

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

«Розробка автоматизованої системи електропостачання на базі електроустановок з відновлюваними джерелами енергії»

Виконав: студент 4 курсу, гр. ЕМСА-23мс
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(цифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Назарій КОВТУН
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри КЕМСК

Олександр ПАЯНОК
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«20» 05 2025 р.

Рецензент: доцент каф ЕС ЕЕМ

Войтюк Ю.П.
(прізвище та ініціали)

«10» 06 2025 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри [підпис]
«03» 06 2025 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма «Електромеханічні системи автоматизації»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачкафедри

К.Т.Н., доц.

Микола МОШНОРИЗ

“18” 02 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ковтуну Назарію Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка автоматизованої системи електропостачання на базі електроустановок з відновлюваними джерелами енергії

Керівник роботи Паянок Олександр Анатолійович, к.т.н., доц. каф.КЕМСК
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “20” березня 2025 року №97

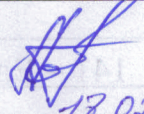
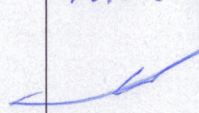
2. Термін подання студентом роботи 03.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи: номінальна потужність вітроенергетичної установки – 100 кВт, швидкість вітру – 10.5 м/с, швидкість вітру при пориві – 25 м/с, ККД електричний – 0.9, ККД механічний – 0.97, номінальна потужність ДЕС – 120 кВт ДЕС; номінальна потужність СФЕС – 400 кВт, тип системи електропостачання – комбінована, елементи системи – ВЕУ, ФЕС.

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1 Характеристика систем електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії та передумови їх оптимізації. 2 Розробка структури комбінованої фото-вітро-гідроелектричної системи з резервуванням ДЕС. 3 Вибір та розрахунок елементів комбінованої схеми електропостачання на основі ВДЕ. 4 Керування режимами сумісної роботи відновлюваних джерелами енергії. 5 Автоматизована система регулювання генерацією електроустановок з відновлюваними джерелами енергії. 6 Охорона праці. Висновки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Об'єкт, предмет, мета та задачі дослідження; Загальна характеристика систем ЕП на основі ВДЕ. Компоненти та рішення систем ЕП на основі ВДЕ. Розробка структури СЕП на базі ВДЕ. Методика розрахунку виробітку електроенергії ВДЕ. Вибір та розрахунок елементів АСЕП. Керування режимами сумісної роботи відновлюваних джерелами енергії. Керування режимами сумісної роботи відновлюваних джерелами енергії. Паралельна робота альтернативних джерел енергії. Модель синхронної роботи ВЕУ, СЕС та ГЕС. Розробка алгоритму управління генерацією. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

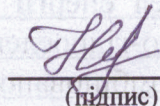
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконав
Спеціальна частина	к. т. н., доц. каф. КЕМСК Паянок О.А.,	 18.02.2025	 06.05.2025
Охорона праці	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	 18.02.2025	 20.05.2025

7. Дата видачі завдання 18.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

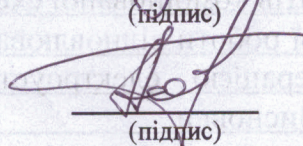
№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Прізвище
1	Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи (БДР)	18.02.2025	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	06.05.2025	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	20.05.2025	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	20.05.2025	
5	Попередній захист БДР	03.06.2025	
6	Нормоконтроль БДР	03.06.2025	
7	Рецензування БДР	10.06.2025	
8	Захист БДР	19.06.2025	

Студент


(підпис)

А.А. КОВТУН
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Паянок О.А.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська дипломна робота складається з 98 сторінки формату А4, на яких є 24 рисунків, 12 таблиць, список використаних джерел містить 23 найменування.

Було розроблено функціональну схему комутаційного пристрою для керування генеруючими станціями різного типу — ВЕС, СЕС та ТЕС. Створено принципову електричну схему системи керування процесами комутації цих станцій. Також сформовано алгоритм автоматизованого керування комутаційним пристроєм, який забезпечує оперативне управління електрогенеруючими станціями при їх підключенні до загальної енергосистеми. Алгоритм передбачає автоматичну комутацію енергоагрегатів з відновлюваних джерел енергії та оперативне перемикання між джерелами генерації. Розроблено відповідні блок-схеми, функціональні та принципові схеми автоматизованого комутаційного пристрою. Створено програмне забезпечення для мікропроцесорного управління генерацією електроенергії від ВЕС, СЕС і ТЕС. Визначено основні вимоги до безпечної експлуатації електротехнічного комплексу в умовах впливу шкідливих факторів навколишнього середовища.

Ключові слова: електротехнічний комплекс, ВЕУ, ФЕС, МГЕС, дизельна електростанція, оптимізація, блок-схема, схема принципова, схема функціональна, алгоритм, пристрій комутації, мікроконтролер.

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of 98 pages of A4 format, on which there are 24 figures, 12 tables, the list of used sources contains 23 names.

A functional diagram of a switching device was developed to control generating stations of various types - wind power plants, solar power plants and thermal power plants. A schematic electrical diagram of the switching process control system of these stations was created. An algorithm for automated control of the switching device was also created, which provides operational control of power generating stations when they are connected to the general power system. The algorithm provides for automatic switching of power units from renewable energy sources and operational switching between generation sources. The corresponding block diagrams, functional and schematic diagrams of the automated switching device were developed. Software was created for microprocessor control of electricity generation from wind power plants, solar power plants and thermal power plants. The main requirements for the safe operation of the electrical complex under the influence of harmful environmental factors were determined.

Key words: electrical complex, diesel power plant, optimization, block diagram, scheme is fundamental, functional scheme, algorithm, switching device, microcontroller.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА ПЕРЕДУМОВИ ЇХ ОПТИМІЗАЦІЇ.....	9
1.1 Застосування установок відновлюваної енергетики в автономних системах електропостачання.....	9
1.2 Передумови оптимізації електроустановок з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ).....	15
1.3 Формування вимог, які пред'являються до комбінованих систем автономного електропостачання.....	16
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ КОМБІНОВАНОЇ ФОТО-ВІТРО- ГІДРОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ З РЕЗЕРВУВАННЯМ ДЕС	19
2.1 Передумови створення системи електропостачання з використанням ВДЕ	19
2.2 Фотоелектричні системи на сонячних батареях	20
2.3 Розробка структури комбінованої фото-вітро-гідроелектричної системи на основі ВДЕ	24
3 ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОМБІНОВАНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ВДЕ	29
3.1 Розрахунок параметрів та вибір пристроїв схеми електропостачання	29
3.2 Вибір сонячних батарей для СФЕС	29
3.3 Вибір накопичувача енергії (АКБ).....	30
3.4 Вибір мережевого інвертора	33
3.5 Вибір вітроенергетичної установки та випрямляча.....	34
4 КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ СУМІСНОЇ РОБОТИ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ	37
4.1 Регулювання потужності в енергосистемі	37

4.2 Синхронна робота гідроакumuлюючої електростанції з вітроелектростанцією.....	38
4.3 Система електропостачання насосної свердловини з вітроагрегатом для водопостачання житлових масивів	39
4.4 Паралельна робота альтернативних електростанцій.....	41
4.5 ВЕУ для електропостачання житлового масиву	42
5 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ГЕНЕРАЦІЄЮ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ.....	47
5.1 Розробка автоматичної системи комутації генеруючих установок в загальну мережу.....	47
5.2 Алгоритм керування генерацією електричної енергії від різних джерел альтернативної енергії.....	55
6 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	59
ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74
Додаток А Технічне завдання.....	77
Додаток Б Ілюстративні матеріали.....	82
Додаток В Протокол перевірки кваліфікаційної роботи.....	95

ВСТУП

Актуальність теми. Проблема підвищення енергоефективності установок, що працюють з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), залишається однією з ключових у сучасній енергетиці. Визначення основних напрямів покращення енергоефективності генерувальних систем і систем електропостачання тісно пов'язане з аналізом причин неефективного використання енергетичних ресурсів.

Упродовж останніх років, у зв'язку зі зростанням споживання електроенергії в промисловості та аграрному секторі, спостерігається дефіцит її виробництва. Збільшення обсягів генерації традиційними методами супроводжується негативними екологічними наслідками — зростанням викидів вуглецю в атмосферу та виснаженням природних запасів вуглеводневої сировини.

Одним із можливих шляхів вирішення проблеми дефіциту електроенергії є використання відновлюваних джерел енергії. Впровадження інтегрованих електрогенеруючих систем, що поєднують як відновлювані, так і традиційні джерела енергії, супроводжується низкою труднощів, зокрема в частині оперативного керування їхньою роботою.

Сонячні фотоелектричні станції (СФЕС) та вітроелектростанції (ВЕС) мають у своїй структурі нелінійні елементи, що негативно впливають на якість електроенергії. При малій потужності такі системи майже не спричиняють суттєвих викривлень напруги та струму в загальній енергосистемі. Однак зі збільшенням їх потужності до рівня, співмірного з потужністю основної мережі, спостерігається істотне погіршення параметрів якості електроенергії — зокрема, спотворення форм сигналів напруги та струму.

Сучасні моделі, що використовуються для аналізу таких систем, часто не враховують у повному обсязі характеристики основних елементів електричної мережі. Це обмежує можливості адекватного оцінювання

ключових показників якості електроенергії, зокрема рівня несинусоїдальності та несиметрії на затискачах окремих електроприймачів, підключених до мереж з комбінованими джерелами генерації.

З урахуванням наведених вище обставин, актуальним завданням є оптимізація структури, параметрів електрогенеруючих комплексів та режимів функціонування енергоустановок, що використовують відновлювані джерела енергії. Крім того, потребує подальшого розвитку науково-дослідницька діяльність, спрямована на створення ефективних моделей, методик і технічних рішень для впровадження таких систем на практиці.

Ще одним важливим напрямом є оптимізація функціонування електрогенеруючих систем, які працюють як на загальну енергосистему, так і на автономне електропостачання окремих підприємств, особливо у випадках, коли переважає частка енергоагрегатів на основі відновлюваної енергетики.

Для реалізації поставлених цілей необхідним є детальний аналіз та оптимізація роботи ВЕС і СФЕС у складі загальної мережі. З цією метою проводяться дослідження, спрямовані на вирішення завдань автоматизованої комутації генерувальних станцій як відновлюваної, так і традиційної енергетики, а також на створення оперативного комутаційного пристрою з використанням сучасної елементної бази.

На сьогодні існує велика кількість досліджень і розробок методів попередньої оцінки потенціалу виробництва електроенергії генеруючими системами з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Значна увага приділяється вивченню розподілу швидкостей вітру, а також закономірностям розподілу сонячної радіації. Проте в науковій літературі відсутній детальний аналіз статистичних характеристик спільної роботи фотоперетворювачів (ФЕП) та вітроустановок (ВЕУ), спрямований на

визначення оптимального складу проєктованих генеруючих потужностей у межах однієї системи.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є оптимізація системи електропостачання на основі електроустановок із відновлюваними джерелами енергії шляхом створення алгоритму та пристрою для автоматичної комутації джерел відновлюваної енергії під час їхньої інтегрованої роботи із загальною мережею.

До **задач** бакалаврської кваліфікаційної роботи можна віднести:

- аналіз характеристик існуючих комбінованих систем автономного електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії;
- розрахунок та вибір складових системи автономного електропостачання на основі ВДЕ;
- розробка структурної блок-схеми електротехнічного комплексу системи електропостачання з ВДЕ;
- розробка алгоритму та пристрою автоматичної комутації джерел відновлюваної енергії при їх спільній роботі із загальною мережею;
- розробка функціональної схеми комутуючого пристрою управління генеруючими станціями ВЕС, СЕС, ТЕС, а також принципової електричної схеми управління комутацією генеруючих станцій.

Об'єкт дослідження є процеси перетворення енергії в системі електропостачання з відновлювальними джерелами енергії.

Предметом дослідження є математичні моделі та структури, які дозволяють підвищити ефективність та оптимізувати процеси в системі електропостачання з відновлювальними джерелами енергії (ВДЕ).

Методи дослідження При виконанні роботи застосовувалися аналітичні та експериментальні методи дослідження, що включають: методи лінійної алгебри; метод Лагранжа; чисельний метод; методи математичної статистики; метод імітаційного моделювання; методи синтезу нелінійних систем управління; методи системних досліджень в

енергетиці; метод математичного моделювання з використанням системи комп'ютерної алгебри MathCAD.

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці автоматичного комутуючого пристрою, який забезпечує оперативну комутацію двох і більше електричних станцій для ефективного диспетчерського управління електрогенеруючими об'єктами, підключеними до енергосистеми. Наявність цифрового дисплея дозволяє відстежувати основні енергетичні параметри станцій у режимі реального часу. Комутуючий пристрій автоматично відбирає генеруючі станції з параметрами, що відповідають заданим номінальним значенням, і здійснює їх підключення до загальної мережі для генерації електроенергії.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на науково-технічній конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2025).

1 ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА ПЕРЕДУМОВИ ЇХ ОПТИМІЗАЦІЇ

1.1 Застосування установок відновлюваної енергетики в автономних системах електропостачання

Серед усіх існуючих технологій відновлюваної енергетики найбільший потенціал для практичного застосування в системах електропостачання децентралізованих споживачів мають вітроенергетичні установки (ВЕУ) та фотоелектричні станції (ФЕС) (див. рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Відновлювальні джерела енергії (ВДЕ)

Сьогодні фотоелектричні перетворювачі (ФЕП) знаходять все ширше застосування у багатьох країнах (див. рисунок 1.2). Понад 90% ринку займають ФЕП, виготовлені на основі полі- та моно-кристалічного кремнію, з ефективністю модулів на рівні 15–17%. В умовах середніх широт такі фотоелектричні системи здатні виробляти від 120 до 200 кВт·год на квадратний метр за рік.

Сонячна енергетика займає одну з провідних позицій серед альтернативних джерел енергії в галузі відновлюваних ресурсів (ВДЕ). На сьогодні розрізняють три основні способи використання сонячної енергії: генерація електроенергії, отримання сконцентрованої теплової енергії для подальшої електрогенерації або прямий нагрів теплоносія (зазвичай води) [1]. Сьогодні домінуючим напрямом є застосування сонячної енергії у фотогальваніці. Основою сонячних батарей є фотоелектричні перетворювачі (ФЕП), що забезпечують перетворення сонячної радіації в електричну енергію. Використання енергії сонця та вітру у повсякденному житті є важливими напрямками наукових досліджень і високотехнологічних розробок.

Теплова сонячна енергія має свої особливості, як і інші види ВДЕ. Один з ключових факторів ефективності застосування сонячної енергії — інсоляція регіону, де планується реалізація проекту. Інсоляція характеризує інтенсивність сонячного опромінення поверхні і вимірюється в $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ за певний проміжок часу (день, місяць, рік). Чим вище інсоляція в регіоні, тим більше енергії сонячного випромінювання може бути перетворено в електричну або теплову енергію.



Рисунок 1.2 – Фотоелектрична станція

Сонячна енергія використовується у різноманітних сферах людської діяльності:

- промислові тепло- та електростанції; системи постачання теплової та електричної енергії для будівель різного призначення; економічно ефективні установки для приватних будинків (див. рисунок 1.3);
- застосування гнучких сонячних батарей як будівельного матеріалу;
- резервні джерела живлення у побутових пристроях, таких як калькулятори, годинники, ноутбуки, ліхтарі, акумулятори та ін.;
- резервні джерела живлення для транспортних засобів; а також освітлення дорожніх знаків та інших об'єктів у темний час доби за рахунок накопиченої сонячної енергії.

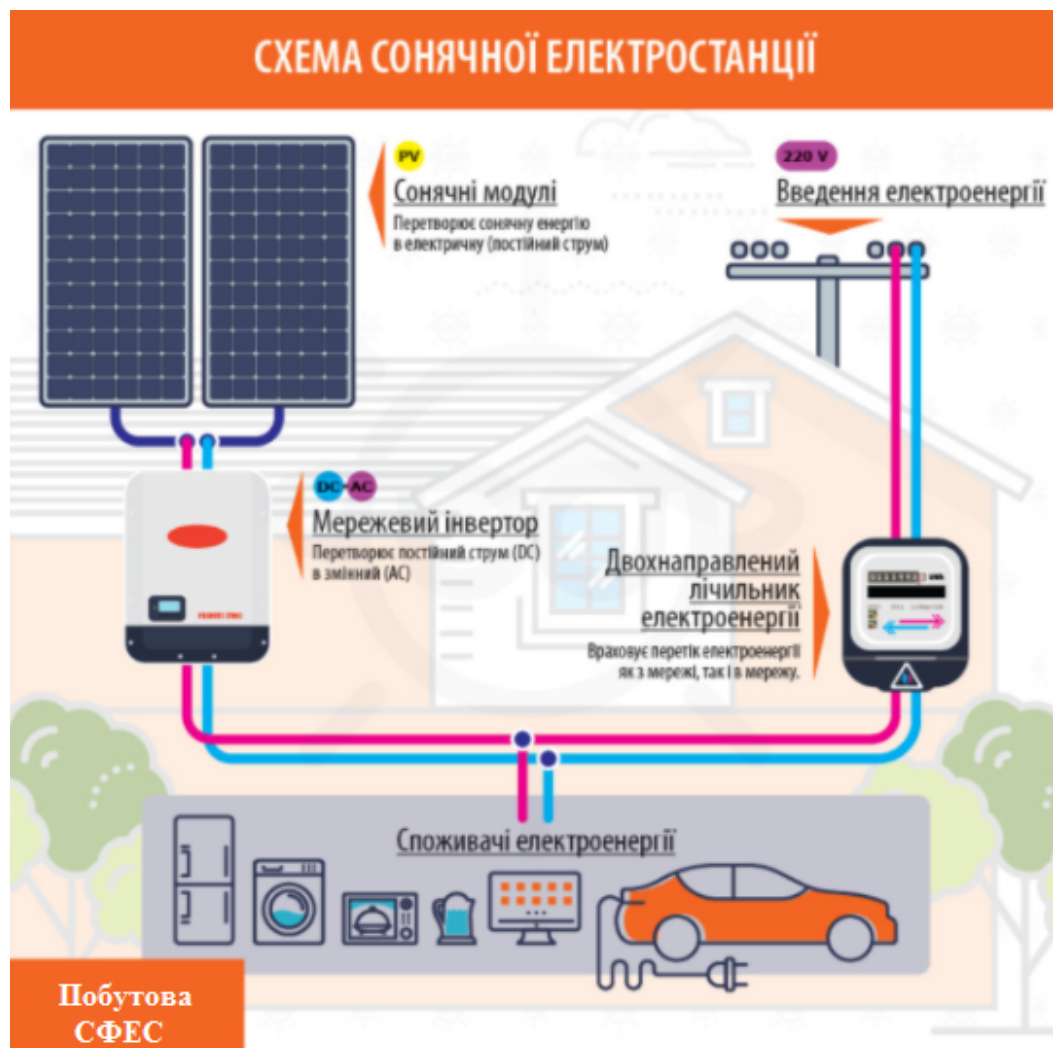


Рисунок 1.3 – Фотоелектрична установка для приватного будинку

Однією з основних переваг фотоелектричних станцій (ФЕС) є їхні низькі експлуатаційні витрати — лише 0,07 цента за кВт·год. Крім того, такі установки не потребують води для функціонування, що розширює можливості їх розміщення: вони можуть встановлюватися в гірській місцевості, на дахах і фасадах будівель, у пустельних регіонах, а також у країнах із вологим тропічним кліматом.

Вітрогенератори (вітроелектрична установка – ВЕУ), в свою чергу, теж набирають популярність (див. рисунок 1.4).

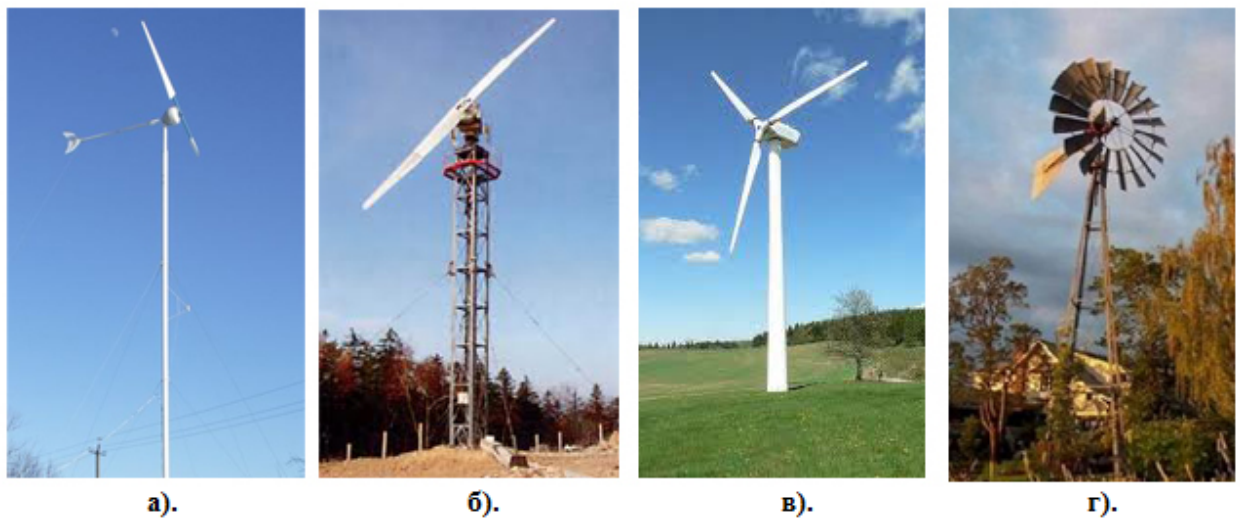


Рисунок 1.4 – Різновиди вітроенергетичних установок:

- а) однолопатєва; б) дволопатєва;
в) трилопатєва; г) багатолопатєва

Вітроенергетичні установки (ВЕУ) використовуються не лише як додаткове джерело електропостачання, а часто й як основне, що зумовлено їхньою надійною конструкцією та зручністю експлуатації. Вітрогенератор представляє собою систему, яка перетворює кінетичну енергію повітряного потоку в механічну енергію обертання ротора, а далі — в електричну енергію.

Оптимальний діапазон швидкості вітру для роторних і пропелерних вітроустановок становить від 4 до 7 м/с. Зі зростанням питомої вартості вітроустановки оптимальна робоча швидкість дещо зростає, тоді як підвищення питомої вартості акумуляторних систем сприяє її незначному

зниженню. Проте в обох випадках діапазон залишається стабільним — у межах 5,5–6 м/с.

Для вітрових турбін із горизонтальною віссю обертання генерація електроенергії починається при швидкості вітру не менш як 5–6 м/с для пристроїв потужністю понад 200 кВт, та від 3–4 м/с — для генераторів з потужністю до 100 кВт. Отже, для кращої ефективності вітроенергетичних установок доцільно використовувати кілька малопотужних агрегатів, здатних працювати навіть за слабого вітру. Поєднання вітрогенераторів із сонячними панелями дозволяє підвищити загальну ефективність енергосистеми та розширити діапазон робочих швидкостей вітру до 9–10 м/с.

Використання вітроенергетичних установок є особливо актуальним у районах з високими вітровими швидкостями та обмеженим доступом до інших надійних джерел енергії [1, 2]. Вони дозволяють зменшити споживання традиційних паливних ресурсів, а енергозбереження, у свою чергу, підвищує конкурентоспроможність у різних галузях і потребує впровадження відповідних механізмів [3, 4]. Для визначення потенціалу вітру застосовуються різноманітні методи моніторингу [5, 6], які можуть ґрунтуватися як на математичних моделях і функціональних залежностях, так і на сучасних експериментальних методах, що дозволяють точно вимірювати параметри вітрового потоку на висоті розміщення ротора. Проєктування і будівництво вітроелектростанцій повинні враховувати особливості конкретної місцевості, як і підбір параметрів та характеристик самих установок. Це пояснюється не лише різними кліматичними умовами, а й різноманітністю самих ВЕУ — вони можуть мати різну потужність, конструкцію (наприклад, з вертикальною або горизонтальною віссю обертання), а також використовувати різні типи генераторів. Іноді застосовують нестандартні конфігурації з використанням типових генераторів постійного струму, синхронних або асинхронних.

