

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 (підпис) О. Ю. Колларов
 (ініціали, прізвище)
 «___» _____ 2023 р.

Кваліфікаційна робота магістра

на тему Підвищення енергоефективності автономних систем
електропостачання з відновлювальними джерелами енергії

Виконав: студент 2 курсу, групи ГЕМм-22
 (шифр групи)

напряму підготовки (спеціальності) 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Шибанов М.М.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник Доц. каф. ЕлІн, к.т.н., доц., Сергієнко Л. В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цій випускній
кваліфікаційній роботі немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних
посилань.*

Студент _____

(підпис)

Луцьк – 2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: магістр

Спеціальність: (141) електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри

(Колларов О. Ю.)

« » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Шибанову Максиму Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення енергоефективності автономних систем електропостачання з відновлювальними джерелами енергії

керівник роботи Сергієнко Ліана Валеріївна, канд. техн. наук, доц.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ №

2. Строк подання студентом роботи 04 грудня 2023 року.

3. Вихідні дані до роботи: Соняна панель потужністю 280 Вт, напруга х.х. паєлі 38,58 В; температура навколишнього середовища 25 °С;

аккумулятор ємністю 80 А·год та напругою 12 В; інсоляція максимальна на 1 м² прийняти не більше ніж 1000 Вт. Відсутні параметри обрати із врахуванням вже наданих або вибрати довільно, дотримуючись обмежень, накладених вихідними параметрами.

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

1. Аналіз джерел відновлювальної енергії та способи генерації електричної енергії

2. Технології збереження енергії

3. Аналіз математичної моделі батареї в системі MATLAB

4. Розробка математичної моделі фотоелектричної системи з акумулюючим пристроєм

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

Тринадцять слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділи 1 – 3	Сергієнко Л. В.		
Розділ 4			

7. Дата видачі завдання 02 жовтня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	02.10.23 – 20.10.23	
2.	Розділ 2	23.10.23 – 06.11.23	
3.	Розділ 3	13.11.23 – 24.11.23	
4.	Розділ 4	27.11.23 – 04.12.23	

Студент _____
(підпис)

Шибанов М.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Сергієнко Л. В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Шибанов М.М. Підвищення енергоефективності автономних систем електропостачання з відновлювальними джерелами енергії / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023.

У дипломному проєкті докладно проаналізовано відновлювальні та традиційні види енергії. Основну увагу приділено альтернативним джерелам енергії, а саме сонячній та вітровій енергетиці, також зазначено, що можливе використання біомаси для генерації електричної енергії.

При дослідженнях у роботі розглянута інформація щодо використання «буферної» ємності в енергосистемі, а саме акумуляторних батарей, великих конденсаторів та різних видів збереження енергії для її подальшого використання в пікові години споживання електроенергії.

Проведено докладний аналіз акумуляторної батареї в системі прикладних програм Matlab (Simulink), наведені його основні параметри. Обґрунтовано вибір типу акумуляторної установки для подальшого моделювання.

Розроблено математичну модель системи заряджання акумулятора за допомогою фотоелектричного елемента в програмі Matlab. Отримано характеристичні залежності генеруючих та акумулюючих властивостей компонентів системи моделі для заряджання акумулятора.

Ключові слова: альтернативні джерела енергії, фотоелемент, акумуляторна батарея, шунтуючий опір, математична модель, MPPT-контролер, точка максимальної потужності, інсоляція, Matlab, Simulink.

Список публікацій:

SUMMARY

Shibanov M.M. Increasing the energy efficiency of autonomous power supply systems with renewable energy sources / Final qualification work for the degree of "Master" in specialty 141 "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". – State Higher Educational Institution Donetsk National Technical University, Luts'k, 2023.

Renewable and traditional types of energy are analyzed in detail in the diploma project. The main attention is paid to alternative sources of energy, namely solar and wind energy, it is also indicated that it is possible to use biomass for the generation of electrical energy.

During the research, the paper considered information on the use of "buffer" capacity in the power system, namely storage batteries, large capacitors and various types of energy storage for its further use during peak hours of electricity consumption.

A detailed analysis of the battery in the Matlab (Simulink) application program system was carried out, and its main parameters are given. The choice of the type of accumulator tank for further modeling is justified.

A mathematical model of the battery charging system using a photovoltaic element was developed in the Matlab program. The characteristic dependences of the generating and accumulative properties of the components of the model system for charging the battery were obtained.

Keywords: alternative energy sources, photovoltaic cell, storage battery, shunt resistance, mathematical model, MPPT controller, maximum power point, insolation, Matlab, Simulink.

List of publications:

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА СПОСОБИ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	9
1.1 Традиційні джерела енергії (невідновлювальні)	9
1.2 Нерадиційні джерела енергії (відновлювальні).....	13
1.3 Альтернативні види палива.....	20
1.4 Енергія з відходів	23
2 ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ.....	25
2.1 Вплив розвитку відновлювальних джерел енергії на систему зберігання електричної енергії.....	25
2.2 Переваги систем зберігання електричної енергії	27
2.3 Фізичні технології зберігання електричної енергії	31
2.4 Електричні технології зберігання електроенергії.....	36
2.5 Акумуляторні батареї для відновлюваних джерел енергії.....	40
3 АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ БАТАРЕЇ В СИСТЕМІ MATLAB	45
3.1 Класифікація пристроїв, що підвищують енергетичні показники та якість електричної енергії.....	45
4 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ З АКУМУЛЮЮЧИМ ПРИСТРОЄМ	52
4.1 Моделювання зарядки акумулятора від фотоелектричної панелі в програмі MATLAB Simulink (SimPowerSestems)	52
ВИСНОВКИ	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	68
ДОДАТОК А. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРАЛЕРА	71

ВСТУП

Занепокоєність проблемами енергетики майбутнього є цілком природною, оскільки енергія є основою для життєдіяльності людства. Енергія необхідна для обігріву, виробництва та приготування їжі, створення товарів. Оскільки людство розвивається, зростає попит людей на послуги, отже, продовжуватиметься зростання потреби в енергії. Популярні у XX столітті джерела енергії (нафта, газ, вугілля) є проміжними на даному етапі розвитку людства. Ці джерела накопили енергію протягом тривалого проміжку часу (кілька мільйонів років) задовго до появи людства.

