

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Використання накопичувачів електроенергії для підвищення
стійкості електромережі

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТс-42
спеціальнос
ті 141

електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Скрипник М.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Коваль В.П.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Коваль В.П.

(прізвище та ініціали)

Завідувач
кафедри

(підпис)

Коваль В.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Федак С.І.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 27 » січня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Скрипнику Максиму Валентиновичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Використання накопичувачів електроенергії для підвищення стійкості електромережі

Керівник роботи ... Коваль Вадим Петрович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » Січня 2025 року № 4/7-53

2. Термін подання студентом завершеної роботи червень 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Промислові акумуляторної системи накопичення енергії. Системи накопичення електричної енергії на основі маховиків.

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

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунковий розділ

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	Гурик О. Я. к.т.н., доцент кафедри МТ		
Нормоконтроль	Коваль В.П., к.т.н., зав. кафедри ЕІ		

7. Дата видачі завдання 27 січня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	31.01.2025	
2	Аналітичний розділ	27.02.2025	
3	Проектно-конструкторський розділ	29.03.2025	
4	Розрахунковий розділ	22.04.2025	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	17.05.2025	
6	Висновки	30.05.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки	08.06.2025	
8	Оформлення графічної частини	15.06.2025	

Студент

(підпис)

Скрипник М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Коваль В.П.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра електричної інженерії, гр. ЕТс–42 - Т. : ТНТУ, 2025.

Стор.59; рис.16 ; табл.2 ; джерел 13; додатків –.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Використання накопичувачів електроенергії для підвищення стійкості електромережі»

Мета кваліфікаційної роботи є аналіз можливостей використання накопичувачів електроенергії для підвищення стійкості та надійності електричних мереж, забезпечення енергетичної безпеки.

У першому розділі детально розглянуто протидію аварійним ситуаціям за допомогою накопичувачів енергії. Проаналізовано декілька груп накопичувачів та їх подальше поєднання один з одним для придушення збурень в енергосистемах.

У другому розділі представлено акумуляторні системи накопичення енергії, які відіграють ключову роль у підвищенні ефективності, гнучкості та надійності енергозабезпечення. Вони дозволяють зберігати надлишкову енергію, вироблену з відновлюваних джерел, для використання у періоди пікового навантаження або відсутності генерації.

У третьому розділі представлено характеристики технологій зберігання електричної енергії. Розглянуто основи маховикові системи зберігання електричної енергії, наведено характеристики низькошвидкісних і високошвидкісних маховиків. Представлено базову схему маховикові системи зберігання електричної енергії. Система накопичення енергії з маховиком, складається з: двох перетворювачі напруги, індукційної машина, система контролю і маховик, які було змодельовано в MATLAB/Simulink

Ключові слова: акумуляторна батарея, система накопичення енергії, перетворювачі напруги, система контролю, маховик.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ 3

ЗМІСТ 4

ВСТУП 6

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ 8

1.1 Аналіз стану проблеми застосування накопичувачів енергії різного виду з метою протиаварійного керування 8

1.2 Існуючі методи та засоби забезпечення стійкості 10

1.3 Усунення протиаварійних збурень системи за допомогою накопичувачів 13

1.4 Висновки до розділу 17

2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ 18

2.1 Реалізація акумуляторної системи накопичення енергії 18

2.2 Функція та інтеграція СНЕЕ в енергосистему 20

2.3 Пропускна спроможність розподільчих мереж із застосуванням систем накопичення електричної енергії 22

2.4 Комерційне зберігання енергії в акумуляторних батареях 25

2.5 Інструмент аналізу даних 29

2.6 Основні несправності літій-іонних акумуляторів та їх причина. 32

2.7 Висновки до розділу 34

3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ 36

3.1 Маховикові системи зберігання електричної енергії 36

3.1.1 Характеристики маховика 40

3.1.2 Застосування маховиків 41

3.2 Конфігурація системи управління маховиком 44

3.3 Аналіз потоку потужності житлових фотоелектричних систем з маховиками	48
3.4 Висновки до розділу	50
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	51
4.1 Заходи безпеки при монтажі енергоустановок	51
4.2 Допомога при ураженні електричним струмом в електроустановках напругою до 1000 В	52
4.3 Сигнально-попереджувальні пристрої і фарбування обладнання	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	57
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	58

ВСТУП

Сучасна електроенергетика стрімко трансформується під впливом активного впровадження відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія. Однак їхня нестабільність і залежність від погодних умов створюють нові виклики для забезпечення надійної та безперебійної роботи енергосистем. Одним із перспективних рішень для подолання цих викликів є використання накопичувачів електроенергії.

Технології зберігання енергії дозволяють накопичувати надлишкову електроенергію в періоди низького попиту або високого виробітку та вивільняти її під час пікових навантажень або в разі виникнення збурень у мережі. Це сприяє балансуванню виробництва та споживання, підвищенню гнучкості, стабільності та ефективності функціонування електромереж, а також зменшенню викидів парникових газів.

У зв'язку з цим дослідження можливостей і переваг використання накопичувачів електроенергії є надзвичайно актуальним у контексті модернізації електроенергетичних систем і розвитку сталої енергетики.

Актуальність дослідження зумовлена зростаючими вимогами до стабільності та надійності роботи електричних мереж у умовах швидкого зростання частки поновлюваних джерел енергії. Генерація від вітру та сонця має стохастичний характер, що ускладнює балансування навантажень і створює загрози для стабільної роботи системи, особливо в пікові періоди або в умовах аварій.

Сучасні накопичувачі енергії дають змогу згладжувати коливання виробітку електроенергії, забезпечувати короткочасні імпульси для підтримки якості електроенергії, а також ефективно управляти резервами системи. Вони можуть відігравати ключову роль у протиаварійному керуванні, підтримці частоти, регулюванні напруги, забезпеченні допоміжних послуг та відтермінуванні капіталомістких інвестицій у розширення генерувальних потужностей і мереж.

Враховуючи це, детальне дослідження функціональних можливостей накопичувачів електроенергії та їх впливу на динамічну стабільність і стійкість

електромереж має важливе значення для забезпечення надійної та ефективної роботи енергосистем у майбутньому

Мета кваліфікаційної роботи є аналіз можливостей використання накопичувачів електроенергії для підвищення стійкості та надійності електричних мереж, забезпечення енергетичної безпеки.

Для досягнення поставленої мети в даній роботі необхідно було:

1. Провести огляд сучасного стану використання накопичувачів електроенергії різних типів у системах протиаварійного керування електромережею;
2. Проаналізувати потенціал застосування накопичувачів енергії для покращення динамічної стабільності мережі при виникненні значних збурень.
3. Дослідити ефективність використання маховикових накопичувачів енергії для підвищення надійності та оперативності протиаварійного керування в умовах істотних порушень роботи енергосистеми.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз стану проблеми застосування накопичувачів енергії різного виду з метою протиаварійного керування

Глибоке формування атомної енергетики потребуватиме певних дій з генерації, а також електромережевого господарства, які гарантують врегулювання потужності в енергосистемі [1]. У найближчі десять років покриття нестійкої області графіка електронавантажень у поодиноких енергосистемах стане неможливим за відсутності ролі ядерних електростанцій (атомна електростанція).

Найчастіша проблема, яка зустрічається це мало маневреність або знижений відгук обладнання, проблема зможе вирішитися досить просто за рахунок застосування систем накопичення енергії (СНЕ), такий синтез зможе видавати енергію на піках, коли є відчутна нестача, а також володіє акумулюванням енергії при низькому спаді навантажень, крім усього цього, з'являється ще один досить відчутний плюс, він полягає в тому, що з'являється можливість компенсації реактивної потужності з можливістю регулювання частоти, весь цей комплекс із СНЕ можна застосувати разом із генератором, який буде працювати в режимі номінального режиму роботи АЕС, а також її експлуатація буде проходити в номінальному режимі роботи. За рахунок досягнутих ефектів режим роботи АЕС, а також її експлуатація буде проходити в номінальному режимі роботи.

В іноземному досвіді, такому як у США з її внутрішнім енергетичним ринком щодо можливості регулювання частоти в системі об'єктів, крім цього іншого, з'являється перспективність того, що, окрім оплати, усім учасникам такого енергетичного ринку надають хорошу можливість для самоврядування навантаженням, що немало важливо в нинішніх реаліях.

Серед найбільш проблемних або значущих завдань вирішення яких може бути усунуто або підвищитися значуща ефективність з використанням СНЕ, в основному виділяють 2 найбільш значущих типи завдань виділяють: СНЕ буде застосовуватися як додаткове або допоміжне обладнання для таких об'єктів, як генерація, з попутним

перерозподілом функціоналу з маневреності різних об'єктів генерації на СНЕ, все перераховане вище необхідно для того, щоб підвищити безпеку поряд з ефективнішою експлуатацією обладнання, а також розширити різний функціонал, що в підсумку дає чудове підвищення якості вироблюваної продукції.

Що входить в об'єктові завдання СНЕ:

- по-перше, це можливість забезпечення правильної роботи різних об'єктів, де здійснюється генерація в таких режимах, як регулювання частоти.

- Можливість різного роду виконання команд зі зменшення або ж збільшення різних потужностей, а також для роботи за безпечних режимів зміни різних потужносних реакторних установок.

- Підтримка навантаження в постійному і незмінному режимі під час роботи обладнання АЕС – в номінальному режимі роботи, крім усього це призводить до стійкого підвищення енергоблоків АЕС до всіляких збурень електромережі.

- Також здатна до підвищення значних високих показників (підвищення різного роду обсягу електроенергії, що підпускається) - все це під час роботи АЕС, яка має можливість відстежувати добовий графік електричних навантажень і, крім усього іншого, може регулювати частоту.

- Різні уповільнення зносу встановленого заводського обладнання на АЕС для уникнення додаткових відчутних витрат поряд з позитивним економічним ефектом від терміну служби, в таких режимах роботи, як змінне навантаження, зниження вартості та збільшення часового інтервалу ремонтних робіт, значне підвищення ефективності як економічної, так і технічної різного роду паливної компанії.

- Для електропостачання власних потреб АЕС.

- Для багатоцільових споживачів власних потреб виникає різка і необхідна потреба в компенсації реактивної потужності, поряд із частотним регулюванням.

Систематизовані завдання СНЕ:

- Спостерігається відчутна нестача потужності

— Регулювання частоти в режимі роботи за реактивної потужності, а також біля електричних мереж і напруги.

— Зведення до нуля таких неприємних ситуацій для споживача як проведення аварійних робіт, а також уникнення заподіяння матеріальних збитків.

— Значуще підвищення ефективності поряд з таким параметром, як надійність енергетичних систем, а також об'єктів генерації в енергетиці в місцях, де відбувається видобуток корисних копалин, і, крім усього іншого, також необхідне для розподілу генерації.

Такі галузі, як наукові, технічні та інформаційні джерела, володіють нормативною і правовою базою, все це показало ефективність у застосуванні як такого обладнання, що має маневреність і незалежність з АЕС для різного роду об'єктів генерації.

Непоганий економічний ефект може спостерігатися в тому разі, коли накопичена енергія буде віддаватися різним навантаженням, або об'єктам у період підвищених цін, що швидко призведе до окупності та ефективності за рахунок невинної роботи інших об'єктів за рахунок живлення їх електроенергією.

1.2 Існуючі методи та засоби забезпечення стійкості

На сьогоднішній момент головне завдання по збереженню стійкої енергосистеми лягає цілком на автоматику, яка в свою чергу має надійне забезпечення роботи нашої енергосистеми і робить її стійкою до всяких порушень або дисбалансів. У надійній роботі енергосистеми можна виділити так зване (АЗПС) такий термін перекладається як автоматика для запобігання порушенню стійкості різних енергосистем, електростанцій, чий режим роботи паралельний, крім усього іншого важливою частиною (АЗПС) є збереження працездатності після серйозних збурень, ведення змін у системі.

Відмінні особливості роботи і контролю (АЗПС) можна охарактеризувати такими пунктами:

- у пікові моменти роботи турбіни, здатне регулювати клапани шляхом їхнього прикриття тривалістю до кількох секунд, що зі свого боку подовжує як ресурс, так і створює короткочасне розвантаження.

- створює вплив на систему регулювання частоти, що відповідає за обертання турбіни, і пом'якшує навантажувальний режим, що, своєю чергою, створює тривале розвантаження турбіни.

- вміння відключати генератор від мережі для більш стійкої енергосистеми та уникнення перевантаження обладнання підстанцій.

- відключення споживачів від навантаження.

- в аварійних випадках, автоматичне збільшення струму збудження для подальшої і без аварійної роботи синхронної машини.

- у разі порушення частоти, спричиненого перевантаженнями, автоматично навантажує генератори.

- підбір більш оптимальних режимів роботи службовців для коректної роботи мережі.

Нижче наведено схему АЗПС, що слугує для запобігання неполадок динамічної стійкості на (рисунок 1.1).

Головний орган пуску (ПО), веде спостереження за інтенсивністю змін збурень у схемі, далі за спеціалізованим пристроєм, призначеним для фіксування тяжкості короткого замикання, що скорочено буде (ФТКЗ), має можливість для під'єднання до кола змінного струму, а також напруги для контролю параметрів генератора, далі, від типу виконання, орган пуску має можливість для контролю або ж зниження активної потужності з можливістю вироблення відповідного сигналу, за яким відповідно спрацює, у нашому випадку, в нашому випадку, пусковий орган має можливість для контролю або ж зниження активної потужності, за яким, у нашому випадку, спрацює, відповідно, відповідний сигнал.

Схема АЗПС [1-7] слугує для запобігання неполадок динамічної стійкості (рисунок 1.1):

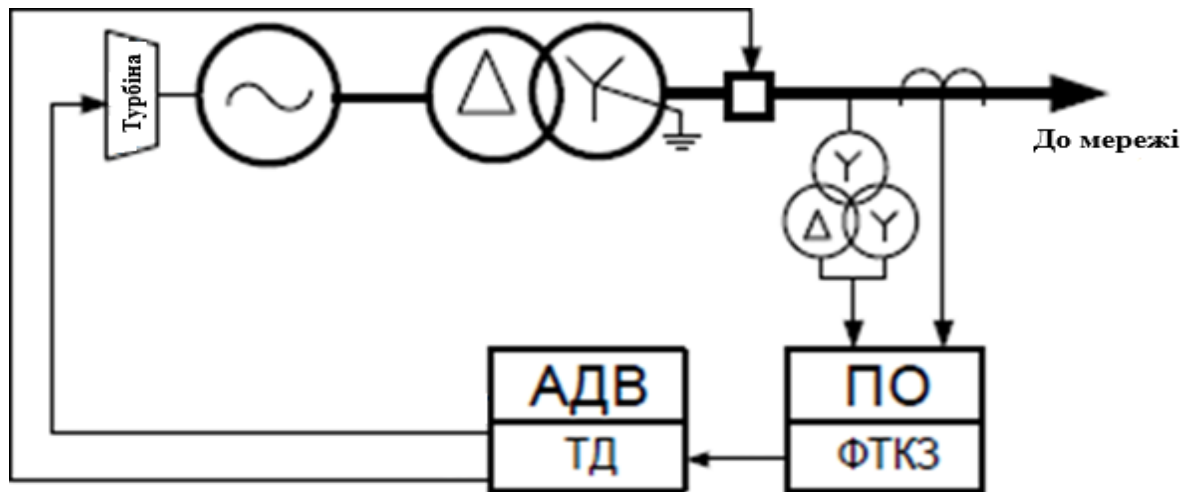


Рисунок 1.1 - Схема АЗПС, що слугує для запобігання неполадкам динамічної стійкості [7].

