вітряні турбіни, сонячні панелі, батареї та інше), існує можливість проектування численних енергетичних систем з різними комбінаціями джерел [15].

Виникає ряд важливих запитань, що потребують обговорення: який обсяг електроенергії може гарантувати конкретний енергетичний ресурс? Яку ємність акумулювального пристрою необхідно обрати? Яка кількість потужності та енергії повинна зберігатися у періоди відсутності потоків відновлюваної енергії? Чи здатна система підтримувати баланс електроенергії в об'єднаній енергосистемі щогодини протягом року, дотримуючись встановлених стандартів якості електроенергії та надійності електропостачання?

Потужність фотоелектричної батареї (ФЕБ) при стандартних умовах (густина потоку сонячного випромінювання становить 1000 Вт/м^2 , температура кристалів 25°C , спектр сонячного випромінювання AM1.5) залежить від ряду факторів і називається номінальною потужністю..

Її визначають: від площі ФЕБ, ефективності перетворення сонячної енергії в електричну, яка, в свою чергу, залежить від матеріалу, з якого виготовлена ФЕБ (кремній, арсенід галію та інші), якості кристалів, особливостей конструкції ФЕБ.

Важливо враховувати вплив температури на потужність ФЕБ.

Зі збільшенням температури кристалів знижується напруга холостого ходу, а також падає потужність.

Коли температура збільшується на 1°C , потужність падає приблизно на 0,3-0,5%.

									Арк.
									28
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

На ефективність впливає і кут падіння сонячних променів.

Коли сонячне світло падає під кутом до поверхні ФЕБ, кількість сонячного світла, яке поглинає батарея, зменшується.

Найбільш ефективною робота ФЕБ є при прямому куті падіння сонячних променів.

Потужність на виході ФЕП в умовах різної щільності сонячного потоку випромінювання $\bar{I}_\beta(t)$ буде пропорційна останній [15]:

$$P_{\text{ФЕБ}}(t) = P_{\text{ФЕБНОМ}} \frac{\bar{I}_\beta(t)}{I_{\text{СУ}}} \quad (2.1)$$

де $P_{\text{ФЕБ}}(t)$ — вихідна потужність ФЕП;

$P_{\text{ФЕБНОМ}}$ — номінальна потужність ФЕП при стандартних умовах;

$\bar{I}_\beta(t)$ — середнє значення густини потоку сонячного випромінювання, що досягає поверхні ФЕП за годину.;

$I_{\text{СУ}}$ — щільність потоку сонячного випромінювання, що досягає поверхні ФЕБ за стандартних умов.

Втрати потужності в елементах ФЕБ враховуються коефіцієнтом зниження ефективності ФЕБ $k_{\text{зе}}$. Отже, кінцева вихідна потужність ФЕБ буде:

$$P_{\text{ФЕБ}}(t) = P_{\text{ФЕБНОМ}} k_{\text{зе}} \frac{\bar{I}_\beta(t)}{I_{\text{СУ}}}. \quad (2.2)$$

Формула (2.2) не бере до уваги вплив температури навколишнього середовища на вихідну потужність фотоелектричного блоку (ФЕБ).

Крім того, важливо зважати на потужність, яку вітрова електростанція (ВЕС) подає до мережі. Цей параметр залежить від швидкості вітру, висоти щогли, на якій встановлено генератор, та вихідної характеристики самого

генератора [15]. Оскільки швидкість повітря біля поверхні землі залежить від висоти, а потужність, що видається вітрогенератором, залежить від кубу швидкості руху повітряних мас, висота щогли суттєво впливає на вихідну потужність. При розрахунку вихідної потужності ВЕУ дані вимірювання середньогодинної швидкості повітря потрібно привести до висоти установки вітрогенератора.

Найчастіше, аби перерахувати швидкість повітря, яку вимірює анемометр (пристрій для вимірювання швидкості та напрямку повітряних, газових і рідинних потоків), з висоти його встановлення до бажаної висоти (висоти розташування вітрогенератора), вдаються до таких законів:

а) логарифмічний :

$$u_h = u_{ан} \frac{\ln \frac{h}{z_o}}{\ln \frac{h}{z_{ан}}} \quad (2.3)$$

де u_h — швидкість повітря на висоті h ;

$u_{ан}$ - швидкість повітря на висоті установки анемометра $h_{ан}$;

z_o — параметр нерівномірності поверхні землі;

б) потенційний:

$$u_h = u_{ан} \left(\frac{h}{h_{ан}} \right)^\alpha, \quad (2.4)$$

де α — Показник експоненти, що корелює з нерівномірністю земної поверхні.

Зазвичай, вихідна характеристика потужності вітроенергетичної установки визначається на основі експериментальних даних, що представляються як пари точок. $\{u_i P_{ВЕУCV_i}\}$, які знімаються при стандартній температурі та тиску $p_o=101,325\text{кПа}$, $T_o=288,15\text{ К}$. Для визначення значень

						Арк.
						30
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

потужності у проміжних точках вдаються до інтерполяції експериментальних даних, використовуючи різні методи (наприклад, кусково-лінійну інтерполяцію, сплайнову інтерполяцію тощо).

Рівняння динаміки акумуляторної батареї (АКБ) у скінчених приростах [15]:

$$g_{AB}(t + \Delta t) = g_{AB}(t)(1 - \sigma\Delta t) + [P_{зар}(t)\eta_{зар} - P_{розр}(t)\eta_{розр}]\Delta t, \quad (2.5)$$

де g_{AB} - заряд АБ;

σ - коефіцієнт саморозряду;

$\Delta t P_{зар}(t), P_{розр}(t)$ - потужності заряду та розряду відповідно;

$\eta_{зар}, \eta_{розр}$ - ККД заряду та розряду відповідно;

Δt - інтервал часу.

Прийmemo $\eta_{зар} = \eta_{розр} = \eta_s$ і, ввівши позначення $P_{\Delta}(t) = \Delta t P_{зар}(t) - P_{розр}(t)$, отримаємо:

$$g_{AB}(t + \Delta t) = g_{AB}(t)(1 - \sigma\Delta t) + P_{\Delta}(t)\eta_s\Delta t. \quad (2.6)$$

В (2.6) величина $P_{\Delta}(t)$ буде додатною, коли заряджається, та від'ємною, коли розряджається.

Виконавши граничний перехід для (2.6) і здійснивши перетворення, отримуємо рівняння динаміки АБ у диференційній формі:

$$\frac{d}{dt} g_{AB}(t + \Delta t) = -g_{AB}(t)\sigma + P_{\Delta}(t)\eta_s. \quad (2.7)$$

Застосувавши перетворення Лапласа до (2.7), ми одержуємо рівняння динаміки АБ в операторній формі:

$$sg_{AB}(s) = -g_{AB}(s)\sigma + P_{\Delta}(s)\eta_s.$$

Звідки можна визначити передавальну функцію АБ:

$$W_{AB}(s) = \frac{P_{\Delta}(s)}{g_{AB}(s)} = \frac{\eta_s}{s + \sigma}. \quad (2.8)$$

Щоб зобразити фінальне рівняння у форматі структурної схеми, виконаємо ділення чисельника та знаменника правої частини виразу (2.8) на змінну s :

$$W_{AB}(s) = \frac{\frac{\eta_s}{s}}{\frac{s + \sigma}{s}} = \frac{\eta_s}{1 + \sigma \frac{1}{s}}. \quad (2.9)$$

Так як АБ має певний початковий заряд g_0 , а на режим роботи накладаються обмеження на рівень заряду (обмеженнями на струм розряду нехтуємо):

$$g_{AB\min} \leq g_{AB}(t) \leq g_{AB\max}, \quad (2.10)$$

де g_{\min} - мінімальний рівень заряду АБ, який нормується виробником;

g_{\max} - максимальний рівень заряду АБ.

Потужність, яка надходить до акумуляторної батареї або віддається з неї, визначається як різниця між потужністю джерел енергії (ФЕБ та ВЕУ) та споживаною потужністю:

$$\Delta P(t) = [P_{ФЕБ}(t) + P_{ВЕУ}(t)] - P_{спож}(t), \quad (2.11)$$

де $P_{ФЕБ}(t), P_{ВЕУ}(t)$ - поточні потужності ФЕБ та ВЕУ відповідно;

$P_{спож}(t)$ - поточна потужність споживання.