Витрата за останні 60 років значної кількості органічного палива призвела до різкого викиду в навколишнє середовище надлишкової теплової енергії та вуглекислого газу, що сприяло зміні екології Землі (опустелювання, ерозія ґрунтів, знищення деяких видів рослин та тварин, «озонові дірки», парниковий ефект, отруєння) річок, водних басейнів). Крім того, ці органічні ресурси відновлюються дуже повільно і, отже, можуть закінчитися в найближчому майбутньому. Останні десятиліття дослідження атмосфери ясно показують, що кількість діоксиду вуглецю у ній значно зросла. І цей процес пришвидшується. Внаслідок зміни складу атмосфери температура Землі поступово підвищується. Оскільки звичайна температура планети зростає лише на кілька десятків градусів щорічно, звичайні люди не можуть «відчувати» її підвищення. Однак ця зміна температури активно впливає на клімат Землі.

Існує конкуруюча теорія, яка пояснює процес глобального потепління активністю Сонця. Дві конкуруючі теорії є важливою основою політичних протиріч. Ті, хто зацікавлений у використанні викопних видів палива (вугілля, нафти та природного газу), віддають перевагу «поясненню активності Сонця», оскільки це не призведе до негативних наслідків для їх ділової діяльності. До ще однієї важливої групи людей, яка підтримує «сонячну теорію», належать політичні кола, оскільки високе споживання викопних видів палива веде до

значних доходів. Проте активність Сонця неспроможна дати пояснення довгостроковому процесу глобального потепління. Сьогодні переважна більшість вчених згідно з тим, що потепління Землі зумовлено діяльністю людей, а саме споживанням вугілля, нафти, бензину, газу (викопних видів палива) у будь-яких формах.

Перехід до великомасштабного використання відновлюваних джерел енергії відбудеться у XXI столітті. Це пов'язано і з зростаючою потребою країн, що розвиваються, в енергії (нестача енергії вже зараз існує в ряді країн, включаючи Китай та Індію, а зростання населення посилює цю проблему). Через 30-40 років додатково знадобиться 5000 ГВт встановленої потужності, що приблизно в 2 рази більше за сучасний рівень.

Таким чином, метою дипломного проекту є удосконалення системи електропостачання з використанням альтернативних джерел генерації та розробка інноваційних проектів для автономності й надійності енергосистеми України.

У ході виконання дипломної роботи було запропоновано вирішення наступних завдань:

- 1) провести аналіз існуючих відновлювальних джерел генерації електричної енергії, що використовуються в різних країнах світу;
- 2) розглянути основні недоліки та переваги системи електропостачання від альтернативних джерел енергії;
- 3) обґрунтувати доцільність використання системи збереження електричної енергії для надійності та безперебійності роботи енергосистеми;
- 4) провести математичне моделювання системи електропостачання з використанням акумулюючого пристрою з відновлювальним джерелом енергії (САПР);

Дипломна робота: 71 сторінка, 29 рисунків, 1 таблиця, 1 додаток, 20 джерел.

1 АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА СПОСОБИ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

1.1 Традиційні джерела енергії (невідновлювальні)

Енергоресурси, що містяться в земній корі, утворювалися і накопичувалися мільйони і мільярди років, і поступово виснажуються, оскільки було встановлено, що процес формування мільйони років тому зупинився.

Через те, що процеси формування є дуже складними і потребують дуже тривалого періоду часу, їх повне відновлення неможливе.

Список енергетичних ресурсів досить вузький, і період витрачання ресурсів для виробництва енергії визначається обраними способами переробки в різних секторах промисловості.

Хронологічно перше місце посідає вугілля. Вугілля є одним із найважливіших первинних джерел енергії, оскільки на основі вугілля можна отримати майже 70% енергії, зважаючи на доведені запасів викопного палива. Вугілля лягло в основу промислової революції дев'ятнадцятого століття, але після значного періоду занепаду (1950-1980), воно повертається як одне з основних джерел, що має особливе значення для майбутнього.

Розробка і впровадження Джоржем Ваттом у 1774-1784 рр. у практику парового двигуна, який перетворює теплову енергію, що виділяється з вугілля, на механічну енергію, значною мірою сприяли поширенню цієї технології для виробництва і використання вугілля в енергетиці.

Таким чином, *вугілля* стало універсальним енергоносієм. Пароплави і паровози спростили пересування, а вугілля можна було перевозити з однієї частини країни в іншу і навіть у різні куточки планети. Унаслідок використання вугілля для виробництва енергії збільшилося забруднення довкілля, що, однак, водночас, зупинило вирубку лісів.

Негативним результатом використання вугілля для виробництва енергії є найпотужніший згубний вплив на навколишнє середовище.

Дуже скоро людство усвідомило небезпеку для навколишнього середовища використання вугілля як основного джерела енергії. У результаті спалювання виділяються токсичні гази, такі як окис вуглецю, окис сірки (діоксиду сірки), окис азоту та парниковий газ і діоксид вуглецю, інші забруднювальні речовини, такі, як викиди пилу, сажі та шлаку. Порівняно з періодом початку промислової революції обсяги викиду газів значно зросли. За допомогою сучасних технологій певною мірою можна скоротити негативні наслідки використання вугілля для отримання енергії. До основних технологічних рішень належать:

- 1) використання вдосконалених моделей котлів, які зменшують викиди сажі та утворення окису сірки й азоту;
- 2) застосування очисних і фільтрувальних установок для очищення вихлопних газів від сірки, азоту та сажі;
- 3) заміна вугілля водно-вугільною сумішшю для виробництва енергії;
- 4) утилізація відходів в інтересах народного господарства;
- 5) впровадження технологій під назвою "чисте вугілля" (у такому разі двоокис вуглецю накопичують у підземних сховищах).

Вугілля є основним джерелом енергії, що використовується для виробництва електроенергії та тепла в усьому світі. Водночас, воно є одним із найпоширеніших джерел викидів двоокису вуглецю.

У 2010 році видобуток вугілля у світі становив 3,7 млрд тонн нафтового еквівалента.

Нафта являє собою рідину, яка складається з цілої низки вуглеводнів різної молекулярної маси та інших органічних сполук. Вона утворилася природним чином унаслідок повільного розкладання органічних речовин у земній корі. Нафта міститься в гірських породах. У результаті перегонки нафти отримують пальне. До найпоширеніших видів пального належать:

- етан та інші алкани з коротким ланцюгом;
- дизельне паливо (солярка);
- мазут;

- бензин;
- авіаційне паливо, авіаційний бензин;
- гас (парафін);
- скраплений нафтовий газ (GPL).

Нафта є не просто первинним енергоресурсом, вона ще слугує сировиною для нафтохімічної промисловості, використовується для виробництва пластмас і навіть медикаментів. Близько 90% видобутої нафти використовується як пальне.

Найбільша кількість нафти і нафтопродуктів використовується транспортними засобами. З метою зниження рівня витрачання нафтопродуктів і зниження негативного впливу на навколишнє середовище, в даний час зріс інтерес до електромобілів, використання метану і пропану в двигунах вантажівок, автобусів тощо. У майбутньому вони дадуть змогу замінити нафту.