Стандартна комплектація вітроелектроустановок не завжди є найефективнішою і часто потребує вдосконалення. У цьому контексті особливий інтерес викликають новітні технічні рішення, які можуть позитивно вплинути на енергетичні показники ВЕУ. Крім того, у вітроустановок з невеликим діаметром вітроколеса часто виникають проблеми з надійністю — зокрема, через зношення та пошкодження під час сильного вітру.

Серед основних переваг як вітроенергетичних, так і фотоелектричних систем можна виокремити доступність та повсюдну наявність відновлюваних джерел енергії, можливість розміщення поблизу об'єктів споживання, а також широкий діапазон потужностей, на базі яких серійно виготовляються такі енергетичні установки.

Щодо перспектив використання міні- та мікроГЕС у системах електропостачання, варто зазначити, що їхній потенціал значною мірою обмежується кліматичними умовами (див. рисунок 1.5).

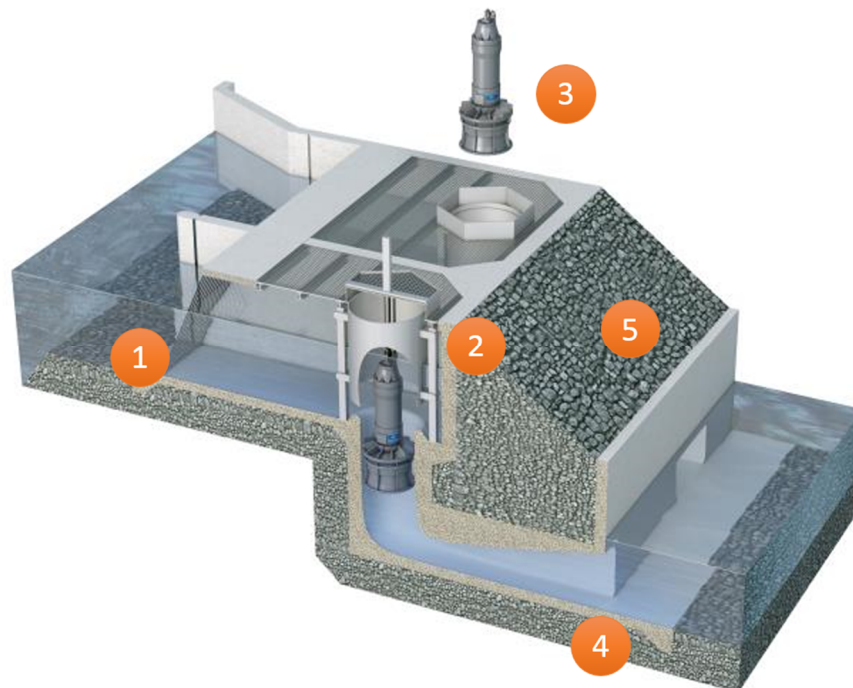


Рисунок 1.5 – Схема улаштування міні-ГЕС:

1. Шлюз; 2. Затвор; 3. Гідротурбіна;
4. Вихідна труба; 5. Насипний скат

До того ж, розміщення таких установок жорстко залежить від наявності природного джерела гідроенергії, яке не завжди розташоване поблизу об'єктів споживання електроенергії. У зв'язку з цим передача невеликих обсягів електроенергії на великі відстані у більшості випадків виявляється технічно складною та економічно неефективною.

Однією з головних технічних проблем, що обмежує широке впровадження вітрових і сонячних енергетичних установок, є висока мінливість та нестабільність первинного енергоресурсу. Для забезпечення безперебійного електропостачання споживачів необхідне надійне резервне джерело енергії, яким можуть виступати дизельні електростанції (ДЕС) та/або буферні накопичувачі енергії (див. рисунок 1.3).

Таким чином, для ефективного використання енергії вітру й сонячного випромінювання в автономній енергосистемі потрібно впровадження спеціалізованого керувального пристрою. Його завданням є регулювання навантаження ВЕУ та ФЕС згідно з заданими алгоритмами, а також організація накопичення надлишкової енергії та її подальшого використання в періоди дефіциту.

1.2 Передумови оптимізації електроустановок з відновлюваними джерелами енергії

Коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) визначається як відношення середньої потужності, яку видає електроустановка за певний період, до її номінальної (встановленої) потужності. У випадку електростанцій КВВП розраховується як частка між загальним обсягом виробленої електроенергії за певний період часу та добутком встановленої потужності станції на кількість годин у цьому періоді (наприклад, у річному обчисленні — за 8760 годин).

Коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) ВЕС є сумарним показником:

- якості проектних рішень (відповідності параметрів ВЕУ району спорудження ВЕС по середньорічній швидкості вітру);
- ефективності роботи обладнання в метеоумовах конкретного майданчика розміщення ВЕС і особливостей рельєфу площадки (правильний облік взаємного затінення ВЕУ і впливу рельєфу на середньорічну швидкість вітру);
- ефективності діяльності експлуатаційного, ремонтного та адміністративного персоналу.

Оптимізація роботи сонячних електростанцій може бути досягнута шляхом використання сонячних панелей з вищим коефіцієнтом корисної дії (ККД) при зменшених масогабаритних характеристиках. Крім того, ефективність розміщення панелей можна підвищити шляхом багаторівневого встановлення на одній площі геліополя, за умови, що висота ярусів обрана таким чином, щоб уникнути суттєвого затінення нижніх рівнів. Також значну роль в підвищенні ефективності системи відіграють сучасні пристрої вторинного перетворення енергії, зокрема інвертори, які при відносно невисокій вартості забезпечують покращені енергетичні характеристики та експлуатаційні показники.

Фактори, що впливають на розміщення ВЕУ на майданчику ВЕС.

Розміщення обладнання вітроелектростанції (ВЕС) на визначеній ділянці території зумовлюється низкою ключових факторів:

- наявність сприятливих вітрових умов, достатніх для ефективної роботи вітроенергетичних установок;
- доступність вільних земельних ділянок, які не забудовані, не мають значних насаджень і не використовуються активно в сільському господарстві, а також можливість їх вилучення для потреб будівництва ВЕС;

- дотримання санітарних норм, що передбачають безпечну відстань від населених пунктів та інших об'єктів;
- наявність можливості підключення до існуючих електричних мереж з мінімальними витратами на будівництво ліній електропередач;
- зручність прокладання транспортних шляхів і інженерних комунікацій;
- мінімальне негативне екологічне навантаження на навколишнє середовище внаслідок розміщення і роботи ВЕС.

Одним із ключових чинників, що впливають на обсяг вироблення електроенергії вітроелектростанцією, є взаємне затінення вітроустановок. ВЕУ слугують не лише генераторами енергії, але й створюють аеродинамічні перешкоди одна для одної. Кожна установка порушує структуру вітрового потоку, що впливає на ефективність сусідніх агрегатів. У зоні позаду лопатей, у напрямку вітру, виникає турбулентний збурений потік, у якому потужність вітру істотно зменшується. Зокрема, на відстані 2–3 діаметрів ротора (D) в підвітряному напрямку потужність вітрового потоку може знижуватись на 35–45%, після чого поступово відновлюється.

Однак навіть на значній відстані потужність вітрового потоку повністю не відновлюється до початкового рівня: на відстані приблизно 8 діаметрів ротора ($8D$) вона залишається зниженою на 10% порівняно з вихідним потоком. При цьому середня ширина збуреного повітряного потоку на відстані $8–10D$ становить близько $2,6–2,8D$, а ширина центральної частини (серцевини) супутного струменя — у межах $1,5–1,7D$.

У багаторядному розміщенні вітроустановок на вітроелектростанціях таке зниження потужності потоку призводить до помітного падіння вироблення електроенергії окремими ВЕУ, особливо при міжагрегатних відстанях $2–3D$. Якщо ж розміщення ще більш щільне, втрати електричної енергії стають ще суттєвішими.

Вплив супутніх потоків підтверджується умовами експлуатації як малих рядів ВЕУ (від 2 до 4), так і великих (понад 7). При цьому відстані між рядами ВЕУ приймалися рівними від 8 до 11 D в затіненому напрямку, а між окремими ВЕУ - від 2 до 3 D .

У невеликих групах вітроустановок зниження виробництва електроенергії у другому ряду порівняно з першим становило від 8 до 20% при швидкості вітру 10 м/с, а у третьому ряду — вже до 50% у порівнянні з другим. Для великої групи ВЕУ, де відстань між рядами становила від 8 до 11 діаметрів ротора (D), зниження потужності між першим і сьомим рядом склало близько 20%.

Ці дані свідчать, що при розташуванні турбін з інтервалом у 2 діаметри втрати потужності в групі будуть суттєво більшими, ніж при інтервалі у 3 діаметри, через накладання збурених струменів. Ще більш тісне розміщення призводить до зростання втрат. Реальний дефіцит потужності для ВЕУ, що працює у зоні супутнього струменя іншої вітротурбіни, в основному залежить від характеристик потужності підвітряної турбіни та рівня зниження швидкості в супутньому потоці вітру.

Висновок: В результаті наповнення розділу були розглянуті особливості застосування відновлюваних джерел електричної енергії, сучасні тенденції їх розвитку, а також передумови оптимізації електроустановок з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ).

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ КОМБІНОВАНОЇ ФОТО-ВІТРО-ГІДРОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ З РЕЗЕРВУВАННЯМ ДЕС

2.1 Передумови створення системи електропостачання з використанням ВДЕ

Системи, що базуються на відновлюваних джерелах енергії, не мають недоліків дизельних електростанцій, але мають свої специфічні особливості. Найголовнішою з них є те, що сонячні фотоелектричні станції (СФЕС) та вітроелектричні установки (ВЕУ) залежать від природних джерел енергії, які змінюються в часі, що безпосередньо впливає на стабільність і надійність електропостачання для споживача [10].

Цю проблему можна вирішити, якщо основні технічні параметри споживання електроенергії визначати з урахуванням найсуворіших умов вітру та рівня сонячної радіації протягом розрахункового року. Проте через непередбачуваність цих джерел енергії надійність вироблення електроенергії окремими сонячними фотоелектричними станціями (СФЕС), міні- або мікро-ГЕС (МГЕС) та вітроелектричними установками (ВЕУ) все одно залишається досить низькою. Підвищення надійності електропостачання досягається шляхом застосування акумуляторних батарей великої ємності, які здатні забезпечити автономність роботи системи протягом кількох днів за відсутності генерації з відновлюваних джерел [7–10]. Однак такі заходи, хоч і підвищують надійність, призводять до збільшення вартості автономної системи в цілому, що обмежує сфери застосування СФЕС та ВЕУ для автономного електропостачання.

Слід відзначити, що за умов стабільного рівня сонячної радіації або постійної швидкості вітру переваги розглянутих систем стають особливо помітними. У таких випадках необхідний рівень надійності електропостачання можна досягти з меншими матеріальними витратами

порівняно з регіонами, де характерні значні сезонні коливання швидкості вітру або інтенсивності сонячного випромінювання.

2.2 Фотоелектричні системи на сонячних батареях

Енергія постійного струму, що виробляється сонячними батареями, може безпосередньо живити різноманітні пристрої постійного струму — такі як двигуни, електричні апарати, процеси електричного осадження металів, електроліз тощо. Крім того, вона може зберігатися в акумуляторних батареях для подальшого використання або для покриття пікових навантажень. Також ця енергія може перетворюватися в змінний струм з напругою 220 В або в трифазну напругу для живлення різних споживачів змінного струму.

Електрична енергія, що виробляється енергоустановками на основі сонячного випромінювання, широко застосовується для електропостачання житлових будинків, готелів, пансіонатів, а також для підйому води зі свердловин та інших об'єктів, які розташовані далеко від централізованих електромереж. У таких системах часто використовуються акумуляторні батареї для збереження електроенергії, виробленої вдень. Фотоелектричні системи (ФЕС) з сонячними батареями застосовуються також у телекомунікаційних мережах для живлення ретрансляторів, а на сонячних електростанціях (СЕС) — для генерації електроенергії, що подається в загальну мережу. Методика розрахунку і проектування автономних фотоелектричних систем електропостачання буде розглянута у наступних розділах цієї роботи.

Розглянемо різні види фотоелектричних систем. Сонячні фотоелектричні системи поділяються на типи залежно від їх призначення в системах електропостачання:

Автономні системи. У випадку відсутності підключення до загальної електричної мережі, ФЕС з сонячними батареями виробляють електроенергію для живлення окремих споживачів — освітлювальних приладів, побутової та

силової техніки. Автономна ФЕС включає сонячні батареї (СБ), комутаційний пристрій (КП1), пристрій заряд-розряду (ПЗР), акумуляторні батареї (АБ), стабілізатор напруги (СН), зазвичай імпульсний стабілізатор напруги (ІСН), та інвертор (І).

Ця система виконує функцію автономного джерела живлення (АДЖ), як показано на рисунку 2.1. На рисунку 2.1а наведена блок-схема автономного джерела живлення для живлення однофазних споживачів змінного струму, а на рисунку 2.1б — блок-схема АДЖ для живлення споживачів постійного струму та трифазного змінного струму.

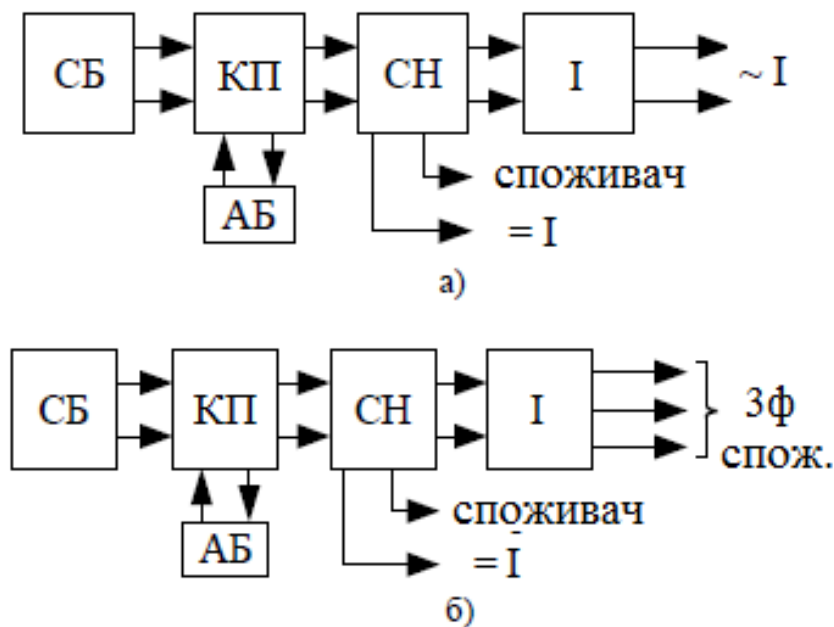


Рисунок 2.1 – Фотоелектричні системи:

а. однофазна;

б. трифазна

Такі системи застосовуються для автономного електропостачання локальних об'єктів, розташованих на значній відстані від централізованої мережі, і можуть включати споживачів першої категорії, які не допускають перерв у подачі електроенергії. Блок-схеми ФЕС із сонячними батареями та резервним джерелом живлення можуть бути реалізовані як для однофазних споживачів синусоїдального струму (рисунки 2.2 а), так і для трифазних споживачів (рисунки 2.2 б).

Ці системи передбачають використання сонячних батарей (СБ), комутуючого пристрою (КП), який направляє постійний струм або на стабілізатор напруги (СН), або на заряд акумуляторних батарей (АБ) для їх підзарядки. У темний час або в похмурі дні живлення споживачів здійснюється від АБ, при цьому комутуючий пристрій автоматично перемикає навантаження між джерелами. Стабілізатор напруги (СН) забезпечує підтримку постійного рівня напруги, що надходить від сонячних батарей, відповідно до необхідних вимог.

Стабілізована напруга надходить на споживачі постійної напруги і на інвертор (І), що перетворює постійну напругу в однофазну синусоїдальну напругу (рисунок 2.2, а) або в трифазну синусоїдальну напругу для живлення електроприймачів однофазною або трифазною напругою через нормально замкнуті контакти реле (можна використовувати безконтактні комутуючі пристрої).

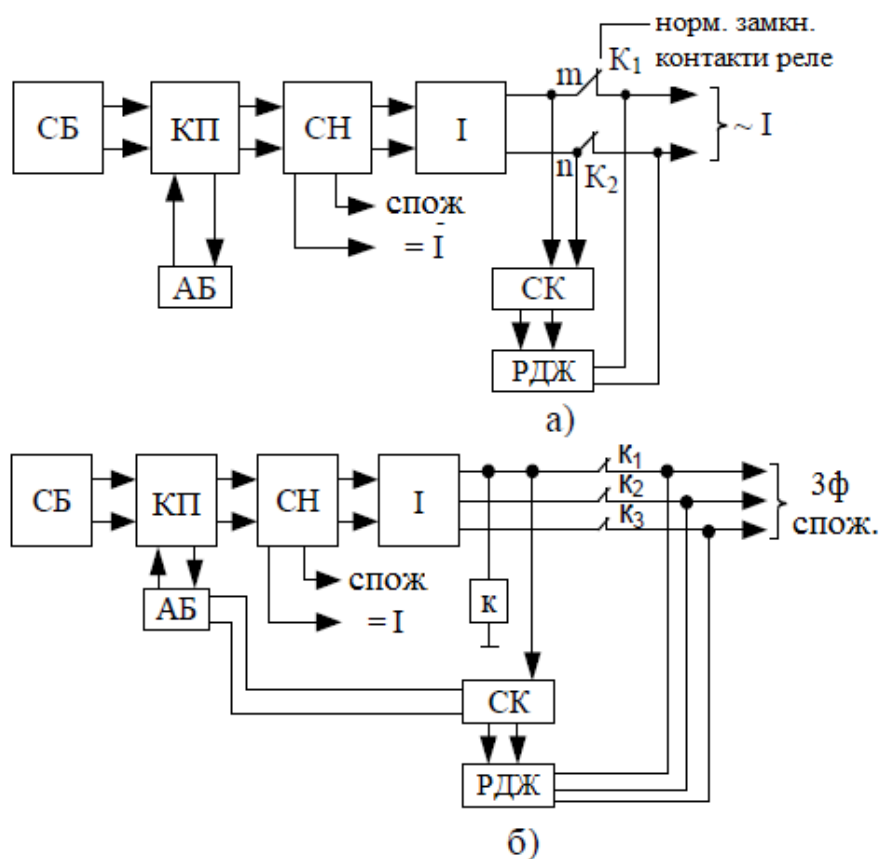


Рисунок 2.2 – ФЕС з резервним джерелом живлення:

а. однофазна; б. трифазна

При зниженні напруги на обмотках реле (К) нормально замкнуті контакти розмикаються, і напруга U_{mn} (див. рисунок 2.2, а) подається на схему комутації (СК), що пов'язана з акумуляторними батареями (АБ). Внаслідок цього АБ активує резервне джерело живлення (РДЖ), яким може бути дизель-генератор, бензиновий або газовий генератор, а також можуть використовуватися загальні електричні мережі. Напруга від РДЖ подається в систему електропостачання об'єкта.

Коли напруга на виході інвертора (І) досягає необхідного номінального рівня, резервне джерело живлення автоматично відключається, і електропостачання знову переходить на сонячні батареї (СБ).

СЕС призначені для генерування електричної енергії з фотоелектричних систем безпосередньо в загальну мережу енергосистеми.

Блок-схема сонячної електростанції (СЕС) наведена на рисунку 2.3. Сонячні батареї (СБ) об'єднані в сонячні модулі (СМ), які з'єднуються послідовно для досягнення потрібної напруги та паралельно для забезпечення необхідного струму. Кількість СБ і СМ підбирається відповідно до проектної потужності системи. Виходи сонячних модулів підключаються до панелі збірки (ПЗ). З панелі збірки напруга постійного струму подається на трифазний інвертор (або інвертори), що перетворює постійний струм у трифазну синусоїдальну напругу.

Через трансформатор TV1 із первинною напругою 0,4 кВ на вторинній обмотці формується напруга 10 кВ. Напруга з виходу TV1 подається на підстанцію, де через підвищувальний трансформатор TV2 з первинною напругою 10 кВ і вторинною 110 кВ здійснюється підключення до загальної енергосистеми.

Для узгодження трифазної напруги інвертора з напругою мережі, напруга трьох фаз через трансформатор TV1 подається на інвертор (І), завдяки чому інвертор працює у режимі веденого мережею пристрою.

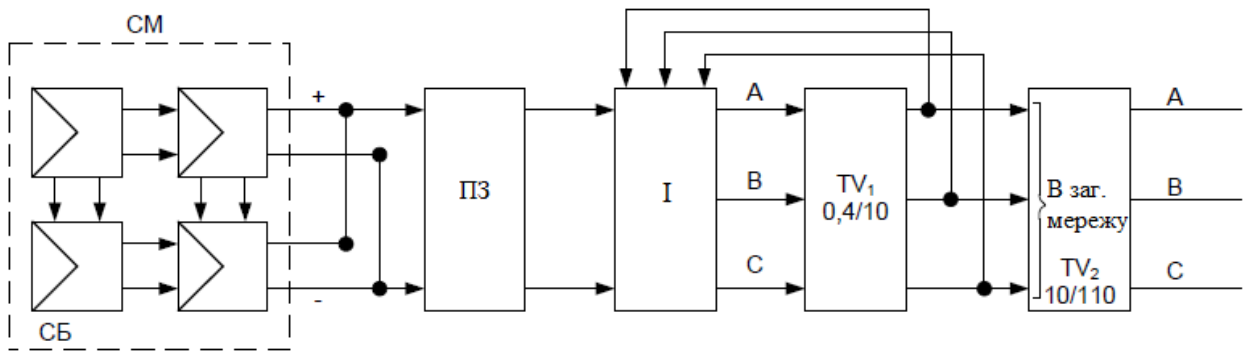


Рисунок 2.3 – Блок-схема сонячної електростанції

ФЕС, підключені до мережі, — це види фотоелектричних систем, що використовуються для живлення житлових будинків, підприємств та інших об'єктів, при цьому надлишкова вироблена електроенергія подається у загальну електромережу.

2.3 Розробка структури комбінованої фото-вітро-гідроелектричної системи на основі ВДЕ

Основною технічною проблемою при практичному впровадженні установок відновлюваної енергетики в енергетичні системи є необхідність узгодження режимів виробництва та споживання енергії. Несумірність потужностей генеруючих джерел і споживачів в автономних системах призводить до погіршення якості вихідної напруги під час пікових навантажень, неефективного використання природної відновлюваної енергії та зниження загальної надійності електропостачання.

Більшість сучасних автономних енергетичних систем на базі ВДЕ є технічно завершеними продуктами, які розроблені для певного типу обладнання і не передбачають розширення функціональності або збільшення потужності шляхом підключення додаткових генераторів. Це зумовлено значними відмінностями в параметрах виробленої електроенергії — таких як тип струму, частота і рівень напруги — серед різних установок відновлюваної енергетики.

Для забезпечення гарантованого електропостачання споживачів застосовуються гібридні електротехнічні комплекси (ЕТК), що включають в себе вітроелектроустановки (ВЕУ), сонячні фотоелектричні системи (СФЕС), міні (мікро)-гідроелектростанції (МГЕС), проміжні акумуляторні батареї (АКБ) та суперконденсатори, а також генераторні установки на вуглеводневому паливі, серед яких найпоширенішими є дизель-генераторні станції (ДЕС).

Кінцевий вибір ємності акумуляторних батарей у складі комплексу здійснюється з урахуванням вітрових умов — тривалості та частоти штилів, мінімального часу зарядки АКБ від ВЕУ, СФЕС, МГЕС тощо. При цьому схема гібридного ЕТК має забезпечувати заданий рівень надійності електропостачання, мінімальний компонентний склад, підвищену автономність роботи та високу економічність у споживанні привізного палива.