Зрозуміло, що буде мати як додатні значення (енергія з джерел перевищує споживання, тобто енергетичний надлишок), так і від'ємні (споживання перевищує наявну енергію від джерел, тобто дефіцит). У першому випадку надлишок енергії потрібно накопичувати, у другому – дефіцит компенсувати акумулятором, а якщо він розряджений – мережею. Оскільки на стан заряду АБ існують обмеження (10), то потужність, яку приймає (віддає) АБ, визначатиметься наступним чином (крок моделювання $\Delta t = 1$) [15]:

$$P_{AB}(t) = \begin{cases} \Delta P(t), & \text{якщо } g_{AB \min} - g_{AB}(t) \leq \Delta P(t) \Delta t \leq g_{AB \max} - g_{AB}(t) \\ \frac{1}{\Delta t} [g_{AB \max} - g_{AB}(t)], & \text{якщо } \Delta P(t) \Delta t \leq g_{AB \max} - g_{AB}(t) \\ \frac{1}{\Delta t} [g_{AB \min} - g_{AB}(t)], & \text{якщо } \Delta P(t) \Delta t \leq g_{AB \min} - g_{AB}(t) \end{cases} \quad (2.12)$$

Зайва енергія потоку, що не може бути збережена в АБ (при $g_{AB}(t) = g_{AB \max}$):

$$P_{excess}(t) = \Delta P(t) - P_{AB}(t). \quad (2.13)$$

Нестача потужності, котру неможливо збалансувати АБ (у разі):

$$P_{unmet}(t) = |\Delta P(t) - P_{AB}(t)|. \quad (2.14)$$

По суті P_{unmet} буде являтися потужністю, яку забезпечує загальна мережа.

Для аналізу можливостей, які надає об'єднана мережа, були використані добові діаграми середньої швидкості вітру та інтенсивності сонячного випромінювання (рис. 2.7) [15].

Обчислення здійснювалися для одного дня з часовим проміжком у 1 годину. Підсумки дослідження зображено на рисунку 2.8.

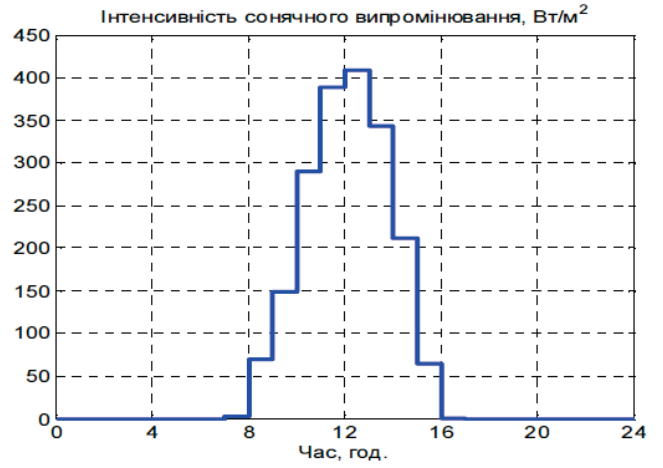
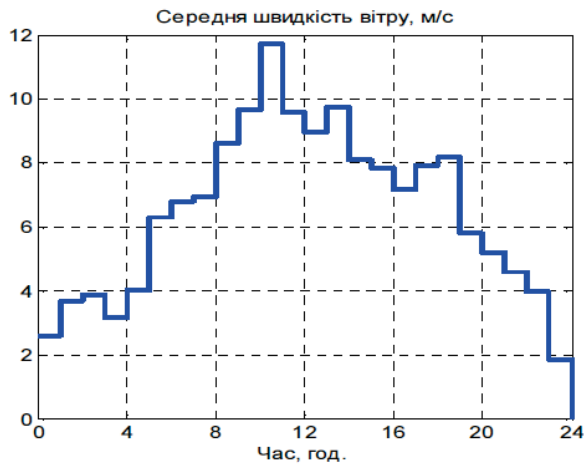


Рисунок 2.7 - Добові графіки середньої швидкості вітру та інтенсивності сонячного випромінювання

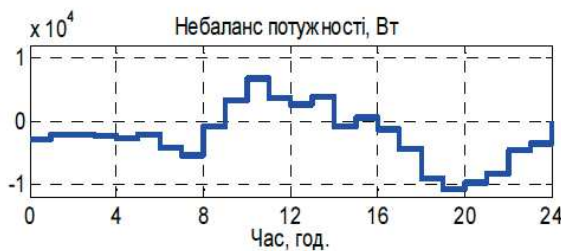
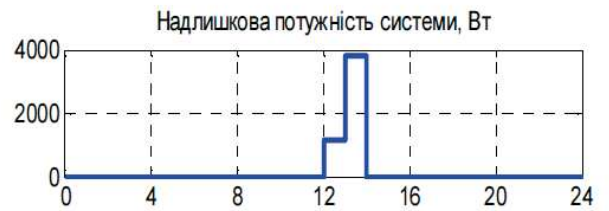
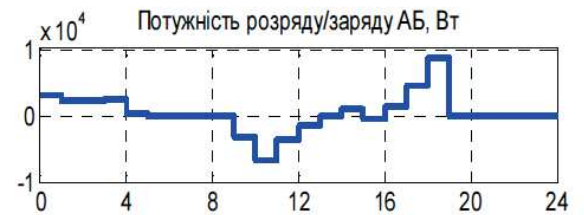
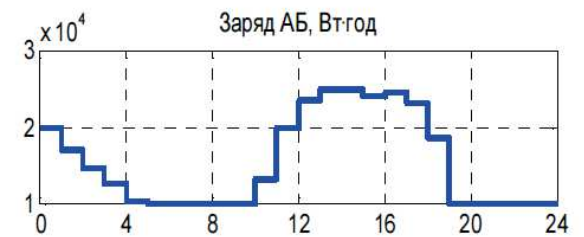


Рисунок 2.8 - Результати розрахунку добової роботи гібридної автономної електростанції

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Отримані результати свідчать про те, що частка відновлюваної енергії у енергоспоживанні при заданих умовах моделі дорівнює 51,94 %, внесок енергії від акумулятора — 8,33 %, доля енергії, що береться з мережі — 43,91 %, а надлишок енергії, яка не була використана або накопичена в акумуляторі, становить 4,18 %.

2.2 Висновки до розділу

У цьому розділі ми дослідимо методологію обчислення потужності гібридної автономної електростанції. Розглянемо такі питання: скільки електроенергії здатне видати кожне джерело енергії, який обсяг акумуляючого обладнання необхідно передбачити, які резерви потужності та енергії потрібні в періоди, коли відсутні потоки відновлюваної енергії. Також проаналізуємо, чи зможе система підтримувати баланс електроенергії щогодини протягом року в складі комбінованої енергосистеми, враховуючи задані параметри якості електроенергії та надійності енергопостачання.

Для виконання розрахунків були визначені [15] добових графіків середньої швидкості вітру та інтенсивності сонячного випромінювання. Розрахунки здійснювалися для однієї доби з інтервалом часу в 1 годину.

Отримані результати дозволяють візуально оцінити режими функціонування окремих елементів системи, а також визначити обсяги споживання енергії навантаженням та генерації енергії джерелами.

3 Розробка схеми автоматичного перемикача джерел живлення альтернативної електростанції

3.1 Аналіз призначення перемикача джерела живлення в загальній схемі альтернативної електростанції

В техніці автоматичні перемикачі між джерелами живлення відомі як пристрої автоматичного введення резерву (АВР). Ці пристрої спроектовані для оперативного автоматичного залучення запасного джерела енергії до споживача, якщо основне джерело електропостачання виходить з ладу [16-19]. Вони дають змогу інтегрувати альтернативні енергетичні системи та загальну електромережу в єдину автоматизовану структуру. Автоматичне введення резерву (АВР) забезпечує автоматичне перемикачання між кількома джерелами живлення за блискавичні 0,5 секунди у випадку зникнення основного. Це відкриває можливість об'єднання вітрових установок, комунальної електромережі, дизель-генераторів та інших джерел енергії в єдину, керовану систему. Важливо, що АВР запобігає одночасній подачі живлення на об'єкт від двох різних джерел.

АВР має активуватися за найкоротший можливий термін після зникнення напруги в основному джерелі живлення [16, 19].

АВР має активуватися безупинно, коли напруга на споживацьких шинах зникає, незалежно від фактору, що спричинив це. Під час функціонування схеми дугового захисту, АВР може бути заблоковане, щоб мінімізувати ушкодження від короткого замикання. В окремих ситуаціях потрібне затримування перемикачання АВР. Скажімо, при старті потужних двигунів на стороні споживача, схема АВР має не реагувати на падіння напруги.

Автоматичне введення резерву (АВР) здатне приєднати альтернативне джерело живлення (генератор, акумулятор) чи активувати вимикач, що ізолює мережу, і таким чином забезпечити переривання електропостачання в проміжку від 0,3 до 0,8 секунд.