Нафта служить джерелом енергії, але її ресурси вкрай обмежені. З огляду на те, що нафтові ресурси дуже обмежені, продукти, отримані з нафти, використовується в практиці, головним чином, у сфері транспорту (автомобільного, морського, авіаційного та залізничного), де нафта не має альтернативи.

Для енергетичних цілей використовується тільки мазут – як паливо для резервного живлення електростанцій.

Складно дати прогноз щодо тривалості часу, протягом якого відомих запасів нафти виявиться достатньо для того, щоб покривати потребу в пальному, одержуваному з нафти. Автори різних прогнозів оцінюють тривалість періоду, протягом якого цей вид первинного енергоресурсу вичерпається, в межах 50-100 років. Існують і більш оптимістичні прогнози щодо видів енергетичних ресурсів, які ми вважаємо традиційними.

Як видобуток, так і перевезення, і переробка нафти чинять негативний вплив на навколишнє середовище. Нерідко відзначаються випадки витоку нафти зі свердловин або ж під час перевезення. Часом ми є очевидцями шкоди, яку завдають навколишньому середовищу танкерами. Витоки нафти, що відбуваються недалеко від узбережжя, дуже небезпечні для морських птахів,

рибної ікри та рибних личинок, які мешкають біля узбережжя в поверхневих водах. Нафта утворює на поверхні води тонку маслянисту плівку. Якщо така плівка потрапляє на тіло морських тварин або птахів, у них порушується терморегуляція. Період відновлення природного балансу після витоку нафти в прибережних водах, знадобиться від 4-5 років до 10-15 років.

Під час спалювання нафтопродуктів в атмосферу виділяється величезна кількість двоокису вуглецю. У процесі нафтопереробки в навколишнє середовище потрапляють окис вуглецю, сполуки свинцю, окису азоту і сірки, які викликають у рослин, тварин і людини різні недуги.

Природний газ визначається як суміш вуглеводнів, що зберігаються в земній корі, які використовуються в газоподібній формі, головним з яких представлений метану. Найчастіше це суміш 70-90% метану та інших вуглеводнів, таких як етан, пропан, бутан і може містити двоокис вуглецю, азот, гелій і сірководень.

В останні десятиліття, природний газ став найбільш бажаним енергоресурсом (25% енергії у світі виробляється з природного газу) порівняно з вугіллям або нафтою порівняно з вугіллям або нафтою, з таких причин:

- 1) природний газ є відносно "чистим" паливом;
- 2) менш виражені викиди оксидів сірки, оксидів азоту, оксидів вуглецю і твердих частинок;
- 3) географічне розташування ширше, ніж у нафти;
- 4) стимулююча дія в плані появи промислових
- 5) енергозберігаючих технологій (комбінований цикл пар-газ);
- 6) зручний у використанні для різних цілей.

Виділення двоокису вуглецю характерне для всіх викопних видів палива, але воно менш виражене при горінні природного газу.

Для отримання рівнозначної кількості тепла при спалюванні природного газу виділяється приблизно на 30% менше двоокису вуглецю, ніж при спалюванні нафти, і на 45% менше, ніж при спалюванні вугілля.

Природний газ використовують у житловому секторі в найрізноманітніших цілях, наприклад, для приготування їжі, сушіння білизни, обігріву/охолодження та центрального опалення.

Стиснений природний газ використовується в селах, які не підключені до централізованих державних мереж природного газу. Слід зазначити, що доступ теплоенергії на основі газу значною мірою сприяв поліпшенню якості життя та освіченості населення в сільській місцевості.

1.2 Нерадиційні джерела енергії (відновлювальні)

Відновлювані джерела енергії проявляються в природі кількома способами.

Спектр сонячної радіації (тепло, світло, ультрафіолетове випромінювання тощо), енергетичні процеси в земній корі, гравітаційні сили і сила взаємодії між Землею, Місяцем і Сонцем, фотосинтез призводять до появи наступних джерел енергії, які існують постійно і після використання мають здатність до відновлення та поновлення (регенерації):

- енергія вітру (вітрова);
- енергія Сонця (фотовольтаїчна, геліотермальна);
- геотермальна енергія;
- гідравлічна енергія (падіння води);
- енергія хвиль (рух шарів води);
- енергія припливів і відливів (рух величезних обсягів води "приплив - відлив");
- біомаса;
- газ, який утворюється в результаті ферментації відходів;
- газ, який утворюється в результаті ферментації відходів від обробки стічних вод;
- газ, який утворюється в результаті ферментації стічних вод;

– біогаз.

Ці джерела енергії називаються поновлюваними, оскільки вони або безперервно і швидко поновлюються, або ж вони невичерпні для передбачуваного часового періоду розвитку людського суспільства.

Поновлювані джерела енергії можна поділити на п'ять категорій: сонячні, вітрові, водні, геотермальні та біомаса. Категорія "водні джерела" охоплює енергію, одержувану з річок і океанів. Усі ці джерела енергії, крім геотермальних, існують завдяки енергії Сонця. Біомаса складається з рослинних речовин, які в результаті фотосинтезу поглинули сонячну енергію в результаті фотосинтезу. Річки живляться за рахунок дощу, який виникає внаслідок випаровування води, що відбувається на поверхні океанів та озер під впливом сонячного тепла.

Вітер утворюється внаслідок нерівномірного обігріву Сонцем поверхні Землі. Геотермальна енергія — це енергія, що виникає внаслідок процесів, які відбуваються в надрах землі.

Розглянемо лише найвідоміші та найбільш широко використовувані в даний час нині джерела.

Сонячна енергія. Енергія сонячного випромінювання проявляється, головним чином, у двох формах: тепла і світлова. Теплова енергія використовується безпосередньо як є. Сонячне світло використовується і безпосередньо, і шляхом перетворення в електрику, за допомогою фотоелектричних модулів або геліотермальних станцій, які концентрують потік сонячного світла для виробництва пари, яка буде потім використовуватися для вироблення електроенергії.

Фотоелектричні осередки і модулі спочатку використовували для постачання енергією невелике, середнє і велике обладнання – від калькуляторів, що живилися від одного сонячного осередку, до мереж будинків, живлення яких забезпечувала група фотоелектричних модулів яких забезпечувала група фотоелектричних панелей. Усе ще є серйозною проблемою для повсюдного використання фотоелектричних панелей – висока вартість установки. Разом з

тим, для постійного постачання електрикою, необхідно забезпечити взаємозв'язок фотоелектричних панелей з іншими електромережами.