У разі виникнення аварійної ситуації, що тягне за собою, своєю чергою, надлишкову кінетичну енергію турбіни, необхідно вжити заходів для уникнення цієї ситуації шляхом короткочасного вимкнення або, інакше кажучи, розвантаження турбіни за рахунок зниження її моменту [1-3], здебільшого застосовується лише до теплових турбін. Але існує небезпека у вигляді коливань, викликаних різким зниженням амплітуди за рахунок високого зворотного розвантаження. До всього іншого є шанс перегальмування, що спричинить вихід зі стійкості.

Вимкнення генераторів. Найчастіше вимкнення генераторів проводять для збереження стійкості системи, і має два основних параметра, таких як зменшення небалансу в енергосистемі або ж зниження інерції (ΔM) [1-2].

Основні проблеми, що виникають під час вимкнення генератора:

- підвищені навантаження під час відключення, які зі свого боку позначаються на терміні служби гідрогенератора.
- повторний запуск можливий тільки через деякий час, щоб дати охолонути, зі свого боку час простою несприятливо позначається на економічну сторону.

1.3 Усунення протиаварійних збурень системи за допомогою накопичувачів

Потреба в енергії не залишається постійною протягом 24 годин на добу та протягом усього року, а різко змінюється протягом доби та в різні сезони року. Таким чином, пікові та позапікові потреби виникають у межах доби та сезонів у зв'язку з індивідуальними потребами та кліматичними впливами. Ці явища вимагають накопичення енергії.

Головним завданням є підтримання динамічної стійкості системи, обумовлена головним критерієм, таким як подача потужності в найкоротший інтервал часу, що тягне за собою головний недолік - зниження небалансу.

Роль маховикових накопичувачів у сьогоднішній енергетиці. Пристрої зберігання енергії маховика ЗЕМ складаються з різних типів маховиків (масивних або складових), двигуна-генератора і магнітних скоб, встановлених усередині корпусу. Вони мають дуже високу циклічну потужність зі значеннями циклів від 10000 до 100000. Для електроенергетичних систем потрібні маховики великої потужності з меншими втратами на тертя (200 кВт 200-тонного маховика). Ефективність залежить від часу накопичення енергії, наприклад, середня ефективність 85% може знизитися до 78% і 45% через 5 годин і 24 години (повний день) відповідно. Отже, маховики неефективні для тривалого зберігання електроенергії, але їх можна використовувати у поєднанні з іншими пристроями. ЗЕМ виготовлений з вуглецевого волокна і може бути низькошвидкісним ($6 \cdot 10^3$ об/хв) або висока швидкість (10^5 об/хв). Однак високошвидкісна ЗЕМ потягне за собою високі витрати. Маховикові системи зазвичай працюють в високому вакуумі і мають характеристиками; відсутність втрат на тертя, невеликий опір вітру, довгий термін служби, відсутність шкідливого впливу на навколишнє середовище і незначне технічне обслуговування. ЗЕМ може допомогти контролювати частоту енергосистеми і забезпечити якість електроенергії, що постачається. Він в основному використовується при виробництві відновлюваної енергії, де коливання електроенергії високі і часті. Основними недоліками є низька щільність енергії і

більш висока вартість забезпечення безпеки системи. Наразі його основне використання полягає в доповненні акумуляторної системи. Очікується, що завдяки кращим характеристикам ринок систем зберігання енергії з маховиком (ЗЕМ) зростатиме вищими темпами. Використання ЗЕМ в автомобільній промисловості розширюватиметься з часом та вдосконаленням технології. Переваги ЗЕМ численні; висока потужність і щільність енергії, тривалий термін служби і менше періодичне обслуговування, короткий час перезарядки, відсутність чутливості до температури, ККД 85-90%, надійність, висока швидкість заряджання і розряджання, відсутність деградації енергії під час зберігання, висока вихідна потужність, великий розмір ємності зберігання енергії та неенергетичне забруднення. Основними недоліками та обмеженнями можуть бути; низька питома енергія, короткий час розряду, складність конструкції, механічна напруга і втома, проблеми безпеки через високу швидкість обертання ротора і можливість поломки, а також висока вартість. Маховики є менш зрілою технологією порівняно з батареями, а поточна вартість занадто висока, що робить їх неконкурентоспроможними на ринку. Однак вартість системи можна знизити за рахунок використання маховиків невеликої потужності. Ринок накопичувачів енергії на маховиках може зрости (оціночний обсяг у 2025 році за ринком становить 879,3 долара США) через два основні чинники; промисловий розвиток і зростання населення спричиняють значне збільшення глобального попиту на електроенергію, що часто створює частий розрив між попитом та пропозицією енергії в країнах, що розвиваються, що призводить до потреби в резервному живленні.

Принципова схема джерела маховикової системи накопичення енергії представлено на рисунку 1.2:

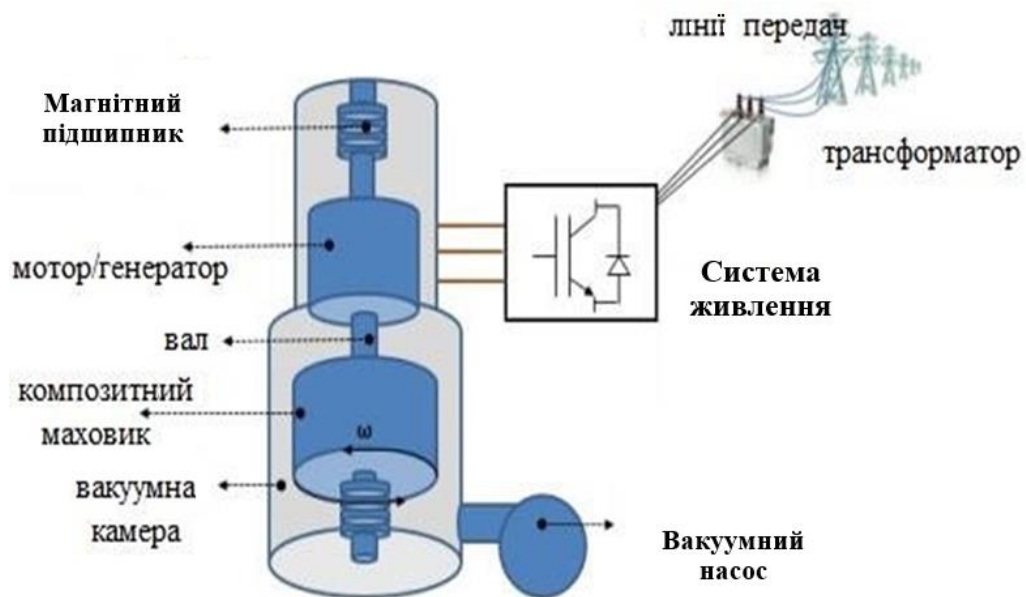


Рисунок 1.2 - Принципова схема джерела маховикової системи накопичення енергії [8].

Важливу роль у сучасній енергетиці здобула система надпровідникових індуктивних накопичувачів енергії (НІНЕ).

В основі обертового серця сучасної електричної мережі лежить те, що раніше називалося динамо-машиною, - генератор, що складається зі стопок міді, які обертаються в електромагнітному полі.

Це механічне обертання, своєю чергою, обертає заповнені міддю трубки в магнітному полі. Це індукує струм у міді, який потім проходить через сучасну електричну мережу - гігантський ланцюг - до вашого будинку.

Спінові струми, тобто потік кутового моменту без одночасного перенесення електричного заряду, відіграють ключову роль у сучасних дослідженнях спітроніки. Наприклад, їх можна використовувати для управління магнітною динамікою, перемикання магнітних моментів і спрощення застосування спітроніки для збору енергії. Генерація спінових струмів широко досліджувалася в останнє десятиліття. За рахунок зворотного спінового ефекту Холла (ЗСХЕ), струми заряду можуть бути перетворені на спіновий струм, що тече перпендикулярно до орієнтації потоку заряду, і було досліджено широкий спектр тонкоплівкових металевих і напівпровідникових матеріалів для ефективної генерації та виявлення спінових

струмів SHE. Іншим широко використовуваним методом генерації спінових струмів є спінове накачування з використанням магнітної динаміки. Коли магнітна динаміка управляється мікрохвильовим (МВ) поглинанням феромагнітного (ФМ) матеріалу, нерівноважні спінові хвилі накопичуються і розсіюються з фіксованою швидкістю. Один із механізмів дисипації в бішарі ФМ/немагнітний (НМ) охоплює передачу кутового моменту спінам електронів у НМ-шарі, де генеруються спінові струми. Потім спінові струми перетворюються на струми заряду через ISHE, як показано на (рисунок 1.3) (а) [9-11]. Матеріали з високою спіною орбітою, такі як Pt, часто використовуються як хороші матеріали SHE для ефективного виявлення спінових струмів. Хоча це картина збудження електричним зарядом і струмом, схема, що зазвичай використовується для вимірювань спінового накачування, заснована на розімкненому колі, де електричні напруги вимірюються і обговорюються як ознаки спінового накачування.

Представлено схему спінового накачування (рисунок 1.3):

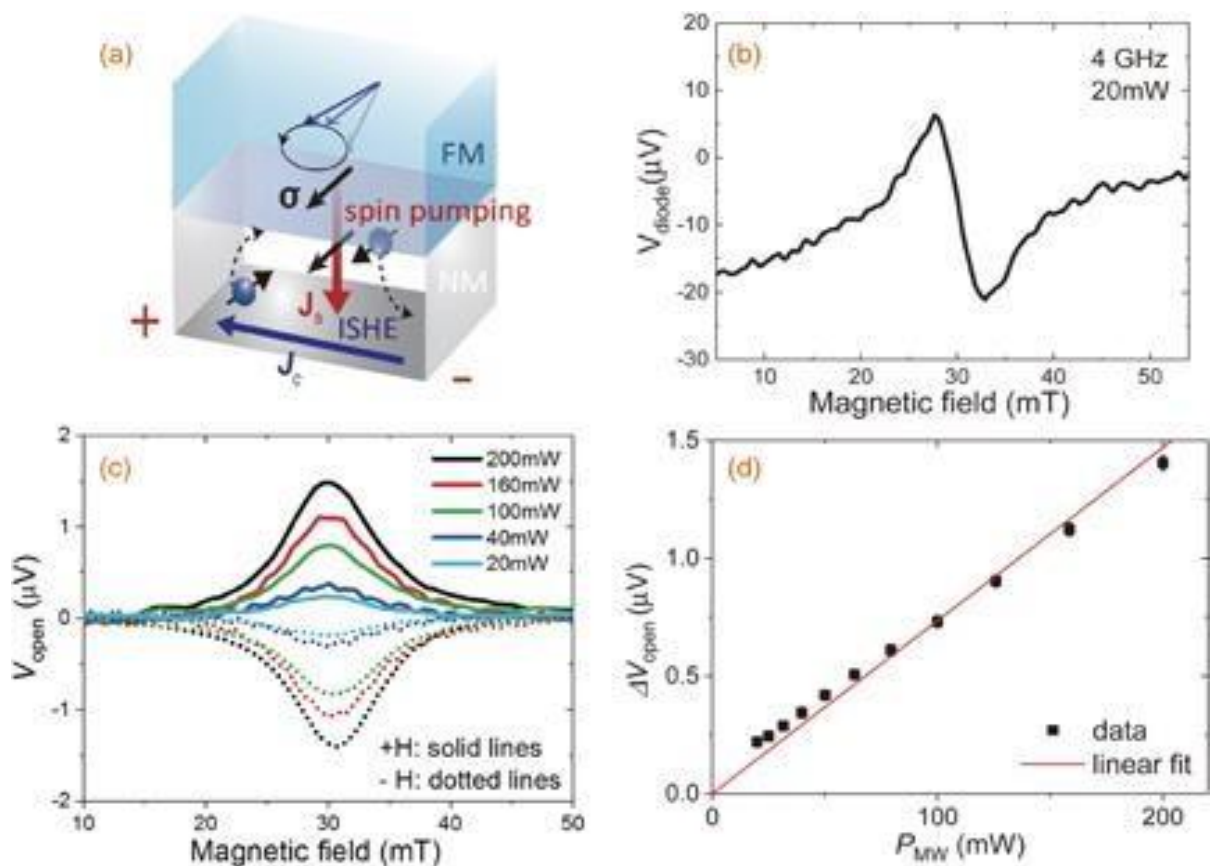


Рисунок 1.3 - Схема спінового накачування.

Щоб витягти електроенергію зі спінового накачування, використовується змінний навантажувальний резистор, щоб закрити конфігурацію розімкнутого кола. Це дозволяло струмам накачування заряду в зразку текти замкнутим колом; таким чином, у навантажувальному резисторі сталася кінцева потужність розсіювання, яку можна виміряти за падінням напруги на навантажувальному резисторі.

1.4 Висновки до розділу

У першому розділі детально розглянуто протидію аварійним ситуаціям за допомогою накопичувачів енергії. Проаналізовано декілька груп накопичувачів та їх подальше поєднання один з одним для придушення збурень в енергосистемах.

За рахунок накопичувачів енергії можна розв'язати проблеми з динамічною стійкістю енергетичних систем, без додаткових і часозатратних відключень комутаційної генеруючої групи.

2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Реалізація акумуляторної системи накопичення енергії

У найпростішому варіанті акумуляторна система накопичення енергії може бути встановлена на вашому об'єкті як окрема технологія. Найпоширенішим застосуванням є зберігання енергії, що виробляється сонячними фотоелектричними (ФЕМ) панелями, для використання в той час, коли вони не генерують.