									Арк.
									36
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

При розробці схеми АВР, що передбачає введення секційного вимикача, необхідно ретельно зважити пропускну здатність трансформатора живлення та потужність джерела енергії, яке живить паралельну систему. В іншому разі, може статися, що перехід на живлення від паралельної системи призведе до її пошкодження, оскільки джерело живлення виявиться неспроможним забезпечити сумарне навантаження обох систем.

У випадках, коли не вдається відшукати відповідний блок живлення, зазвичай закладається така схема захисту, що від'єднуватиме менш пріоритетні споживачі електроенергії обох систем.

АВР поділяють на:

– АВР односторонньої дії. У цих схемах використовується лише одна секція живлення як основна, та одна резервна. Коли зникає живлення на основній секції, АВР автоматично перемикає на резервну.;

– АВР двобічної дії. В цій конфігурації кожна з двох ліній здатна виконувати функції як основної, так і резервної;

– АВР з поновленням живлення. У випадку відновлення напруги на знеструмленому вводі, з витримкою часу відбувається його увімкнення, водночас відключається секційний вимикач. Якщо короткочасне паралельне живлення від двох джерел неприйнятне, першим кроком відключається секційний вимикач, після чого активується ввідний. Схема повернулася до вихідного стану.;

– АВР без поновлення.

Після ретельного аналізу наведених вище даних, нами були визначені ключові вимоги до конструкції автоматичного перемикача живлення, який знаходиться на стадії проектування. [16, 20, 21]:

1) Програмний вибір пріоритету роботи системи: від мережі живлення чи від акумуляторної батареї (АКБ).

2) У разі живлення від мережі, при зникненні напруги автоматично й негайно переключитись на АКБ. Після відновлення живлення з боку

									Арк.
									37
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

електромережі, система повертається до початкового режиму через визначений часовий інтервал, налаштовуваний в межах від 10 до 20 секунд.

3) У разі падіння напруги в електромережі нижче 170 В (межа встановлюється програмно), система автоматично переходить на акумуляторну батарею (АКБ). Після відновлення напруги до показника 185 В, відбувається перехід назад на мережу, але через заздалегідь визначений інтервал часу, що складає від 10 до 20 секунд.

4) Коли напруга акумуляторної батареї падає нижче 20-23 В (для АКБ на 24 В) або від 10 до 11 В (для АКБ на 12 В), система миттєво перемикається на мережу. Після заряджання акумулятора до 24-30 В (12-14 В для АКБ на 24 В), система повертається до живлення від акумулятора через заданий проміжок часу, що складає від 10 до 20 секунд.

5) У випадку, коли потужність, яку споживають прилади, що живляться від акумулятора, перевищує діапазон від 0,5 до 5 кВт (налаштовується програмно) – система автоматично перемикається на живлення від електромережі. Повернення до роботи від АКБ відбувається, коли споживання зменшується в межах визначеного діапазону, після закінчення налаштованого інтервалу часу, який варіюється від 10 до 20 секунд.

3.2 Розробка схеми перемикача джерела живлення

Зважаючи на окреслені вище вимоги, було створено структурну схему автоматичного перемикача живлення (див. рис. 3.1) [16, 20, 21].

Розглянемо принцип роботи автоматичного перемикача джерела живлення, який складається з програмованої системи управління на основі мікропроцесора та модуля реле. Саме цей модуль здійснює перемикання живлення споживача між основною мережею та резервною, або навпаки.

Джерело альтернативної енергії містить власний генератор (GENERATOR) (рис. 3.1), контролер заряду акумулятора (SHARGE CONTROLLER),

									Арк.
									38
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

акумуляторну батарею (POWER BANK) та інвертор напруги (VOLTAGE INVERTER), котрий перетворює постійний струм з напругою 12 (24) В генератора або акумуляторів на змінний струм з напругою 220 В. Потужність системи альтернативного живлення визначається потужністю генератора, об'ємом акумулятора та потужністю інвертора, що відповідає їхнім параметрам. Перетворений струм надходить на модуль реле, до якого під'єднана також публічна мережа. (БРМА 25.00.00.000 Е1).

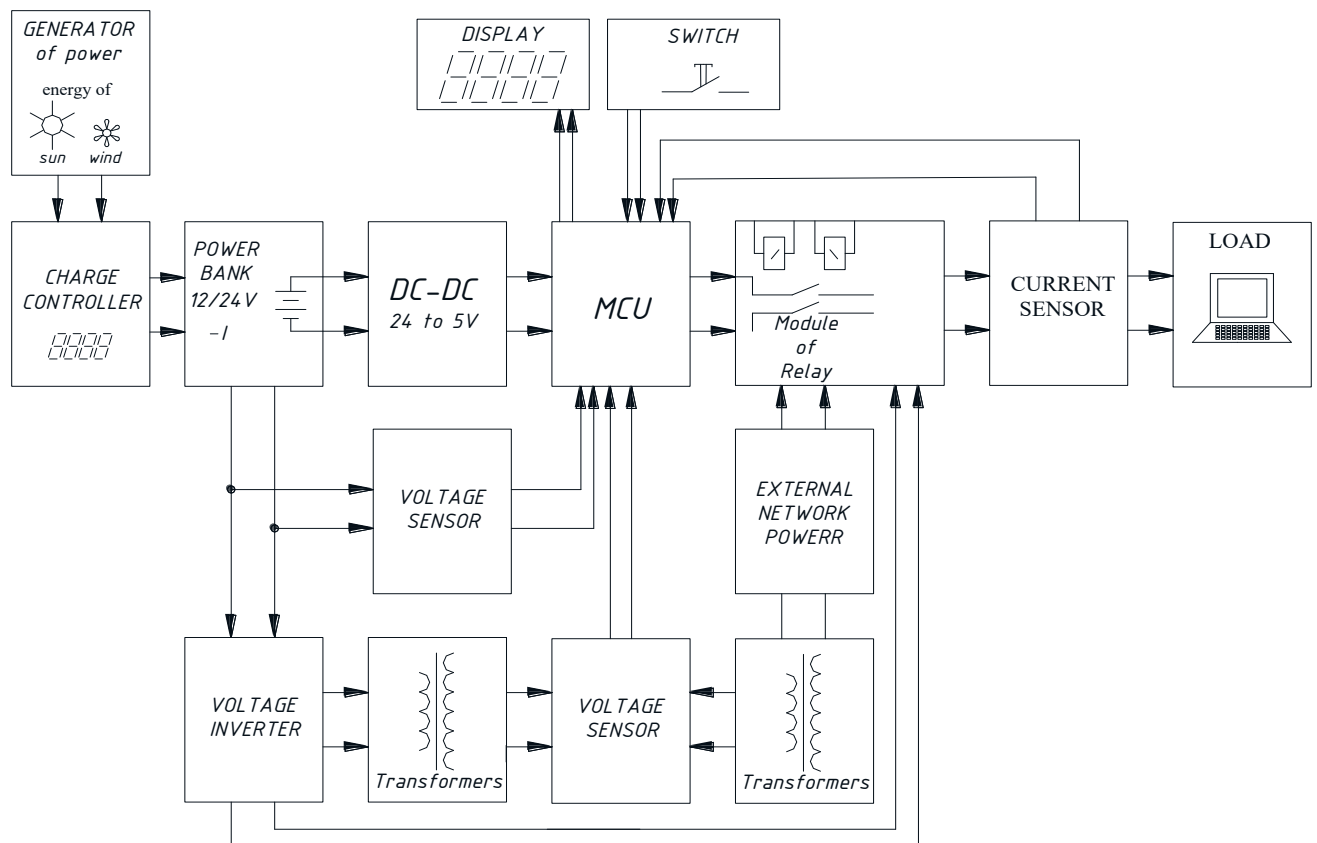


Рисунок 3.1 – Структурна схема включення автоматичного перемикача джерел живлення

Функціонування релейного модуля регулює та визначає мікропроцесор MCU. Налаштування робочих параметрів автоматичного перемикача живлення

здійснюється кнопками керування SWITCH, а моніторинг встановлених користувачем параметрів відбувається через панель індикації DISPLAY.