Рисунок 1.1 – Система сонячних панелей SmartFlower

Системи концентрації енергії Сонця оснащені системою дзеркал, щоб сфокусувати великий потік сонячного світла в промінь маленького діаметра. Потім сконцентрована енергія використовується як джерело тепла для електроцентралі з традиційним циклом виробництва електричної енергії. Фотоелектрична комірка — це пристрій, який за допомогою фотоелектричного ефекту безпосередньо перетворює енергію оптичного випромінювання в електричний струм.

Обсяг сонячного світла, що потрапляє на земну поверхню, становить в енергетичному вираженні 1014 кВт/год.

Вітрова енергія. Різниця в температурах і щільності повітряних мас призводить до їхнього руху, а в підсумку утворюється вітер. Земля нагрівається від Сонця нерівномірно.

Наприклад, полюси землі отримують від Сонця менше енергії, ніж зона екватора. Різний ступінь нагріву екватора і полюсів землі породжує повітряні потоки і вітри в різних кліматичних зонах: західні вітри, полярні вітри, бризи, пасати, тощо. Вітри поділяються з урахуванням їхнього масштабу в просторі, швидкості, за видами причин, під впливом яких вони утворюються, географічними регіонами, в яких вони виникають, та їхнім впливом. Під поняттям вітрова енергія мається на увазі процес перетворення кінетичної енергії від руху повітряних мас у механічну енергію за допомогою вітряних турбін, які приводять у дію електричні генератори для виробництва електричної енергії.



Рисунок 1.2 – Вітрова електростанція Херсонської області Україна

Найвища щільність енергії зустрічається на висотах, де виникають постійні вітри, швидкість яких перевищує 160 км/год. У 2008 році сукупна потужність вітряних генераторів становила 121,2 ГВт. 1-2% енергії Сонця перетворюється на вітряну енергію. Це в 50-100 разів більше сукупного обсягу енергії, яку всі рослини на Землі перетворюють на біомасу. Вітер виробляє близько 1,5% кількості електрики, що використовується на планеті.

Гідроенергія. Гідроелектрична енергія виділяється з енергії рухомої води. Силу гідроелектростанції можна значною мірою збільшити, якщо використовуватиметься потенційна енергія падаючої води, що накопичується у

водоймищах і яка за допомогою вітрової турбіни приводить у дію генератор. У такому разі, обсяг енергії, що виробляється, визначатиметься об'ємом води, що падає, і різницею в рівнях водойм (вищого і нижнього).



Рисунок 1.3 – гідроелектростанція «Три ущелини» (22,5 ГВт), р. Янцзи, Китай. Гребля: висота – 185 м, довжина – 2309 м.

Ємність водосховища: 39,3 км³

Наразі на світовому рівні встановлена потужність гідроелектростанцій (гідроелектростанцій) становить близько 715000 МВт або 19% потужності всіх видів електростанцій на планеті. У 2010 році питомий обсяг гідроенергії у світовій структурі споживання енергії був на рівні 6% (ВР: Прогноз розвитку світової енергетики до 2030 року, 2011).

Природно, під час роботи ГРЕС не виділяється двоокис вуглецю або інші викиди, як це відбувається при згорянні викопного палива, які своїми викидами двоокису вуглецю сприяють глобальному потеплінню значною мірою. Разом з тим, унаслідок роботи ГРЕС з'являється негативний вплив на природу, а саме в тому, що водосховища затоплюють великі території і впливають на мікроклімат

у відповідному регіоні, а також відзначається замулювання водоймищ з усіма наслідками, які випливають із згубними наслідками, що випливають із цього, для флори і фауни.

Енергія морських припливів і відливів. Рух морської води – поновлюване джерело енергії, яке можна успішно перетворювати на електрику. Експлуатація енергії, властивої припливам і відпливам у затоках або бухтах, уперше було застосовано на практиці у Франції та Канаді. У період припливу (рівень води підвищується на 5-15 м) вода проходить всередину греблі, обертає турбіни електростанції і виробляє електричну енергію. У результаті (рівень моря за межами греблі падає) вода з греблі витікає назад у море і змушує турбіни станції обертатися. Можливим недоліком видається те, що найефективніше система генеруватиме електрику перепадами – кожні 6 або 12 годин, тобто під час кожного припливу і відпливу залежно від географічної зони залежно від географічної зони. Цей факт обмежує застосування цього способу виробництва електричної енергії.

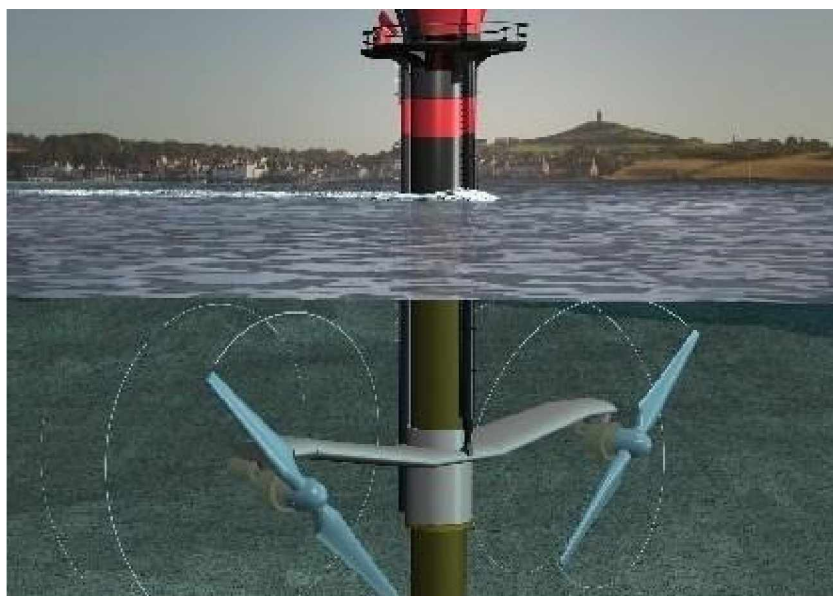


Рисунок 1.4 – Припливна електростанція

Енергія хвиль. Відбувається перетворення кінетичної енергії, що виникає від руху шарів води та хвиль на поверхні води, кінетичної енергії в електричну енергію і це досить ефективно, особливо тому що не потрібне знесолення води

або подача води в резервуари. Застосування на практиці енергії руху хвиль з поверхні океану здатне виробляти більше енергії, ніж в результаті припливів і відливів. Доцільність використання енергії хвиль вивчали, головним чином, у Шотландії, Великій Британії.

Геотермальна енергія. Це джерело відновлюваної енергії, одержуваної в результаті уловлювання внутрішнього тепла Землі. Для виробництва електричної енергії або тепла з геотермальної енергії використовують три види станцій: пряма з використанням сухої пари, непряма з використанням водяної пари і змішана схема виробництва (бінарний цикл).