Проте, при реалізації з використанням декількох технологій накопичення енергії в батареях може максимізувати ефективність вироблення енергії на місці, а також розширити можливості зарядки електромобілів, отримати доступ до мережеских послуг для отримання доходу, підвищити енергоефективність і допомогти скоротити ваші рахунки за електроенергію. Для цього потрібна система управління мікромережею для управління різними потоками енергії.

Якщо ваш бізнес оцінює свої цілі щодо нульового викиду вуглецю, акумуляторна батарея з вбудованою системою управління мікромережею стане основою вашого поєднання технологій, щоб перетворити ваш об'єкт на інтелектуальну мікромережу.

Акумуляторна батарея може мати сенс для будь-якого споживача електроенергії, навіть для домашнього використання. Проте, економічне обґрунтування стає яснішим у міру збільшення майданчика і збільшення попиту на електроенергію. Скрізь, де є кілька потоків потужності, завжди варто подумати про систему зберігання.

Від цієї технології виграють сектори з високим споживанням електроенергії, потребою в стійкості до зовнішніх впливів, виробництвом електроенергії на місці, складними або конфіденційними бізнес-операціями та потребою в гнучкості у використанні енергії. З цієї причини акумуляторні батареї можуть стати надзвичайно потужним інструментом для підприємств у сфері виробництва, охорони здоров'я, роздрібної торгівлі, оборони та складського господарства.

Попит на зберігання зберігатиметься через його унікальну роль у забезпеченні енергетичної стійкості та його здатності допомогти зберігати постійно зростаючу кількість чистої та змінної поновлюваної енергії на благо всіх спільнот у майбутньому.

Широке впровадження технологій накопичення енергії, протягом наступних кількох десятиліть може мати велике значення для досягнення науково обґрунтованої мети досягнення нульового рівня викидів до середини століття.

Швидке зростання змінних відновлюваних джерел енергії, а саме сонячної фотоелектричної (ФЕМ) та вітрової, стимулює зусилля щодо модернізації системи електропостачання. При високих рівнях проникнення змінна відновлювана енергія збільшує потребу в ресурсах, які сприяють гнучкості системи. Це гарантує, що стабільність системи підтримується за рахунок узгодження попиту і пропозиції електроенергії. Акумуляторне зберігання є одним із варіантів підвищення гнучкості системи в цих обставинах за рахунок управління коливаннями електропостачання.

Акумуляторна система накопичення енергії забезпечує більший контроль і гнучкість використання електроенергії, оскільки її можна встановити "за лічильником", тобто на вашому власному об'єкті, і її можна використовувати паралельно для різних функцій, таких як:

- надійність електроживлення завдяки джерелу безперебійного живлення (ДБЖ)
- максимальне збільшення генерації на місці за рахунок зберігання енергії для використання в різний час.
- економія грошей за рахунок перемикання під час використання енергії з мережі
- буферизація великих навантажень, як-от заряджання електромобілів (EV), від мережі.

Надійний доступ до електрики необхідний більшості сучасних підприємств і використовується день у день для забезпечення безперебійної роботи. Багато підприємств не розглядають це як галузь, над якою вони мають великий контроль, і більшість із них покладаються виключно на підключення до національної мережі.

Це призводить до того, що у них дуже мало гнучкості та контролю над використанням енергії, що може призвести до розтрата енергії та збільшення вуглецевого сліду.

Локальне зберігання енергії дає змогу підприємствам зберігати свої енергоресурси локально, підвищуючи рівень контролю та гнучкості щодо того, як використовується їхня енергія.

Локальне зберігання енергії пропонує підприємствам альтернативний спосіб постачання енергією своїх об'єктів (рисунок 2.1):



Рисунок 2.1 - Локальне зберігання енергії.

2.2 Функція та інтеграція СНЕЕ в енергосистему

Система накопичення електричної енергії (СНЕЕ) може забезпечити ефективну інтеграцію установок ВДЕ в енергосистему з підвищенням їхніх економічних показників:

- Вирівнювання нерівномірності генерації ВДЕ
- Забезпечення балансів електроенергії та потужності

- Забезпечення стійкості
- Забезпечення якості електроенергії
- Оптимальний розподіл завантаження генераторів
- Забезпечення резервування
- Підвищення надійності

Крім перерахованого вище, СНЕЕ вирішує такі проблеми в енергосистемі.

- видача або споживання активної потужності
- компенсація несиметрії
- компенсація несинусоїдальності
- видача або споживання реактивної потужності

У перших трьох функцій ми повинні задіяти активну енергію, яка накопичена в накопичувачах власного акумулятора, а для управління реактивною потужністю, ресурс акумуляторів не потрібен зовсім, адже все це запросто здійснюється вбудованими засобами силового перетворювача. У нього, як правило, силові перетворювачі призначені для накопичення енергії, в яких, як правило, є вбудовані класичні конденсатори і ось саме за допомогою цього звичайного конденсатора і силовій електроніки в перетворювачі відбувається регулювання напруги.

В Україні, у промислових підприємств дуже високі тарифи на електричну енергію, часто їх вже можна порівняти із зарубіжними країнами.

Проблеми:

- Висока потужність навантаження на підприємства в максимальний час енергосистеми.
- Великі витрати на оплату потужності та електричної енергії.

Рішення при впровадженні СНЕЕ:

- Зниження потужності, споживаної з мережі в максимальну годину енергосистеми, за рахунок видачі енергії з СНЕЕ.
- Споживання з мережі більшої кількості енергії в години пік із СНЕЕ.

Застосування СНЕЕ для зниження потужності, споживаної з мережі в максимальну годину енергосистеми (рисунок 2.2):

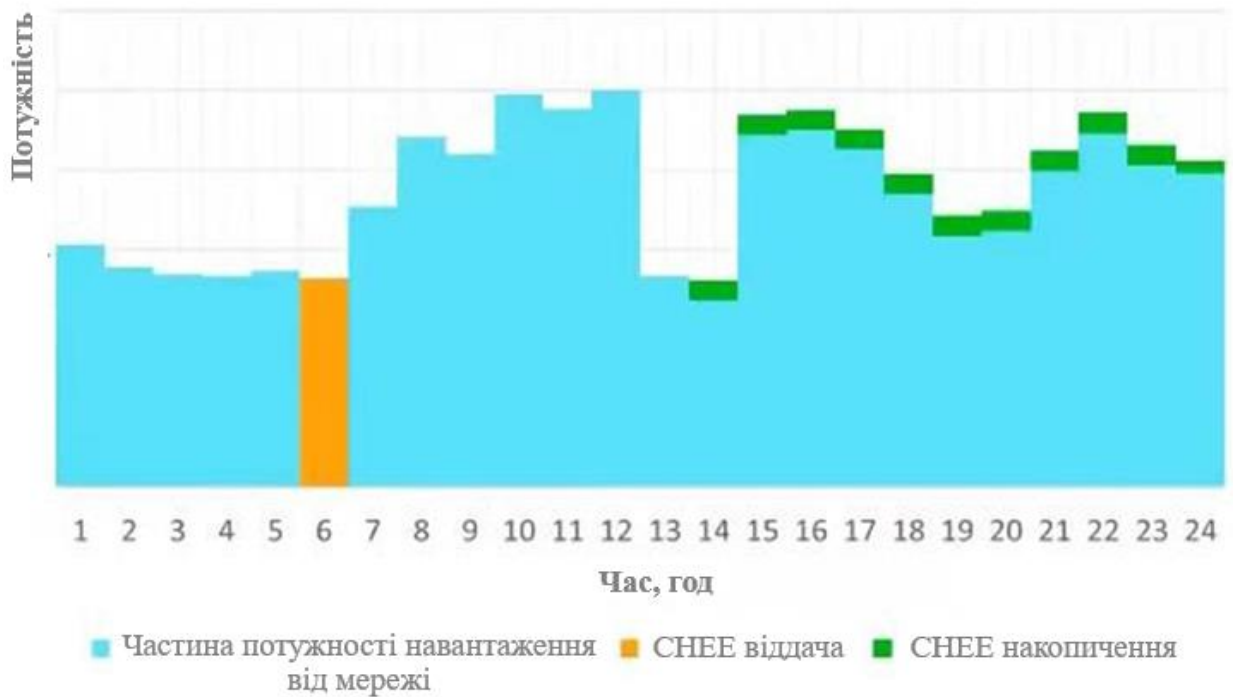


Рисунок 2.2 - Графік зміни потужності при застосуванні СНЕЕ.

2.3 Пропускна спроможність розподільчих мереж із застосуванням систем накопичення електричної енергії

Варто розуміти, що під підвищенням пропускної спроможності розподільчих мереж РМ спільно зі СНЕЕ, як правило, варто розуміти збільшення протікання електроенергії, у зв'язку з цим обсягом, що виник, частина електроенергії може бути розподілена на додаткові навантаження через високе завантаження добового обладнання.

$$W_{EE} = \sum_{i=t_1}^{t_2} (P_{H6i} + P_{CHEEi}) \Delta T, t_1 \leq t_{H6} \leq t_2 \quad (2.1)$$

де P_{H6i} - найбільше допустиме навантаження на шинах 0,4 кВ ТП протягом доби, величина якого обмежена номінальною потужністю трансформаторної підстанції $S_{ном}$ так, що за $\cos \varphi = 1$ має виконуватися умова $P_{H6} \leq i \leq P_{ном}$;

P_{CHEEi} - нормована вихідна активна потужність СНЕЕ в режимі розряду, що враховує енергетичну ефективність накопичувача;

ΔT - приріст часу;

$P_{ні}$ —фактичне навантаження на шинах 0,4 кВ ТП.

У разі застосування СНЕЕ для зниження нерівномірності графіка навантаження збільшення пропускної спроможності РМ складе (формула 2.2).

$$P_{\text{додам}} = \max \{P_{\text{CHEE}i}\}_{i=[t_1, t_2]} = \max \{P_{ні} - P_{\text{нб}i}\}_{i=[t_1, t_2]} \quad (2.2)$$

Однак якщо потужність навантаження в години пікового енергоспоживання не перевищує номінальну потужність трансформатора $P_{ні} \leq i \leq P_{\text{ном}}$, доступна потужність технологічного приєднання визначається як (формула 2.3)

$$P_{\text{тех.приєд}} = P_{\text{ном}} - P_{ні}\}_{i=[0,24]} \quad (2.3)$$

Із (формула 2.3) випливає, що спроможність пропускної електроенергії РМ спільно із СНЕЕ визначається доступною потужністю технологічного приєднання. З (формула 2.2) можна стверджувати, що збільшення пропускної спроможності РМ із СНЕЕ визначається збільшенням доступної потужності технологічного приєднання. Останнє прийнято як перший критерій підвищення пропускної спроможності РМ.

Максимальне відхилення напруги в прилеглому на базі ВДЕ вузлі РМ U_2 протягом доби визначається (формула 2.2).

$$\delta U_{\pm} = \frac{|U_2 + U_0|}{U_0} \quad (2.4)$$

де U_0 - стандартна номінальна напруга;

U_2 - розрахункове значення напруги вузла, яке визначається як

$$U_2 = U_1 - \frac{(\max \{P_{ні} - P_{\text{генеров},i}\}_{i=[0,24]})^{R_n} + \max \{Q_{нj}\}_{j=[0,24]}^{X_{Л}}}{U_1} \quad (2.5)$$

де $R_{л}$, $X_{л}$ - активний і реактивний опір;

$P_{нi}$, $Q_{нj}$ - активна і реактивна потужність навантаження цієї ділянки мережі відповідно;

U_1 - напруга в точці підключення ВДЕ;

$P_{генеров, i}$ - активна потужність генерації ВДЕ.

Зважаючи на низьке значення відношення X/R для розподільчих мереж та низького значення $Q_{генеров} / P_{генеров}$ на базі ВДЕ, вплив генерації та споживання реактивної потужності на базі ВДЕ на напругу в прилеглій мережі не враховується.

На підставі аналізу (формула 2.4 і 2.5) можна зробити висновок, що збільшення $P_{генеров}$ одночасно зі зниженням $P_{н}$ може призвести до виникнення неприпустимих позитивних відхилень напруги на шинах 0,4 кВ ТП у прилеглій до розподільчої мережі ВДЕ. Останнє може стати причиною вимушеного зниження потужності $P_{генеров}$ у період мінімальних навантажень, що, своєю чергою, потягне за собою зниження коефіцієнта використання встановленої потужності (КВВП) на базі ВДЕ (формула 2.6).

$$K_{КВВП} = \sum_{i=n}^N \frac{P_{генеров, i}}{t_i} / P_{вст} \quad (2.6)$$

де n , N - межі розглянутого інтервалу часу;

$P_{генеров}$ - фактична потужність ВДЕ в момент часу;

$P_{вст}$ - встановлена потужність на базі ВДЕ.

З перерахованого вище можна стверджувати, що хоч і виникнення неприпустимих відхилень напруги не є проблемою пропускної спроможності мережі, тим не менш, є одним з чинників, що обмежують потужність ВДЕ. Застосування СНЕЕ, що забезпечують відповідну зміну потокорозподілу потужностей і напруги у вузлах РМ, дає змогу запобігти виникненню неприпустимих відхилень напруги в споживачів і збільшити КВВП генерації на базі ВДЕ, у зв'язку з чим зниження відхилень напруги на шинах 0,4 кВ ТП у прилеглій до ВДЕ РМ.

2.4 Комерційне зберігання енергії в акумуляторних батареях

Комерційне акумуляторне сховище зазвичай являє собою великомасштабну батарею. Ці батареї можуть бути встановлені всередині вашого приміщення або в контейнері зовні, їх можна заряджати від вашої локальної генерації, такої як сонячна фотоелектрична енергія, або від мережі в періоди дешевої енергії.

Батарея, призначена для підприємств і організацій, щоб максимально ефективно використовувати їхнє енергоспоживання (рисунок 2.3):



Рисунок 2.3 - Комерційне акумуляторне сховище.

Це має кілька переваг, які включають у себе:

- Збереження надлишкової енергії, що виробляється вітром або сонцем, для подальшого використання або продажу назад у мережу за допомогою контракту на обслуговування мережі.
- Забезпечення відмовостійкості електроживлення і можливості ДБЖ навіть у разі вимкнення електроенергії або зниження напруги.
- Отримання доходу, заряджаючи дешеву енергію і продаючи її назад у мережу в години пік.

– Скорочення своїх витрат на електроенергію, використовуючи накопичену енергію в години пік, використовуючи згладжування пікових навантажень і перемикання навантаження.

Крім накопичення енергії та використання її за допомогою накопичувачів енергії, чимало важливо не забувати про управління навантаженням.