Відповідно до технічних умов, потрібно забезпечити моніторинг параметрів напруги в альтернативній та загальній мережах, а також загальної споживаної потужності [16]. Щоб уникнути поломок у системі управління, а також забезпечити гальванічну розв'язку між аналоговою силовою та цифровою частиною в ланцюг вимірювання напруги було інтегровано трансформатор напруги. Після нього відбувається вимірювання зниженого рівня напруги за допомогою датчика VOLTAGE SENSOR. З метою моніторингу споживаної потужності, у ланцюг навантаження інтегровано датчик струму. Його сигнал передається на аналого-цифровий перетворювач мікроконтролера MCU. Після обчислення добутку показників напруги та струму, система відстежує потужність споживання. Живлення мікропроцесорного пристрою забезпечується акумуляторною батареєю альтернативної системи живлення через перетворювач напруги DC-DC.

3.3 Розробка електричної схеми та програмного забезпечення

Наступні кроки в процесі проектування автоматичного перемикача джерела живлення передбачали: розробку принципової електричної схеми контролю та управління (БРМА 25.00.00.000 ЕЗ), а також схеми підключення до релейного блоку і мереж живлення. Крім того, необхідно було розробити топологію плати.

Схема керування релейним блоком передбачає під'єднання різноманітних комутаційних пристроїв, виходячи з споживаної потужності. Це може бути електромагнітне реле, твердотільне реле у моноблоці, симісторний ключ з оптичною розв'язкою від мікроконтролера чи потужний контактор. Уривок схеми, що включає в себе електромагнітне реле для комутації мережі зі споживачем, сумарною потужністю до 5 кВт (рис. 3.2) [16].

									Арк.
									40
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

При надходженні керуючого сигналу від мікроконтролера через лінії LINE_FIRST_EN, LINE_SECOND_EN та LINE_DISABLE, відбувається відкриття або закриття транзисторів VT4, VT5 та VT6. При активації транзистора VT4, у колі живлення електромагнітного реле виникає струм, що протікає через обмотку K1A. Це викликає перемикання силових контактів реле, в результаті чого споживач під'єднується до однієї з мереж. Для переключення на іншу мережу необхідно на транзистор VT4 подати сигнал інверсії – низький логічний рівень, а на VT5 – високий. Керуючий сигнал на лінії LINE_DISABLE перемикається з високого рівня на низький одночасно з сигналом на лінії LINE_FIRST_EN. Цей тризонний метод комутації навантаження слугує для захисту від короткого замикання у випадку неправильного підключення фази та нейтралі з боку альтернативної або основної мережі на пристрої автоматичного перемикача живлення.

Для керування та внесення змін у параметри приладу на платі наявні три клавіші та тризначний семисегментний індикатор (рис. 3.3) [16]. П'ять індикаторів-світлодіодів показують поточний режим роботи, стан аварії та активну вхідну мережу, один зелений світлодіод сповіщає про наявність напруги живлення на платі. Призначення кожного з світлодіодів таке: верхній червоний сигналізує про наявність активної вхідної напруги від інвертора; нижній червоний світлодіод показує присутність активної вхідної напруги від мережі; верхній жовтий інформує про поточну роботу пристрою; нижній жовтий сигналізує про те, що пристрій перебуває в режимі налаштування. Зелений, як ми вже говорили, показує наявність живлення. Останній RG світлодіод показує рівень заряду акумулятора: зелений колір означає нормальний заряд, жовтий - середній, а червоний - низький.

Під'єднання живлення автоматичного перемикача джерела енергії вітрової установки відбувається до силових роз'ємів, розташованих на верхньому боці плати. Перші два контакти призначені для під'єднання напруги, другі – для спільної нейтралі (див. рис. 3.3). Третій силовий роз'єм використовується для

									Арк.
									41
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

вихідної напруги, що подається на навантаження. Розпіновка цього роз'єму ідентична попереднім. Для підключення контролю напруги акумулятора передбачений роз'єм на нижньому боці плати.

Згідно сформульованих вимог до конструкції автоматичного перемикача джерела живлення необхідно забезпечити автоматичне перемикання між джерелами за певних параметрів. З цією метою було розроблено програмне забезпечення для мікроконтролера яке узгоджує роботу всіх елементів системи автоматичного перемикача джерела живлення.

									Арк.
									42
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

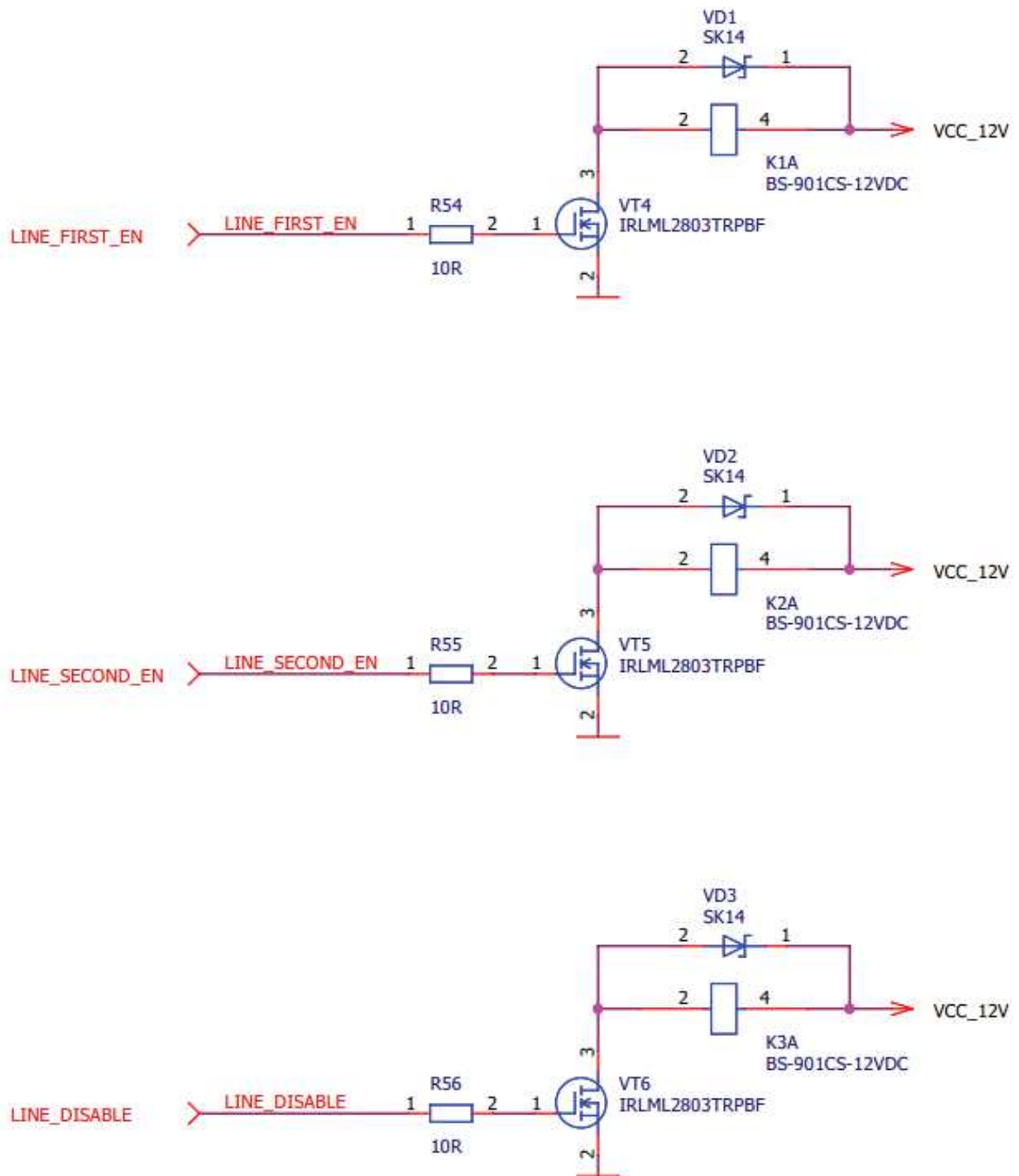


Рисунок 3.2 – Електрична схема керування блоком реле системи автоматичного перемикача джерела живлення