Централі на сухій парі вловлюють пару з тріщин кори і безпосередньо використовують її, щоб приводити в дію турбіну, яка, своєю чергою, приводить у дію генератор.

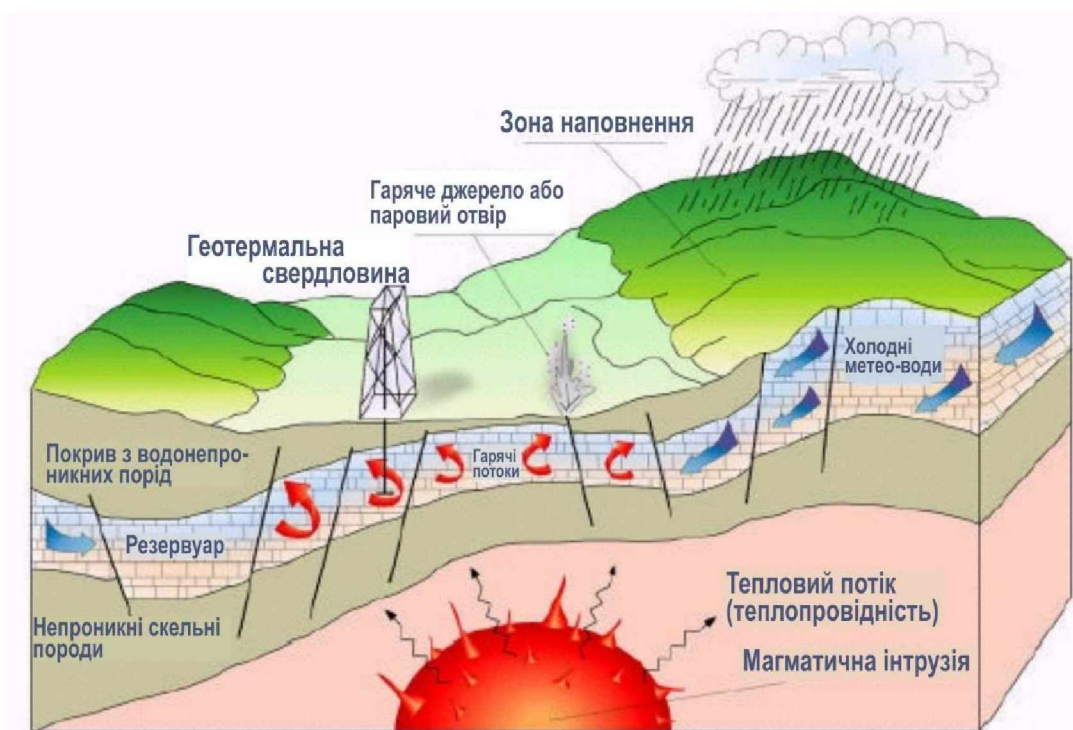


Рисунок 1.5 – Принцип використання геотермальної енергії землі

Забірні станції забирають гарячу воду (як правило, її температура перевищує 200°C) із Землі, у міру наближення до поверхні Землі дають їй можливість охолонути до точки кипіння, потім відокремлюють пару в сепараторі пари і води, після чого направляють пару по турбіні.

На станціях із бінарним циклом гаряча вода протікає по теплообмінниках і доводить до кипіння органічну рідину, яка приводить турбіну в дію. Сконденсована пара і залишки геотермальної рідини з усіх трьох типів станцій закачуються потім назад у породу, щоб зібрати більше теплової енергії.

1.3 Альтернативні види палива

Альтернативне паливо – будь-яка інша речовина або джерело енергії з винятком умовного палива (бензину або солярки), яке може використовуватися для приведення в дію двигунів внутрішнього згоряння транспортних засобів. При цьому часто енергетична віддача вища, а рівень забруднення – нижчий.

Інтерес до альтернативного палива був зосереджений головним чином на пальному, яке використовується в транспортній сфері, оскільки 70% споживання виробленої нафти припадає на частку транспортного сектора. Транспортні засоби можуть приводитися в дію й іншими видами пального, які отримані не з нафти. Альтернативними видами пального можна вважати: природний або нафтовий газ – стиснений або зріджений, електрику (зібрану в батареях або в паливних комірках), водень. К альтернативним видам палива належать також біодизель, деревина, рослинні олії та біомаса.

З 2000 року Європейський союз опублікував цілу низку рекомендацій щодо предмету заміни традиційного для транспортної сфери палива (бензину і солярки) альтернативним. Мета цього заходу – виконання зобов'язань, взятих у сфері кліматичних змін (зниження викидів газів із негативним впливом на природу), безпеки в постачанні енергією, "дружній" навколишньому середовищу, з метою охорони навколишнього середовища і просування поновлюваних джерел енергії.

Таким чином, у Європейській стратегії в галузі безпеки енергопостачання, затвердженій 2000 року, ЄС зобов'язався до 2020 року замінити понад 20% умовного автотранспортного палива на альтернативні види.

На думку Єврокомісії, найперспективнішою альтернативою є: біопаливо (8%), природний газ (10%) і водень (5%).

Біопаливо. Земна флора використовує фотосинтез, щоб виробляти біомасу, яка після відповідного оброблення може використовуватися як паливо або ж для виробництва біопалива. Паливо з біомаси, отриманої внаслідок сільськогосподарської діяльності, може спалюватися в двигунах внутрішнього згоряння або ж у бойлерах. Зазвичай, коли біопаливо піддається окисленню (процесу горіння) для того, щоб вивільняти наявну в ньому енергію хімічної реакції.