Важливо, щоб система була побудована за модульним принципом, що дозволяє збільшувати або зменшувати сумарну потужність комплексу відповідно до потреб споживача без погіршення техніко-економічних показників всієї системи електропостачання.

Запропонована на рисунку 2.1 структурна блок-схемакомбінованої системи автономного електропостачання є досить таки простою та має певні переваги від реалізації.

Застосування дизель-генераторних станцій (ДЕС) з генераторами на постійних магнітах, які працюють при змінній частоті обертання валу та забезпечують подальше перетворення електроенергії до необхідної стабільної частоти за допомогою інвертора, є найбільш доцільним у складі електротехнічних комплексів (ЕТК), побудованих із використанням різних відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Враховуючи вищезазначені особливості, на рисунку 2.1 представлена комплексна структурна блок-схема автономної системи електропостачання — ЕТК, що включає в себе вітроелектроустановки (ВЕУ), міні-ГЕС (МГЕС),

дизель-генераторні установки з синхронними генераторами на постійних магнітах, сонячні фотоелектричні системи (СФЕС), випрямлячі, об'єднані спільною вставкою постійного струму, комбінований накопичувач енергії та загальний інверторний вихід для підключення навантаження.

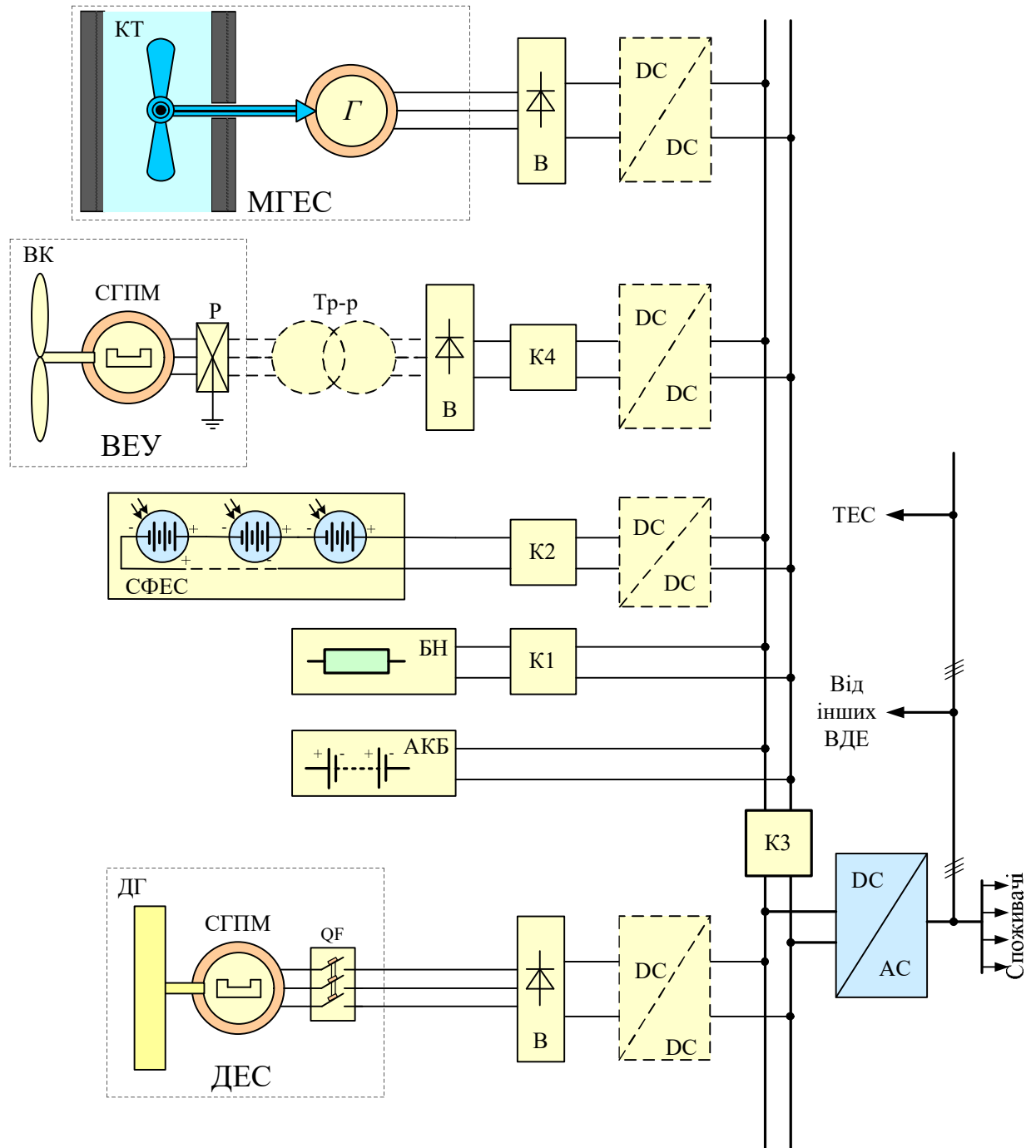


Рисунок 2.1 – Структурна схема автономного ЕТК на основі ВДЕ

На рисунку 2.2 приведені такі позначення: КТ – колесо гідротурбіни; МГЕС – міні(мікро)-гідроелектростанція; Г – генератор МГЕС; ТЕС – теплові

електростанції; К1-К4 – комутуючі ключі (включення/відключення ВДЕ); СФЕС – сонячна фотоелектрична станція; ВК – вітроколесо; СГПМ – синхронний генератор з постійними магнітами; ВЕУ – вітроелектрична установка; Р – рубильник-короткозамикач; Тр-р – трансформатор; В – випрямляч; DC/DC – перетворювач постійного струму; БН – баластні навантаження; АКБ – акумуляторна батарея; СК – суперконденсатор; К – контактор; ДГ – дизель-генератор; ДЕС – дизель-електрична станція; QF – автоматичний вимикач.

Топологія такого ЕТК може змінюватися за рахунок застосування засобів силової електроніки — узгоджувальних DC/DC перетворювачів, що дозволяє мінімізувати габарити й кількість компонентів, а також гнучко нарощувати або скорочувати генеруючі потужності відповідно до потреб.

У запропонованій схемі автономного електротехнічного комплексу (ЕТК) основними джерелами електроенергії виступають вітроелектроустановки (ВЕУ), міні-ГЕС (МГЕС), сонячні фотоелектричні системи (СФЕС) та допоміжні накопичувачі енергії — акумуляторні батареї (АКБ). Кількість ВЕУ і СФЕС, а також потужність МГЕС і дизель-генераторних станцій (ДЕС) визначаються з урахуванням необхідного рівня надійності електропостачання, одиничної номінальної потужності відповідних установок і станцій.

В окремих випадках для зниження електричних втрат у лініях електропередач від ВЕУ, а також для узгодження рівнів напруги синхронних генераторів на постійних магнітах (СГПМ) з акумуляторними батареями перед випрямлячем може бути встановлений трансформатор.

З огляду на те, що вітроелектроустановки (ВЕУ) більшу частину часу генерують потужність, нижчу за номінальну, трансформатор у такій системі працює в режимі малих навантажень. Це призводить до зниження його коефіцієнта корисної дії (ККД) нижче номінального значення, що суттєво

зменшує ефективність структурної схеми електротехнічного комплексу (ЕТК) з трансформатором.

Тому найбільше поширення отримала схема без трансформатора. В такому випадку, при розміщенні генераторного комплексу на базі ВЕУ необхідно максимально скоротити довжину лінії електропередач від генератора ВЕУ до випрямляча та акумуляторних батарей (АКБ). У разі потреби слід також збільшити перетин кабелів для зменшення втрат в лініях електропередач.

Висновок: Найбільш проста робота комплексу та особливо системи управління ДЕС забезпечується при здійсненні електропостачання навантаження або від ДЕС, або від ВЕУ (ФЕС, МГЕС), паралельна робота генеруючих пристроїв можлива тільки під час процесу перемикання з одного джерела на інше.

3 ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОМБІНОВАНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ВДЕ

3.1 Розрахунок параметрів та вибір пристроїв схеми електропостачання

Для забезпечення електропостачання невеликого селища потрібно максимальна потужність до 500 кВт ($P_{ном} = 500$ кВт). Напруга у трифазній мережі становить 380/220 В. У цій роботі як приклад розглядається проектування комбінованої енергетичної системи, що базується на використанні відновлюваних джерел енергії — вітроенергетичної установки (ВЕУ) та сонячної фотоелектричної системи (СФЕС) — із запасом потужності. Це означає, що за відсутності сонячного випромінювання основну частину навантаження забезпечує ВЕУ, і навпаки. У дні з достатньою сонячною чи вітровою активністю одна складова системи живить споживачів, а інша накопичує енергію для подальшої автономної роботи.

Таким чином, було прийнято рішення, що основне навантаження покладене на сонячні батареї потужністю 400 кВт, а додаткову підтримку здійснює вітрова установка потужністю 100 кВт. Окрім цього, акумуляторна батарея здатна автономно забезпечувати навантаження до 120 кВт без участі сонячних батарей і вітротурбіни.

3.2 Вибір сонячних батарей для СФЕС

Максимальна потужність одного сонячного модуля становить 575 Вт. Щоб досягти загальної номінальної потужності у 400 кВт, необхідно близько 695 таких панелей. Для реалізації цього проекту була обрана монокристалічна сонячна панель Jinko Solar JKM570N-72HL4. Технічні параметри цього модуля відповідають вимогам електропостачання і наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики JKM570N-72HL4 (Jinko Solar)

Механічні характеристики		
Кількість комірок	144 (6×24)	
Розмір	2278×1134×35mm	
Вага	27 kg	
Переднє скло	3,2 мм, антиблікове покриття, Висока пропускну здатність, низький вміст заліза, загартоване скло	
Рамка	Анодований алюмінієвий сплав	
Розподільча коробка	Оцінка IP68	
Вихідні кабелі	TUV 1×4,0 мм2 (+): 400 мм, (-): 200 мм або індивідуальна довжина	
Електричні характеристики		
Параметри	STC*	NOCT**
Максимальна потужність (Pmax)	575 Вт	432 Вт
Максимальна напруга (Vmp)	42.22 В	39.60 В
Максимальний струм (Imp)	13.62 А	10.92А
Напруга холостого ходу (Voc)	50.88 В	48.33 В
Струм короткого замикання (Isc)	14.39 А	11.62 А
ККД модуля STC (%)	22.26 %	
Робоча температура	-40°C~+85°C	
Температурний коефіцієнт Voc	-0.25%/°C	
Температурний коефіцієнт Isc	0.045%/°C	
Номінальна робоча температура елемента	45±2°C	

3.3 Вибір накопичувача енергії (АКБ)

Через нестабільність і змінність відновлюваних джерел енергії, таких як ВЕУ, СФЕС та МГЕС, миттєва генерація електроенергії від цих установок піддається значним коливанням. Для стабілізації роботи таких систем створюються автономні електротехнічні комплекси, які включають автономні електрогенератори на основі вуглеводневого палива та проміжні (буферні) накопичувачі енергії.

Найчастіше в якості накопичувачів використовуються акумуляторні

батареї (АКБ). Обсяг енергії, що зберігається в АКБ, визначається як добуток номінальної напруги на ємність батареї, при цьому ємність і напруга окремого елемента батареї мають певні обмеження.

Для вибору найбільш підходящого буферного джерела постійного струму був проведений порівняльний аналіз найпоширеніших типів акумуляторів, результати якого наведені у таблиці 3.2 [4].

Згідно з даними таблиці 3.2, літій-іонні акумулятори демонструють найкращі питомі характеристики, а також мають вищу робочу напругу на елемент порівняно з іншими типами АКБ.

Таблиці 3.2 – Характеристики вибору АКБ

Характеристики	Перезаряджувані ХДС			
	Свинцево-кислотні (СКБ)	Нікель-кадмієві (NiCd)	Нікель-металогідридні (NiMH)	Літій-іонні (Li-ion)
Робоча напруга елемента, В	2,0	1,2-1,25	1,2-1,25	3,6
Типова ємність, А год	0,7-20	0,03-20	0,05-13,5	0,4-6
Діапазон робочих температур, С	-20... +50	-40...+60	-20...+40	-20...+60
Енергетична щільність, Вт/кг	30-50	45-80	60-120	100-160
Питома енергія: - вагова, Вт год/кг; - об'ємна, Вт год/дм ³	25-50 55-100	30-60 100-170	40-80 150-240	100-180 25-400
Струм навантаження від С: - піковий; - оптимальний	5С 0,2С	20С 1С	5С До 0,5С	>2С До 1С
Кількість циклів заряд/розряд до зменшення ємності до 80%	200-1000	До 1500	300-500	300-1000
Форма кривої розряду	Похила	Пласка	Пласка	Пласка
Час швидкого заряду, год	8-16	1	2-4	2-4
Чутливість до перезаряду	низька	середня	висока	висока

Саморозряд при 20 С в місяць, %	5	15-20	30	10
Особливості експлуатації	Значне зниження ємності при збільшенні струму розряду та низькій температурі	Струми розряду до 3-8С. можливий швидкий заряд	Струми розряду до 3-8С. можливий швидкий заряд	Необхідний захист від перезаряду та великих зарядних струмів

Щоб отримати на виході інвертора номінальну напругу 380–400 В, на його вхід потрібно подати близько 600 В. Це можна забезпечити шляхом послідовного з'єднання 25 акумуляторних батарей по 24 В кожна. Для забезпечення тривалої автономної роботи без перерв у живленні рекомендується використовувати акумулятори великої ємності. У цьому розрахунку було обрано літій-іонну акумуляторну батарею з характеристиками 24 В і ємністю 1000 А·год. Основні технічні параметри літій-іонних акумуляторів наведені нижче:

- Висока щільність енергії.
- В порівнянні з AGM та GEL батареями економиться до 70% простору;
- Низька маса.
- Великий термін експлуатації приблизно 4000 циклів.
- Система управління батареями (BMS) для балансування елементів

входить в комплект поставки.

Таблиця 3.3 – Характеристики акумуляторних батарей

Характеристика СБ	Значення
Номінальна ємність, А год	1000
Номінальна напруга, В	25,5
Номінальна потужність, кВт	25,6
Рекомендована напруга заряду, В	28,8
Робоча напруга заряду, В	25,6
Рекомендований заряд/розряд, А	500
Максимальний струм заряду/розряду, А	1000
Кількість для даної СФЕС, шт..	50

3.4 Вибір мережевого інвертора

Виходячи з формули повної потужності:

$$P_{\text{НОМ}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi \cdot I_{\text{НОМ}}, \quad (3.1)$$

де $U_{\text{НОМ}} = 400 \text{ В}$, $\cos \varphi = 0,8$. Знаходимо номінальний струм сонячної батареї:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi} = \frac{400}{1,73 \cdot 400 \cdot 0,8} = 722 \text{ (А)}. \quad (3.2)$$

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

$$I_{\text{кз.сб}} = 3,5 \cdot I_{\text{НОМ}} = 3,5 \cdot 722 = 2527 \text{ (А)}. \quad (3.3)$$

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

В якості інвертора, що відповідає вимогам проекту, обрано пристрій виробництва компанії АВВ, модель ACS800-107-0510-3, типорозмір R8i. Основні номінальні параметри цього інвертора наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 3.4 – Номінальні характеристики інвертора

Номінальні хар-ки		Робота без пере-вант.	Робота з невеликим перенавант. (10%)		Робота у важкому режимі (пере вант. 50%)		Потужність розсіювання, кВт	Код типу	Типо-розмір
I _{cont.max} , А	I _{max} , А	P _{cont.max} , кВт	I _N , А	P _N , А	I _{hd} , А	P _{hd} , кВт			
U _{НОМ} ,= 400 В (діапазон 380-415 В)									
741	1014	500	711	500	554	315	8	ACS 800-107-0510-3	R8i

Розрахунок струму короткого замикання інвертора виконано з урахуванням необхідного запасу по струму:

$$I_{\text{кз.І}} = 0,95 \cdot 1014 = 963 \text{ (A)}. \quad (3.4)$$

3.5 Вибір вітроенергетичної установки та випрямляча

Для стабільного функціонування електростанції і безперервного забезпечення електроенергією споживачів, окрім сонячних панелей, необхідно інтегрувати додаткове джерело — вітроелектричну установку (ВЕУ). Вдень сонячні батареї живлять навантаження та одночасно заряджають акумуляторні блоки. В цей же час ВЕУ підживлює окремий блок акумуляторів, з'єднаний паралельно з основним. Завдяки цьому напруга на вході інвертора залишається стабільною, а загальна ємність акумуляторних батарей збільшується. Вночі, коли споживання електроенергії значно знижується, живлення здійснюють акумулятори, накопичені впродовж дня за рахунок сонячної та вітрової енергії. Для забезпечення необхідної потужності було обрано вітрогенератор з номіналом 100 кВт (див. таблиця 3.4).

Отже, у ранкові та вечірні години, коли спостерігаються пікові навантаження або недостатнє сонячне випромінювання, вітроустановка забезпечує додаткову потужність для потреб споживачів. В нічний час ВЕУ підзаряджає акумулятори, які не встигли повністю зарядитися протягом дня або були розряджені під час роботи системи. Це дозволяє досягти повної автономності електростанції. При поривах вітру, що перевищують 25 м/с, лопаті встановлюються у положення флюгування, а обертання гвинта уповільнюється для запобігання пошкоджень. Широкий діапазон робочих температур дозволяє експлуатувати вітроустановку у різних кліматичних умовах. Можливість повороту лопатей навколо осі дає змогу регулювати кут їхнього нахилу, що забезпечує оптимальну аеродинамічну ефективність при змінних швидкостях вітру та зменшує опір під час флюгування при сильних поривах.

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики ВЕУ 100 кВт

Характеристика ВЕУ	Значення
Номінальна потужність, Вт	100
Напруга на виході, В	380
Початкова швидкість вітру, м/с	2,5
Максимальна робоча швидкість вітру, м/с	25
Номінальна швидкість вітру, м/с	12
Діаметр ротора, м	21
Кількість лопатей, шт.	3
ККД генератора, %	90
Рівень шуму, dB	не більше 70
Діапазон робочих температур, С	-40 ... +40
Проектний срок служби, років	25

Генератор, лопаті та система управління розміщуються в гондолі, яка кріпиться на щоглі. Для автоматичного наведення установки на напрямок вітру та її стабілізації застосовується сервопривід з автоматичним керуванням. Відмова від пасивного аеродинамічного стабілізатора на користь активної системи дозволяє досягти більш точної орієнтації вітрової турбіни і усунути її різкі коливання.

Таблиця 3.6 – Номінальні характеристики інвертора

Номінальні хар-ки		Робота без пере-вант.	Робота з невеликим перенавант. (10%)		Робота у важкому режимі (пере вант. 50%)		Потужність розсіювання, кВт	Код типу	Типо-розмір
I _{cont.max} , А	I _{max} , А	P _{cont.max} , кВт	I _N , А	P _N , А	I _{hd} , А	P _{hd} , кВт			
U _{НОМ} ,= 690 В (діапазон 525-690 В)									
382	571	355	367	355	286	270	7	ACS 800-107-0440-7	R8i

Сигнали для сервоприводів гондоли та регулювання кута нахилу лопатей надходять від флюгера-анемометра, розташованого безпосередньо на гондолі. Для передачі електроенергії до акумуляторів у періоди сильного вітру використовується випрямляч, технічні параметри якого наведені в таблиці 3.6.

Вітрогенератор, в разі необхідності, може працювати так само і в якості синхронного компенсатора (СК). Робота в режимі СК дозволяє розвантажити інвертор від реактивного струму. Так само при аварії генератор бере на себе ударний струм короткого замикання, позбавляючи інвертор від пошкоджень.

4 КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ СУМІСНОЇ РОБОТИ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

4.1 Регулювання потужності в енергосистемі

Під час роботи вітрових (ВЕС) та сонячних електростанцій (СЕС), що підключені до загальної енергетичної мережі, слід враховувати, що їх функціонування має бути скоординованим із базовими електростанціями системи — гідроелектростанціями (ГЕС), теплоелектростанціями (ТЕС) та атомними електростанціями (АЕС). Керування такими складними гібридними енергосистемами, що поєднують відновлювані та традиційні джерела енергії, є досить складним завданням. Тому особливого значення набуває ефективне оперативне управління процесом генерації електроенергії.

При інтеграції генерації електроенергії з відновлюваних джерел і традиційних електростанцій у загальну енергетичну мережу виникає потреба в оперативному управлінні процесами виробництва та розподілу електроенергії. Для цього необхідно створити ефективну систему контролю, що враховує особливості роботи вітрових і сонячних електростанцій. При передачі електроенергії до мережі пріоритет слід віддавати енергії з відновлюваних джерел, одночасно забезпечуючи споживачів якісною електроенергією за мінімальних витрат на генерацію, а також безперебійне електропостачання споживачів першої категорії. Враховуючи це, слід розробити пристрій управління, який включатиме механізми контролю за генерацією і розподілом електроенергії, контролери управління, а також забезпечуватиме спільну роботу генераторів у магістральних мережах з різними рівнями напруги — низькою, середньою або високою.

4.2 Синхронна робота гідроакумуючої електростанції з вітроелектростанцією

Для забезпечення електропостачання житлових районів, розташованих у гірській і важкодоступній місцевості з високою інтенсивністю вітру, доцільно використовувати гідроакумуючу електростанцію (ГАЕС) у поєднанні з вітроагрегатом.

Принцип роботи такої системи полягає у підключенні до трифазної мережі двох електричних підсистем (див. рисунок 5.1, контури I та III), які генерують електроенергію та забезпечують її споживачам (контури II та IV на рисунку 5.1). У системі I вітроколесо (ВК) під час сильного вітру виробляє електроенергію для живлення асинхронного двигуна (АД) насосної станції (контур II на рисунку 4.1), що здійснює перекачування води і поповнення верхнього резервуара (верхній б'єф, ВБ). Таким чином накопичується необхідний об'єм води, що використовується ГАЕС для виробництва електроенергії. У періоди відсутності вітру ГАЕС працює в режимі гідроелектростанції, вирівнюючи добові коливання навантажень у споживачів.

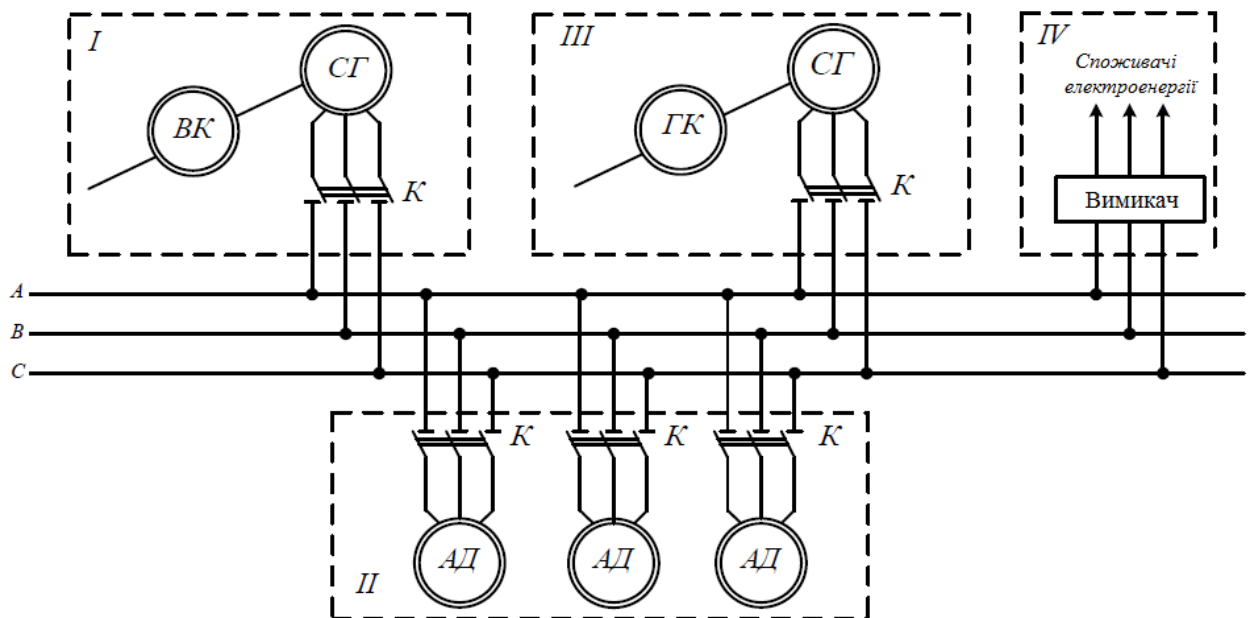


Рисунок 4.1 – Електрична схема ГАЕС з вітроагрегатом

На рисунку 4.1 виконані такі позначення: : ВК – вітроколесо; СГ – синхронний генератор; АТ – асинхронний двигун; ГК – гідроколесо; М – мотор; К – контактор; I – схема з'єднання ветроагрегата; II – схема з'єднання насосної станції; III – схема мініГЕС; IV – схема з'єднання мікроГЕС.