Управління навантаженням є важливою частиною ідеї інтелектуальної мережі, що використовує складне машинне навчання та елементи управління для динамічного балансу доступної потужності з потребою. Інтелектуальний моніторинг і управління дають змогу збалансувати мережу як активних, так і реактивних навантажень.

Перемикання навантаження - це ключовий аспект управління навантаженням, який використовується як у масштабі мережі для балансування попиту і потужності, так і на об'єктах для зниження витрат. Як приклад можна навести перенесення процесів з високим споживанням енергії, таких як деякі виробничі процеси, на час доби поза періодами пікового навантаження. Це допомагає доступній генерації задовольняти попит у періоди пікового попиту, а також забезпечує додатковий попит для задоволення загального обсягу генерації, що надходить у мережу в інші періоди. Перемикання навантаження можна використовувати для зниження витрат на електроенергію на окремому об'єкті або в організації, зводячи до мінімуму потужність, придбану в години пік, і замість цього використовуючи інші періоди, коли витрати на електроенергію нижчі.

Скидання навантаження, навпаки, являє собою загальне зниження загального споживання електроенергії на об'єкті (тоді як зміщення навантаження продовжує споживати ту саму загальну кількість енергії, тільки в різний час). Деякі форми скидання навантаження відомі як кероване зниження напруги, за якого живлення певних систем знижується або вимикається, щоб запобігти більш масштабним збоям у подачі електроенергії.

Оскільки більшість негнучких джерел енергії підключаються до мережі, управління навантаженням має життєво важливе значення в масштабі мережі, щоб збалансувати коливання виробництва і попиту. Дедалі частіше мережеві батареї

виконують важливу функцію управління навантаженням, зберігаючи або вивільняючи додаткову потужність у міру необхідності. На рівні об'єкта управління навантаженням може допомогти організації знизити загальні витрати на електроенергію, а також захистити об'єкт від ризику широкомасштабного перебоїв у подачі електроенергії та підтримувати роботу критично важливого обладнання.

Щоб оптимізувати виробничі витрати і підвищити доступність і продуктивність установок, розробники поновлюваних джерел енергії повинні мати можливість виробляти енергію з підвищеною ефективністю обладнання.

Одним із ключових чинників працездатності складних систем є підтримання їх у нормальному робочому стані. Щоб запропонувати відповідні методи підтримки операцій, має бути запропонована методологія розуміння реального процесу. Для цього огляд літератури привів нас до підходу, адаптованого до систем зберігання.

Пропонована функціональна архітектура показана на (рисунок 2.4). Цей підхід спрямований на підвищення ефективності та доступності складних систем зберігання відповідно до таких допоміжних функцій:

Обробка даних: це ключовий крок у розвитку передових підходів до системного аналізу. На першому етапі збір даних моніторингу виконується автоматично. Потім обробка даних структурує необроблені дані і витягує ключові показники ефективності з використанням статистичних методів. Пропонується п'ять основних сімейств індикаторів:

- індикатори роботи IdO.
- індикатори стану IdE
- індикатори запитів IdS
- показники ефективності IDP
- порівняльні показники IdC

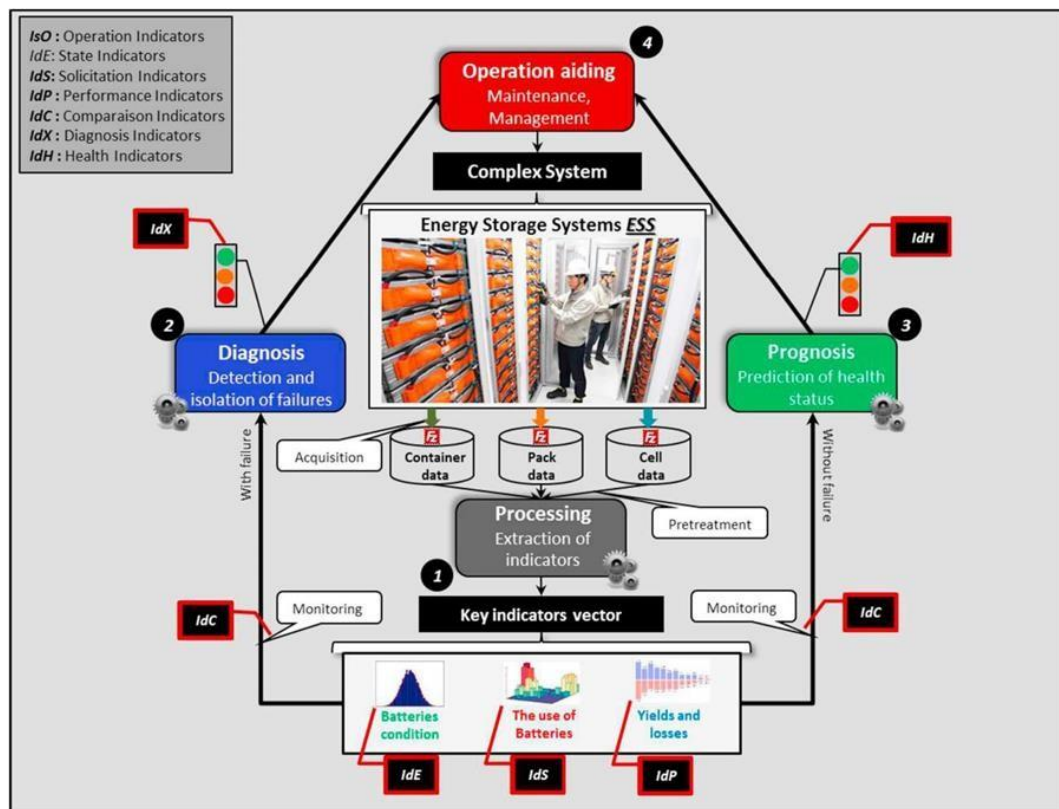


Рисунок 2.4 - Архітектура діагностики/прогнозу.

Діагностика: цей крок був спрямований на локалізацію несправного компонента і визначення характеру відмови відповідно до підходу "наслідок-причина". Методики, що використовуються, орієнтовані на методи діагностики, засновані на обробці даних. Існують й інші методи діагностики, засновані на знаннях. Тут ми використовуємо функцію моніторингу, яка обчислює нове сімейство індикаторів: індикатори діагностики (IdX): ці індикатори розраховуються безпосередньо на основі фактичних вимірів батареї: струм, стан заряду, напруга, температура тощо. Моніторинг цих вимірювань та їхні ліміти - це інструмент для виявлення збоїв.

Прогноз: метою прогнозу є передбачення майбутнього стану системи. У своїй роботі ми прагнемо оцінювати показники стану здоров'я на основі методів моніторингу та аналізу відхилень. Що стосується діагностики, ми використали функцію моніторингу і розрізняємо три підходи: на основі моделей, на основі даних і на основі досвіду. Тут ми використали функцію моніторингу, яка обчислює нове сімейство індикаторів: індикатори працездатності IdH: ці індикатори

розраховуються на основі вимірювань батареї: час, струм, стан заряду, напруга і температура. Моніторинг цих показників дає змогу прогнозувати погіршення роботи акумуляторної системи. Допомога в експлуатації: цей останній етап прийняття рішень допомагає оптимізувати роботу системи в цілому.

2.5 Інструмент аналізу даних

Було проведено дослідження операційних систем, яке привело нас до розробки розширеного інструменту аналізу даних. Це результат застосування архітектури, описаної вище. Це охоплює розробку першої допоміжної функції, зокрема: збір даних, попереднє опрацювання та опрацювання. Таким чином, цей інструмент аналізу дозволив витягти показники ефективності шляхом перетворення необроблених даних у відповідну інформацію. Цей інструмент було розроблено з використанням об'єктно-орієнтованого програмування графічного користувацького інтерфейсу в Matlab. Спочатку його було розроблено для систем зберігання, а потім поширено на інші компоненти відновлюваної енергії, під'єднаної до мережі, з системами зберігання електроенергії (СЗЕ). Інтерфейс є загальним і корисний для декількох електростанцій.

Список компонентів автоматично адаптується відповідно до електричної архітектури електростанції. Вибір параметра автоматично адаптується до типу обраного компонента. Календар дає змогу вибрати дату, на яку має бути зроблено аналіз. Вибір періоду дає змогу вибрати період аналізу: день, тиждень, місяць або рік.

Зовнішній вигляд інтерфейсу цього інструменту представлено на рисунку 2.5

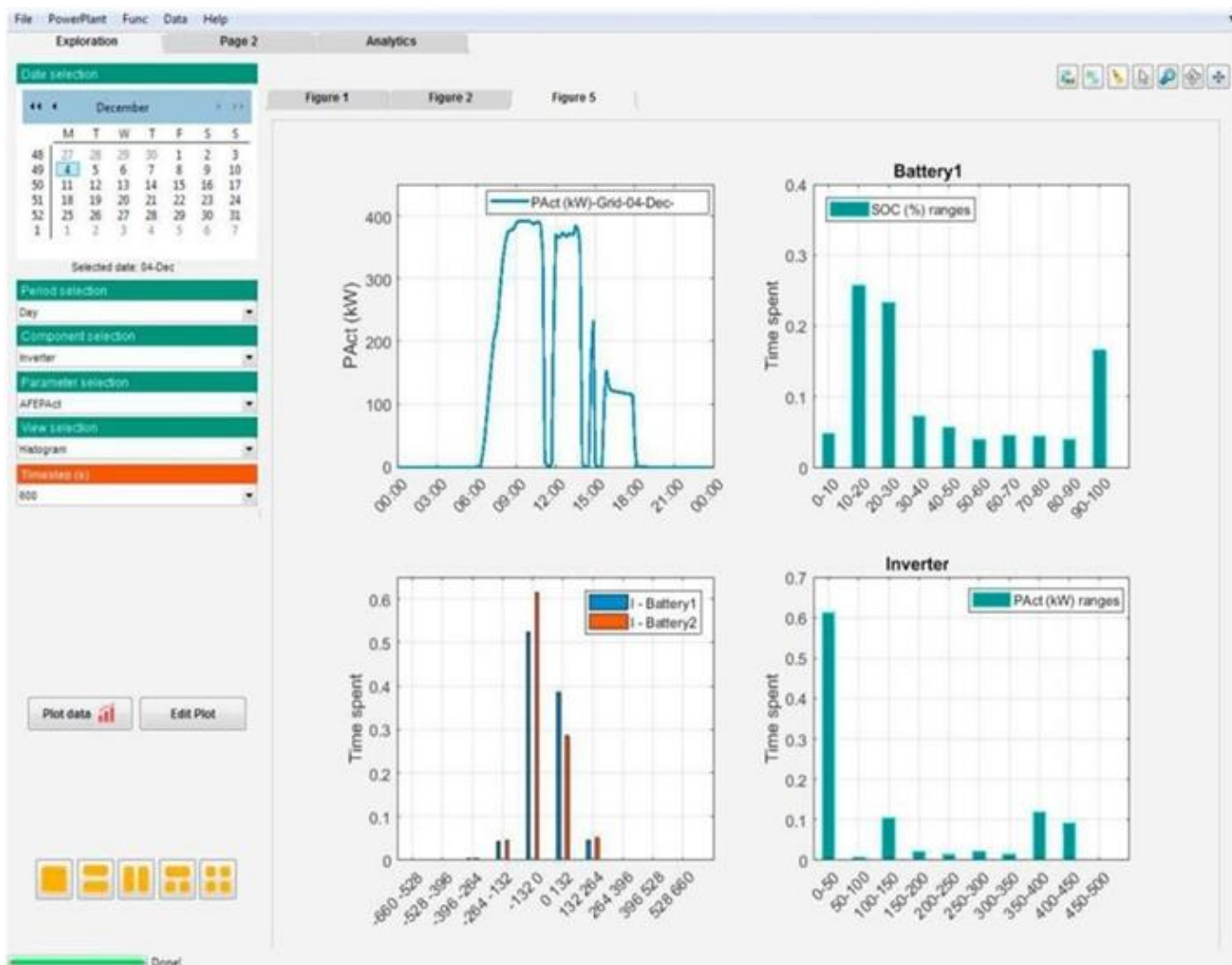


Рисунок 2.5 Зовнішній вигляд інтерфейсу аналізу даних.

Функціональні можливості інтерфейсу, призначені для аналізу продуктивності та використання систем зберігання електростанцій на поновлюваних джерелах енергії: Перевірка стану заряду для однієї батареї.

- Візуалізація часових рядів усіхвимірювань для одного компонента.
- Візуалізація часових рядів однієї змінної для всіх батарей.
- Індикатор стану для SoC, T тощо.
- Індикатор стану з кількома змінними для SoC, напруги та температури тощо.
- Індикатор запитів із гістограмами
- Теплові карти одного параметра, що дають змогу побачити щільність параметра в кожному діапазоні.

- Індикатор порівняння часу для одного компонента.
- Індикатор порівняння модулів для всіх акумуляторів.
- Показники ефективності (ККД) для одного або всіх компонентів одного типу

- Індикатор роботи одного або всіх акумуляторів.

Використання системи підсумовується за кількістю годин і кількістю днів.