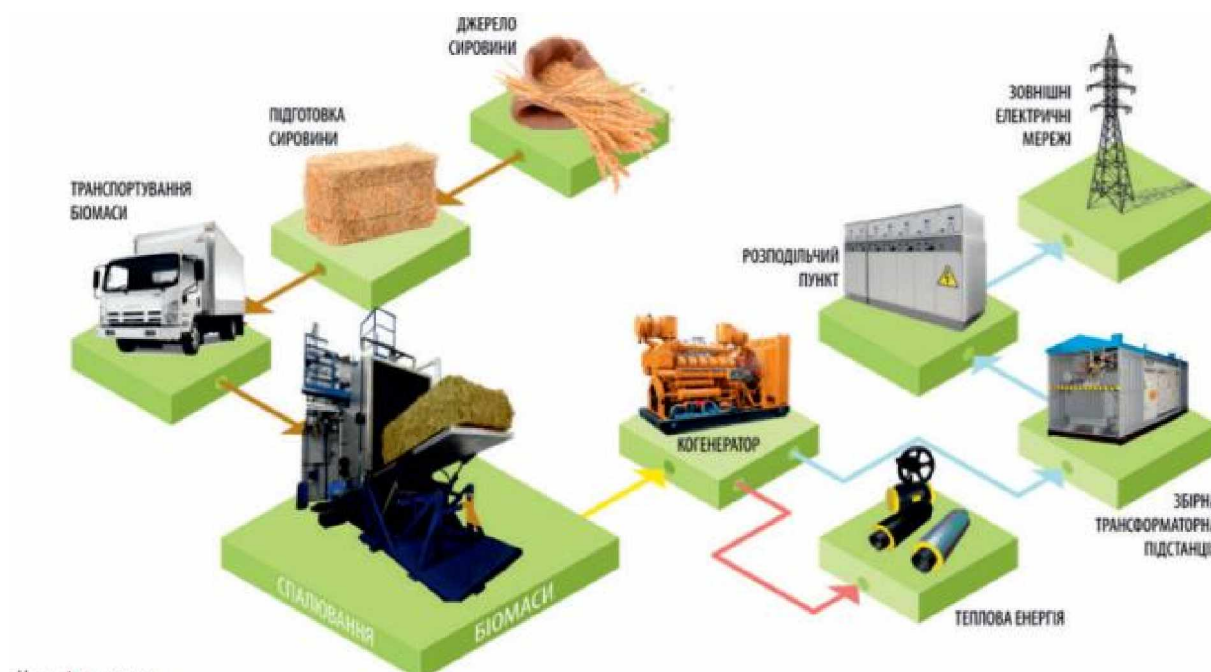


Рисунок 1.6 – Процес переробки біомаси в електричну енергію

Використовуючи залишки біомаси для виробництва енергії, можна скоротити кількість використовуваних викопних енергоресурсів і, відповідно, викиди парникових газів. Таким чином, вирішується проблема забруднення атмосфери і проблема менеджменту відходів. До найбільш широко використовуваних видів біопалива належать біодизель, біоетанол, тверде біопаливо (пелети та брикети).

Біодизель. Можна отримувати з жирів і відходів тваринного походження або з рослинних олій, наприклад, соняшникової або ж ріпакової. Придатний для

використання в сучасних транспортних засобах із дизельним двигуном, для цього необхідно трохи переробити двигун.

Важливою перевагою біодизеля є значне зменшення обсягу викидів CO₂ та CO. Інші види викидів зменшуються на 20-40%.

Біоетанол. З насіння або зернових виробляється крохмаль, з якого в результаті бродіння отримують біоетанол; останній може використовуватися в двигунах внутрішнього згорання.

Етанол включається в інфраструктуру чистої енергії. Наприклад, E85 являє собою паливо, що складається на 85% з етанолу і на 15% з бензину, яке продається споживачам.

Біогаз виробляється в процесі анаеробного "перетравлення" органічного матеріалу анаеробними бактеріями. Його можна виробляти з біорозкладних відходів або енергетичних культур, які поміщають в анаеробні ємності для бродіння, щоб вони виробляли додаткову кількість газу.

Біогаз простіше виробляти з поточних потоків відходів, приміром, одержуваних у результаті діяльності паперової та цукрової промисловості, каналізаційних систем (побутові відходи), а також з відходів тваринного походження. Необхідно збирати різноманітні потоки відходів і забезпечити зберігання їх таким чином, щоб вони бродили природним чином, виробляючи при цьому метановий газ.

Його можна перетворювати на біогаз. Коли в метатанці установки з виробництва біогазу завершився анаеробний процес (із завантаженої в метатанк кількості було отримано всю кількість наявного метану), відходи стають добривом, яке ще корисніше, ніж первісна біомаса. Газ, отриманий у процесі природного анаеробного бродіння, після обробки потрапляє в атмосферу і стає газом із парниковим ефектом.

Тверде біопаливо. Тверда біомаса: деревина, тирса, солома, побутове сміття, деревне вугілля, сільськогосподарські відходи, неїстівні енергетичні зернові і сухий гній використовуються як паливо.

Якщо біомаса складається з тирси, відходів деревини, гілок, соломи, сухої трави, сільгоспрослин, тоді її можна пелетизувати за допомогою спеціальної установки для виробництва пелет. Інший вид твердого палива – біовугілля, яке виробляється шляхом піролізу біомаси.

Біопаливо вирізняється низкою переваг:

- 1) воно менш забруднювальне;
- 2) воно відновлюється;
- 3) воно забезпечує для сільського господарства нові, привабливі ринки;
- 4) воно біорозкладне;
- 5) воно може використовуватися із застосуванням уже наявних простих технологій;

і водночас деякими недоліками:

- 1) на даний момент вартість відносно висока порівняно з викопним паливом;
- 2) обмежені території для вирощування енергетичних культур;
- 3) висока загроза знищення зернових культур у результаті стихійних лих;
- 4) можуть призвести до зростання цін на продовольчі продукти;

У разі відмови від використання твердого біопалива в більш тривалій перспективі воно все одно виділятиме двоокис вуглецю. Це буде відбуватиметься внаслідок біохімічних процесів і процесів гниття. Включення твердого біопалива в енергетичний обіг (баланс) сприятиме зменшенню питомої ваги викопного палива.

1.4 Енергія з відходів

Відходи, що з'являються в результаті життєдіяльності сільського житлового сектору, можуть використовуватися для вироблення теплової або ж електричної енергії. Біорозкладні відходи з резервуарів-відстійників можуть використовуватися для того, щоб природним чином виробляти певний газ, який слугуватиме як паливо, як правило, для вироблення електричної енергії, хоча він виробляє і тепло.

Стічні води, каналізаційний мул, тваринницькі відходи та відходи скотобоєнь і підприємств, що біорозкладаються. Відходи бойень і підприємств агропромислового комплексу можна піддавати біологічному розкладанню для того, щоб отримувати паливо з високим вмістом метану. Горючі відходи ЖКГ, торгових і промислових підприємств, наприклад, пакувальний матеріал, можна спалювати в крематорії або в цементній печі, щоб отримувати тепло або електричну енергію.

Багато промислових галузей, крім агропромислової, наприклад, паперова або ж меблева, продукують чималу кількість відходів з істотним вмістом енергії, які також можна використовувати для вироблення енергії. Матеріали, що підлягають утилізації, слід відокремлювати від сміття до їх спалювання; при цьому слід упевнитися, що рівень забруднення в результаті викиду газів з парниковим ефектом буде значною мірою скорочено [1-8].