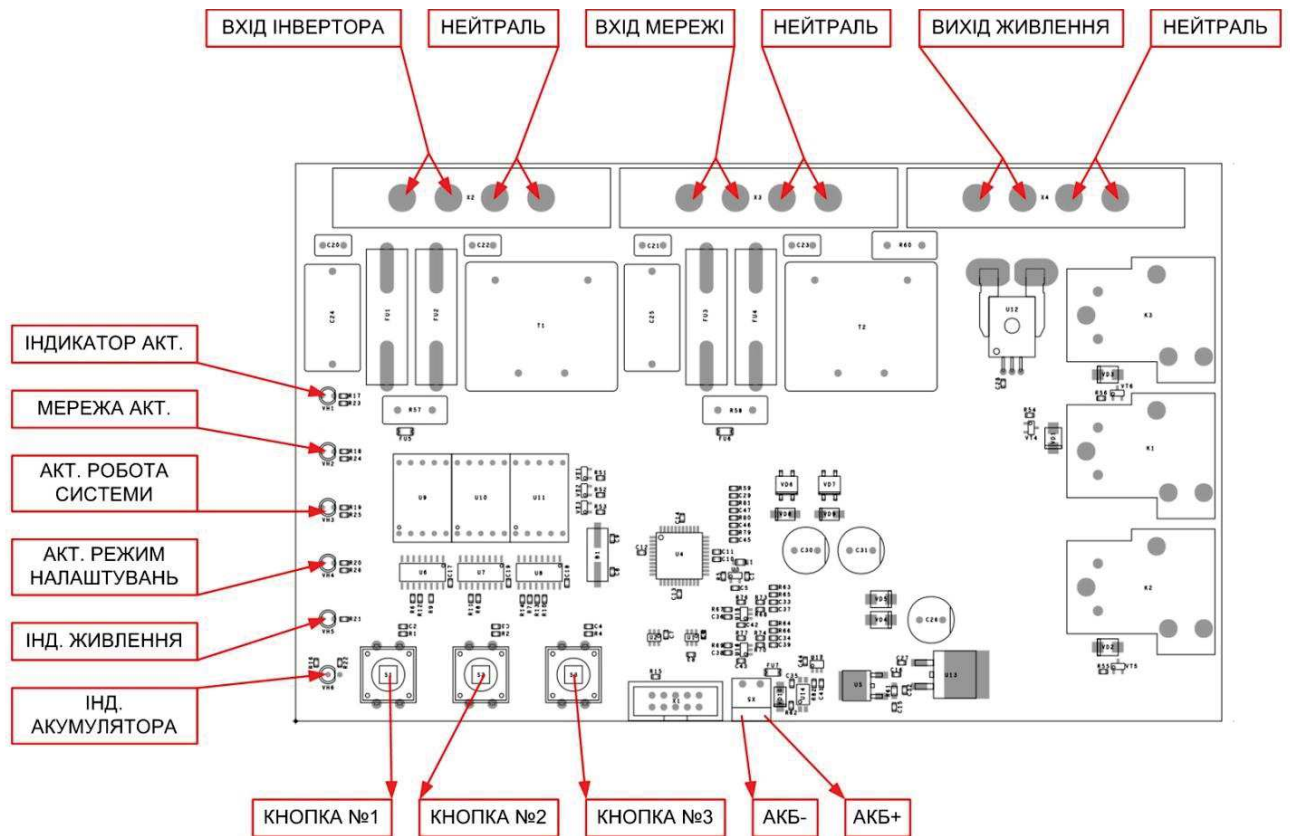


Рисунок 3.3 - Розміщення елементів керування на платі автоматичного перемикача джерела живлення

Залежно від вибраного робочого стану приладу, кожна кнопка здатно виконувати різні дії. Всього існує три основні режими функціонування:

- режим роботи у стані спокою;
- робочий режим;
- режим налаштувань пристрою.

Неактивний режим – це стан за замовчуванням, що вмикається після подачі живлення на плату. На індикаторі в цей час з'являється та миготить напис "OFF". У цьому стані: кнопка №1 активує перехід до активного режиму, кнопка №3 – перехід до режиму налаштувань, а кнопка №2 – не функціонує.

Активний режим роботи – основний режим в якому відбувається аналіз усіх вхідних та вихідних параметрів системи та здійснення спеціалізованого програмного алгоритму по управлінню комутацією напруги.

У цьому режимі на індикаторі буде видно усі вхідні та вихідні дані системи. У цьому режимі кнопка №2 дозволяє перейти до попереднього параметра, кнопка №3 – до наступного параметра, а кнопка №1 – повернення до неактивного режиму.

Можна побачити поточні значення:

- напруги живлення інвертора;
- напруги в електромережі;
- напруги на акумуляторі;
- вихідного струму.

Порядок у переліку співпадає з черговістю перемикання між опціями на індикаторі.

Режим конфігурації пристрою – це місце, де ви можете змінити параметри, які використовує система. Ось що саме можна налаштувати:

- встановлення пріоритету операцій;
- визначення нижньої межі напруги в мережі;
- визначення верхньої межі напруги в мережі;
- визначення критичної межі напруги в мережі;
- задання номінальної напруги акумулятора;
- визначення нижньої межі напруги акумулятора;
- визначення верхньої межі напруги акумулятора;
- встановлення верхньої межі вихідного струму споживання;
- налаштування часу перемикання на мережу при перевищенні верхньої межі вихідного струму споживання.

Порядок у переліку відображає порядок зміни параметрів на покажчику.

У цьому стані кнопка №1 зменшує значення обраного параметру, кнопка №2 – збільшує, кнопка №3 – переходить до наступного. Перехід між параметрами здійснюється по колу, з переходом лише до наступного.

Аби повернутися до стану неактивності, необхідно утримувати кнопку №3 та, не відпускаючи її, натиснути кнопку №2. Після того, як обидві кнопки буде відпущено, система відновиться у неактивному режимі.

Зупинимось детальніше на призначенні кожного з налаштувань.

Параметр визначення пріоритету роботи передбачає можливість вибору з двох варіантів: живлення від мережі (індикація цифрою 1) або живлення від інвертора (індикація цифрою 2).

Налаштування мінімальної напруги в мережі полягає в визначенні напруги, за досягнення якої система автоматично перейде на живлення від інвертора. Діапазон налаштувань знаходиться в межах від ~160В до ~200В, а стандартне значення – ~170В.

Завдання верхньої межі напруги мережі полягає у визначенні показника напруги, при досягненні якого система автоматично повертатиметься до живлення від мережі після переходу на живлення від інвертора. Процес перемикання ініціюється через 10 секунд після того, як поточна напруга перевищить встановлену межу, якщо напруга на вході мережі не знизиться знову до рівня, нижчого за верхній поріг.

Діапазон налаштування становить від приблизно 180В до приблизно 210В, з типовим значенням, встановленим за замовчуванням, на рівні приблизно 190В.

Завдання критичної межі напруги мережі полягає у визначенні напруги, при якій система розімкне коло живлення з метою захисту. У цей момент на індикаторі з'являється миготливе повідомлення "Err". Діапазон налаштування становить від ~250В до ~320В, а типове значення – ~280В. Після відновлення нормальної напруги в мережі відбувається повторне замикання кола живлення.

Задавання номінальної напруги батареї полягає у виборі одного з двох можливих значень: 12 В або 24 В. Ці значення відображаються на індикаторі як числа 12 і 24 відповідно.

Завдання нижньої межі напруги батареї передбачає визначення критичної напруги, при якій система перейде на живлення від електромережі. Цей параметр

									Арк.
									46
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

налаштовується у межах від 8В до 11В, стандартне значення – 10.5В для акумулятора з номінальною напругою 12В, та від 18В до 23В, із значенням за замовчуванням – 22В, якщо акумулятор розраховано на 24В.

Завдання верхньої межі напруги батареї стосується визначення напруги, при якій система, перейшовши на живлення від мережі, повертатиметься до живлення від акумулятора. Перемикання відбудеться через 10 секунд після досягнення заданої межі, якщо напруга на вході акумулятора знову не знизиться нижче верхнього порогу. Діапазон налаштування – від 12В до 20В, типове значення – 14В для акумулятора з номінальною напругою 12В. Для акумулятора з номінальною напругою 24В діапазон становить від 22В до 30В, а типовим значенням є 24В.

Завдання верхньої межі споживаного струму на виході передбачає визначення значення вихідного струму, при досягненні якого система, якщо живиться від інвертора, автоматично перейде на живлення від мережі. Перемикання здійснюється протягом часу, що задається в налаштуваннях наступного пункту, якщо поточна межа буде досягнута і струм не зменшиться нижче встановленого рівня. У випадку живлення від мережі, при досягненні встановленого вихідного струму, система миттєво перемикається на живлення від інвертора.

Налаштовується в межах від ~5А до ~40А, типове значення – ~20А.

Для часу перемикання на мережу у випадку перевищення граничного значення вихідного струму передбачено визначення інтервалу від 10с до 30с для переходу з інвертора на мережеве живлення, якщо досягнуто заданої верхньої межі вихідного струму відповідно до інформації з попереднього пункту.