Перевагою такої гідроакумуючої електростанції є те, що вона майже не потребує електроенергії з загальної мережі, а у випадках дефіциту або аварійних ситуацій споживачі не залишаються без живлення. У запропонованій схемі враховані не лише акумулювання водних ресурсів, але й накопичення електроенергії за допомогою потужних акумуляторних батарей, які заряджаються у періоди підвищеної генерації вітроустановок через зростання швидкості вітру. Для реалізації такої електростанції з використанням відновлюваних джерел енергії потрібно розробити математичну та імітаційну модель, визначити параметри електричної мережі і обрати надійну систему захисту від перенапруг і коротких замикань.

4.2 Система електропостачання насосної свердловини з вітроагрегатом для водопостачання житлових масивів

Для забезпечення подачі води зі свердловин у системах водопостачання сільськогосподарських регіонів та зрошувальних систем часто використовують відцентрові свердловинні електронасосні установки типу ЕЦВ. Електроживлення насосної свердловини здійснюється через вітроагрегат потужністю 75 кВт. На рисунках 4.2 та 4.3 наведено модель та схему вітроустановки, яка забезпечує роботу насосної свердловини з асинхронним двигуном, що перекачує воду з нижнього рівня до верхнього резервуару. Вітроагрегат (позначений як 1) може бути розташований на відстані від насосної станції, залежно від швидкості вітру, тоді як сама насосна станція монтується безпосередньо в місці необхідного водопостачання для житлових районів.

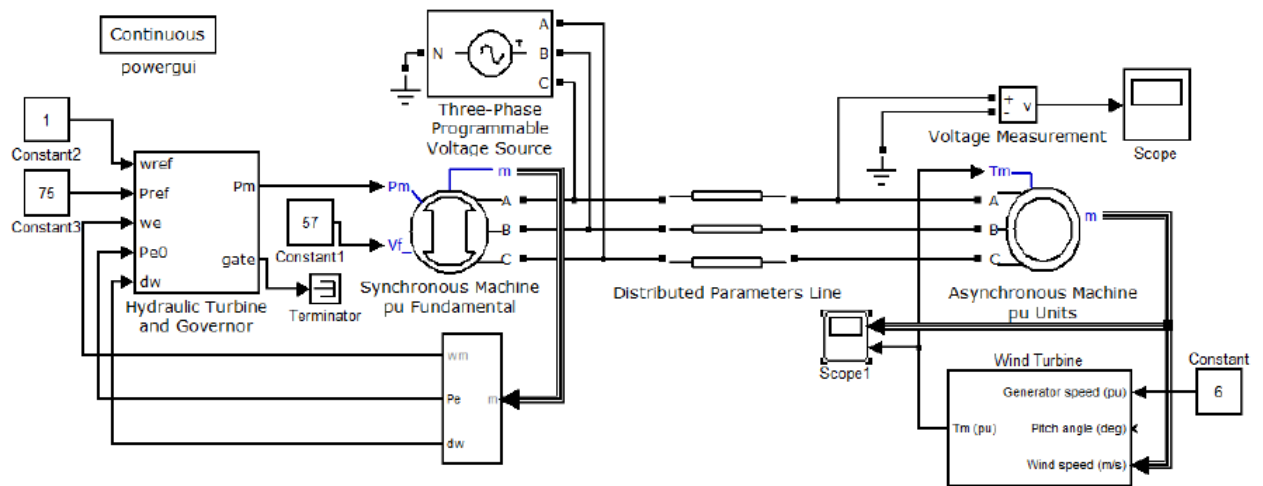


Рисунок 4.2 – Модель системи насосної установки з БЕУ
в ППП Matlab Simulink

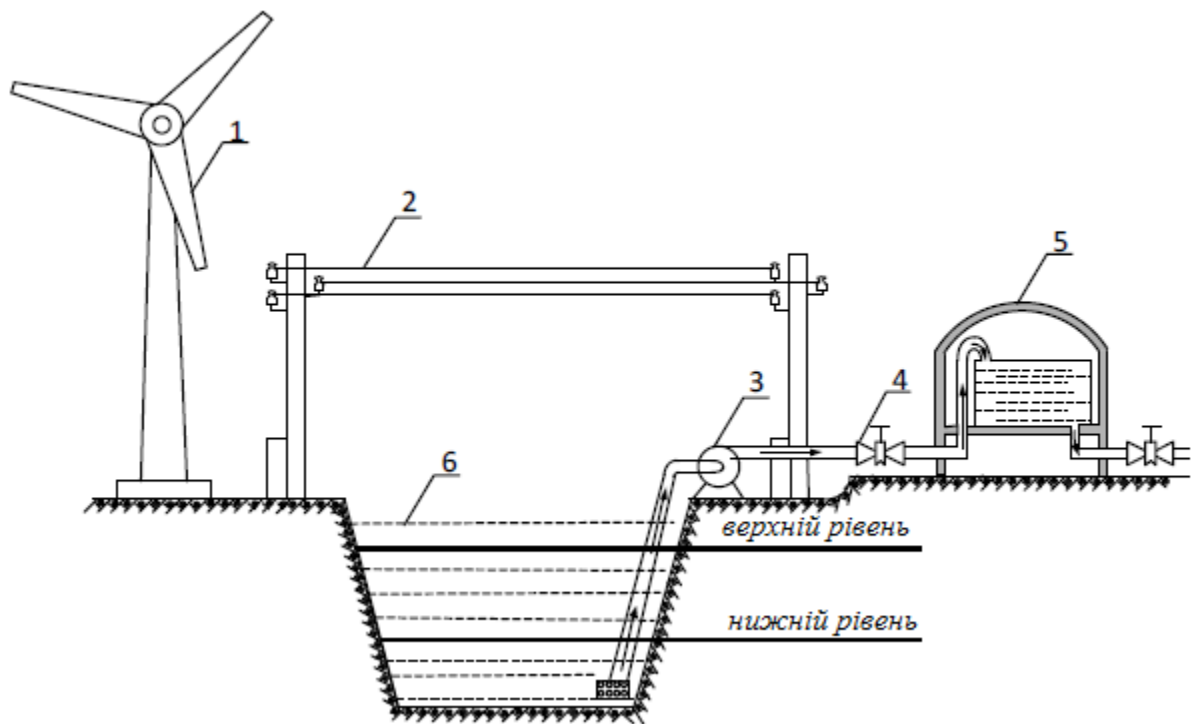


Рисунок 4.3 – Система насосної установки з БЕУ

На рисунку 4.3 виконані такі позначення: 1 – БЕУ; 2 – ПЛЕП-380 В; 3 – насос для водопостачання; 4 – засувка води; 5 – акумулююча ємність для води; 6 – водойма.

Для точної оцінки виробітку електроенергії необхідно враховувати середню потужність ВЕУ для визначення потужності двигуна НС (рисунок 5.4).

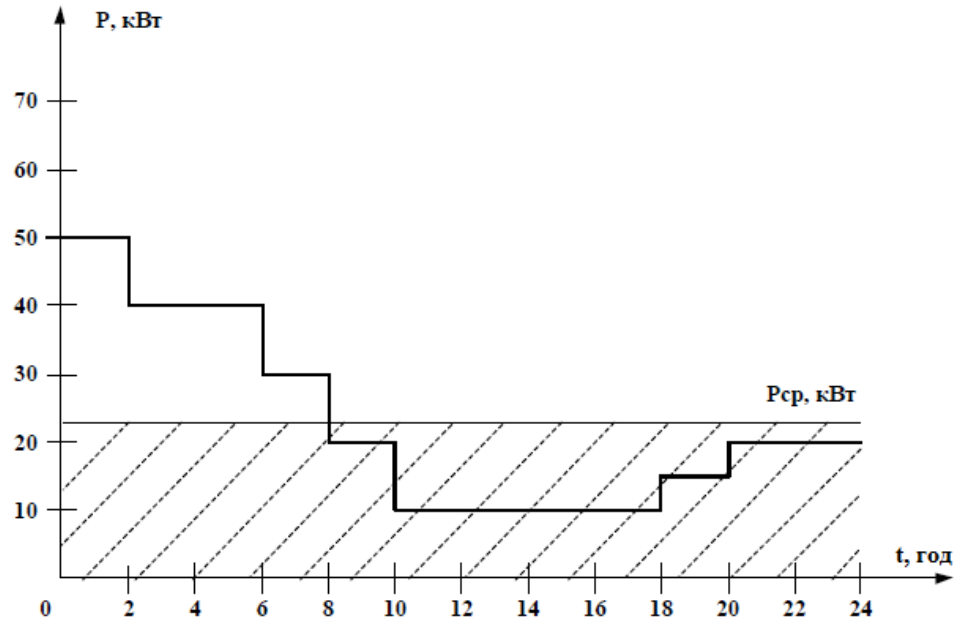


Рисунок 4.4 – Добовий графік вироблюваної потужності вітроагрегата

Насосна свердловина здатна забезпечувати водою як сільськогосподарські території, так і невеликі житлові райони. Важливим параметром будь-якого насоса є напір, тому при його розрахунку слід враховувати висоту розташування насоса і резервуара для зберігання води, а також продуктивність самого насоса.

4.3 Паралельна робота альтернативних електростанцій

Стійкість енергосистеми є однією з ключових вимог для надійного забезпечення споживачів електроенергією. Розвиток нетрадиційних відновлювальних джерел енергії, таких як вітрові електростанції (ВЕС), мікро гідроелектростанції (мГЕС) та сонячні електростанції (СЕС) у різних географічних регіонах, вимагає їхньої узгодженої та паралельної роботи. Оскільки часто ці джерела знаходяться на значній відстані один від одного, для забезпечення синхронної роботи таких установок необхідно створити

мережу з власними підстанціями, що гарантує надійне електропостачання різноманітних споживачів.

На рисунку 4.5 показано модель узгодженої роботи ВЕС, мГЕС та СЕС. В якості навантаження в цій моделі використані синхронний двигун та активне трифазне симетричне навантаження.

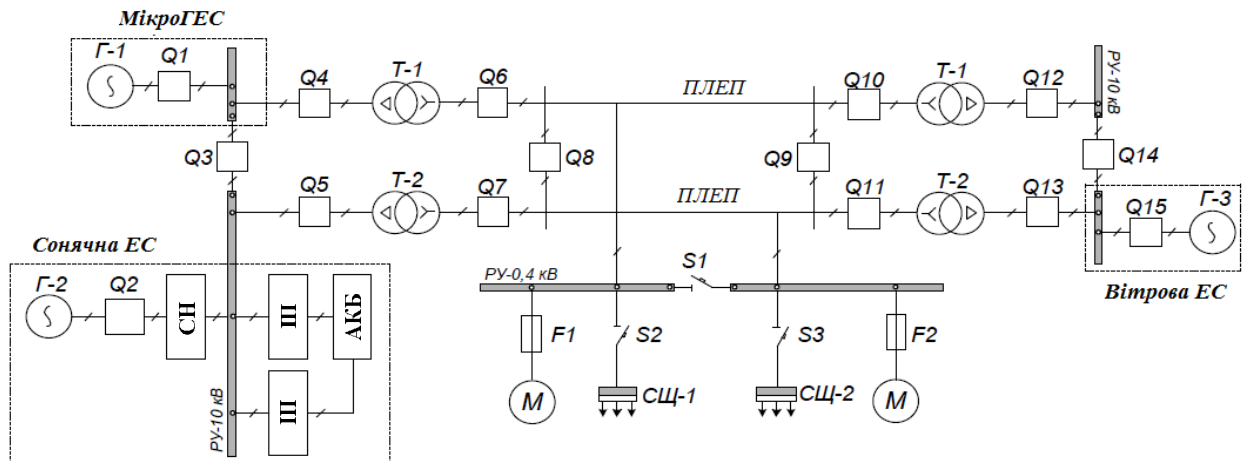


Рисунок 4.5 – Однолінійна схема синхронної роботи ВЕС, мікроГЕС та СЕС

На рисунку 4.5 виконані наступні позначення: Г – генератори електростанції; Т – трансформатори; РУ(П) – розподільчий пристрій; Q – вимикачі; F – запобіжник; S – автоматичний вимикач; М – двигун; СЩ – силовий щит; СН – стабілізатор напруги; ІП – інверторні перетворювач; АКБ – акумуляторна батарея; ПЛЕП – повітряні лінії електропередачі.

Для визначення потужності та забезпечення безперебійної роботи електроенергії в мережі необхідно розрахувати тривалість виробітку електроенергії кожною електростанцією. Аналізуючи графіки виробітку потужності альтернативних джерел енергії, можна оцінити стійкість та надійність електропостачання кінцевих споживачів.

4.4 ВЕУ для електропостачання житлового масиву

Вітроелектростанція (ВЕС) на сьогоднішній день є альтернативним джерелом живлення і служить для перетворення поновлюваних джерел енергії. Як і багато інших джерел енергії, ВЕС необхідно з'єднати в єдину ЕС для підвищення графіка навантаження.

Дані електростанції підключені до загальної мережі спільно з іншими джерелами живлення, такими як дизельні електростанції (ДЕС), гідроелектростанції (ГЕС), сонячні електростанції (СЕС), теплоелектроцентралі (ТЕЦ) та інші. До шин СШ1 під'єднані компенсаторні установки (КУ) у вигляді конденсаторів, які генерують реактивну потужність для стабілізації напруги на шинах, а також випрямлячі (ВП) з акумуляторними батареями (АБ), що акумулюють енергію у періоди низького навантаження або живлять споживачів постійного струму [30].

У цій схемі (рисунок 5.6) забезпечення синхронної та паралельної роботи вітроелектроустановок (ВЕУ) і інших джерел живлення досягається за допомогою баластних опор, які виконують функцію регулювання навантаження. Як такі опори використовуються електронагрівачі для води та електродвигуни, що споживають надлишкову енергію, вироблену вітровими агрегатами.

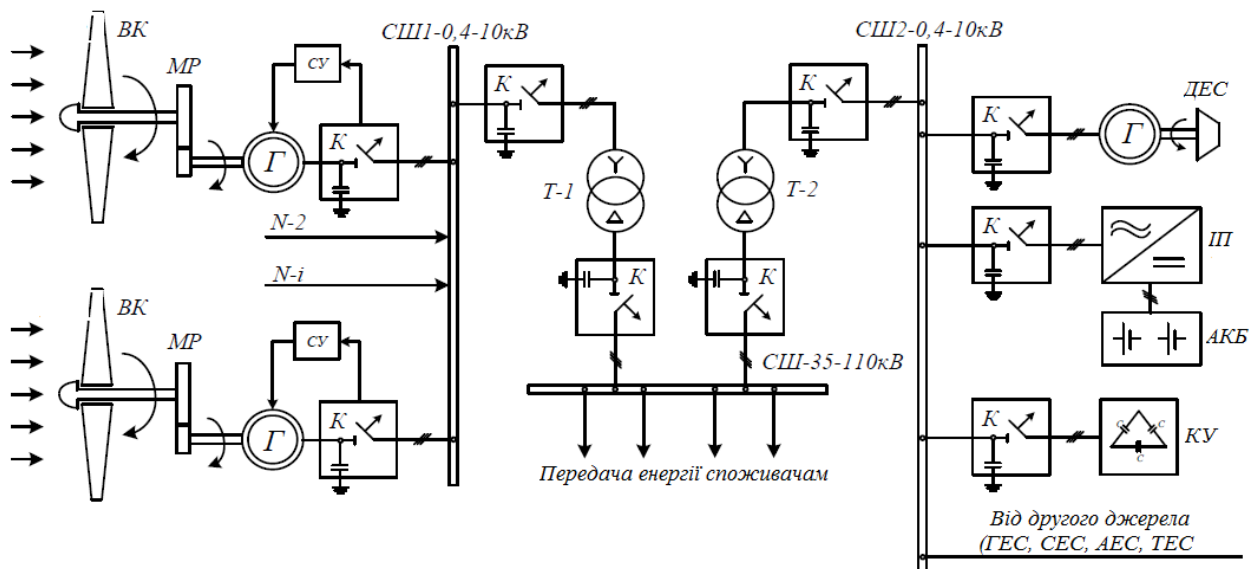


Рисунок 4.6 – Схема підключення ВЕУ в єдину мережу
з механічним редуктором

На рисунку 4.6: ВК – вітроколесо; МР – редуктор; СУ – система управління; К – комутаційний апарат, що містить пускорегулюючі апарати та релейний захист; ДЕС – дизельна електростанція, містить «N» ДЕС; ІП – інверторний перетворювач; АБ – акумуляторна батарея; КУ – компенсуючий пристрій.

Суттєвим недоліком подібних схем є відсутність ефективних регуляторів напруги та частоти струму, що призводить до незадоволення вимог споживачів, які чутливі до коливань цих параметрів.

Для забезпечення синхронної роботи кількох електростанцій необхідно, щоб джерела живлення працювали паралельно, а також була забезпечена стабільність ключових електричних параметрів — таких як допустиме відхилення частоти мережі в межах 0,1–0,2 Гц, баланс фаз і синусоїдальна форма напруги.

Інтеграція вітроелектроустановок у єдину мережу можлива завдяки особливостям конструкції та властивостям перехідних процесів магнітного редуктора (МР).

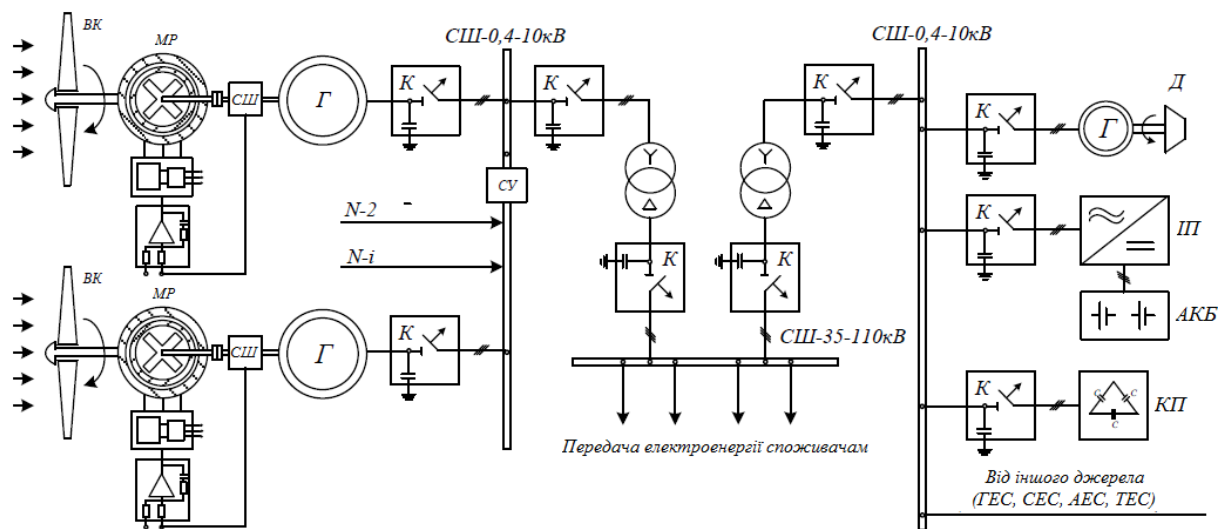


Рисунок 4.7 – Схема підключення ВЕУ в єдину мережу з магнітним редуктором

Враховуючи схеми синхронізації вітроелектроустановок (див. рисунок 4.7) з різноманітними джерелами енергії, для забезпечення електропостачання житлових районів оптимальним є використання ВЕУ з магнітним редуктором (МР). Це пояснюється тим, що завдяки МР на вихідному валу підтримується стабільна швидкість обертання, незалежно від коливань швидкості вітру. Така особливість дозволяє генерувати електроенергію, що відповідає вимогам щодо якості живлення та синхронізації з єдиною енергетичною мережею.

На рисунку 4.7: ВК – вітроколесо містить «N» ВЕУ; МР М магнітний редуктор; ПЧ М перетворювач частоти; СС – сенсор швидкості; К – комутаційний апарат, що містить пуско-регулюючий апарат та релейний захист; ДЕС – дизельна електростанція, містить «N» ДЕС; ІП – інверторний перетворювач; АКБ – акумуляторна батарея; КУ – компенсуючий пристрій.

На рисунку 4.8 приведена модель синхронної роботи ВЕУ з МР, мікроГЕС та ДЕС в єдиній мережі.

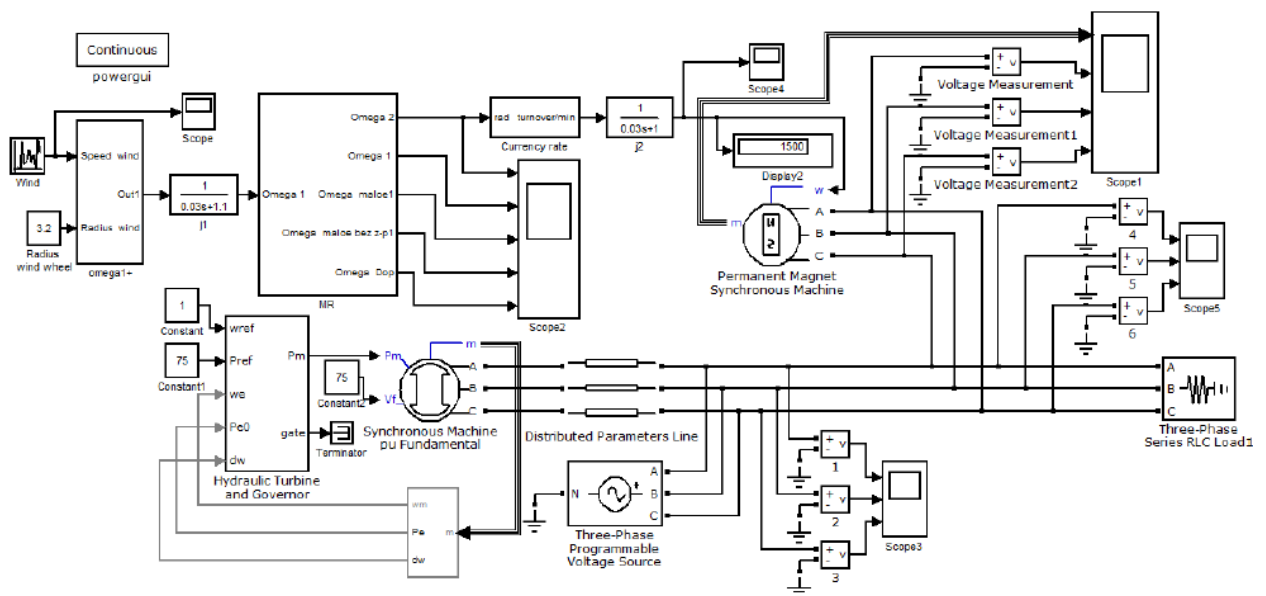


Рисунок 4.8 – Модель синхронної роботи ВЕУ з МР, СЕС та ГЕС
спільно з єдиною мережею

Осцилограма моделі синхронної роботи приведена на рисунку 4.9.