2 ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ

2.1 Вплив розвитку відновлювальних джерел енергії на систему зберігання електричної енергії

Розвиток сонячних і вітрових електростанцій тісно пов'язаний з технологіями зберігання електричної енергії, які забезпечують безперебійне живлення споживача.



Рисунок 2.1 – Загальний приклад системи генерації енергії від альтернативних джерел енергії

Системи зберігання електричної енергії - це клас високотехнологічного обладнання, що стрімко розвивається і відкриває принципово нові можливості розвитку енергетичного інжинірингу.

Вони роблять електроенергію такою, що запасається і "переноситься", що усуває необхідність суворої одночасності процесів виробництва і споживання.

Ці технології забезпечують безперебійне живлення в разі критичного падіння, зниження або повної відсутності напруги в електричній мережі.

На поточний момент компанія Highview Power розробляє і впроваджує криогенні системи накопичення і зберігання енергії, які ідеально підходять для поновлюваних джерел енергії.

У цій статті ми поговоримо про фізичні, електрохімічні та електричні системи зберігання електроенергії, а також про їхнє застосування у відновлюваній енергетиці.

Світова електроенергетика працює за технологічним принципом, який полягає в балансуванні рівня виробництва та споживання. Інноваційною технологією, яка дозволяє відокремити виробництво від споживання, є система накопичення електричної енергії.

Ця технологія повністю змінює всю систему диспетчеризації, співвідношення традиційної та альтернативної електроенергії.

Збільшення обсягів електроенергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), поставило перед електромережами, які вже працюють у підвищеному навантаженні, нові виклики.

Сучасні системи електропостачання повинні завжди врівноважувати попит і пропозицію, демонструючи гнучке управління та оптимальну енергоефективність.

Зростаюче використання ВДЕ створює нове джерело нестабільності. Впровадження сонячних і вітрових електростанцій по всьому світу супроводжується значними піками і спадами виробництва електроенергії. Системи зберігання згладжують нерівномірне виробництво електроенергії і знижують швидкість зміни потужності середніх і великих установок, що використовують сонячну і вітрову енергію.

Таким чином, ці системи забезпечують стабільний рівень вихідної потужності і роблять ВДЕ передбачуваним компонентом електромережі.

Використання тієї чи іншої системи накопичення електроенергії (ESS) залежить від безлічі технічних та економічних чинників.

З технічної точки зору будь-яка ESS являє собою складну багатокомпонентну систему з декількома потенційними способами перетворення енергії. Кожен етап цього процесу здійснюється за допомогою добре стандартизованих компонентів, таких як трансформатори, системи перетворення енергії та нові типи електрохімічних акумуляторів.

В даний час існує кілька видів технологій зберігання електроенергії. Серед прикладів цих систем можна назвати гідроакумуючі електростанції, хімічні джерела електроенергії, системи зберігання на основі маховиків, водню, а також синтетичного природного газу.

2.2 Переваги систем зберігання електричної енергії

У всьому світі зростає кількість вітряних і сонячних електростанцій, а разом з цим зростає і відносна частка відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі.

Характерні для них коливання у виробленні енергії можуть призвести до перевантажень електромережі та нестабільності частоти струму. Інтеграція системи накопичення електроенергії з відновлюваними джерелами енергії спрямована на згладжування впливу нерівномірної генерації на енергосистему.

Збалансування розподільної мережі традиційно досягається шляхом збільшення генерації для задоволення енергетичних потреб. Але такий підхід негативно позначається як на ефективності, так і на терміні експлуатації обладнання.

Цього заходу не завжди достатньо, особливо в умовах зростання виробництва енергії з відновлюваних джерел.

ESS, підключені до мережі, долають ці обмеження, створюючи важливий «буфер», який відокремлює споживання від виробництва електроенергії. Це підвищує ефективність системи та зменшує викиди CO₂.

Компоненти системи накопичення електроенергії. Сучасні рішення для зберігання енергії включають кілька ключових компонентів для функціонування системи.

В основі системи лежить пристрій, у якому відбувається сам фізичний процес накопичення енергії. У більшості випадків такий процес заснований на електричному (конденсатори), електрохімічному (аккумуляторні батареї) або механічному (маховики) принципах роботи.

Як правило, ESS, під'єднані до мережі, вимагають встановлення перетворювача потужності, який може являти собою одиночну або розподілену перетворювальну систему. В інших випадках до мережі за допомогою регулятора частоти або безпосередньо підключається мотор-генератор.

Для прямого підключення перетворювач потужності не потрібен або ж використовується для генерації напруги збудження. У більшості випадків між електромережею і системою зберігання електричної енергії встановлюється трансформатор.

Стан фізичного накопичувача енергії контролюється системою управління батареями (BMS) або системою управління конденсаторами (CMS). Вона зчитує всі необхідні дані, як-от значення напруги, струму і температури для батарей і літій-іонних конденсаторів, швидкість і температуру маховика та інші параметри.

Електронне обладнання визначає, коли і якою мірою ESS буде заряджатися або розряджатися. Залежно від функціональності це можна зробити локально з мінімальним часом відгуку (мілісекунди і менше) на основі локально вимірянних даних (наприклад, струму, напруги, потужності, частоти) або в рамках зовнішньої системи управління енергоспоживанням, підключеної до цифрового протоколу.

Для функціонування таких систем необхідно кілька периферійних компонентів.

Залежно від фізичного принципу роботи системи зберігання електроенергії, вони можуть включати спеціальні охолоджувальні системи та насоси.

Споживання енергії зі зсувом у часі. Системи зберігання електроенергії, що використовуються для цього завдання, заряджаються за низькими тарифами на електроенергію і розряджаються, коли ціни на електроенергію високі.

За короткий період часу вони можуть виконувати аналогічне завдання, накопичуючи енергію, яка генерується з поновлюваних джерел і характеризується нестабільною продуктивністю. Якщо різниця в тарифах на

електроенергію є провідним фактором, застосування таких систем виглядає привабливим.

Накопичення енергії в режимі зарядки в моменти пікової потужності для запобігання перевантаження називається "піковим скиданням" (peak shaving). Цей підхід можна застосовувати як під час пікової генерації електроенергії, так і під час пікового споживання (у випадках неминучого перевантаження).

Системи накопичення електроенергії, що використовуються таким шляхом, можуть бути розташовані на електростанціях, поруч із нею або в інших частинах мережі, зокрема на джерелі навантаження.

Інший варіант застосування цієї технології - накопичення енергії для відтермінування та зменшення потреби в будівництві нових генерувальних потужностей. Системи зберігання енергії забезпечують підтримання пікової потужності при високому споживанні, полегшуючи роботу генераторів. Потім система перезаряджається в період низького споживання.