Для забезпечення безпеки передбачено функцію виявлення критичного споживання струму, що становить приблизно 45 А. У разі досягнення цього показника система автоматично відключає навантаження та припиняє будь-які

									Арк.
									47
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

операції керування пристроєм до моменту наступного ввімкнення. На індикаторі в цей час з'являється миготливе повідомлення “Err”.

Щоб записати всі конфігурації в пам'ять, у будь-якому режимі необхідно утримувати кнопку №3, а потім, не відпускаючи її, натиснути кнопку №1. Після того, як обидві кнопки будуть відпущені, відбудеться збереження усіх змінних налаштувань, про що сповістить одноразове миготіння індикатора.

Відповідно до поставлених задач для розробки автоматичного перемикача живлення, необхідно було забезпечити автоматичне перемикання між джерелами живлення за заданими параметрами. З цією метою було розроблено програмне забезпечення для мікроконтролера, яке координує роботу всіх компонентів системи автоматичного перемикача живлення. Вихідний код програмного забезпечення представлено на рисунку 3.4.

```
//Key navigation
switch (Key)
{
    case KEY_SELECT:
        //Clear screen
        LCD_Clear_Function();

        //Draw texts
        LCD_PrintImage_Function(0, 0, (START_SCREEN_SIZE_HEIGHT / BYTE_LEN), START_SCREEN_SIZE_WIDTH, (uint8_t *)SetHeaterTemper_Image);
        LCD_PrintImage_Function(2, 0, (START_SCREEN_SIZE_HEIGHT / BYTE_LEN), START_SCREEN_SIZE_WIDTH, (uint8_t *)SetMotorSpeed_Image);
        LCD_PrintImage_Function(4, 0, (START_SCREEN_SIZE_HEIGHT / BYTE_LEN), START_SCREEN_SIZE_WIDTH, (uint8_t *)SetFanSpeed_Image);

        if (SetSensorIndex == SENSOR_INDEX_HEATER)
            LCD_PrintImage_Function(6, 0, (START_SCREEN_SIZE_HEIGHT / BYTE_LEN), START_SCREEN_SIZE_WIDTH, (uint8_t *)MeasureTemperHeater_Image);
        else
            LCD_PrintImage_Function(6, 0, (START_SCREEN_SIZE_HEIGHT / BYTE_LEN), START_SCREEN_SIZE_WIDTH, (uint8_t *)MeasureTemperRadiator_Image);

        //Show values
        DrawNumber_10x16_Function(0, START_SCREEN_VALUE_POS, SetHeatersTemper, DEGREES_MARK);
        DrawNumber_10x16_Function(2, START_SCREEN_VALUE_POS, SetMotorSpeed, PERCENT_MARK);
        DrawNumber_10x16_Function(4, START_SCREEN_VALUE_POS, SetFanSpeed, PERCENT_MARK);

        //Show value marker
        LCD_PrintImage_Function(StartScreenSelectIndex * 2, START_SCREEN_MARKER_POS, (MARKER_SIZE_HEIGHT / BYTE_LEN), MARKER_SIZE_WIDTH, (uint8_t *)Marker_Image);
        break;

    case KEY_UP:
        if (StartScreenSelectIndex > 0)
        {
            //Clear region
            for (Index = 0; Index < MARKER_SIZE_WIDTH; Index++)
            {
                LCD_WriteXY_Function(StartScreenSelectIndex * 2, START_SCREEN_MARKER_POS - LCD_WIDTH / 2 + Index, LCD_CS2);
                LCD_WriteData_Function(0x00, LCD_CS2);
                LCD_WriteXY_Function(StartScreenSelectIndex * 2 + 1, START_SCREEN_MARKER_POS - LCD_WIDTH / 2 + Index, LCD_CS2);
                LCD_WriteData_Function(0x00, LCD_CS2);
            }
        }
    }
}
```

Рисунок 3.4 - . Виконуючий код, що описує роботу всіх елементів системи автоматичного перемикача джерела живлення

									Арк.
									48
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

3.4 Висновки до розділу

Внаслідок дослідження розташування автоматичного перемикача живлення в загальній структурі гібридної автоматичної електростанції, були сформульовані основні положення до нього.

Зважаючи на висунуті вимоги, була спроектована структурна схема автоматичного перемикача джерела живлення.

Вивчено механізм роботи системи автоматичного перемикача джерела енергії, котра складається з програмованої системи управління на базі мікропроцесора та релейного модуля, що здійснює перемикач споживача з основного джерела живлення на альтернативне та у зворотньому порядку.

Створено програмний код для мікроконтролера, який координує функціонування всіх компонентів системи автоматичного перемикача джерела живлення.

									Арк.
									49
Зм.	Арк.	№ док.им.	Підпис	Дата					

4 Конструкція автоматичного перемикача джерел живлення для гібридних альтернативних електростанцій

4.1. Опис конструкції автоматичного перемикача джерел живлення

В результаті проведення комплексу робіт було створено пристрій автоматичного перемикача джерела живлення (рис.4.1)

Для управління та виконання налаштувань пристроєм на платі наявно три кнопки контакту та три-розрядний семи-сегментний індикатор. П'ять режимних світлодіодів проводять індикацію робочого режиму, аварій, та активної вхідної мережі, один зелений світлодіод інформує про наявність напруги живлення на платі.

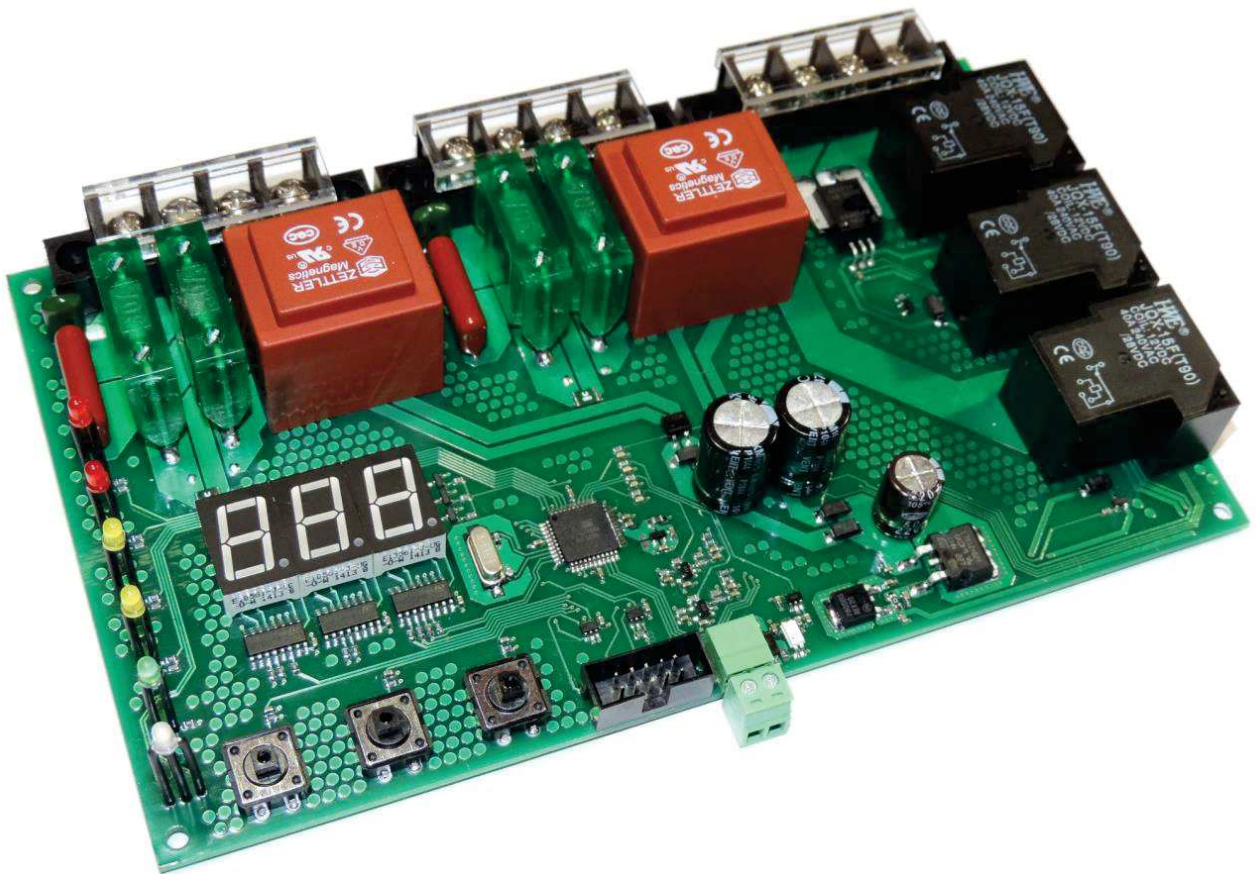


Рисунок 4.1 – Пристрій автоматичного перемикача джерела живлення

					Арк.
					50
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	

Призначення кожного з світлодіодів наступне (рис. 4.1):

- червоний світлодіод вгорі здійснює індикацію активної вхідної напруги від інвертора;
- червоний світлодіод внизу здійснює індикацію активної вхідної напруги від мережі;
- жовтий світлодіод вгорі здійснює індикацію активної праці пристрою;
- жовтий світлодіод внизу здійснює індикацію режиму налаштування пристрою;
- зелений, як вже згадувалось, – індикація напруги живлення;
- останній RG світлодіод здійснює індикацію стану заряду акумулятора, в режимі, коли горить зелений – нормальний заряд, жовтий – середній, червоний – низький.