Аналіз осцилограми (рисунок 4.9) синхронної роботи вітроелектроустановки з магнітним редуктором (ВЕУ з МР) спільно з гідроелектростанцією та єдиною мережею показує, що форма та частота напруги на вихідних клеммах вітрогенератора відповідають усім встановленим стандартам якості електроенергії. Це підтверджує можливість паралельного підключення ВЕУ з МР до різних електростанцій, що працюють у складі єдиної енергетичної системи.

Зважаючи на змінність швидкості вітру та рівня сонячної радіації, на рисунку 4.10 наведено графік виробітку потужності різних джерел живлення, включно з ВЕУ з МР, підключених до загальної мережі.

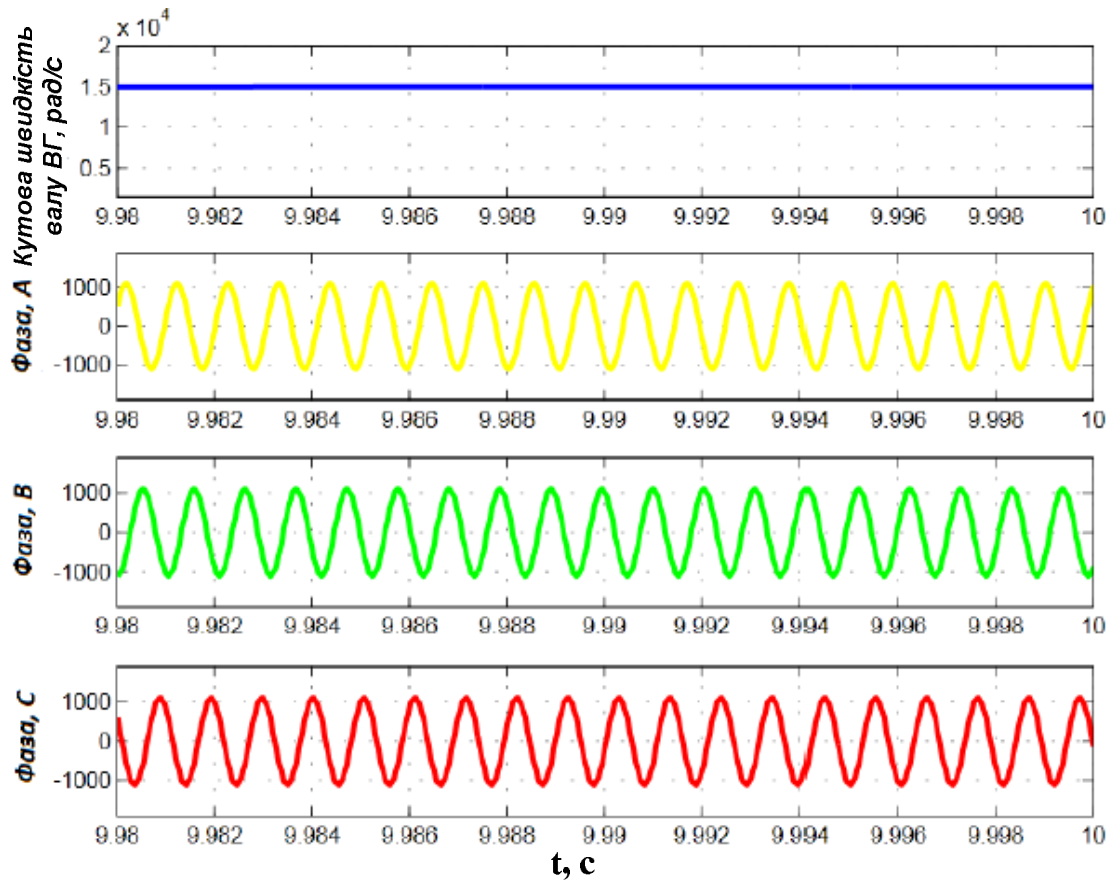


Рисунок 4.9 – Осцилограма синхронної роботи ВЕС з МР, СЕС та ГЕС спільно з єдиною мережею

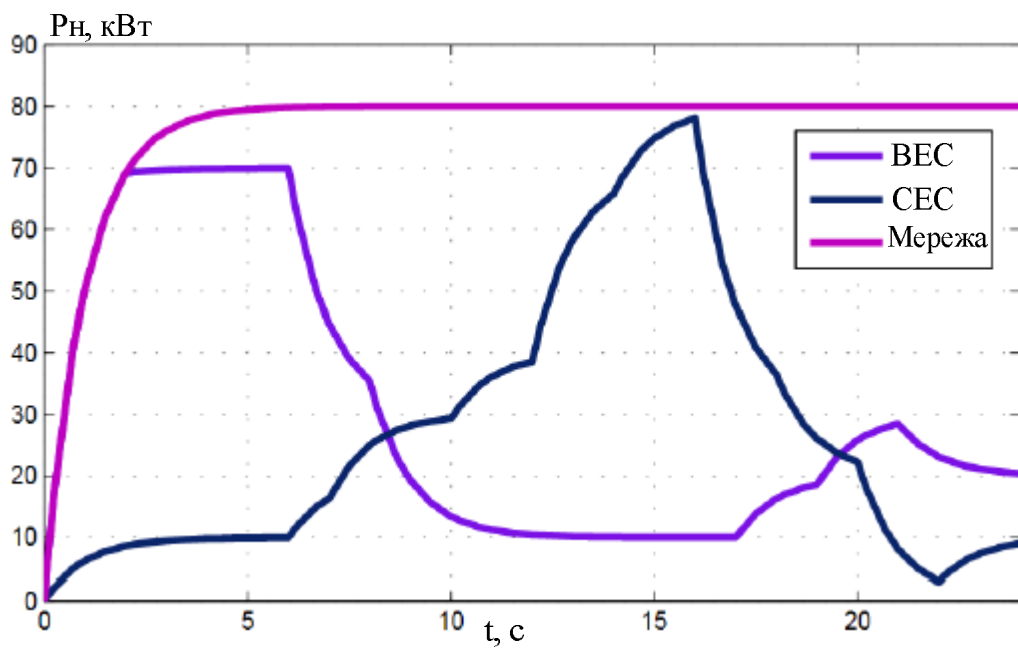


Рисунок 4.10 – Графік виробітку потужності різних джерел живлення

5 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ГЕНЕРАЦІЄЮ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

5.1 Розробка автоматичної системи комутації генеруючих установок в загальну мережу

Електрогенеруючий комплекс на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) має складатися зі взаємопов'язаних електрогенеруючих установок ВДЕ, таких як вітрові, сонячні та мікро (міні)-гідроелектростанції, які працюють паралельно з традиційними електростанціями — тепловими (ТЕС), атомними (АЕС) і великими гідроелектростанціями (ГЕС). Крім того, до складу комплексу можуть входити системи накопичення електроенергії, зокрема гідроакумулюючі, теплоакумулювальні та акумулюючі станції.

Енергоефективність такого комплексу визначається комплексом показників, які впливають на його функціональність, надійність, термін служби, загальну вартість системи, собівартість виробництва електроенергії, період окупності, екологічну безпеку, а також на зменшення різних ризиків і врахування інших важливих критеріїв.

Процес проектування електрогенеруючого комплексу з використанням як традиційних, так і відновлювальних джерел полягає у визначенні оптимальних електричних параметрів, при яких досягаються максимальні значення ефективності роботи комплексу. При цьому необхідно дотримуватися балансу потужностей та враховувати ряд обмежень, включаючи площу, конструктивні характеристики і їх допустимі межі. Розв'язання такої задачі оптимізації зазвичай здійснюється за допомогою чисельних методів і моделювання.

Регулювання потужності в енергосистемі здійснюється шляхом регулювання балансу потужності. Генерація та споживання енергії на

змінному струмі повинні забезпечуватися в кожен момент часу і записуються у вигляді рівності:

$$P_{\Gamma} = \sum P_{\text{НАВ.}} + \sum P_{\text{ВП}} + \sum P_{\text{ВТР.}} = \sum P_{\text{СП.}}, \quad (5.1)$$

$$Q_{\Gamma} = \sum Q_{\text{НАВ.}} + \sum Q_{\text{ВП}} + \sum Q_{\text{ВТР.}} = \sum Q_{\text{СП.}}, \quad (5.2)$$

$$P_{\text{СП}} = f(U, I, \cos\varphi); Q_{\text{СП}} = f(U, I, \sin\varphi), \quad (5.3)$$

де $\sum P_{\text{НАВ.}}$, $\sum Q_{\text{НАВ.}}$ – суми активних та реактивних потужностей навантаження, кВт, квар;

$\sum P_{\text{ВП.}}$, $\sum Q_{\text{ВП}}$ – суми активних та реактивних потужностей власних потреб, кВт, квар;

$\sum P_{\text{ВТР.}}$, $\sum Q_{\text{ВТР.}}$ – суми активних та реактивних потужностей втрат, кВт, квар;

$\sum P_{\text{СП.}}$, $\sum Q_{\text{СП.}}$ – суми активних та реактивних потужностей споживача, кВт, квар.

Генерація електричної енергії з енергоагрегатив відновлюваної енергетики ВЕС та СЕС в загальну мережу енергосистеми дуже широко використовується в багатьох країнах.

На рисунку 5.1 приведена блок-схема генеруючих станцій – ВЕС, СЕС, ТЕС і мікроконтролер – МК.

Розроблено систему автоматизованого управління генерацією електроенергії від вітрових (ВЕС), сонячних (СЕС) та теплових електростанцій (ТЕС), що забезпечує безперебійне електропостачання споживачів та автоматичну комутацію відновлювальних джерел енергії при їх спільній роботі в єдиній низьковольтній електричній мережі з пріоритетним використанням відновлюваної енергії.

Для ефективного оперативного управління генерацією необхідно отримувати в режимі реального часу основні електроенергетичні параметри працюючих станцій — напругу, струм, частоту, активну та реактивну потужність, а також параметри енергетичної мережі.

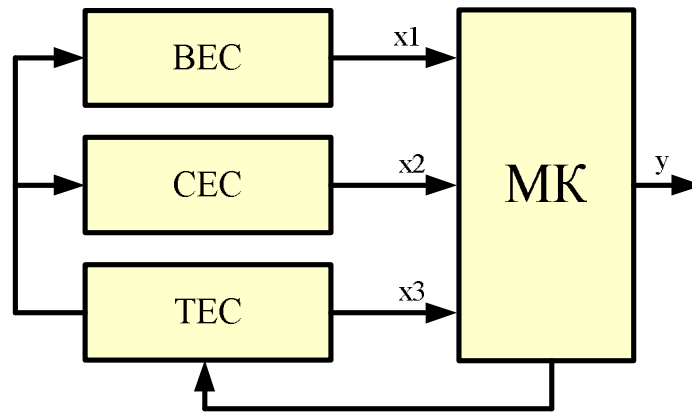


Рисунок 5.1 – Блок-схема генеруючих станцій BEC, CEC, TEC/ГЕС та комутуючого пристрою МК

Комутуючий пристрій виконаний на базі мікроконтролера (мікропроцесора) і відповідає за координацію роботи теплових електростанцій (ТЕС). При низькому навантаженні споживачів або максимальній генерації від вітрових (BEC) та сонячних електростанцій (CEC) комутуючий пристрій подає керуючий сигнал, який знижує потужність генерації ТЕС. Це забезпечує ефективну економію палива та зменшує викиди шкідливих речовин в атмосферу. Одночасно ТЕС підтримують стабільну частоту електричного струму на рівні 50 Гц, регулюючи частоту і напругу у роботі BEC та CEC.

На рисунку 5.2 наведена функціональна схема оперативного комутуючого пристрою, що управляє генерацією на BEC, CEC та TEC для забезпечення електропостачання підприємств району або міста, а також для передачі електроенергії до загальної енергетичної мережі.

Автоматичний комутуючий пристрій генерації електричної енергії включає такі блоки:

- 1,3 – вимірювання та перетворення струму і напруги BEC;
- 4,6 – вимірювання та перетворення струму і напруги CEC;
- 7,9 – вимірювання та перетворення струму і напруги TEC;
- 2,5,8 – контроль частоти BEC, CEC, TEC;
- 10 – мікроконтролер для автоматичної комутації;
- 11 – рідінокристалічний індикатор;

навантажень підприємств або передачі електроенергії у загальну енергетичну мережу.

На кожній з електростанцій — вітровій, сонячній та тепловій — вимірювання напруги і струму здійснюється за допомогою трансформаторів напруги (ТН) та трансформаторів струму (ТС). Виміряні сигнали подаються до блоків перетворення, які переводять аналогові сигнали у цифрову форму. Ці цифрові дані надходять на вхід мікроконтролера, що виконує аналіз і керує силовою комутаційною апаратурою для розподілу генерованої потужності між навантаженнями споживачів або для передачі електроенергії у загальну мережу через центральну підстанцію.

Принципова схема управління комутацією генеруючих станцій (рисунок 5.3) включає вимірювальні і перетворюючі блоки для кожної станції.

Вторинна обмотка трансформатора струму зашунтована опором і підключена до інвертуючого входу підсилювача. Вихід підсилювача через діод з'єднаний із входом компаратора. Вихід компаратора підключений до одного з входів мікроконтролера.

Напруга, після випрямлення мостовим випрямлячем та згладжування фільтром, подається на інший вхід мікроконтролера. За аналогічною схемою відбувається вимірювання напруги та струму на інших електростанціях із передачею сигналів, перетворенням та узгодженням вихідних опорів вимірювальних і перетворювальних блоків із вхідними опорами мікроконтролера.

Мікроконтролер обробляє отримані сигнали і, згідно з заданою програмою, видає команди управління перемикачами та контакторами. Це забезпечує комутацію для підключення відповідної електростанції до конкретного навантаження — житлового району, підприємств або, за командою, підключення генерації електроенергії до загальної мережі енергосистеми.

Контрольовані параметри — напруга, струм, потужність, частота — а також статус передачі електроенергії відображаються на рідиннокристалічному дисплеї, підключеному до мікроконтролера.

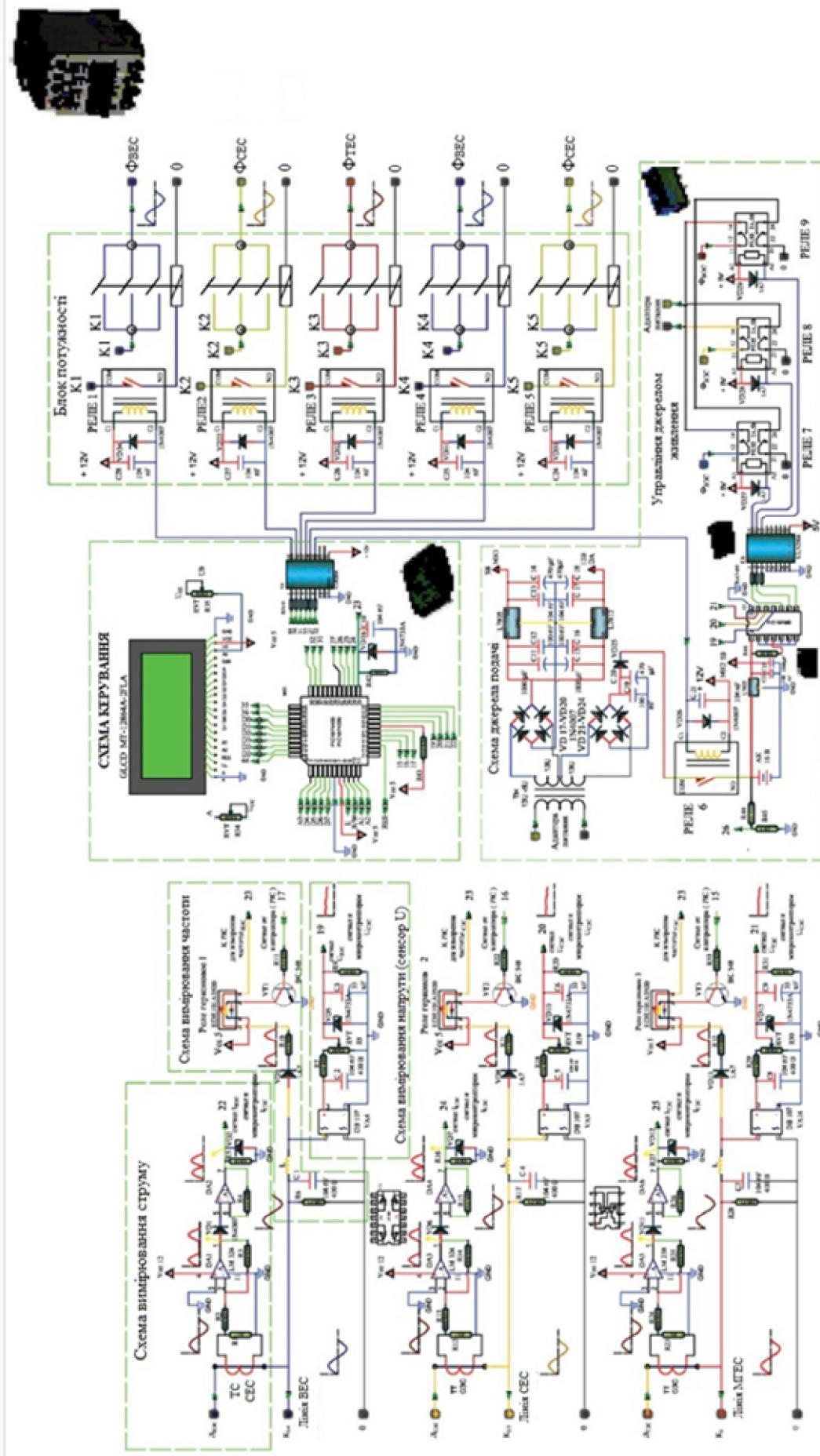


Рисунок 5.3 – Принципова схема управління комутацією генеруючих станцій

Якщо напруги та струми від вітроелектростанції (ВЕС) відповідають номінальним значенням, блок управління мікроконтролера забезпечує живлення житлового району через контактор 1 (див. рисунок 5.3). При зниженні напруги та струму ВЕС контактор 1 відключається, а контактор 3 підключається для живлення житлового району від загальної енергомережі.

Аналогічний алгоритм застосовується для сонячної електростанції (СЕС). Якщо потужність ВЕС та СЕС достатньо висока, електроенергія через контактори 4 та 5 передається до загальної мережі центральної підстанції.

У разі низьких значень напруги або струму, або відключення генерації, блок управління проводить перевірку обох ліній живлення (ВЕС та СЕС) і визначає, яка з них має більшу потужність для подальшого забезпечення електропостачання житлового району.

У разі споживання більшої кількості електроенергії від ВЕС або СЕС в житловому районі, блок управління подає сигнали на відключення контакторів 1 і 2 для захисту електричних ліній і трансформаторів ВЕС та СЕС.

Комутуючі пристрій (рисунок 4.3) складається з наступних елементів:

- мікроконтролер, виконаний на PIC 18F4550 (рисунок 5.4);
- активний двохнапівперіодний випрямляч, виконаний на елементі T1078/T1079;
- подільник напруги, діодний міст;
- складові транзистори, які здійснюють підключення, виконані на елементі ULN2803/ULN2804.

Мікроконтролер PIC18F4550 є ключовим компонентом системи управління. Виводи живлення VDD та VSS підключені відповідно до стабілізованого джерела +5 В та загального проводу (GND), що забезпечує необхідне живлення для коректної роботи мікроконтролера.

Рідинокристалічний графічний дисплей GLCD128×64 підключається до порту PORTD мікроконтролера, який використовується для передачі даних у 14-бітному режимі зв'язку. Для регулювання контрастності дисплея

5.2 Алгоритм керування генерацією електричної енергії від різних джерел альтернативної енергії

Алгоритм і програмне забезпечення для керування виробництвом електроенергії від вітрових, сонячних та теплових електростанцій у загальну мережу подані у вигляді блок-схеми та розгалуженої структури подій. Блок-схема управління генерацією для мікроконтролера наведена на рисунку 5.5, а алгоритм роботи пристрою для керування комутацією на рисунку 5.6.