Місячне порівняння роботи однієї батареї (рисунок 2.6):

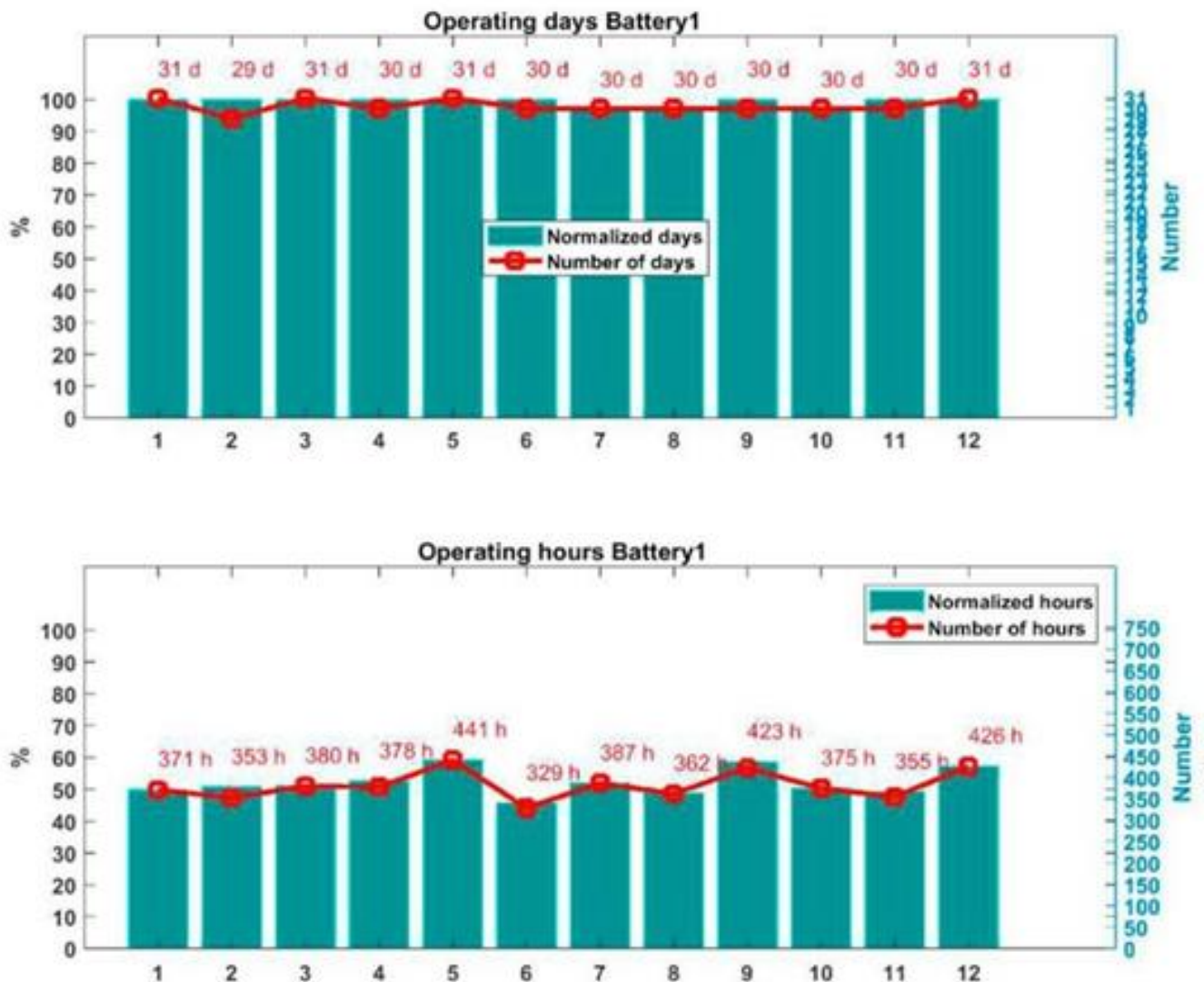


Рисунок 2.6 - Місячне порівняння роботи однієї батареї

2.6 Основні несправності літій-іонних акумуляторів та їх причина.

Внутрішні несправності батареї важко виявити, оскільки робота всередині літій-іонного елемента до досіхпів повністю не вивчена. Деякими прикладами внутрішніх несправностей батареї є перезарядка, надмірна розрядка, внутрішнє та зовнішнє коротке замикання, перегрівання, прискорена деградація та тепловий розгін. Усі ці несправності впливають на роботу акумулятора, але найнебезпечнішими є прискорена деградація та тепловий вихід з ладу, оскільки вони можуть суттєво вплинути на застосування літій-іонних акумуляторів або завдати прямої шкоди користувачам. Внутрішні несправності часто виявляються за аномальними реакціями на роботу батареї, які включають падіння напруги, підвищення температури, збільшення внутрішнього опору і фізичні зміни, такі як здуття.

Перезаряд - це несправність, яка може призвести до більш серйозних несправностей, таких як прискорена деградація і тепловий розгін. Це може статися в літій-іонних елементах через зміну ємності елементів у блоці, неправильне вимірювання напруги та струму.

Звичайний акумулятор також може перезарядитися, коли зарядний пристрій виходить з ладу. Перезаряд літій-іонних акумуляторів призводить до електрохімічних реакцій між компонентами акумулятора і втрати активних матеріалів. Крім того, в герметичних батареях скупчення газів може призвести до вибуху батареї. Крім того, температура поверхні батареї значно зростає, перш ніж вона почне перезаряджатися. Це викликає внутрішнє коротке замикання всередині батареї.

Перезаряджений катод схильний до розкладання електроліту, розчинення металу і фазового переходу, що зрештою може призвести до теплового розгону і загоряння.

Перерозряд, як і перезаряд, може бути спричинений неправильними вимірюваннями напруги і струму, а також неточною оцінкою SoC. Скануюча електронна мікроскопія і рентгенівська дифракція показали, що перерозряд може

бути викликаний відкладенням міді на електродах батареї. Дослідження електрохімічної імпедансної спектроскопії (EIS) також показують, що під час перерозряду батареї імпеданс анода набагато менший, ніж у катода, а це означає, що зміна на аноді набагато більша, ніж на катоді, що призводить до втрати ємності та струму. колекторна корозія. Надмірна розрядка може вплинути на термін служби і термічну стабільність літій-іонного елемента і призвести до значного здуття елемента.

Коротке замикання в літій-іонних акумуляторах може відбуватися як зовні, так і всередині. Внутрішнє коротке замикання виникає при виході з ладу ізолюючого розділового шару між електродами. Тепловий розгін здебільшого спричинений накопиченням тепла внаслідок короткого замикання. Загалом, комірки високої ємності схильні до вищого ризику теплового виходу з ладу через внутрішні короткі замикання, ніж комірки нормальної ємності.

Зовнішнє коротке замикання зазвичай відбувається, коли виводи з'єднані ланцюгом із низьким опором. Іншою причиною є витік електроліту через здуття елемента через газоутворення внаслідок побічних реакцій під час перезаряджання. Це також може статися через занурення у воду та ударну деформацію. Зовнішнє коротке замикання виникає, коли зовнішній теплопровідний елемент одночасно контактує з позитивною і негативною клемми, викликаючи електричне з'єднання між електродами.

Літій-іонна батарея може перегрітися, якщо регулятор напруги генератора вийде з ладу, відправивши високу напругу назад до батареї і спричинивши перегрів. Перегрів також може бути спричинений зовнішніми і внутрішніми короткими замиканнями. Перегрів батареї прискорює деградацію катода. Внаслідок перегріву відбувається значна втрата ємності. Перегрів літій-іонної батареї може призвести до руйнування матеріалів усередині батареї та утворення бульбашок газу, і, в більшості випадків, підвищення тиску призводить до здуття батареї та можливого вибуху. Іншим наслідком перегріву є тепловий розгін, який відбувається тому, що за критичної температури відбувається розгін, оскільки тепло не може піти так швидко, як воно утворюється.

Деградація елементів є загальною характеристикою більшості акумуляторів і виникає з різних причин, наприклад, через старіння та механізми саморозряду. Однак прискорена деградація є ненормальною і може спричинити серйозні проблеми з літій-іонними батареями. Процес деградації прискорюється під час зберігання за підвищених температур. Зовнішня деградація також прискорюється через такі чинники, як збільшення імпедансу, вища частота циклу, зміна SoC. Деякими механізмами прискореної деградації є корозія струмознімачів, зміни в матеріалі електродів і реакції між електродами та електролітом. Прискорена деградація може призвести до скорочення терміну служби батареї, що може стати серйозною проблемою в таких додатках, як електромобілі. Це також може викликати утворення поверхневого шару і погіршення контакту, що призводить до руйнування електрода, руйнування матеріалу і втрати літію.

Ці явища можуть призводити до транспортних бар'єрів, що призводить до пробиття сепаратора і спричиняє внутрішнє коротке замикання і, зрештою, тепловий розгін.

2.7 Висновки до розділу

У другому розділі представлено акумуляторні системи накопичення енергії (СНН), які відіграють ключову роль у підвищенні ефективності, гнучкості та надійності енергозабезпечення. Вони дозволяють зберігати надлишкову енергію, вироблену з відновлюваних джерел, для використання у періоди пікового навантаження або відсутності генерації. Встановлення СНН на об'єкті дає змогу зменшити залежність від мережі, знизити витрати на електроенергію, забезпечити резервне живлення та покращити стабільність мережі.

Для підприємств із високим споживанням електроенергії застосування СНН особливо вигідне, адже дозволяє оптимізувати графіки навантаження, згладжувати піки споживання та підвищити коефіцієнт використання генерації з ВДЕ. Комерційні акумуляторні батареї також можуть бути джерелом доходу через продаж накопиченої енергії у мережу.

СНЕС допомагають уникати перенавантажень у розподільчих мережах, компенсувати несиметрії та стабілізувати напругу. У поєднанні з системами інтелектуального управління вони формують гнучку, ефективну та стійку енергетичну інфраструктуру.

Розроблено інструмент аналізу даних, який забезпечує ефективну оцінку продуктивності систем зберігання енергії у відновлюваних джерелах. Реалізований у Matlab з графічним інтерфейсом, він дозволяє збирати, обробляти та візуалізувати дані, адаптуючись до архітектури електростанції. Інтерфейс підтримує вибір параметрів, дат, періодів та відображає ключові показники: стан заряду, температуру, ефективність тощо. Інструмент є універсальним, і придатним для аналізу даних з різних енергетичних об'єктів.

3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Маховикові системи зберігання електричної енергії

Щоб вирішити, чи вигідно застосовувати маховик у системі, необхідно дати всебічну оцінку переваг та інвестицій. Переваги різняться для різних варіантів. Обрано дві системи: побутову фотоелектричну (ФЕМ) систему і систему живлення трамвая. У першому випадку маховик може накопичувати надлишкову генерацію ФЕМ і зберігати її для використання в нічний час. У трамвайній системі маховик може накопичувати рекуперативну енергію під час гальмування трамвая. В обох системах енергетичний та економічний потенціал економії є основною перевагою і, як правило, також першим міркуванням для клієнта під час вибору належних пристроїв зберігання та їхніх оптимальних характеристик. Таким чином, перша мета цієї роботи полягає в тому, щоб надати методологію оцінювання енергетичних характеристик таких систем, оснащених маховиками, щоб забезпечити основу для оцінювання наступного кроку (наприклад, витрат) і проєктування.

Маховик зберігає кінетичну енергію в масі, що обертається. Енергія пропорційна інерції J тіла і квадрату кутової швидкості обертання Ω^2

$$E = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \Omega^2 \quad (3.1)$$

Основні компоненти маховикової системи накопичення енергії (МСНЕ) можна побачити на (рисунок 3.1). Електрична машина (Е-машина) необхідна для перетворення енергії. Це прискорює ротор, коли маховик заряджається, перетворюючи електричну енергію на механічну. Під час розрядки машина працює як генератор, гальмуючи ротором і повертає енергію в мережу. Електроживлення і зворотний зв'язок за енергією реалізовані інвертором, що забезпечує двонаправлений потік енергії. Підтримка ротора маховика може бути реалізована або механічними підшипниками, або магнітними підшипниками, залежно від

робочої швидкості. Маховики можна розділити на високошвидкісні (10000...100000 хв) і низькошвидкісні (менше 6000 хв). Високошвидкісні маховики зазвичай мають магнітну левітацію і працюють у вакуумі або частковому вакуумі, щоб зменшити втрати на тертя. Тому вакуумний насос і управління магнітним підшипником у системі потрібне. Характеристики низькошвидкісних і високошвидкісних маховиків представлено в таблиці 3.1.

Основні компоненти маховикової системи накопичення енергії МСНЕ (рисунок 3.1):

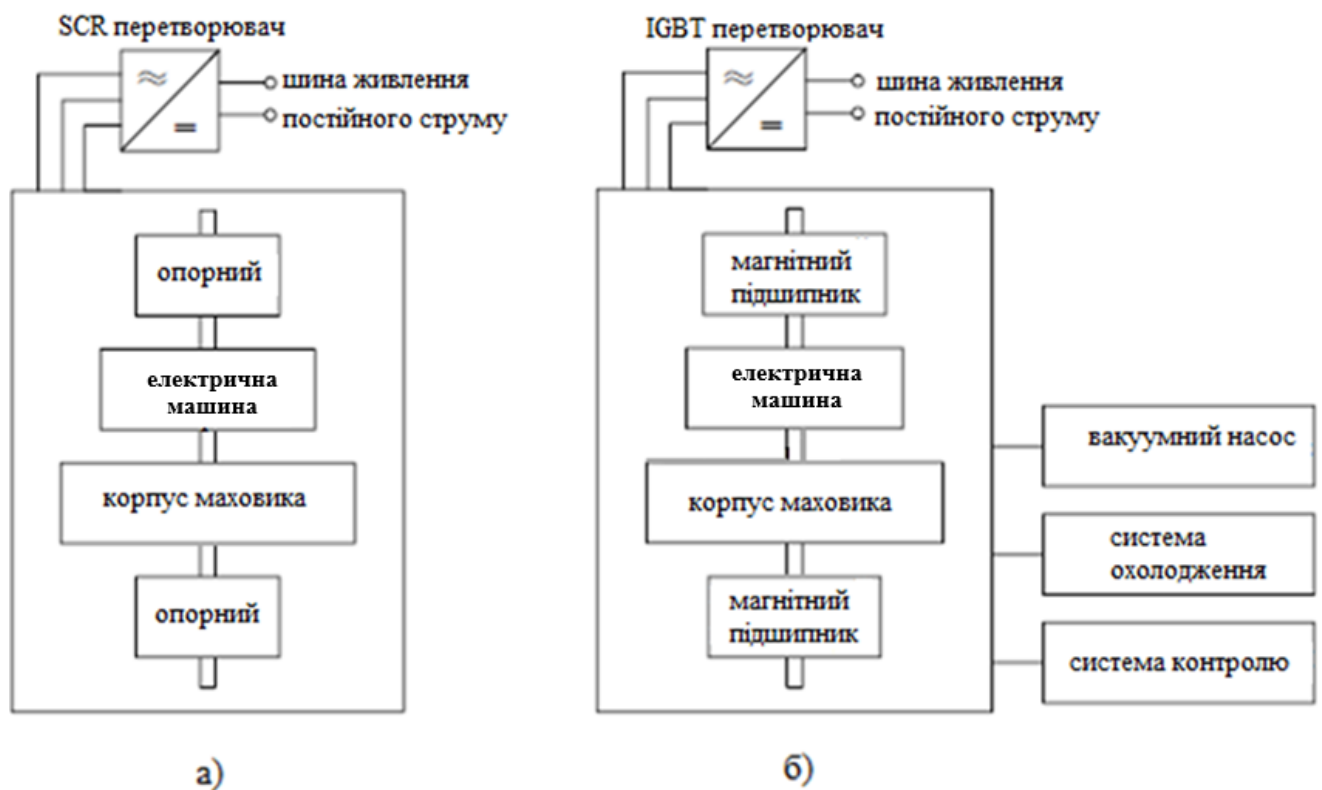


Рисунок 3.1 - Компоненти маховика: а) тихохідний маховик, б) високошвидкісний маховик. (SCR: кремнієвий випрямляч, IGBT: біполярний транзистор з ізольованим затвором)

Таблиця 3.1 - Характеристики низькошвидкісних і високошвидкісних маховиків.