Робота приладу була випробувана у складі стенду альтернативної системи енергозабезпечення, що функціонує на кафедрі машин та устаткування Хмельницького національного університету (рис.4.2).

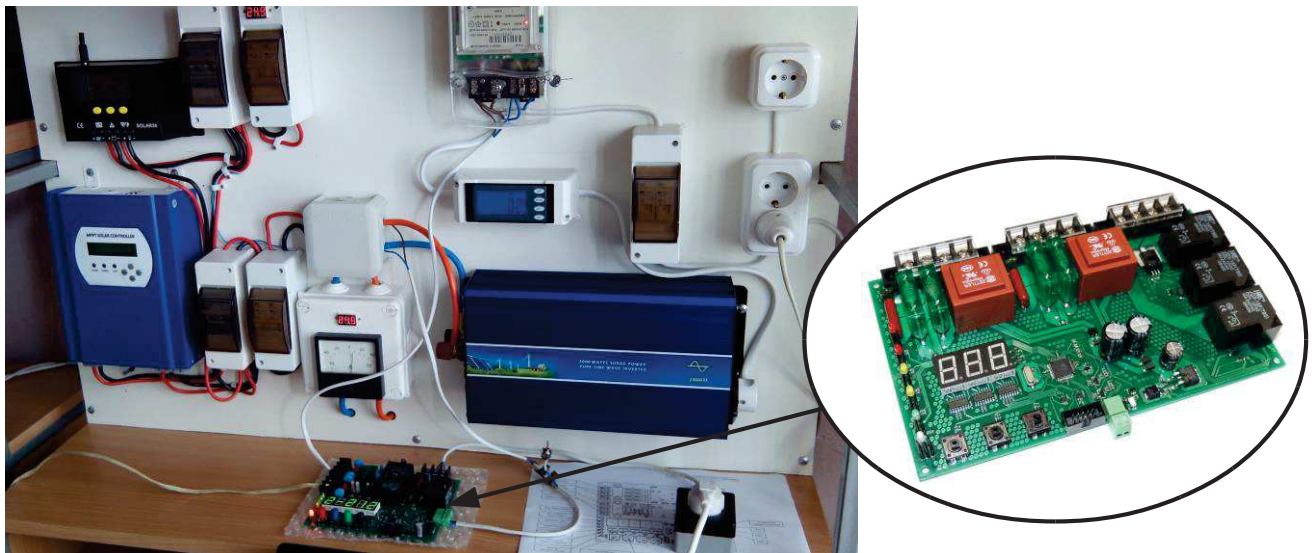


Рисунок 4.2 - Стенд гібридної системи енергопостачання з автоматичним перемикачем джерела живлення

Даний стенд містить: вітрогенератор потужністю 300 Вт, сонячні панелі потужністю 700 Вт, універсальний контролер, перетворювач загальною потужністю 1500 Вт та АКБ. Альтернативна система енергозабезпечення за допомогою автоматичного перемикача джерела живлення була під'єднана до громадської мережі. Тестування розробленої системи виконувалися при різних режимах навантаження.

4.2 Експериментальна апробація конструкції автоматичного перемикача джерела живлення в різних режимах роботи

Наступним після виготовлення конструкції автоматичного перемикача джерела живлення для вітроустановки потрібно провести його випробування при різноманітних режимах функціонування. Здійснити їх в умовах справжньої вітроелектростанції на цьому етапі неможливо, імітацію реальних умов праці виконували за допомогою ЛАТР та автомобільного акумулятора з номінальним значенням напруги 12В.

1) Параметр 1, величина 1 в налаштуваннях. У разі зниження напруги в мережі нижче рівня INPUT_DN_DIS_LIMIT (параметр 2 в налаштуваннях), система перемикається на живлення від інвертора негайно.

2) У разі зростання напруги в мережі (після здійснення дії, вказаної в пункті 1) вище визначеного рівня INPUT_UP_ENA_LIMIT (параметр 3 в конфігурації), система активує таймер, який перемикає живлення навантаження знову на мережу через 10 секунд.

3) Коли умова пункту 2 виконана, і напруга на вході мережі знову опускається нижче значення INPUT_UP_ENA_LIMIT до того, як спрацює таймер, його роботу буде зупинено.

4) Якщо вхідна напруга мережі перескочить за позначку INPUT_UP_ERR_LIMIT (параметр 4 у конфігурації), система негайно повторно перевіряє значення входу мережі ще десять разів (з інтервалом 20 мс). Коли

									Арк.
									52
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

перенапруга залишається, відбувається відключення навантаження, а на індикаторах з'являється код помилки - 0.

5) Коли після реалізації умови пункту 4, напруга в мережі опускається нижче значення INPUT_UP_ERR_LIMIT, враховуючи гістерезис у 10 В, а водночас стає вищою за INPUT_DN_DIS_LIMIT, система відновлює роботу та з'єднує вхід від мережі з навантаженням.

6) Якщо після реалізації пункту 4, показник напруги в мережі опускається нижче рівня INPUT_UP_ERR_LIMIT з гістерезисом у 10 В, і одночасно стає меншим або рівним INPUT_DN_DIS_LIMIT, система відновлює функціонування та з'єднує в навантаження вхід від інвертора.

Параметр 1, величина 2 у конфігурації. Величина конфігурації визначається вибором номінальної напруги акумулятора 12В/24В (параметр 5, величина 12 або 24 у налаштуваннях).

1) При зниженні напруги в мережі до позначки нижче BATTERY_DN_DIS_LIMIT (шостий параметр в налаштуваннях), система негайно перемикається на живлення від акумулятора.

2) У випадку зростання напруги в мережі після завершення п.1, та коли вона перевищує значення BATTERY_UP_ENA_LIMIT (налаштування 7), система активує таймер, який через 10 секунд повертає навантаження до живлення від інвертора.

3) У випадку, коли під час виконання умови пункту 2 напруга на вході мережі знову опускається нижче рівня BATTERY_UP_ENA_LIMIT, до закінчення відліку часу таймера, тоді таймер спрацьовує.

4) При збільшенні вихідного струму понад значення OUT_CURRENT_LIMIT (восьмий параметр конфігурації), система ініціює таймер, що перемикає живлення навантаження на мережу через проміжок часу, визначений параметром CURR_ERR_SWITCH_TIME (дев'ятий параметр налаштувань).

									Арк.
									53
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

5) У випадку, коли вихідний струм знижується до величини меншої за значення `OUT_CURRENT_LIMIT`, система припиняє функціонування таймера до досягнення часу, визначеного параметром `CURR_ERR_SWITCH_TIME`.

6) Після реалізації вимоги пункту 4, у випадку зниження вихідного струму нижче порогу `OUT_CURRENT_LIMIT`, система негайно переводить живлення на навантаження від інвертора.

7) У разі зростання вихідного струму до позначки `CURR_ERR_LIMIT_MAX` (18 А), система здійснює десятикратну перевірку показника струму (інтервал між перевірками – 10 мс). Якщо перевищення триває, відбувається деактивація навантаження, а на індикаційному пристрої відображається код помилки – 1. Для відновлення штатної роботи необхідно повністю знеструмити систему, а потім повторно її активувати.

8) У разі дотримання вимог п.1, до того, як навантаження буде відключено, показник вихідного струму знову опускається нижче за значення `CURR_ERR_LIMIT_MAX`, система відновлює свій нормальний режим роботи.

9) У випадку, коли показник напруги акумулятора дорівнює або перевищує `BATTERY_CHARGE_LEVEL_FULL` (для акумуляторів, розрахованих на 12 В – це 14 В, а для акумуляторів, розрахованих на 24 В – це 26 В), індикатор заряду акумулятора буде відображати зелений колір.