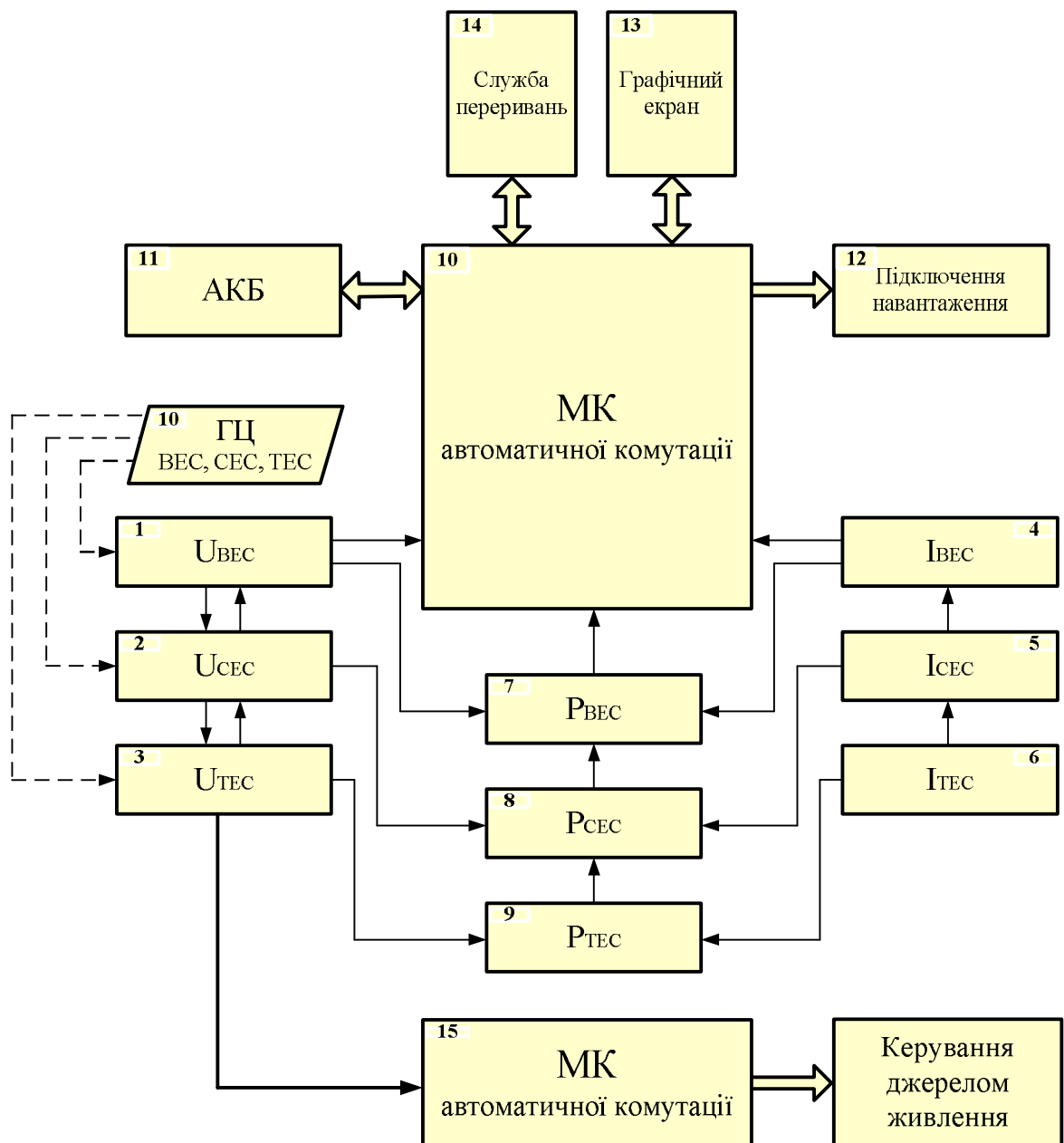


Рисунок 5.5 – Блок-схема алгоритму для мікроконтролера

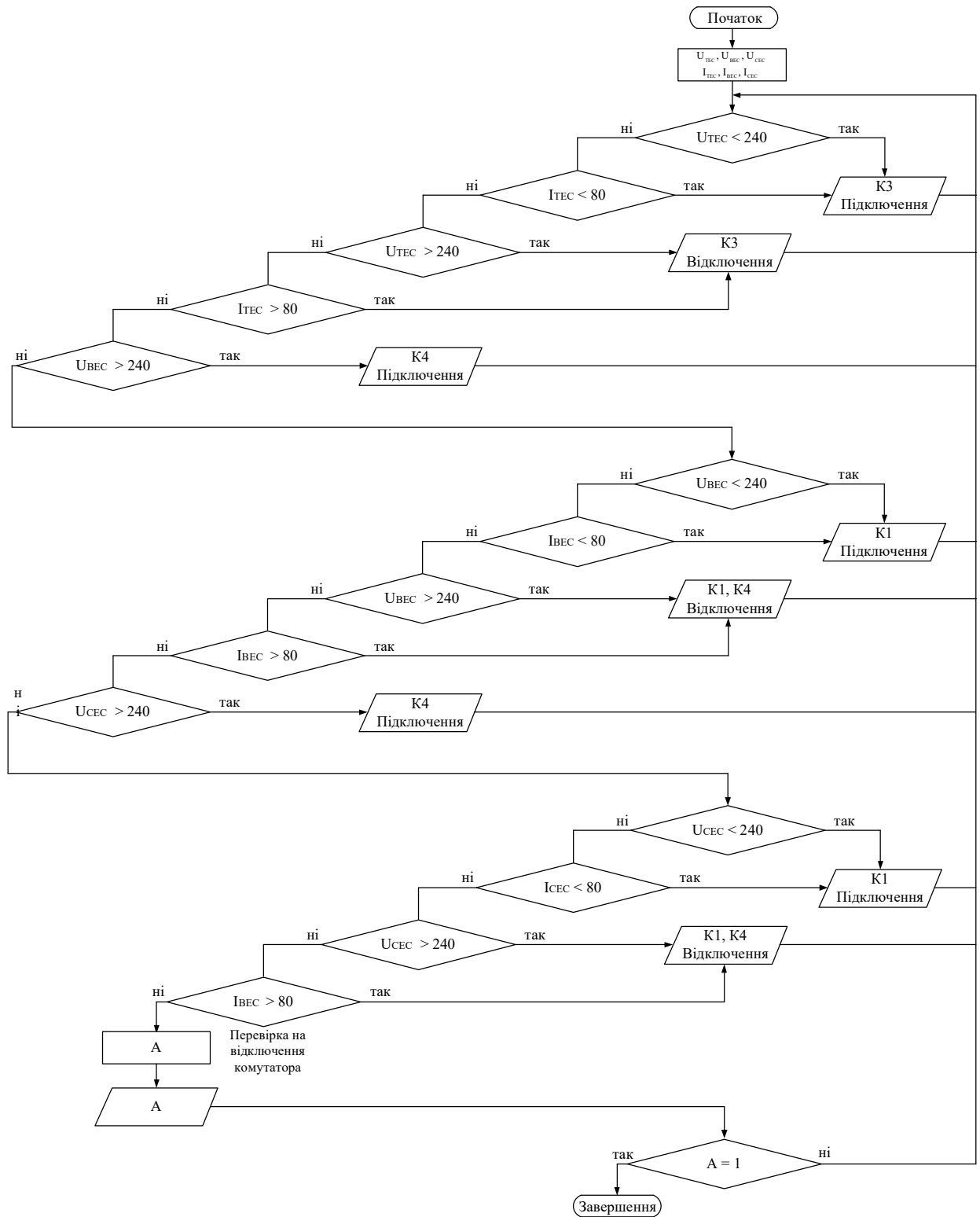


Рисунок 5.6 – Алгоритм роботи пристрою управління комутацією

Блок МК1 – це мікроконтролер, який здійснює аналіз і обробку всіх алгоритмів і команд, а отримані результати передає блоку 13 для виводу інформації на графічний дисплей. На екрані відображаються ключові енергетичні параметри: напруга, струм, потужність і частота для кожної лінії електропостачання.

Блоки 1, 2, 3 являють собою вимірювальні пристрої, що фіксують напругу на трьох лініях електропередачі: лінії ВЕС (Івес), лінії СЕС (Ісес) та лінії ТЕС (Ітес).

Під час вимірювання електричної напруги алгоритм порівнює напруги на лініях Івес і Ісес, після чого обирає значення, яке відповідає номінальній напрузі мережі. Отримані показники передаються до мікроконтролера (МК) для обробки. Далі формований сигнал надходить на блок 12, який керує підключенням або відключенням контакторів до навантаження. Таким чином здійснюється передача електроенергії від тієї генеруючої станції (ВЕС, СЕС, ТЕС), напруга і струм якої узгоджені із параметрами загальної мережі. Можливі комбінації передачі потужності — від ВЕС, СЕС та ТЕС одночасно, або від ВЕС і ТЕС, або від СЕС і ТЕС, або від ВЕС і СЕС.

Блоки 4, 5 і 6 відповідають за вимірювання та контроль струмів ВЕС, СЕС і ТЕС, а також виконують захисні функції для ліній Івес, Ісес і Ітес у разі перевищення допустимого електроспоживання. Отримані дані передаються до мікроконтролера (МК), який у разі необхідності подає команду на відключення відповідної лінії електропередачі або виводить інформацію про енергетичні параметри роботи станцій на екран блоку 13.

Блоки 7, 8 і 9 призначені для контролю та вимірювання потужності ВЕС, СЕС і ТЕС відповідно. Блок 7 (Рвес) отримує інформацію з блоків 1 і 4, блок 8 (Рсес) — з блоків 2 і 5, а блок 9 (Ртес) — з блоків 3 і 6. Мікроконтролер подає команду на підключення потужностей відповідних електростанцій (ВЕС — блок 7, СЕС — блок 8, ТЕС — блок 9) до навантаження (блок 12), якщо напруги $U_{вес}$, $U_{сес}$ і $U_{тес}$ відповідають номінальному значенню мережі.

Потім сигнал, що відповідає виміряній величині, передається до мікроконтролера для обробки і відображається на дисплеї (блок 13).

Блок 10 призначений для вимірювання частоти кожної з трьох електродів.

Блок 11 відповідає за автоматичне заряджання та відключення акумуляторної батареї.

Блок 12 здійснює керування навантаженням на основі оброблених у мікроконтролері даних, отриманих із трьох ліній.

Блок 14 — це захисний блок переривань. Він отримує сигнали від програмного забезпечення, які інформують мікроконтролер про появу важливої події, що потребує негайної реакції. У разі надходження такого сигналу мікроконтролер перериває поточне виконання програми, зберігає свій стан і переходить до обробки переривання, виконуючи необхідні дії для реагування на подію. Після завершення обробки управління повертається до виконання основного коду.

Блок 15 відповідає за автоматичне управління джерелом живлення. Він формує автоматичний код напруги через мікроконтролер, контролює показники напруги з блоків 1, 2 і 3, а також забезпечує електроживлення для всіх блоків системи та керуючого комутуючого пристрою.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

В цьому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи розглянуті питання з охорони праці, що були враховані під час розробки автоматизованої системи електропостачання на базі електроустановок з відновлюваними джерелами енергії

На оперативний персонал електроустановок з відновлювальними джерелами електропостачання, який здійснює управління їх режимами за допомогою персональних комп'ютерів, впливають такі шкідливі та небезпечні виробничі фактори.

Фізичні:

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена рухомість повітря;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може виникнути через тіло людини;
- нестача природного освітлення;
- недостатня освітленість робочої зони.

Психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів, монотонність праці, емоційне перевантаження).

6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання

6.1.1 Вимоги електробезпеки до приміщень з комп'ютерами

Площа, виділена для одного робочого місця повинна складати не менше 6 кв. м, а об'єм – не менше 20 куб м.

Під час проектування систем електропостачання, монтажу силового електрообладнання та електричного освітлення будівель та приміщень з комп'ютерами необхідно дотримуватись вимог ПВЕ, ПТЕ, ПБЕ ЕЕС, ССБТ «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление», ГОСТ 12.1.019 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования к номенклатуре видов защиты», Правил пожежної безпеки в Україні, а також розділів ДБН, що стосуються штучного освітлення та електротехнічних пристроїв, та вимог нормативно-технічної і експлуатаційної документації заводів виробників комп'ютерів. Комп'ютери та устаткування для обслуговування, ремонту та їх налагодження, інше устаткування (апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади, світильники, тощо) електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту мають відповідати класу зони за ПВЕ, мати апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів.

Під час монтажу та експлуатації необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, перейти на негорючу ізоляцію. Під час ремонту ліній електромережі шляхом зварювання, паяння та з використанням відкритого вогню необхідно дотримуватися Правил пожежної безпеки в Україні. Лінія електромережі для живлення комп'ютерів, їх периферійних пристроїв та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження виконується як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів. Використання нульового робочого провідника як нульового захисного провідника забороняється.

Нульовий захисний провід прокладається від стійки групового розподільчого щита, розподільчого пункту до розеток живлення. Не

допускається підключення на щиті до одного контактного затискача нульового робочого та нульового захисного провідників. Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі повинна бути не менше площі перерізу фазового провідника. Усі провідники повинні відповідати номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту, вимогам ПВЕ. У приміщенні, де одночасно експлуатується або обслуговується більше п'яти персональних комп'ютерів, на помітному та доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, який може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення.

Комп'ютери та устаткування для їх обслуговування, ремонту та налагодження повинні підключатися до електромережі тільки з допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Конструкція їх має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним. Необхідно унеможливити з'єднання контактів фазових провідників з контактами нульового захисного провідника.

Неприпустимим є підключення комп'ютерів та їх устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв. Електромережі штепсельних з'єднань та електророзеток для живлення комп'ютерів та устаткування для їх обслуговування, ремонту та налагодження слід виконувати за магістральною схемою, по 3 - 6 з'єднань або електророзеток в одному колі. Штепсельні з'єднання та електророзетки для напруги 12 В та 36

В за своєю конструкцією повинні відрізнятися від штепсельних з'єднань для напруги 127В та 220В. Штепсельні з'єднання та електророзетки, розраховані на напругу 12 В та 36 В, мають бути пофарбовані в колір, який візуально значно відрізняється від кольору штепсельних з'єднань, розрахованих на напругу 127 В та 220 В.

Індивідуальні та групові штепсельні з'єднання та електророзетки необхідно монтувати на негорючих або важкогорючих пластинах з урахуванням вимог ПВЕ та Правил пожежної безпеки в Україні. Електромережу штепсельних розеток для живлення комп'ютерів та їх устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження при розташуванні їх уздовж стін приміщення прокладають по підлозі поряд зі стінами приміщення, як правило, в металевих трубах і гнучких металевих рукавах з відводами відповідно до затвердженого плану розміщення обладнання та технічних характеристик обладнання. При розташуванні в приміщенні за його периметром до 5 комп'ютерів, використанні трипровідникового захищеного проводу або кабелю в оболонці з негорючого або важкогорючого матеріалу дозволяється прокладання їх без металевих труб та гнучких металевих рукавів.

Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів". Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції. Тимчасова електропроводка від переносних приладів до джерел живлення виконується найкоротшим шляхом без заплутування проводів у конструкціях машин, приладів та меблях. Доточувати проводи можна тільки шляхом паяння з наступним старанним ізолюванням місць з'єднання.

Є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;

- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам до переносних електропроводок;
- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;
- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання.
- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);
- використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

6.1.2 Вимоги до організації робочого місця оперативного персоналу

Живлення силового обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В), з'єднаної з силовим трансформатором, який діагностується. Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах струмопровідної підлоги.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам: для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмовідними елементами електроустаткування, необхідно: розміщувати неізольовані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

- при живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі. Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

- електрозахисні засоби захисту. Електротехнічний персонал повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Забороняється користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

При роботі, яка зв'язана з доторканням до струмоведучих частин, необхідно вимкнути його і повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ".

Розшиновку або від'єднання кабеля при підготовці робочого місця може виконати ремонтний робітник, який має третю групу. Під наглядом чергового або оперативно-ремонтного робітника. З найближчих до робочого міста струмоведучих частин до наступних доторканню повинна бути знята напруга або вони повинні бути огорожені.

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами. В електроустановках до 1000 В при роботах на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин повинна бути знята та шини (за винятком шин, які виконані ізольованим проводом) повинні бути заземлені.

6.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат приміщення - це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні.

Параметри мікроклімату характеризуються такими показниками: температурою повітря і відносною вологістю повітря, швидкістю його переміщення, потужністю теплових випромінювань. При цьому слід розрізняти оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови.

Допустимі мікрокліматичні умови - поєднання кількісних показників мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливові на людину можуть викликати скороминучі зміни, що швидко нормалізують тепловий стан організму, і які супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції, не виходячи за межі фізіологічних пристосувальних можливостей. При цьому виникає пошкодження або порушення стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності.

Допустимі величини показників мікроклімату встановлюють тоді, коли за технологічними умовами, технічними і економічними причинами не забезпечуються оптимальні норми.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Робота оператора силової установки відноситься до легкої фізичної роботи категорія Ia, бо людина-оператор практично весь свій робочий день проводить сидячи. Параметри мікроклімату в кабіні крану наведено в таблиці.

Таблиця 6.1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Ia	22-28	55 при 28°C	0,1-0,2
Холодний	Ia	21-25	75 при 25°C	Не більше 0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оператора крану передбачається:

- в холодну пору року - використання калорифера;
- в літню пору - застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву, провітрювання кабіни.

6.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 9.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі ' робочої зони в кабіні оператора установки

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Вуглецю оксид (CO)	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

Провітрювання приміщень;

Цілісність конструкції кабінки та вікон для перешкодження попадання пилу в приміщення кабінки під час роботи установки;

Встановлення пиловловлюючих засобів.

6.2.3 Виробниче освітлення

Рациональне освітлення – один з основних факторів створення сприятливих робочих умов праці. Недостатнє освітлення викликає передчасне стомлення працюючих, знижує продуктивність праці, може стати причиною нещасного випадку.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормують мінімальну освітленість на найбільш темній ділянці робочої поверхні. Рівень аварійного освітлення складає 15% освітленості основної роботи. Приміщення забезпечене природним освітленням в денний проміжок часу, але вечері постає проблема в штучному освітленні.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормуємо освітлення на робочому місці працівника.

Характеристика зорових робіт - середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Норми при штучному, природньому та суміщеному освітленні наведено в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

Для забезпечення нормативних значень освітлення передбачено:

- використання додаткового штучного освітлення, а саме світлодіодних ламп;
- необхідна кількість природного світла (великі вікна);
- для підтримки постійної освітленості повинно бути організовано систематичне, не рідше двох разів на місяць, очищення арматури світильників і ламп від пилу та бруду, а в приміщеннях із значним виділенням пилу, диму та кіптяви - не рідше чотирьох разів на місяць згідно з графіком.

6.2.4 Виробничий шум

Рівень звуку вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 20 \cdot \lg \left(\frac{P}{P_0} \right) = 20 \cdot \lg \left(\frac{U}{U_0} \right),$$

де L – рівень шуму, дБ;

P – звуковий тиск, Па;

U_0 – коливальна швидкість, $5 \cdot 10^{-8}$ м/с;

P_0 – нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки».

Таблиця 6.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

6.2.5 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

Фізичні навантаження.

Робоча поза: Вільна зручна поза, можливість зміни пози (сидячи, стоячи) за бажанням працівника. Знаходження в позі стоячи до 40% часу зміни.

Сумарна маса вантажів, що переміщуються протягом кожної години зміни: з робочої поверхні (чоловіки): до 250

Нахили корпуса (вимушені, більше 30), кількість за зміну: до 50

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни), км

По горизонталі: до 4

Інтелектуальні навантаження: Відсутня необхідність прийняття рішення

Зміст роботи: Сприймання сигналів, але без потреби в корекції дій, Обробка та виконання завдання, Робота за індивідуальним планом

Сенсорні навантаження:

Тривалість зосередженого спостереження (в % від часу зміни) до 25

Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за годину роботи до 75

Кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження до 5

Навантаження на зоровий аналізатор (Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) до 2

Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) Розбірливість слів та сигналів від 100% до 90%

Навантаження на голосовий апарат (сумарна кількість годин, що наговорюються протягом тижня) до 16

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки – Несе відповідальність за виконання окремих елементів завдання. Вимагає додаткових зусиль в роботі з боку працівника

Ступінь ризику для власного життя – Виключений

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – Виключений

Монотонність навантажень:

Кількість елементів (прийомів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово більше 10

Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються (сек.) більше 100

Монотонність виробничої обстановки (час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни) менше 75

Режим праці

Фактична тривалість робочого дня (год.) 6–7

Змінність роботи Однозмінна робота (без нічної зміни)

Наявність регламентованих перерв та їх тривалість Перерви регламентовані, достатньої тривалості 7% і більше часу зміни.**Висновки:** Проведено огляд та планування заходів щодо безпечної експлуатації об'єкта дослідження із врахуванням режимів його функціонування.

ВИСНОВКИ

Результати виконаної роботи показали, що оптимізація системи електропостачання на базі електроустановок з відновлюваними джерелами енергії є актуальним завданням щодо вирішення проблеми підвищення продуктивності та зниження витрат на генерування енергії.

В результаті виконання роботи було отримано такі загальні результати:

- проаналізовано властивості наявних систем автономного електропостачання, що базуються на відновлюваних джерелах енергії; визначено ключові умови для оптимізації електроустановок із ВДЕ та їх впровадження в автономні електропостачальні системи.

- розроблено конфігурацію комбінованої фото-вітро-гідроелектричної системи з резервним дизельним електростанцією (ДЕС). У запропонованій автономній електротехнічній комплексі (ЕТК) основними джерелами живлення є вітроелектроустановки (ВЕУ), міні-ГЕС (МГЕС), сонячні фотоелектричні системи (СФЕС) та допоміжні акумуляторні батареї (АКБ). Кількість ВЕУ, СФЕС, а також потужність МГЕС і ДЕС визначається на основі необхідного рівня надійності електропостачання з урахуванням номінальної потужності кожної установки та станції.

- виконано розрахунок та вибір складових системи автономного електропостачання на основі таких ВДЕ як ВЕУ та ФЕС;

- розроблено блок-схему та функціональну схему комутуючого пристрою для управління генерацією на ВЕС, СЕС і ТЕС, а також розроблено принципову електричну схему комутації цих станцій, яка включає вимірювальні і перетворювальні модулі для кожного джерела. Запропонований автоматичний комутуючий пристрій забезпечує зниження витрат палива на ТЕС приблизно на 2,31% від загального обсягу виробництва ТЕС.

- розроблено алгоритм керування для автоматичного комутуючого пристрою, який забезпечує оперативне управління роботою електрогенеруючих станцій ВЕС, СЕС і ТЕС при подачі електроенергії в

загальну енергосистему, з автоматичною комутацією відновлювальних енергоагрегатів та оперативним перемиканням між електростанціями. Розроблені відповідні блок-схеми, функціональні та принципові схеми автоматичного комутуючого пристрою. Також створено програмне забезпечення для мікропроцесора, що керує генерацією електроенергії від ВЕС, СЕС і ТЕС.

– визначено основні положення щодо безпечної експлуатації автоматизованої системи електропостачання на базі електроустановок з відновлюваними джерелами енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Бевз С. М. [та ін.] ; під заг. ред. А. К. Шидловського ; НАН України, П-во «Укренергозбереження». — К. : Українські енциклопедичні знання, 2007. — 560 с. — (Енергетика України на початку XXI століття ; т. 4). — [ISBN 978-8578-08-3](#)
2. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії: навч. посіб. / О. І. Соловей, Ю. Г. Лега, В. П. Розен, О. О. Ситник, А. В. Чернявський, Г. В. Курбас; за заг. ред. О. І. Солов'я. — Черкаси: ЧДТУ, 2007. — 483 с.
3. Сонячна енергетика України [Електронний ресурс].URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8.
4. Мокін О.Б., Мартиненко С.А. Дослідження електротехнічного комплексу гібридної вітроенергетичної установки. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 117 с.
5. Сонячна електростанція для підприємства - зменшення власного споживання електроенергії [Електронний ресурс]. URL: <https://ecoenerhiia.ua/news/sonjachni-elektrostancii-dlya-biznesu-blog.html>.
6. Кметюк О.С. Підвищення ефективності комбінованих автономних систем електропостачання з відновлювальними джерелами енергії. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 120 с.
7. Гібридні системи буферного накопичення електроенергії для автономних енергоустановок поновлюваної енергетики [Текст]: звіт про НДР. II етап Моделювання автономного енергетичного комплексу з буферними системами накопичення електроенергії (проміж.) / Нац. Томський

політехнічний університет; рук. Обухів С.Г.; викон.Плотніков І.А. [та ін.]. – Т., 2011. – 183 с, 4 дод.- ЦК №16.516.11.6033.

8. SmartLogger 3000A. User manual. [Електронний ресурс]. URL: https://www.photomate.eu/wp-content/themes/sitetheme/assets/user-manuals/EN_User-manual_Smartlogger3000_20210630_210x297.pdf

9. Encombi. Easy energy management [Електронний ресурс]. URL: <https://www.encombi.com/products/ecpv/>

10. Сонячні панелі: типи, характеристики, особливості застосування [Електронний ресурс]. URL: <https://130.com.ua/uk/vse-o-solnechnyh-panelyah/>

11. Будівництво промислових СЕС [Електронний ресурс] / Інжинірингова компанія – Нові енергетичні технології. – Режим доступу : <http://iknet.com.ua/uk/presentation/full/ses>

12. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін.; За ред. П.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. - К.: Либідь, 2005. - 680 с.

13. Modelling of sensed speed control of BLDC motor using MATLAB/SIMULINK / Basim Alsayid, Wael A. Salah, Yazeed Alawneh.

14. Johan Holtz, Juntao Quan “Sensorless vector control of induction motors at very low speed using a nonlinear inverter model and parameter identification”/ IEEE Transactions on industry applications, Vol. 38, No. 4, July/Aug2002, pp. 1087-1095.

15. Моделювання електроприводів: Навч. посібник / Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С. Паранчук. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. - 404 с.

Solar PV industry. Market and industry trends. Global status report. Renewables. Steering committee. Ren. 21. 2014. P. 48–50. URL:

http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_full%20report_low%20res.pdf

17. Roberts, P. Performance of Rotors in a Brushless Doubly-Fed Induction Machine (BDFM) [Електронний ресурс] / P. C. Roberts, R. A. McMahon, P.J. Tavner, J. M. Maciejowski, T. J. Flack, X. Wang // International Conference of Electrical Machines, 2004, Cracow, Poland. URL : <http://www.ime.pw.edu.pl/zme/pryw/bienpdf/dfim2.pdf>

Вимірювачі потужності. Документація аналізатора параметрів Smart meter Pilot SPM33 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.encombi.com/products/accessories-3/pilot/>.

19. Система управління та моніторингу сонячних електростанцій (PV SCADA&PPC) [Електронний ресурс]. URL: <https://www.tktk.co.jp/en/product/control-system/pvscada/>

. Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу охорона праці в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей. – Вінниця 2003. –46 с.управления моментом синхронного двигателя с постоянными магнитами. Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 4.

21. НПАОП 40.1-1.32-01.(ДНАОП 0.00-1.32-01).Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.[Чинний від 2002-01-01].URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

Закон України "Про охорону праці " № 2694 - XII. Від 1992.10.14– Відомості Верховної Ради України, 1992 р. – 668 с.

23. Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу охорона праці в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей. – Вінниця 2003. –46 с.управления моментом синхронного двигателя с постоянными магнитами. Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 4.

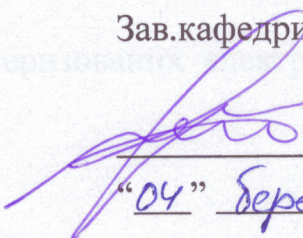
Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.