-	Низькошвидкісні маховики	Високошвидкісні маховики
Матеріал ротора	Сталь	Композитні матеріали
Електрична машина	Асинхронна машина, машина з котушковим збудженням, машина з постійними магнітами, реактивна машина	Машина з постійними магнітами, реактивна машина
Інтеграція електронної машини та маховика	Відсутність інтеграції або часткова інтеграція	Повна або часткова інтеграція
Підшипники	Механічний або змішаний (механічний і магнітний)	Магнітний
Закрита атмосфера	Низький вакуум або легкий газ	Високий або середній вакуум

Тихохідні маховики зазвичай мають велику енергоємність (1...десятки кВт - год) і високу номінальну потужність (у МВт). Одним із типових застосувань є мережа електропостачання для частоти і стабілізації напруги. Ротор виготовлений зі сталі, що знижує трудомісткість виготовлення і вартість порівняно з композитними матеріалами, армованими волокном. Через низьку швидкість, потрібна велика інерція маси ротора, що призводить до збільшення ваги і розміру системи. Але вони не є критичними проблемами для стаціонарних застосувань. Низька швидкість також дає змогу використовувати механічні підшипники. Для збільшення терміну служби підшипників використовуються допоміжні магнітні підтримки. Низькошвидкісні маховики можуть працювати як у звичайному повітрі, так і в частковому вакуумі або газі для запальничок, щоб зменшити тертя повітря. Завдяки охолоджувальному ефекту повітря або газу на роторі, машини з котушковим збудженням або асинхронні машини можуть бути використані замість машин з постійними магнітами (ПМ). Загалом, незважаючи на низьку питому енергію (1 Вт год/кг), низькошвидкісні маховики дають змогу отримати недорогої, міцної і надійної конструкції з простими компонентами.

Високошвидкісні маховики зазвичай розробляються з метою отримання високої питомої енергії, питома потужність (десятки кВт/кг). Енергоємність зазвичай невелика (0,01...кілька кВт год). Вони використовуються, як правило, для транспортних і аерокосмічних застосувань, де потрібні екстремальні обмеження ваги та об'єму системи. Як питома енергія E/m (Вт год/кг) корпусу маховика пропорційна питомій матеріалу міцності (відношення міцності матеріалу σ_u до масової густини ρ) згідно з (формула 3.2), високоміцні та легкі матеріали, тобто композитні матеріали, армовані волокном (питома міцність: 180...240 Вт год/кг) краще, ніж метали (питома потужність: 12...66 Вт год/кг).

$$\frac{E}{M} \propto K \cdot \frac{\sigma_u}{\rho} \quad (3.2)$$

де m - маса в кг;

σ_u - межа міцності матеріалу;

ρ - маса щільності;

K називається коефіцієнтом форми, залежно від геометричної конфігурації ротора і використовуваного критерію відмови типові значення становлять 0,3...1.

Висока швидкість обертання унеможливорює використання звичайних механічних підшипників через великі втрати на тертя. Ротор зазвичай левітує на магнітних підшипниках, які зазвичай складніші та дорожчі. Щоб зменшити величезні втрати на аеродинамічний опір, ротор перебуває у вакуумі або частковому вакуумі. Це викликає труднощі з нагріванням ротора і розсіюванням. Тому машини з постійними магнітами, які мають досить низькі втрати в роторі, застосовують у високошвидкісних маховиках. Усі ці "високотехнологічні" компоненти (магнітна левітація, вакуум, високошвидкісна машина, двоспрямований інвертор потоку потужності) і спеціальні матеріали (композитні матеріали, рідкісноземельні магніти) підштовхують високошвидкісні маховики до високого цінового рівня, що у 5 разів вищий, ніж у низькошвидкісних маховиків та високим ступенем складності системи.

Тому вони не набули широкого поширення порівняно з наявними технологіями накопичення енергії. (батареї, суперконденсатори...), особливо щодо небезпеки високої швидкості та виникнення системної помилки. Потенційні відмови можуть виникнути через тріщини в масі ротора, в управлінні магнітними підшипниками або у силових електронних системах. Захисна оболонка з підтвердженою безпекою також збільшує складність і вартість системи. Проте, високошвидкісні маховики, як і раніше, привабливі на ринку накопичувачів енергії завдяки своїм винятковим перевагам високої питомої потужності і питомої енергії, майже повній відсутності зносу і придатності для надзвичайно високої циклічності при мінімальному технічному обслуговуванні.

3.1.1 Характеристики маховика

Характеристики основних технологій накопичення енергії підсумовані та зіставлені в (таблиця 3.2). Маховики характеризуються високою питомою потужністю (Вт/кг) і питомою енергією (кВт/м³), високою циклічністю без зносу, низькими вимогами до технічного обслуговування і низьким впливом на навколишнє середовище. Недоліками є високий саморозряд через внутрішні втрати і вищий ризик безпеки, ніж у інших накопичувачів.

Таблиця 3.2 - Характеристики технологій зберігання електричної енергії.

-	Суперконденсатори	Маховики	Свинцево - кислотна батарея	Літій - іонний акумулятор
Питома потужність (Вт/кг)	5.44 ... 100000	400 ... 30000	25 ... 415	8 ... 2000
Питома енергія (Вт год/кг)	0.07 ... 85.6	5 ... 200	10 ... 50	30 ... 300
Питома потужність (кВт/м ³)	15 ... 4500	40 ... 2000	10 ... 400	56.8 ... 800
Щільність енергії (кВт/м ³)	1 ... 35	0.25 ... 424	25 ... 90	94 ... 500
ККД (%)	65 ... 99	70 ... 96	63 ... 90	70 ... 100

Продовження таблиці 3.2

Термін служби (років)	5 ... 20	15 ... 20	3 ... 20	2 ... 20
Термін служби (циклів)	$10^4 \dots 10^6$	$10^4 \dots 10^5$ $10^5 \dots 10^7$	100 ... 2000	$250 \dots 10^5$
Саморозряд (%/день)	0.46 ... 40	24 ... 100	0.033 ... 1.10	0.03 ... 0.33
Час перезарядження.	сек.... хв.	< 15 хв.	8 год... 16 год	хв ... годинник
Масштаб [МВт]	0 ... 5	0.001 ... 10	0 ... 50	0 ... 3
Вплив на навколишнє середовище	Дуже низький	Дуже низький	Високий	Високий/середній

Маховики можуть швидко заряджатися і розряджатися, передаючи велику кількість енергії за секунди з високим ККД 85...95 % для високошвидкісних маховиків. Потужність заряду і розряду маховиків не залежить від ступеня розрядки, на відміну від суперконденсаторів і акумуляторів. А швидкість розряду легко дізнатися, вимірявши швидкість обертання. Велика кількість циклів не викличе проблем з деградацією маховиків, для яких суперконденсатори й акумулятори непорівнянні, оскільки їх зазвичай доводиться замінювати через 10...15 років через деградацію. Таким чином, перевагу маховиків можна побачити в тривалому терміні служби. Однак високий саморозряд є критичним недоліком маховиків, що визначає їхню непридатність для довготривалого зберігання енергії, як батареї. Але цей недолік мало впливає, коли час зберігання зменшується до секунд, тому що втрати нехтувано малі порівняно з повною перетвореною енергією. Потенційний ризик безпеки, пов'язаний з високою швидкістю обертання маси, також є критичним недоліком маховиків. Це тягне маховики донизу з огляду на застосування в мобільності, наприклад автомобілів і поїздів.

3.1.2 Застосування маховиків

Завдяки високій питомій потужності і високому саморозряду маховики підходять для короткострокового зберігання, коли потрібно дуже часте зарядження/розрядження з високим рівнем потужності, тому енергетичні втрати

незначні порівняно з перетвореною енергією. Зазвичай висока потужність і продуктивність досягаються за рахунок розташування маховиків у рядах, а не за рахунок використання великих машин в одному модулі.

Вони можуть бути згруповані у звичайний тип та інтегрований тип. Більшість наявних систем маховиків мають конфігурації, представлені на рисунку 3.2.

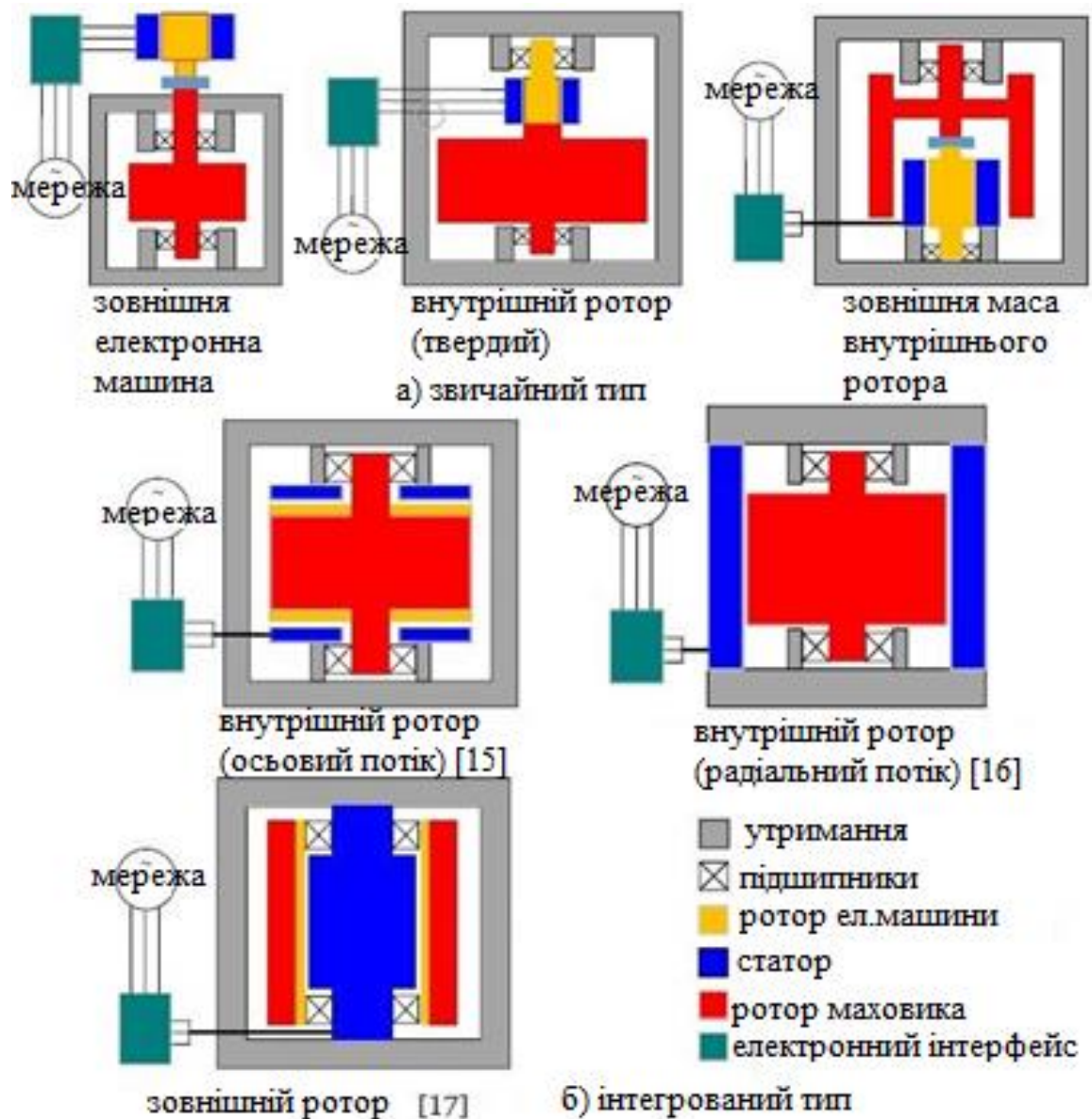


Рисунок 3.2 - Типові конфігурації систем маховиків.

Для звичайного типу (рисунок 3.2 а)).

Ротор маховика і електрична машина розділені агрегати і з'єднані механічною муфтою або на одному валу. Машина може бути розміщена всередині або зовні

корпусу. Зовнішня машина має хороші умови охолодження, так що можна використовувати високопотужну і недорогу асинхронну машину. Але швидкість зазвичай низька через механічні проблеми компонентів муфти і проблеми з ущільненням. Ротор-маховик може бути цілісним або циліндричним (так званий тип внутрішнього ротора із зовнішньою масою). Останній тип являє собою зазвичай використовувану схему для композитного обода ротора, що з'єднується з валом за допомогою легкої втулки, де можна ефективно використовувати простір усередині обода, що призводить до компактної конструкції. А ось для сталевих роторів цей тип не підходить через високу щільність і відносно низької міцності матеріалу.

Для інтегрованого типу (рисунк 3.2 б)).

Ротор маховика також діє як частина шляху потоку електричної машини, таким чином, компонент накопичення енергії та блок живлення інтегровані. Машина може бути звичайного типу з радіальним потоком або нового типу з осевим потоком. Тип осевого потоку може використовувати значну осьову силу, яка контролюється додатковою котушкою в обмотці статора, для протидії силі тяжіння ротора, зменшуючи навантаження і тертя в підшипниках. Але для цього потрібна складна стратегія управління, як силою, так і крутним моментом. У радіальному магнітному потоці машина з постійними магнітами (ПМ) не застосовна через низьку механічну міцність магнітів. Машина являє собою або машину опору, або уніполярну машину, яка має нижчу питому потужність, ніж машина з постійними магнітами.

Порівняно з конфігурацією внутрішнього ротора, тип зовнішнього ротора має вищий ступінь інтеграції. Композитний обід ротора може повністю левітувати за допомогою магнітних підшипників зовнішнього ротора без будь-якого з'єднання з маточиною, отримуючи ще вищу питому енергію і щільність енергії. Інтегрована конфігурація збільшує залежність між кожним компонентом. Самостійний компонентний дизайн уже не актуальний, тому потрібні великі витрати на розробку, що можна розцінювати як недолік.

Традиційні механічні підшипники, як і раніше, є найпростішими і найбільш широко використовуваними рішеннями для низькошвидкісних маховиків. Але вони

страждають від сильного зносу на високій швидкості і потребують хорошого змащення і періодичного обслуговування. Керамічні підшипники і гібридні підшипники можуть використовуватися для збільшення терміну служби підшипників завдяки їхнім низьким коефіцієнтам тертя і високій стійкості до зношування. Для систем високошвидкісних маховиків, де знос або технічне обслуговування є критичними проблемами, потрібні безконтактні магнітні підшипники (МП). Вони поділяються на пасивні магнітні підшипники (ПМП) і активні магнітні підшипники (АМП).