10) Коли напруга на батареї перевищує показник `BATTERY_CHARGE_LEVEL_MID` (11 В для 12-вольтових акумуляторів або 22 В для 24-вольтових), але не досягає `BATTERY_CHARGE_LEVEL_FULL`, індикатор заряду батареї підсвічується жовтим.

11) Якщо показник напруги батареї перевищує значення `BATTERY_CHARGE_LEVEL_LOW` (для акумуляторів, що мають номінальну напругу 12 В, - це 8 В, а для тих, у кого номінальна напруга 24 В, – 18 В з гістерезисом 1 В), індикатор заряду акумулятора буде світитися червоним.

12) Коли показник напруги акумулятора досягає позначки або перевищує `OUT_CTRL_BATT_CH_LEVEL_DN` (у разі 12-вольтових

акумуляторів – це 13 В, для 24-вольтових – 25 В) і, одночасно, не перевищує або дорівнює OUT_CTRL_BATT_CH_LEVEL_UP (для 12 В батарей – 14 В, для 24 В – 28 В), відбувається активація вихідного сигналу для керування комутатором "скидання" зайвого навантаження (активується високий рівень сигналу), що супроводжується загорянням відповідного світлодіодного індикатора.

13) Якщо рівень напруги акумулятора опуститься нижче OUT_CTRL_BATT_CH_LEVEL_DN, вихід, призначений для з'єднання з комутатором "скидання" надлишкового навантаження, вимкнеться, а відповідний світлодіод теж погасне.

4.3 Висновки по розділу

В результаті роботи над розділом виготовлено автоматичний перемикач джерел живлення для гібридної автономної електростанції.

Роботу пристрою було досліджено у складі стенду, який імітує альтернативну систему енергозабезпечення. Стенд розташований на базі кафедри машин та апаратів Хмельницького національного університету.

Виконано перевірку функціонування автоматичного перемикача живлення за різних умов експлуатації. Експерименти засвідчили, що автоматичний перемикач живлення вітроустановки, який було запропоновано, є повністю роботоздатним.

									Арк.
									55
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

Висновки

1. Висновки з аналізу функціонування альтернативних електростанцій, що використовують різноманітні джерела струму, вказують на необхідність розробки автоматичного перемикача живлення.

2. Розглянуто методику обчислення потужності гібридної автономної електростанції.

3. Для визначення параметрів гібридної автономної електростанції було враховано добові графіки середньої швидкості вітру та інтенсивності сонячного світла.

4. Розрахунки здійснювалися для періоду в одну добу, з часовим кроком в одну годину. Отримані дані розрахунків надають чітке уявлення про режими функціонування окремих компонентів системи, а також дозволяють визначити обсяги споживання енергії навантаженнями та генерації джерелами.

5. Враховуючи технічні потреби, які ставляться до будови автоматичного перемикача живлення, було створено його структурну схему.

6. Для цієї конструкції було створено електричну схему контролю і управління, а також схему підключення до релейного блоку і мережі живлення, додатково розроблено топологію плати.

7. Для злагодженої роботи всіх складових системи перемикача джерела в автоматичному режимі живлення розроблено програмне забезпечення для мікроконтролера.

8. Надійність і стабільність постачання електроенергії, забезпечена цим пристроєм, була перевірена на практиці. Його ефективна робота підтверджена використанням у складі стенду альтернативної системи енергозабезпечення, що належить кафедрі машин та апаратів Хмельницького національного університету.

									Арк.
									56
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

Прелік джерел посилань

1. Невичерпна енергія. Кн. 1. Вітрогенератори/В. З. Кривцов, О. М. Олійников, О. І. Яковлев. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т «Харків. авіац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2003. - 400 с.

2. Невичерпна енергія. Кн. 2. Вітроенергетика/В. З. Кривцов, О. М. Олійников, О. І. Яковлев. -Харків: Нац. аерокосм. ун-т «Харків. авіац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2004. - 519 с.

3. Невичерпна енергія. Кн. 3. Альтернативна енергетика/В. С. Кривцов, А. М. Олійников, А. І. Яковлев. - Підручник. - Харків: Нац. аерокосм. ун-т «Харків. авіац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2007. - 643 с.

4. Кубкін М. В. Імітаційна модель комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії / М. В. Кубкін, В. П. Солдатенко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». Випуск 25, част. II. - Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2012. - С. 192— 202.

5. Електронний ресурс: <https://alterair.ua/uk/articles/vetrogeneratoriyi/> - Вітрогенератори: принцип дії, типи, застосування, ефективність роботи. - Мова: укр.

6. Електронний ресурс: <https://www.led.paytex.com.ua/post/vitrogeneratoriy-vse-pro-energiyu-vitru> - Вітрогенератори - все про енергію вітру. - Мова: укр.

7. Електронний ресурс https://soncedim.com.ua/blog/soniachna-panel-z-chogo-vona-skladaetsia-ta-iaak-pratsiue?srsltid=AfmBOookPQToX4yKgAw8Ocb8XS-27jdodsqhplDfOy1jDupp-_sEvvps - Сонячна панель: з чого вона складається та як працює. - Мова: укр.

8. Електронний ресурс <https://specantenna.com.ua/ua/a435699-chto-takoe-kontroller.html> - Що таке контролер заряду акумуляторів і для чого він потрібен - Мова: укр.

						Арк.
						57
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

9. Електронний ресурс <https://www.led.paytex.com.ua/post/elektrychniy-akumulyator-vse-pro-akb> - Що таке електричний акумулятор? Все про акумуляторні батареї - Мова: укр.

10. Електронний ресурс <https://www.sea.com.ua/ua/istochniki-pitaniya/news/invertor-vse-so-potribno-znati-pro-sucasni-pristroi/?srsltid=AfmBOorj-9qe1hxLyFWSxztGqpxO5Y9jLdPo8LTmXW-2D3hfxDbGSt7f> - Що таке інвертор - Мова: укр.

11. Електронний ресурс https://electric.sumy.ua/avtomatychno-vvedennia-rezervu-pryntsyyp-roboty-ta-perevahy/?srsltid=AfmBOopUprLRA0x4cri-QvalP2QILcwn9_RftVRopMWrn-3dXfsJ2HDh - Автоматичне введення резерву: принцип роботи та переваги- Мова: укр.

12. Бровка Н. Системи контролю літій-іонних та літій-полімерних акумуляторних батарей// Компоненти та технології. – 2006. – № 10.

13. Козюков Д.А. Контролери заряду-розряду акумуляторних батарей сонячних фотоелектричних установок / Д.О. Козюков, Б.К. Циганков // Інноваційна наука. – 2015. – № 8-2 (8). – С. 41–44.

14. Калашник В.И. Регулятор заряду акумуляторних батарей від сонячних панелей /В.І. Калашник, К.Р. Казаров, В.А. Черніков // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2015. – № 1. – С. 20–22.

15. Кубкін М. В. Імітаційна модель комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії / М. В. Кубкін, В. П. Солдатенко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». – Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2012. – Випуск 25, част. II. – С. 192–202

<https://dSPACE.kntu.kr.ua/server/api/core/bitstreams/18732240-a9a4-471b-8db6-70af0b1c3e45/content>

16. Прибега Д.В., Корсун С.Ю., Смутко С.В., Прибега Т.Д. Розробка автоматичного перемикача джерела живлення / Вісник хмельницького

									Арк.
									58
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

національного університету серія: Технічні науки, Хмельницький. ХНУ, 2017.
№2. с. 254-258

[http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2017/2017_2/\(247\)%202017-2-t.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2017/2017_2/(247)%202017-2-t.pdf)

17. Автоматичне включення – резерв [Електронний ресурс] / Технічна енциклопедія E-Tech. - Режим доступу: <http://e-tech.pp.ua/200050-avtomatichne-vklyuchennya-rezerv.html>

18. Автоматичне введення резерву [Електронний ресурс] / За матеріалами компанії «Електроцит Комплект». - Режим доступу: http://www.akinshin.com.ua/products_05.php/

19. Електронний ресурс: http://www.akinshin.com.ua/products_05.php/
Електроцит комплект. - Мова: укр.

20. Прибега Д.В. Інтелектуальний контролер розподілення мережі / Д.В. Прибега // Технічна творчість : збірник наукових праць. – Хмельницький : ХНУ, 2016. – № 1. – С. 205–208

21. Прибега Д.В. Смутко С.В. Автоматичний перемикач джерела живлення / Збірник тез доповідей Всеукраїнської наукової конференції “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка: застосува

									Арк.
									59
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

Додатки

						Арк.
						60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		