 Микола МОШНОРИЗ

«04» березня 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

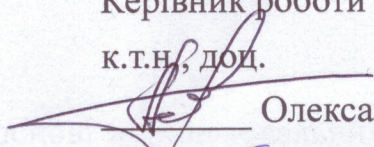
на бакалаврську дипломну роботу

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

08-24.БДР.026.00.000 ТЗ

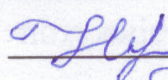
Керівник роботи

к.т.н., доц.

 Олександр ПАЯНОК

«04» березня 2025 р.

Виконав: ст. гр. ЕМСА-216

 Назарій КОВТУН

«04» березня 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Розробка автоматизованої системи електропостачання на базі електроустановок з відновлюваними джерелами енергії».

Скорочене найменування розробки – «Розробка автоматизованої системи електропостачання на базі електроустановок з відновлюваними джерелами енергії».

Замовник – Кафедра компютеризованих електромеханічних систем і комплексів.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем бакалаврських кваліфікаційних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Автоматизована система електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії є автономним джерелом електроенергії для забезпечення потреб споживача. ВЕУ, СФЕС, МГЕС та ДЕС забезпечують необхідні режими роботи системи електропостачання споживача відповідно до заданих алгоритмів функціонування.

4 Вимоги до розробки

Система електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії повинна забезпечувати споживача електроенергією а також запасати її в акумуляторних батареях для живлення споживача в умовах не здатності генератора установки та ФЕС генерувати потужність. Топологія системи електропостачання на основі ВДЕ повина мати можливість варіювання з використанням засобів силової електроніки (узгоджувальних DC/DC

перетворювачів) з метою мінімізації габаритів та кількості компонентних блоків, в залежності від необхідності нарощування або скорочення генеруючих потужностей.

5 Комплектація розробки

Структура комбінованої автономної системи електропостачання включає в себе: КТ – колесо гідротурбіни; МГЕС – міні(мікро)-гідроелектростанція; Г – генератор МГЕС; ТЕС – теплові електростанції; К1-К4 – комутуючі ключі (включення/відключення ВДЕ); СФЕС – сонячна фотоелектрична станція; ВК – вітроколесо; СГПМ – синхронний генератор з постійними магнітами; ВЕУ – вітроелектрична установка; Р – рубильник-короткозамикач; Тр-р – трансформатор; В – випрямляч; DC/DC – перетворювач постійного струму; БН – баластні навантаження; АКБ – акумуляторна батарея; СК – суперконденсатор; К – контактор; ДГ – дизель-генератор; ДЕС – дизель-електрична станція; QF – автоматичний вимикач.

6 Елементна база

Система керування генерації електроенергії, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т. ін. виробництва України чи країн близького зарубіжжя.

7 Конструктивне виконання

Складові установки виготовляються окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пило-вологозахищеному виконанні.

8 Показники технологічності

Синхронний генератор з постійними магнітами, вітроелектрична установка, випрямляч, перетворювач постійного струму, фотоелектрична станція, баластні навантаження, акумуляторна батарея, контролер, АКБ та

інвертор, сенсори, модуль передачі даних та мікроконтролер виконуються на сучасній елементній базі, їх монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

9 Джерела розробки

1. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії: навч. посіб. / О. І. Соловей, Ю. Г. Лега, В. П. Розен, О. О. Ситник, А. В. Чернявський, Г. В. Курбас; за заг. ред. О. І. Солов'я. — Черкаси: ЧДТУ, 2007. — 483 с.

2. Мокін О.Б., Мартиненко С.А. Дослідження електротехнічного комплексу гібридної вітроенергетичної установки. Магістерська кваліфікаційна робота. — Вінниця: ВНТУ, 2019. — 117 с.

3. Паянок О.А., Кметюк О.С. Підвищення ефективності комбінованих автономних систем електропостачання з відновлювальними джерелами енергії. Магістерська кваліфікаційна робота. — Вінниця: ВНТУ, 2019. — 120 с.

10 Технічне обслуговування і ремонт

До оперативного обслуговування електроустановками допускаються працівники, які знають їхні схеми, інструкції з експлуатації, особливості конструкції та роботи обладнання і пройшли навчання та перевірку знань.

11 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації бакалаврської дипломної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

12. Матеріали, що подаються до захисту БКР

Пояснювальна записка БКР, ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту БКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук

рецензента, протоколи складання державних іспитів, анотації до БКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення БКР діючим вимогам.

13. Вимоги до оформлення БКР

Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційні роботи у Вінницькому національному технічному університеті (БКР, МКР)», 2024 р.

Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК З
ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**

Мета, задачі та об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є процеси перетворення енергії в системі електропостачання з відновлювальними джерелами енергії.

Предметом є математичні моделі та структури, які дозволяють підвищити ефективність та оптимізувати процеси в системі електропостачання з відновлювальними джерелами енергії (ВДЕ).

Мета і завдання дослідження. При виконанні роботи застосовувалися аналітичні та експериментальні методи дослідження, що включають: методи лінійної алгебри; метод Лагранжа; чисельний метод; методи математичної статистики; метод імітаційного моделювання; методи синтезу нелінійних систем управління; методи системних досліджень в енергетиці; метод математичного моделювання з використанням системи комп'ютерної алгебри MathCAD.

До **задач** бакалаврської кваліфікаційної роботи можна віднести:

- аналіз характеристик існуючих комбінованих систем автономного електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії;
- розрахунок та вибір складових системи автономного електропостачання на основі ВДЕ;
- розробка структурної блок-схеми електротехнічного комплексу системи електропостачання з ВДЕ;
- розробка алгоритму та пристрою автоматичної комутації джерел відновлюваної енергії при їх спільній роботі із загальною мережею;
- розробка функціональної схеми комутуючого пристрою управління генеруючими станціями ВЕС, СЕС, ТЕС, а також принципової електричної схеми управління комутацією генеруючих станцій.

Загальна характеристика систем ЕП на основі ВДЕ



Рисунок 1 – Відновлювальні джерела енергії (ВДЕ)



Рисунок 3 – Фотоелектрична станція



Рисунок 2 – Зовнішній вигляд різних видів ВЕУ

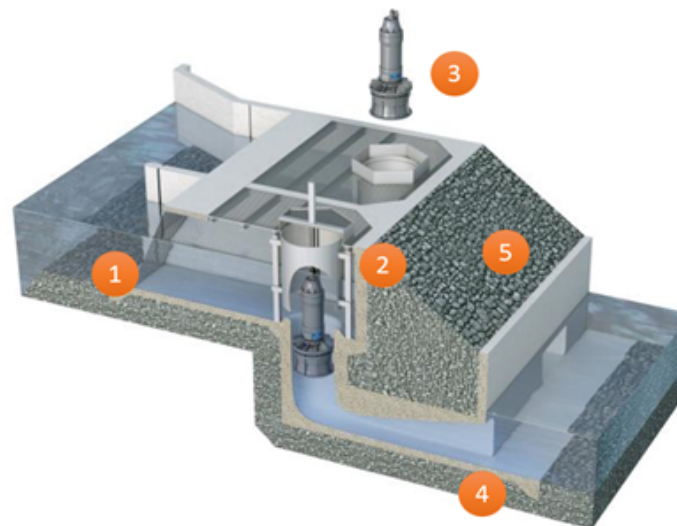


Рисунок 4 – Схема влаштування міні-ГЕС

Компоненти та рішення систем ЕП на основі ВДЕ

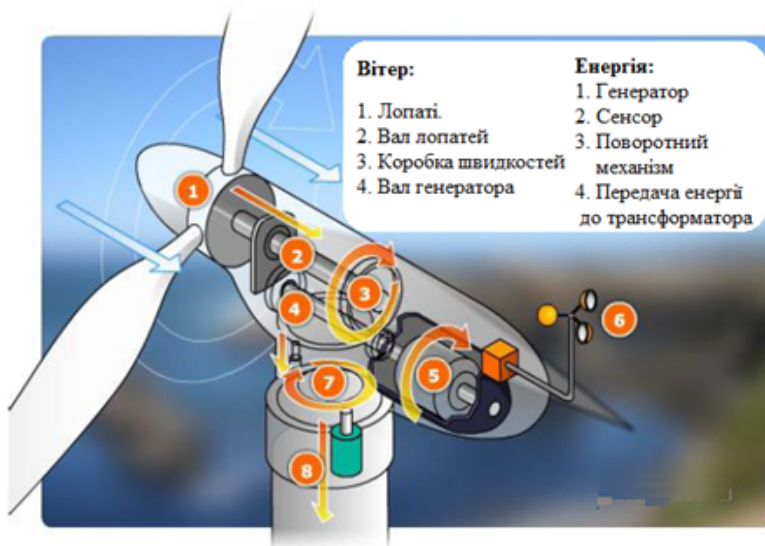


Рисунок 5 – Будова та влаштування вузлів ВЕУ

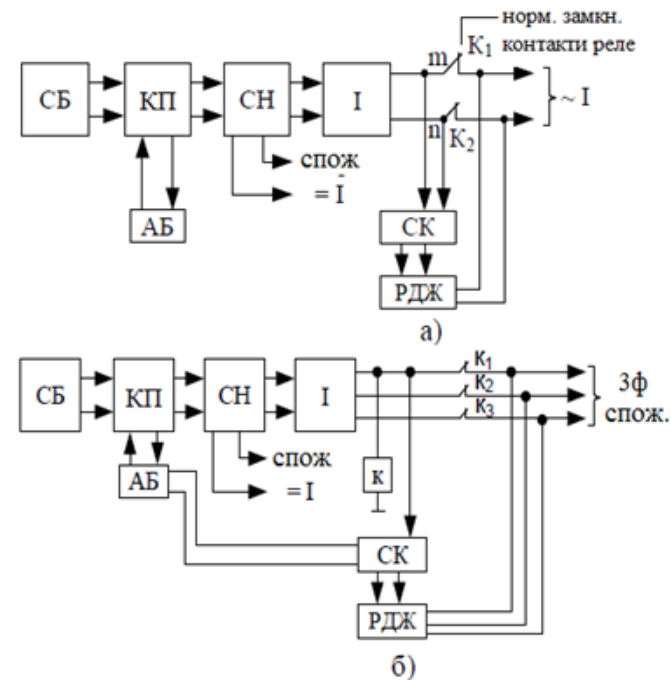


Рисунок 6 – Фотоелектричні системи

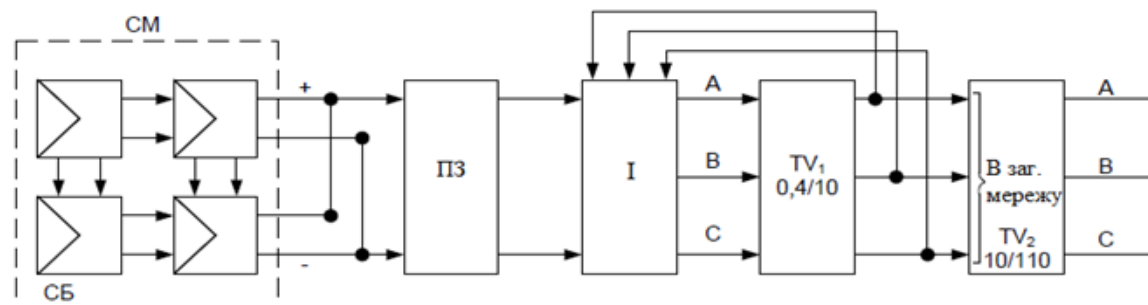


Рисунок 7 – Блок-схема сонячний електростанції

Розробка структури СЕП на базі ВДЕ

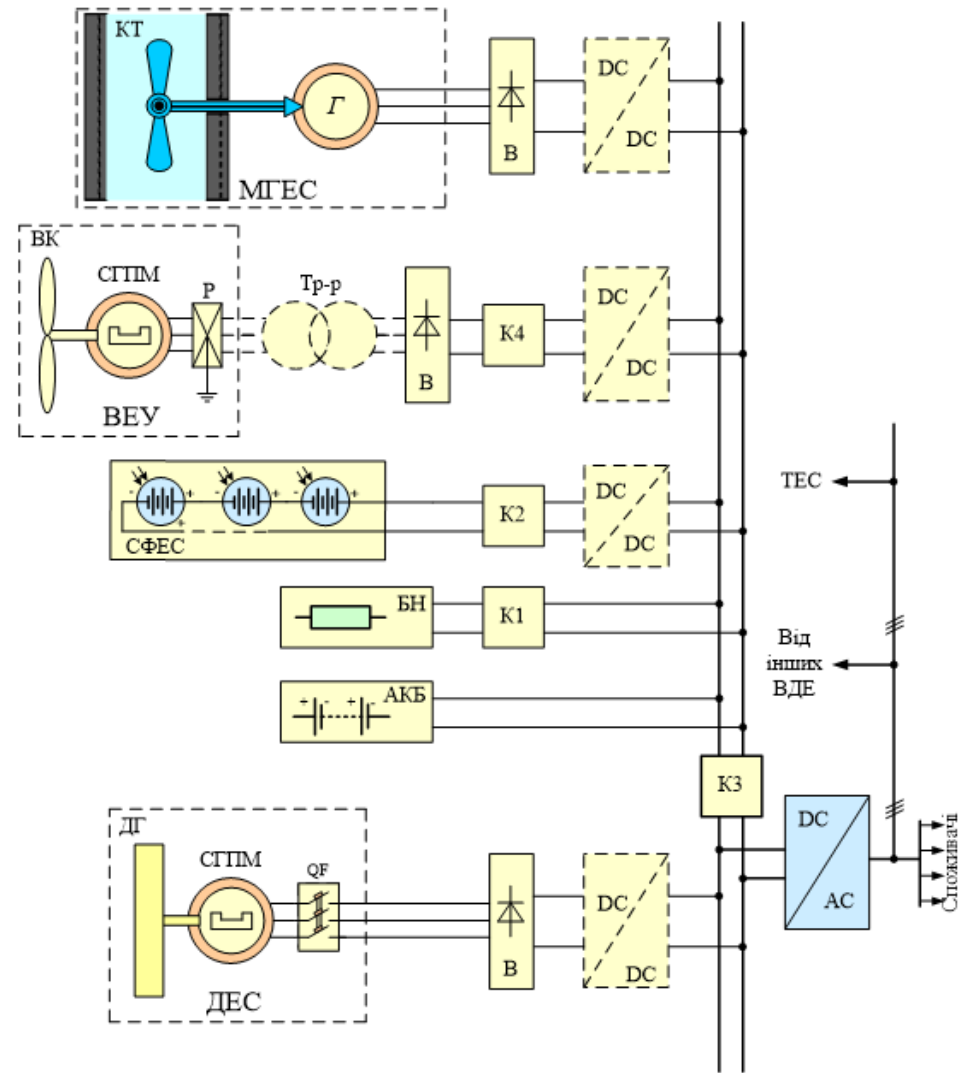
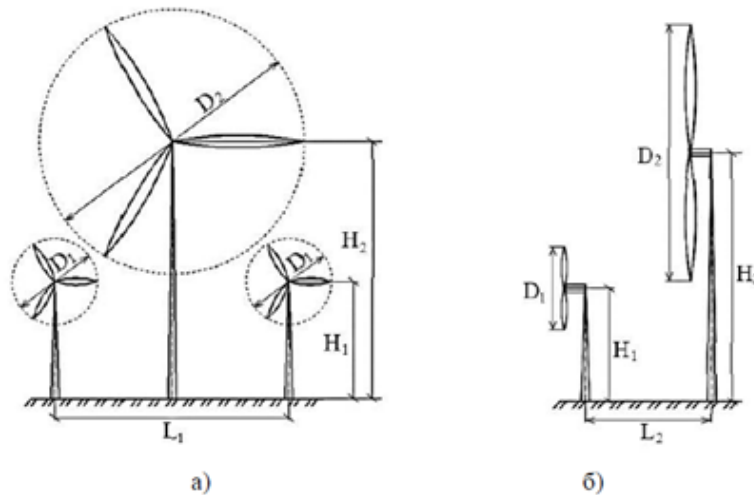


Рисунок 8 – Структурна схема автономного ЕТК на основі ВДЕ

Методика розрахунку виробітку електроенергії ВДЕ



Загалом, потужність ВЕУ може бути знайдена за формулою:

$$P_{\text{ВЕУ}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_0 \cdot C_p \cdot v_p^3,$$

де $P_{\text{ВЕУ}}$ – потужність ВЕУ, кВт;

ρ – густина повітря, кг/м³;

A_0 – площа вітроколеса, м²;

v_p – розрахункова швидкість вітру, м/с;

C_p – коефіцієнт використання енергії вітру.

Коефіцієнт C_p розраховується за наступним співвідношенням:

$$C_p = 4 \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha)^2, \quad (3.4)$$

α – величина, що показує взаємозв'язок між швидкостями вітру до, після та в площині вітроколеса, рівна:

$$\alpha = \frac{\vartheta_0 - \vartheta_1}{\vartheta_0} = \frac{\vartheta_0 - \vartheta_2}{2 \cdot \vartheta_0}. \quad (3.5)$$

Залежність потоків швидкостей потоків вітру в околі вітроколеса ВЕУ показана на

$$P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ном.ФЕС}} \cdot f_{\text{ФЕС}} \cdot \left(\frac{G_T}{G_{\text{Н.У.}}} \right) \cdot [1 + \alpha_p \cdot (T_C - T_{\text{Н.У.}})],$$

де $P_{\text{ном.ФЕС}}$ – номінальна потужність ФЕС, Вт;

$f_{\text{ФЕС}}$ – коефіцієнт зниження потужності ФЕС, який враховує втрати електроенергії без використання АБ;

G_T – сонячна радіація, яка надходить на фотоелектричні модулі, Вт/м²;

$G_{\text{Н.У.}}$ – пікова сонячна радіація, яка надходить на фотоелектричні модулі при нормальних умовах (1000 Вт/м²);

α_p – температурний коефіцієнт потужності, °C⁻¹;

T_C – температура поверхні ФЕС, °C;

$T_{\text{Н.У.}}$ – температура при нормальних умовах (25°C).

Показник сонячної радіації, яка надходить на фотоелектричні модулі, визначається таким чином:

$$(3.3) \quad G_T = (G_b + G_d \cdot A_i) \cdot R_b + G_d \cdot (1 - A_i) \cdot \left[\frac{1 + \cos \beta}{2} \right] \cdot \left[1 + f_0 \cdot \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] + \overline{G} \cdot \rho \cdot \left[\frac{1 + \cos \beta}{2} \right],$$

де G_b – пряма сонячна радіація, Вт/м²;

G_d – дифузна сонячна радіація, Вт/м²;

R_b – відношення косинуса кута падіння променя на похилій поверхні до косинуса кута падіння на горизонтальній поверхні;

A_i – індекс анізотропії ($A_i = G_b / G_0$).

G_0 – середня сонячна радіація поза атмосфери землі, Вт/м²;

β – нахил поверхні;

f_0 – коефіцієнт ($f_0 = \sqrt{G_b / G}$);

G – сумарна сонячна радіація ($G = G_b + G_d$), Вт/м².

Вибір та розрахунок елементів АСЕП

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики JKM570N-72HL4 (Jinko Solar)

Механічні характеристики		
Кількість комірок	144 (6×24)	
Розмір	2278×1134×35mm	
Вага	27 kg	
Розподільча коробка	Оцінка IP68	
Вихідні кабелі	TUV 1×4,0 мм2 (+): 400 мм, (-): 200 мм або індивідуальна довжина	
Електричні характеристики		
Параметри	STC*	NOCT**
Максимальна потужність (Pmax)	575 Вт	432 Вт
Максимальна напруга (Vmp)	42.22 В	39.60 В
Максимальний струм (Imp)	13.62 А	10.92А
Напруга холостого ходу (Voc)	50.88 В	48.33 В
Струм короткого замикання (Isc)	14.39 А	11.62 А
ККД модуля STC (%)	22.26 %	
Робоча температура	-40°C~+85°C	
Температурний коефіцієнт Voc	-0.25%/°C	
Температурний коефіцієнт Isc	0.045%/°C	
Номінальна робоча температура елемента	45±2°C	

Таблиця 3.3 – Характеристики акумуляторних батарей

Характеристика СБ	Значення
Номинальна ємність, А год	1000
Номинальна напруга, В	25,5
Номинальна потужність, кВт	25,6
Рекомендована напруга заряду, В	28,8
Робоча напруга заряду, В	25,6
Рекомендований заряд/розряд, А	500
Максимальний струм заряду/розряду, А	1000
Кількість для даної СФЕС, шт..	50

Таблиця 3.4 – Номінальні характеристики інвертора

Номінальні хар-ки		Робота без перевант.	Робота з невеликим перенавант. (10%)		Робота у важкому режимі (перевант. 50%)		Потужність розсіювання, кВт	Код типу	Типо-розмір
I _{cont.max} , А	I _{max} , А	P _{cont.max} , кВт	I _N , А	P _N , А	I _{hd} , А	P _{hd} , кВт			
U _{НОМ} = 400 В (діапазон 380-415 В)									
741	1014	500	711	500	554	315	8	ACS 800 -107-0510 -3	R8i

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики ВЕУ 100 кВт

Характеристика ВЕУ	Значення
Номинальна потужність, Вт	100
Напруга на виході, В	380
Початкова швидкість вітру, м/с	2,5
Максимальна робоча швидкість вітру, м/с	25
Номинальна швидкість вітру, м/с	12
Діаметр ротора, м	21
Кількість лопатей, шт.	3
ККД генератора, %	90
Рівень шуму, dB	не більше 70
Діапазон робочих температур, С	-40 ... +40
Проектний срок служби, років	25

Керування режимами сумісної роботи відновлюваних джерелами енергії

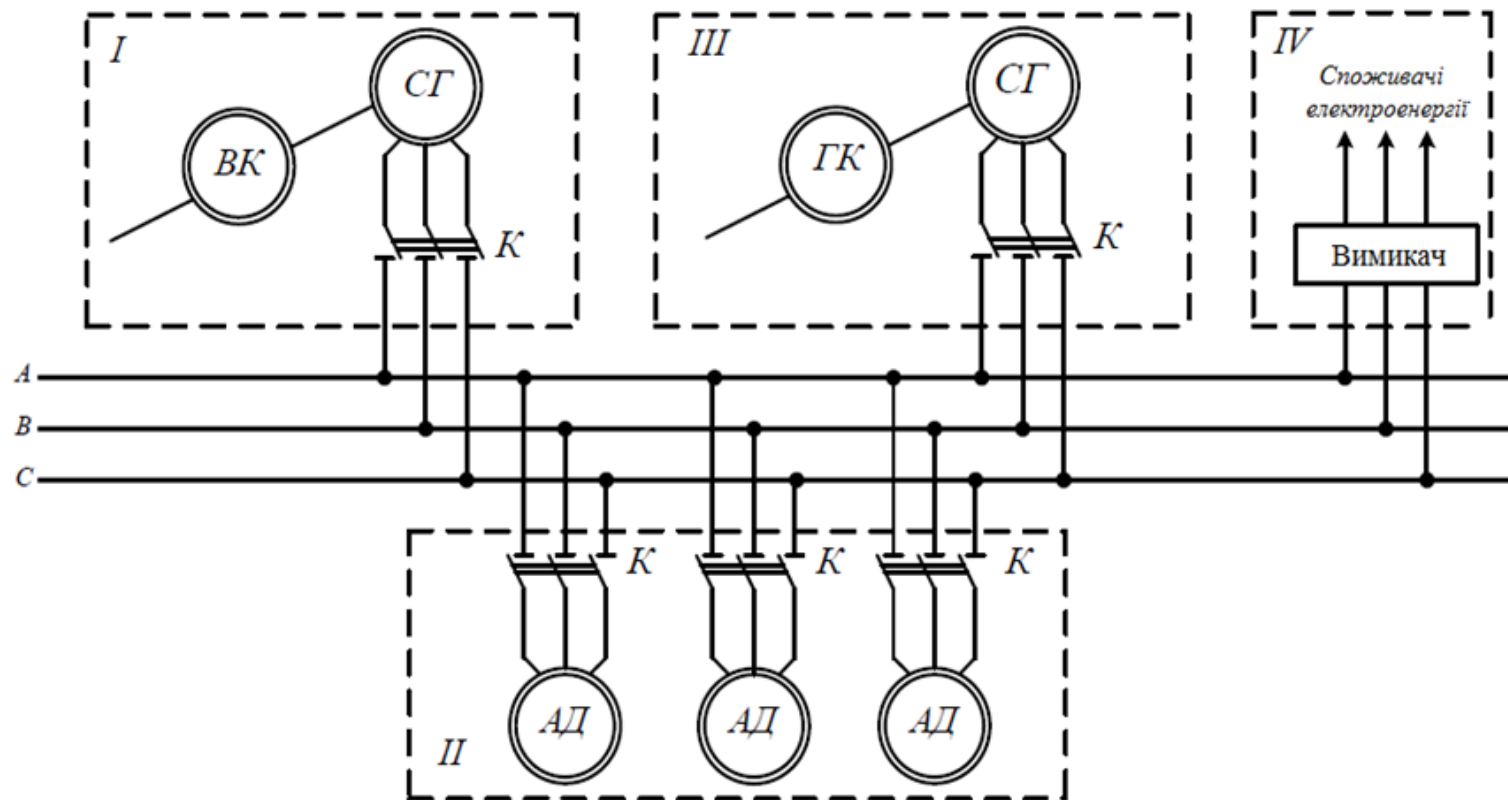


Рисунок 9 – Електрична схема ГАЕС з вітроагрегатом

На рисунку 9 виконані такі позначення: : BK – вітроколесо; СГ – синхронний генератор; АД – асинхронний двигун; ГК – гідроколесо; М – мотор; К – контактор; I – схема з'єднання вітроагрегата; II – схема з'єднання насосної станції; III – схема мініГЕС; IV – схема з'єднання мікроГЕС.