Високошвидкісні маховики зазвичай розташовуються у вакуумному контейнері, в якому рівень вакууму коливається від сотень паскалів до 10^{-4} Па. Ще одна функція стримування для забезпечення безпеки в разі відмови ротора. Коли ротор розвалюється, захисна оболонка повинна перешкоджати вильоту снарядів і розсіювати кінетичну енергію за рахунок деформації. Однак, на жаль, механізм впливу і поведінку залучених тіл досить складно передбачити.

3.2 Конфігурація системи управління маховиком

Базова схема складається із системи накопичення енергії, силового електронного інтерфейсу LCL-фільтр і трифазного джерела, що являє собою електричну мережу, як показано на (рисунок 3.3).

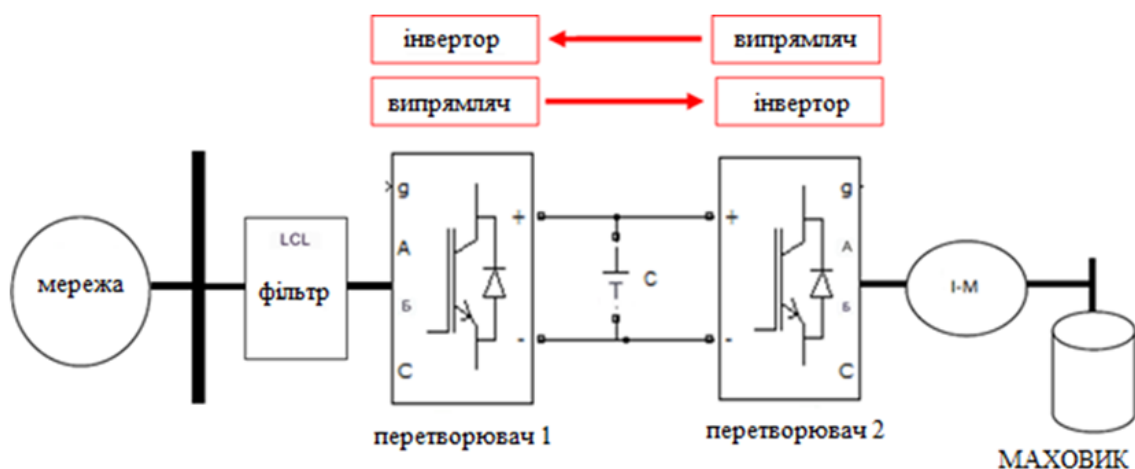


Рисунок 3.3- Принципова схема маховикової системи накопичення енергії

Система накопичення енергії в цьому випадку являє собою маховик, з'єднаний з індукційною машиною. Індукційна машина використовується для перетворення енергії. Силова електроніка складається з двох перетворювачів напруги, з'єднаних через загальний зв'язок. Один перетворювач джерела напруги взаємодіє з перетворювачем енергії та системою зберігання інший за допомогою системи електричної мережі.

Система накопичення енергії маховика має три режими роботи:

- Режим заряджання
- Режим очікування
- Режим розряду

У режимі заряду перетворювач, що взаємодіє з системою електромережі, працює як випрямляч, а інший - як інвертор, з переданою енергією, що прискорює маховик до його номінальної швидкості. У цьому режимі енергія запасється в маховику у вигляді кінетичної енергії.

Потік енергії йде від мережевої системи до маховика з індукційною машиною в якості енергії перетворювача.

Щойно маховик досягає швидкості заряду, система зберігання, що перебуває в режимі очікування, готова до розряду, коли на шині спостерігається падіння напруги.

У режимі розряду перетворювач, що взаємодіє з енергосистемою, працює як інвертор, подача необхідної напруги послідовна з лінією для усунення провалу напруги.

Маховиковий перетворювач працює як випрямляч. Маховик сповільнюється, коли він розряджається. У цьому режимі накопичена енергія використовується для корекції провисання, а потік енергії йде від маховика до мережі (рисунки 3.3):

Система накопичення енергії з маховиком, складається з наступних компонентів, які було змодельовано в MATLAB/Simulink:

- два перетворювачі напруги
- індукційна машина
- маховик

- система контролю

Для спрощення моделювання та тестування, вона розбита на дві підмоделі. Кожна підмодель окремо моделюється, тестується та інтегрується, щоб зробити це повною моделлю.

Підмоделі:

- модель управління, орієнтована на поле маховика
- модель управління, орієнтована на напругу

Показано однолінійна схема системи накопичення енергії з маховиком (рисунок 3.4):

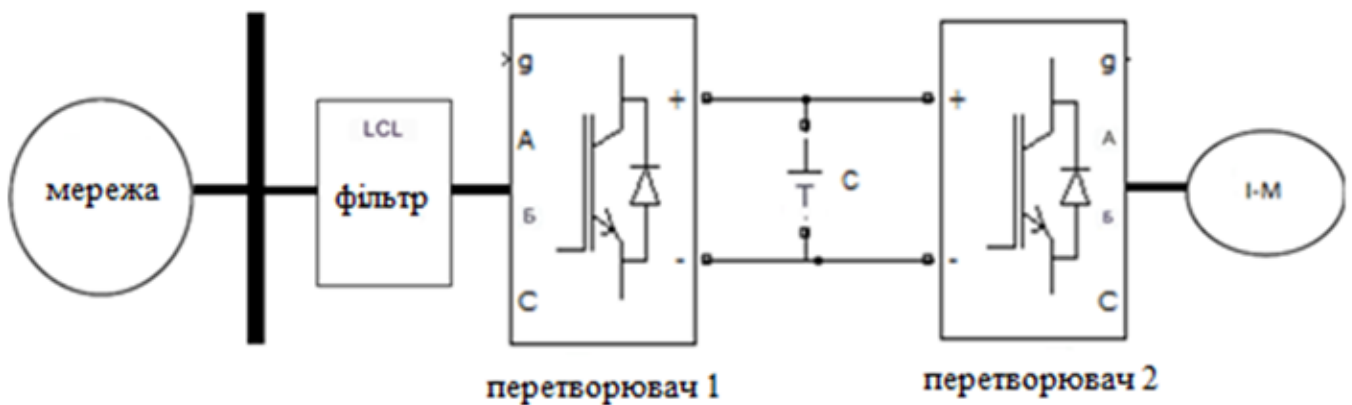


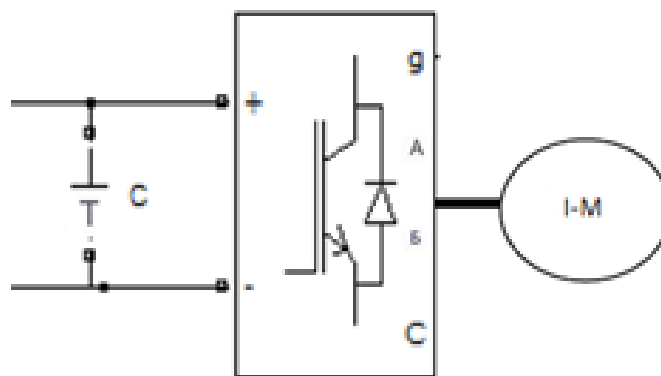
Рисунок 3.4 - Однолінійна схема системи накопичення енергії з маховиком

Він має такі підмоделі:

Контроль орієнтації поля.

- модель індукційної машини
- модель контролера, орієнтованого на поле конденсаторної ланки постійного струму для регулювання напруги постійного струму
- перетворювач напруги

Показано схема приводу управління, орієнтованого на поле маховика, яке було змодельовано в Simulink (рисунок 3.5):



перетворювач 2

Рисунок 3.5 - Модель управління, орієнтованого на поле маховика

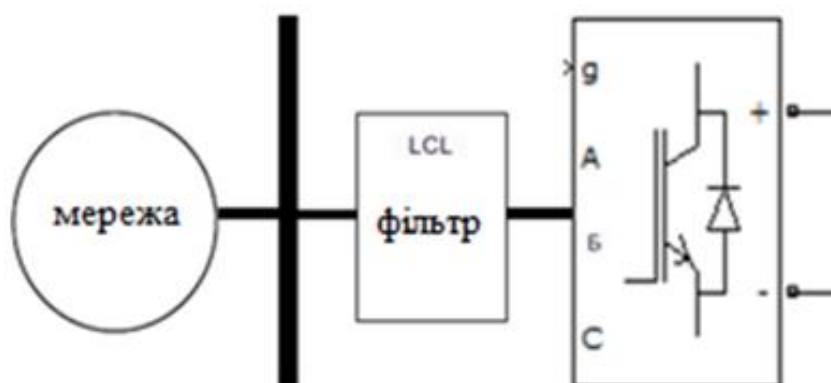
Продуктивність цієї моделі виявилася достатньою для цілей контролю напруги в місці з'єднання. Система управління відповідає вимогам і перевершує їх, оскільки встановлені за стандартами.

Керування за напругою.

Це має такі підмоделі:

- 3-фазне джерело живлення змінного струму
- послідовний трансформатор і фільтри
- перетворювач напруги

Схема управління, орієнтованого на напругу, яке було змодельовано в Simulink представлено на рисунку 3.6.



перетворювач 1

Рисунок 3.6 - Модель управління, орієнтованого на напругу

3.3 Аналіз потоку потужності житлових фотоелектричних систем з маховиками

Пристрої накопичення енергії в побутових фотоелектричних системах можуть усунути невідповідність часу вироблення і споживання електроенергії шляхом накопичення надлишкової енергії та збереження її для подальшого використання, коли це необхідно. Таким чином, споживання електроенергії з мережі може бути знижено за рахунок збільшення власного споживання фотоелектричної генерації. Нині на ринку систем накопичення енергії для побутових фотоелектричних установок домінують виключно акумулятори зі значною тенденцією переходу від свинцево-кислотних (LA) акумуляторів до літій-іонних (Li-ion) акумуляторів. Порівняно з батареями маховики мають триваліший термін служби (цикли) без проблем з деградацією і незначним впливом на навколишнє середовище. У 1970-х роках уже пропонували ідею використання маховиків у побутових фотоелектричних системах, хоча до цього було встановлено, що звичайні маховики ні технічно, ні економічно не можуть конкурувати з батареями. Але, згідно з ідеєю, якщо маховик спроектований з вбудованими функціями перетворення потужності постійного струму в змінний і відстеження точки максимальної потужності (MPPT), маховик буде технічно й економічно конкурентоспроможним із системою на основі батареї. На основі цієї ідеї було побудовано прототип маховика, який має накопичувальну ємність 4 кВт год і потужність 500 Вт. Ротор, який знаходиться на магнітній подушці, має максимальну швидкість обертання $15000 \text{ хвилин}^{-1}$ і працює у вакуумі. Експериментальні вимірювання показують, що загальна енергоефективність системи на основі маховика, включно із силовою електронікою, становить 68 % (із втратою запасеної енергії приблизно 1,5 % на годину), що трохи вище, ніж у системи на основі батареї зі значенням 65 % (враховуючи 80 % для батареї, 85 % для інвертора, 96 % для MPPT). Це порівняння не коректне на сьогоднішній день, оскільки ККД і продуктивність акумуляторів значно зросли, тобто до 85...95 % для літій-іонних акумуляторів. По-друге, вимірюваний ККД фокусується на ефективності

перетворення потужності прототипу, а не на циклічному режимі у фотоелектричній системі, де критичними стають втрати на холостому ходу в маховику, а не втрати на перетворення енергії протягом періоду циклу в годинах.

Тому в цьому розділі буде представлено оцінку продуктивності маховика в побутовій фотоелектричній системі. Акцент залишається на загальній енергоефективності маховика з урахуванням робочого циклу і потенціалі енергозбереження фотоелектричної системи в масштабі одного року.

Досліджувана побутова фотоелектрична система призначена для максимізації власного споживання електроенергії.

Основні компоненти побутової фотоелектричної системи з СНЕЕ показані на (рисунок 3.7): Система фотоелектричної генерації ("ФЕМ"), побутове споживання ("Навантаження"), система накопичення електричної енергії ("СНЕЕ") і мережа "Мережа", яка також може постачати домогосподарство електроенергією, як отримати надлишкову енергію від фотоелектричної системи. На основі різного покоління та споживання, існують різні умови потоку потужності між компонентами в системах. Їх можна розділити на два режими роботи.

Режим домінуючої генерації (режим А) і режим домінуючого споживання (режим В) (рисунок 3.7):

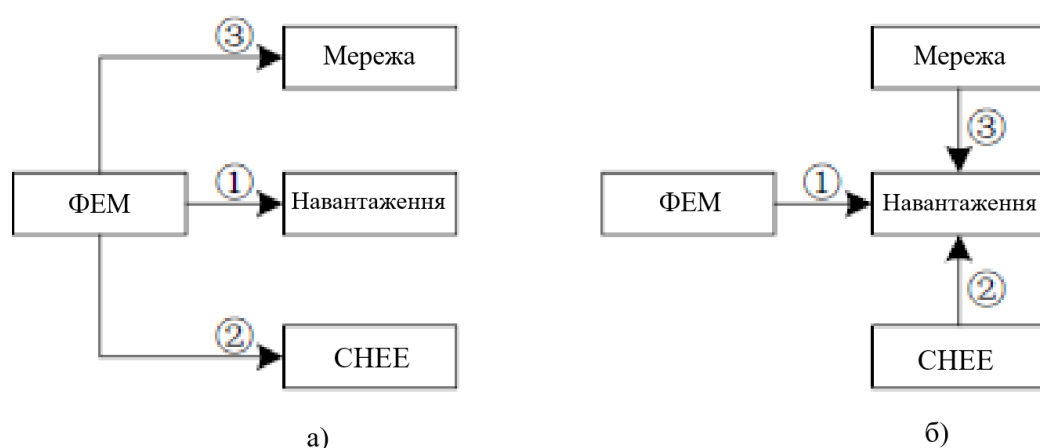


Рисунок 3.7 - Режими роботи фотоелектричної системи: а) Режим А: домінуюча генерація, б) Режим В: споживання домінуюче. (Цифри показують пріоритет потоку потужності від 1 до 3 у порядку зменшення).

Режим А має місце, коли генерація ФЕМ вища, ніж споживання $P_{\text{ФЕМ}} \geq P_{\text{Н}}$ ($P_{\text{ФЕМ}}$ - Потужність фотоелектричної генерації, $P_{\text{ФЕМ}} \geq 0$; $P_{\text{Н}}$: потужність навантаження, $P_{\text{Н}} \geq 0$). Покоління ФЕМ відповідає навантаженню першочергово і запасає надлишкову енергію у СНЕЕ. Після того, як СНЕЕ повністю заряджений або досягнуто межі потужності заряджання, залишкова генерація надходитиме в мережу.

Якщо $P_{\text{ФЕМ}} < P_{\text{Н}}$, система працює в режимі В. Споживання здійснюється різними джерел відповідно до пріоритету. По-перше, вся фотоелектрична генерація використовується для перекриття навантаження. Потім СНЕЕ розряджається, щоб покрити навантаження, що залишилося. Якщо СНЕЕ порожній або залишкова потреба в потужності перевищує номінальну потужність СНЕЕ, споживається додаткова енергія з мережі.

3.4 Висновки до розділу

Представлено характеристики технологій зберігання електричної енергії в таких накопичувачах, як: суперконденсатори, маховики, Свинцево - кислотна батарея, Літій - іонний акумулятор.

Розглянуто основи маховикові системи зберігання електричної енергії, наведено характеристики низькошвидкісних і високошвидкісних маховиків. Розглянуто застосування маховиків і представлено типові конфігурації більшості наявних систем.

Представлено базову схему, що складається із системи накопичення енергії, силового електронного інтерфейсу LCL-фільтр і трифазного джерела, що являє собою електричну мережу. Система накопичення енергії з маховиком, складається з: двох перетворювачі напруги, індукційної машина, система контролю і маховика, які було змодельовано в MATLAB/Simulink

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Заходи безпеки при монтажі енергоустановок

Роботи в електроустановках, що стосується заходів безпеки, діляться на три категорії [13]: 1) зі зняттям напруги; 2) без зняття напруги на струмовідних частинах і поблизу них; 3) без зняття напруги не на струмовідних частинах, що знаходяться під напругою.

У випадку одночасної роботи в електроустановках напругою до і понад 1000 В категорії робіт визначаються як для установок більше 1000 В.

До робіт, які виконуються зі зняттям напруги, належать роботи, які здійснюються в електроустановці (або її частини), в якій з струмопровідних частин знято напругу і доступ в електроустановки (або їх частини), що знаходяться під напругою, стало неможливим.

До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах. Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них слід виконувати не менше як двом працівникам, з яких керівник робіт повинен мати групу IV, інші - групу III.

В електроустановках напругою понад 1000 В роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них слід виконувати із застосуванням засобів захисту для ізоляції працівника від струмопровідних частин або від землі. У випадку ізоляції працівника від землі роботи слід виконувати згідно спеціальних інструкцій або технологічними картами, в яких передбачені необхідні заходи безпеки.

Під час роботи в електроустановках напругою до 1000 В без зняття напруги на струмопровідних частинах або поблизу від них необхідно:

- захистити розташовані поблизу робочого місця інші струмопровідні частини, які знаходяться під напругою, і до яких можливо випадковий дотик;
- працювати в діелектричній взуття, стоячи або на ізолювальних підставці або на діелектричному килимі;

- застосовувати інструмент з ізолювальними рукавами (у викруток, крім того, повинен бути ізолюваний стрижень); за відсутності такого інструменту слід користуватися діелектричними рукавичками.

Під час виконання робіт без зняття напруги на струмопровідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно:

- Тримати ізолювальні частини засобів захисту за рукави до обмежувального кільця;
- Розміщувати ізолювальні частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмопровідними частинами двох фаз чи замикання на землю;
- Користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям.

У разі виявлення порушень лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту користування ними забороняється.

У процесі роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги та кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги) допускається наближення працівника до струмопровідних частин на відстань, яка визначається довжиною ізолювальної частини цих коштів.

Всі працівники, які знаходяться у приміщеннях з чинним електрообладнанням електростанцій і підстанцій (за винятком щитів керування релейних та їм подібних приміщень), в ЗРУ, ВРУ, в колодязях, тунелях і траншеях зобов'язані користуватися захисними касками.

4.2 Допомога при ураженні електричним струмом в електроустановках напругою до 1000 В

Перша медична допомога — це комплекс заходів, спрямованих на відновлення або збереження здоров'я потерпілих, здійснюваних немедичними працівниками (взаємодопомога) або самим потерпілим (самодопомога) [13]. Найважливіше

положення надання першої допомоги — її терміновість. Чим швидше вона надана, тим більше сподівань на сприятливий наслідок.

Послідовність надання першої допомоги:

- усунути вплив на організм ушкоджуючих факторів, котрі загрожують здоров'ю та життю потерпілих, оцінити стан потерпілого;
- визначити характер та важкість травми, найбільшу загрозу для життя потерпілого і послідовність заходів щодо його рятування;
- виконати необхідні заходи з рятування потерпілих в послідовності терміновості (відновити прохідність дихальних шляхів, здійснити штучне дихання, провести зовнішній масаж серця);
- підтримати основні життєві функції потерпілого до прибуття медичного працівника;
- викликати швидку медичну допомогу або вжити заходів щодо транспортування потерпілого до найближчого лікувального закладу.

Для звільнення потерпілого від струмоведаючих частин або провода напругою до 1000 В слід скористатись канатом, палицею, дошкою або; будь- яким сухим предметом, що не проводить електричного струму.

Якщо електричний струм проходить в землю через потерпілого і він судорожно стискає один провід, то простіше перервати струм, відокремивши потерпілого від землі (підсунувши під нього суху дошку, або відтягнувши за ноги від землі вірьовкою, або відтягнувши за одяг), дотримуючись при цьому запобіжних заходів. Можна також перерубати дроти сокирою з сухою ручкою або перекусити їх інструментом з ізольованими ручками. Перерубувати або перекушувати проводи слід пофазово, тобто кожний провід окремо, при цьому рекомендується стояти на сухих дошках, на дерев'яній драбині.

Заходи долікарської допомоги залежать від стану, в якому знаходиться потерпілий після звільнення від електричного струму. Після звільнення потерпілого від дії електричного струму необхідно оцінити його стан. У всіх випадках ураження

електричним струмом необхідно обов'язково викликати лікаря незалежно від стану потерпілого.

Якщо потерпілий при свідомості та стійке дихання і є пульсом, але до цього втрачав свідомість, його слід покласти на підстилку з одягу, розстебнути одяг, котрий затруднює дихання, забезпечити приплив свіжого повітря, розтерти і зігріти тіло та забезпечити повний спокій, дати понюхати нашатирний спирт, сполоснути обличчя холодною водою. Якщо потерпілий, котрий знаходиться без свідомості, прийде до тями, слід дати йому випити 15— 20 краплин настоянки валеріани і гарячого чаю.

Ні в якому разі не можна дозволяти потерпілому рухатися, а тим більше продовжувати роботу, оскільки відсутність важких симптомів після ураження не виключає можливості подальшого погіршення стану. Лише лікар може робити висновок про стан здоров'я потерпілого. Якщо потерпілий дихає рідко і судорожно, але у нього не намацується пульсу необхідно відразу зробити йому штучне дихання.

За відсутності дихання та пульсу у потерпілого внаслідок різкого погіршення кровообігу мозку розширюються зіниці, зростає синюшність шкіри та слизових оболонок. У таких випадках допомога повинна бути спрямована на відновлення життєвих функцій шляхом проведення штучного дихання та зовнішнього (непрямого) масажу серця.

Потерпілого слід переносити в інше місце лише в тих випадках, коли йому та особі, що надає допомогу, продовжує загрожувати небезпека або коли надання допомоги на місці не можливе. Для того, щоб не втрачати час, не слід роздягати потерпілого. Не обов'язково, щоб при проведенні штучного дихання потерпілий знаходився в горизонтальному положенні. Якщо потерпілий знаходиться на висоті, необхідно перед спуском на землю зробити штучне дихання безпосередньо в люльці, на щоглі і на опорі.

Опустивши потерпілого на землю, необхідно відразу розпочати проведення штучного дихання та масажу серця і робити це до появи самостійного дихання і відновлення діяльності серця або передачі потерпілого медичному персоналу.

4.3 Сигнально-попереджувальні пристрої і фарбування обладнання

Для попередження про небезпеку застосовують звукові, світлові і кольорові сигнали. Сигнальні пристрої встановлюються в зонах видимості і слухового відчуття обслуговуючого персоналу. Сигнали небезпеки повинні чітко сприйматися у виробничій обстановці [13].

Нормативами визначаються сигнальні і розпізнавальні кольори. Основними сигнальними кольорами є червоний - забороняючий, засвідчуючий про безпосередню небезпеку, жовтий - зосереджуючий увагу і попереджуючий про можливу небезпеку і зелений - означаючий безпеку.

Розпізнавальними кольорами вважають зелений, червоний, синій, жовтий, оранжевий, фіолетовий, коричневий, сірий.

Розпізнавальні кольори наносять на технологічне підйом-но-транспортне обладнання, трубопроводи, елементи будівельних конструкцій та інші споруди. Сигнально-попереджувальним фарбуванням (жовтими і чорними смугами) відмічаються елементи будівельних конструкцій і міжцехового транспорту. Так, жовто-чорною смугою позначаються низькі балки, виступи і перепади у площині підлоги, краю люків і колодязів, кабіни і перила кранів, вантажні гаки, бічні поверхні електрокарів, навантажувачів, візків, стріл автокранів.

Огородження небезпечних зон із зовнішнього боку фарбують в жовтий колір, із внутрішнього - в червоний.

Габарити проїздів, проходи і робочі місця на підлозі виробничих приміщень позначаються смугою чи штриховими лініями білого чи жовтого кольору.

Розпізнавальне фарбування однойменних струмоведучих шин у кожній електроустановці приймається однаковим.

При змінному струмі фаза А фарбується в жовтий колір, фаза В - зелений, фаза С - червоний, нульова (при ізольованій чи заземленій нейтралі) - в чорний; при однофазному струмі провідник, під'єднаний до початку обмотки джерела живлення, - в жовтий, до кінця обмотки - в червоний; при постійному струмі позитивна фаза "+" - в червоний, негативна "-" - в синій, нейтральна - в білий.

Стандартами передбачена система знаків безпеки, які повинні використовуватися не тільки в промисловості, але й в інших галузях народного господарства, а також передбачені знаки, які є загальними для багатьох виробництв і професій, але у разі необхідності вони можуть бути конкретизовані із використанням графічних зображень і надписів, що застосовуються в інших стандартах.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі детально розглянуто протидію аварійним ситуаціям за допомогою накопичувачів енергії. Проаналізовано декілька груп накопичувачів та їх подальше поєднання один з одним для придушення збурень в енергосистемах

Представлено акумуляторні системи накопичення енергії (СНЕЕ), які відіграють ключову роль у підвищенні ефективності, гнучкості та надійності енергозабезпечення. Вони дозволяють зберігати надлишкову енергію, вироблену з відновлюваних джерел, для використання у періоди пікового навантаження або відсутності генерації.

Розроблено інструмент аналізу даних, який забезпечує ефективну оцінку продуктивності систем зберігання енергії у відновлюваних джерелах. Реалізований у Matlab з графічним інтерфейсом, він дозволяє збирати, обробляти та візуалізувати дані, адаптуючись до архітектури електростанції. Інтерфейс підтримує вибір параметрів, дат, періодів та відображає ключові показники: стан заряду, температуру, ефективність тощо. Інструмент є універсальним, і придатним для аналізу даних з різних енергетичних об'єктів

Представлено характеристики технологій зберігання електричної енергії в таких накопичувачах, як: суперконденсатори, маховики, Свинцево - кислотна батарея, Літій - іонний акумулятор.

Розглянуто основи маховикові системи зберігання електричної енергії, наведено характеристики низькошвидкісних і високошвидкісних маховиків. Розглянуто застосування маховиків і представлено типові конфігурації більшості наявних систем.

Представлено базову схему, що складається із системи накопичення енергії, силового електронного інтерфейсу LCL-фільтр і трифазного джерела, що являє собою електричну мережу. Система накопичення енергії з маховиком, складається з: двох перетворювачі напруги, індукційної машина, система контролю і маховика, які було змодельовано в MATLAB/Simulink.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Moustakas K, Loizidou M, Rehan M, Nizami AS. A review of recent developments in renewable and sustainable energy systems: key challenges and future perspective. *Renew Sustain Energ Rev.* 2020.
2. Andriychuk, V., & Filyuk, Y. (2018). Autonomous power supply system for outdoor illumination of residential areas in the territory of Ukraine. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*, 89(1), 113-121.
3. Dal M. A comparative analysis of energy costs of photovoltaic, solar thermal, and wind electricity generation technologies. *Appl Sci.* 2013.
4. Андрійчук, В. А., & Філюк, Я. О. (2018, January). Системи автономного живлення зовнішнього освітлення населених пунктів на території України. In VI Міжнародна науково-технічна конференція „Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи “ (pp. 13-14).
5. Filyuk, Y., & Andriychuk, V. (2017). Використання даних метеослужб для оцінки енергетичного потенціалу сонячного випромінювання. Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування. Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції, 8-9 червня 2017 року: збірник тез доповідей.— Тернопіль: ФОП Паляниця ВА, 2017.—244 с., 233..
6. Філюк, Я. О., & Андрійчук, В. А. (2017). Експериментальні вимірювання енергетичного потенціалу сонячного випромінювання. Матеріали XX наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 176-177..
7. Андрійчук, В. А., & Філюк, Я. О. (2017). Акумуляуючі пристрої для систем автономного живлення світлотехнічних установок. *Технічна електродинаміка*, (2), 40-47.
8. Andriychuk, V., & Filyuk, Y. (2017). RESEARCH OF ENERGY POTENTIAL OF SOLAR RADIATION IN TERNOPIL. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*, (1), 85.

9. КОВАЛЬ, В., ОРОБЧУК, Б., БУНЯК, О., & ГЕТМАНЮК, В. (2024). Робота фотоелектричної станції на основі гібридного інвертора з різною ємністю системи накопичення електроенергії. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences, 343(6 (1)), 208-214..

10. Коваль В. П. Суміщене електропостачання від поновлювальних джерел енергії / Вадим Коваль // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп’ютерних технологій— присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця, 20-21 червня 2019 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2019. — С. 294.

11. Стельмах, С. С., & Коваль, В. П. (2022). Енергоефективність гідроакumuлюючих установок малої потужності. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 71-71.

12. Тарасенко М.Г., Коваль В.П., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 50 с.

13. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський) / укл. : О. Я. Гурик, І. Б. Окіпний. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.