Керування режимами сумісної роботи відновлюваних джерелами енергії

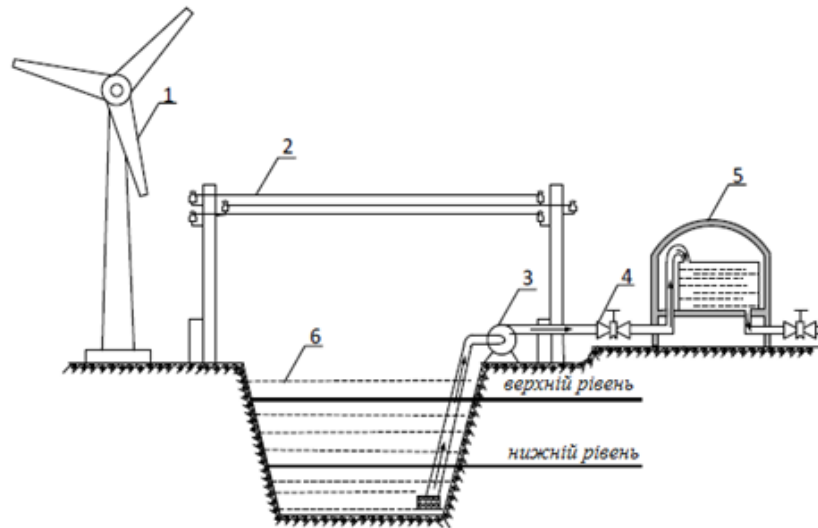


Рисунок 10 – Система насосної установки з ВЕУ

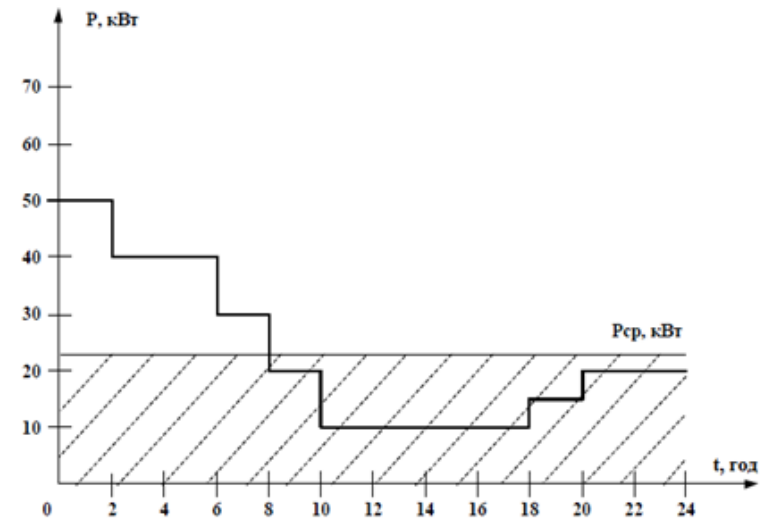


Рисунок 11 – Добовий графік виробітку потужності ВЕУ

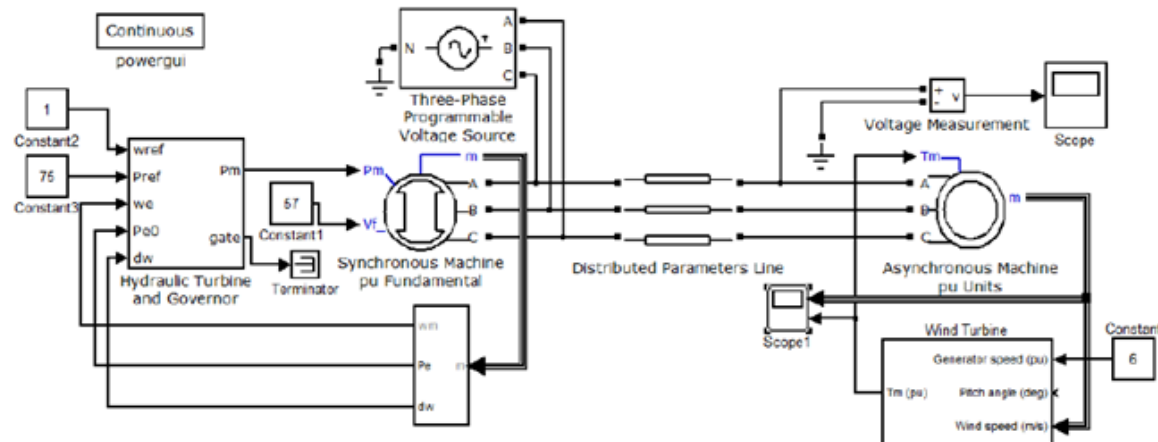


Рисунок 12 – Модель системи насосної установки з ВЕУ в ППП Matlab Simulink

Паралельна робота альтернативних джерел енергії

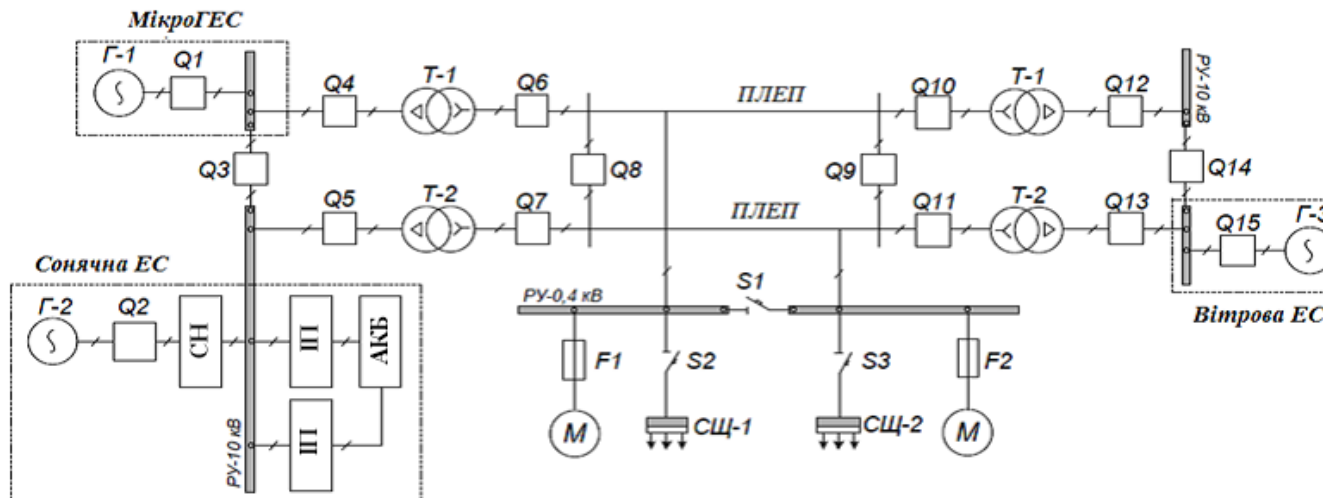


Рисунок 13 – Однолінійна схема синхронної роботи ВЕС, мікроГЕС та СЕС

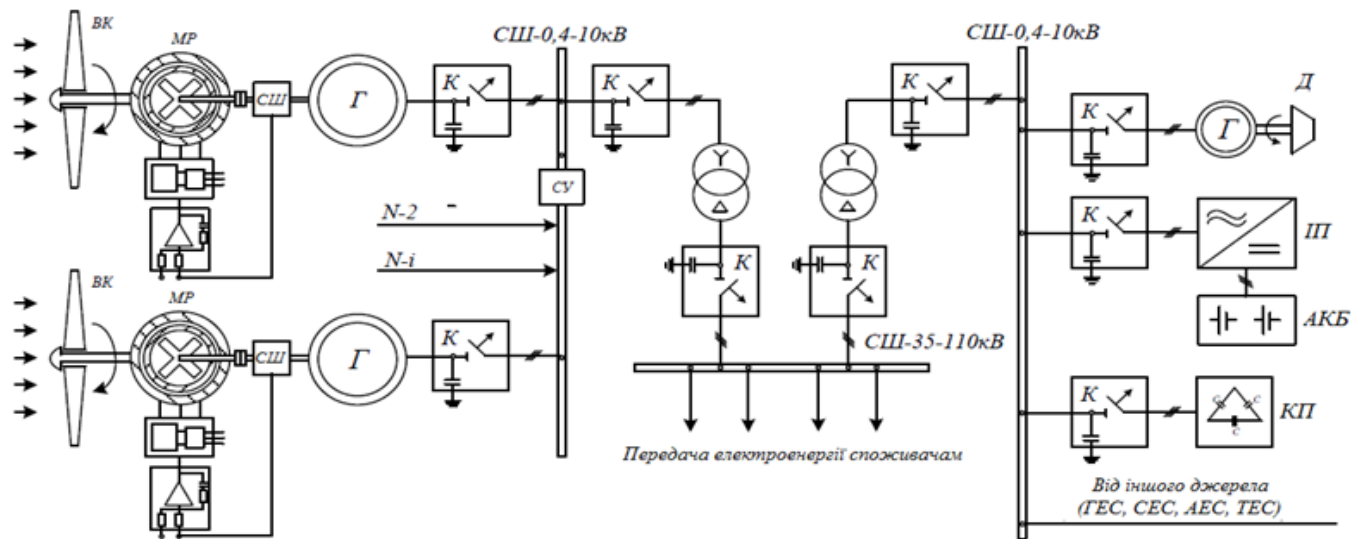
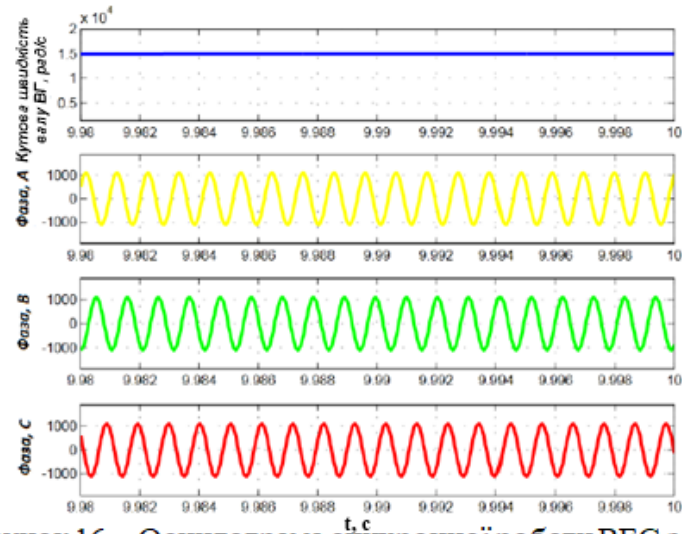
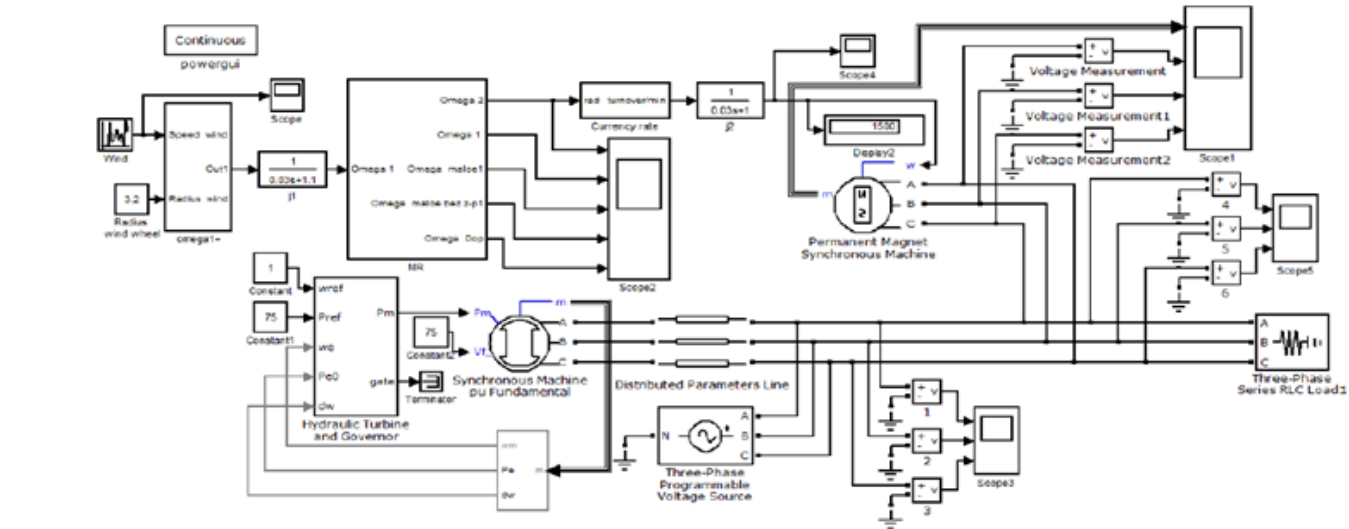


Рисунок 14 – Схема підключення ВЕУ в єдину мережу з магнітним редуктором

Модель синхронної роботи ВЕУ, СЕС та ГЕС



зунук 16 – Осцилограма синхронної роботи ВЕС з МР, СЕС та ГЕС спільно з єдиною мережею

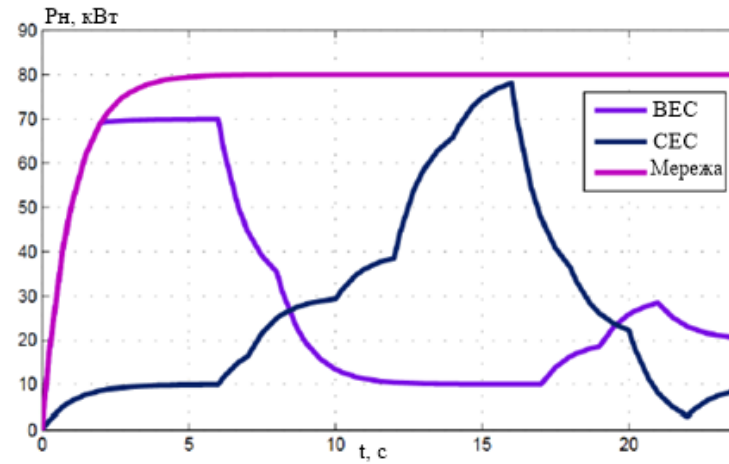


Рисунок 17 – Графік виробітку потужності різних джерел живлення

Розробка алгоритму управління генерацією

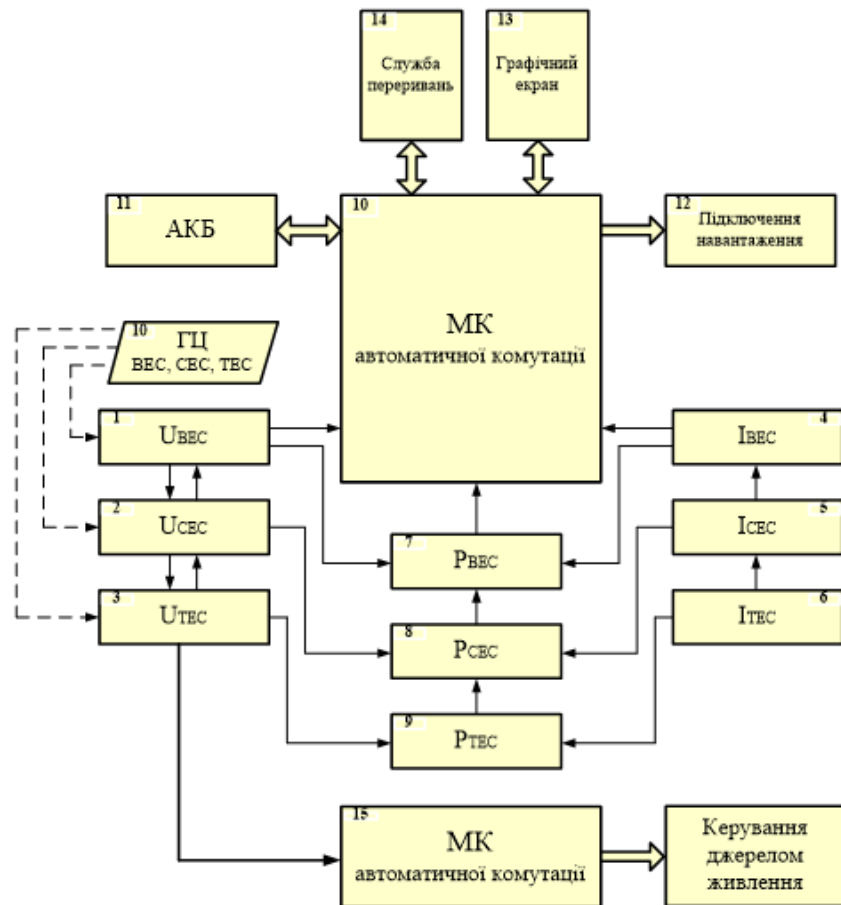


Рисунок 18 – Блок-схема алгоритму для мікроконтролера

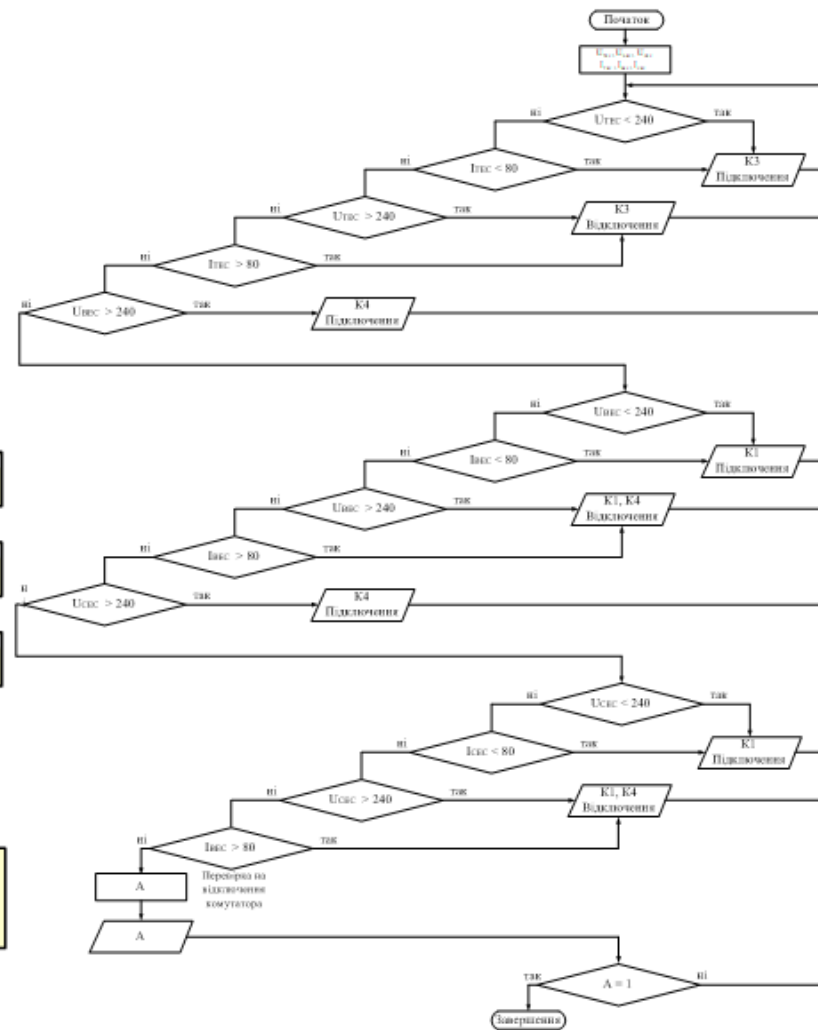


Рисунок 19 – Алгоритм роботи пристрою управління комутацією

ВИСНОВКИ

В результаті виконання роботи було отримано такі загальні результати:

- розглянуті характеристики існуючих систем автономного електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії; визначені передумови оптимізації електроустановок з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) та їх застосування в автономних системах електропостачання;
- розроблено структуру комбінованої фото-вітро-гідроелектричної системи з резервуванням ДЕС. У запропонованій схемі автономного ЕТК основними джерелами електроенергії служать ВЕУ, МГЕС, СФЕС, допоміжні накопичувачі АКБ. Необхідна кількість ВЕУ, СФЕС, потужність МГЕС та ДЕС визначається необхідним ступенем надійності електропостачання споживачів із врахуванням одиничних номінальних потужностей установок та станцій.
- виконано розрахунок та вибір складових системи автономного електропостачання на основі таких ВДЕ як ВЕУ та ФЕС;
- розроблено блок-схему, функціональну схему комутуючого пристрою управління генеруючими станціями ВЕС, СЕС, ТЕС, а також принципову електричну схему управління комутацією генеруючих станцій, які включають вимірювальні та перетворюючі блоки для кожної станції; автоматичний комутуючий пристрій дозволяє здійснювати економію палива ТЕС близько 2,31% по відношенню до загального виробітку ТЕС.
- розроблено алгоритм управління для автоматичного комутуючого пристрою оперативного управління роботою електрогенеруючих станцій ВЕС, СЕС і ТЕС при генерації електроенергії в загальну мережу енергосистеми з автоматичною комутацією енергоагрегатів відновлюваної енергетики та управлінням оперативним перемиканням електростанцій. Розроблено блок-схеми, функціональні і принципові схеми автоматичного комутуючі пристрої. Розроблено програму для мікропроцесора управління генерацією електричної енергії від ВЕС, СЕС, ТЕС;
- визначено основні положення щодо безпечної експлуатації автоматизованої системи електропостачання на базі електроустановок з відновлюваними джерелами енергії

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Розробка автоматизованої системи електропостачання на базі електроустановок з відновлюваними джерелами енергії

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕМСА-23мс

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 11,37 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Зав. кафедри КЕМСК Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

Гарант ОП Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

(підпис)

Ковтун Н.А.

(прізвище, ініціали)

					08-24.БДР.026.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Розробка автоматизованої системи електропостачання на базі електроустановок з відновлюваними джерелами енергії	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Ковтун Н.А.		20.05				
Перевірів:		Паянок О.А.		20.05				
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Рецензент		Войтук Ю.І.		20.06		ВНТУ, гр. ЕМСА-236		
Норм. кон.		Павлюк		20.06				
Затверд.		Мошноріз М.М.		20.06				