Контроль і регулювання навантаження. Відстеження навантаження – одне з допоміжних завдань для забезпечення стабільності електромережі.

Системи накопичення енергії в цьому випадку використовуються для подачі (розряду) або накопичення (зарядки) електричної енергії при зміні навантаження.

При цьому швидкість зміни навантаження в електромережі має перебувати в певних межах. Те саме стосується коливань виробництва електроенергії, які є особливо характерним для відновлюваних джерел.

Переваги використання систем накопичення енергії для контролю навантаження полягають у тому, що вони можуть працювати при частковому навантаженні з відносно невеликим зниженням продуктивності і швидко реагують на зміни навантаження.

При цьому швидкість зміни навантаження в електромережі має перебувати в певних межах. Те саме стосується коливань виробництва електроенергії, які є особливо характерним для поновлюваних джерел.

Переваги використання систем накопичення енергії для контролю навантаження полягають у тому, що вони можуть працювати при частковому навантаженні з відносно невеликим зниженням продуктивності і швидко реагують на зміни навантаження.

Ці технології застосовуються для усунення миттєвих відмінностей між споживанням і виробленням енергії в певній зоні або ж для компенсації миттєвих відхилень в обміні потоками енергії між двома зонами.

Традиційні електростанції також підходять для цього, оскільки швидкі зміни у виробництві енергії призводять до значного зносу обладнання.

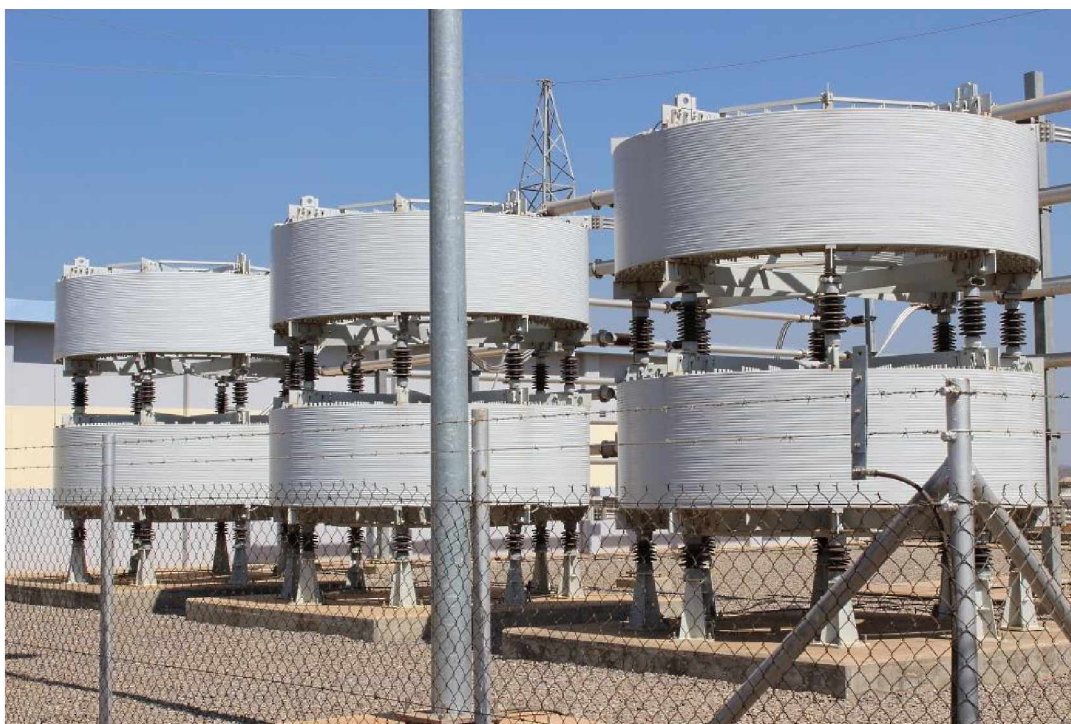


Рисунок 2.2 – Силіві електричні конденсатори в системі електропостачання для підвищення надійності

Використання ESS у передачі та розподілі енергії. Правильно розташовані системи зберігання електроенергії в межах інфраструктури передачі можуть слугувати енергетичним буфером, зменшуючи перевантаження та допомагаючи бізнесу відтермінувати дороговартісні заходи з модернізації електромережі.

При піковому споживанні наявні лінії електропередачі можуть не обслуговувати всіх підключених споживачів. Перевантаження мережі може

збільшити витрати на електроенергію, тому системи накопичення енергії дають змогу компенсувати це.

Встановлення ESS після перевантаженого вузла може відтермінувати необхідність модернізації ліній електропередач на певний період, наприклад, на кілька років. Такі системи можуть використовуватися аналогічним чином у розподільчих мережах, забезпечуючи чудову альтернативу заміні основних компонентів.

2.3 Фізичні технології зберігання електричної енергії

Найбільш широко використовуються гідроакумуючі електростанції, які мають найвищу енергоємність 99% збереженої електроенергії у світі надходить від них.

Гідроакумульовальні електростанції являють собою комплекс генераторів і насосів або реверсивних гідрогенераторів.

Це гравітаційні системи зберігання електроенергії. У години нічного мінімуму споживання насоси використовують дешеву електроенергію для перекачування води у верхній резервуар для води. У періоди максимального споживання електроенергії вранці та ввечері вода під дією сили тяжіння опускається до турбіни, і електростанція виробляє дорогу електрику.

Таке маневрене джерело живлення необхідне для оперативного регулювання частоти в енергосистемі. ККД цих електростанцій становить близько 70-85%, а термін служби до 40 років. Вони відрізняються високою встановленою потужністю та інерційністю.

Однак широкому впровадженню гідроакумуючих технологій перешкоджають дві основні проблеми.

Перша – це необхідність вибору природного рельєфу з великим перепадом висоти.

Друга проблема – необхідність затоплення величезної території, що призводить до зниження ефективності через випаровування води та обертається катастрофічними наслідками для місцевого довкілля.

Накопичувачі енергії стисненого повітря. Накопичувач енергії стисненого повітря (CAES) діє за допомогою електричного компресора, який нагнітає повітря під високим тиском у підземні порожнини природного походження або в спеціальні резервуари.

Закачування повітря проводиться вночі, в години з мінімальним рівнем споживання електроенергії.

У години максимального споживання електроенергії накопичене стиснене повітря використовується для роботи турбогенератора. Технології CAES можуть використовуватися для зберігання великої кількості електроенергії, подібно до гідроакумуючих електростанцій, шляхом нагнітання повітря в природні сховища. Для місцевого використання повітря закачується в штучні резервуари.

Основними перешкодами для використання технології CAES є пошук підходящого географічного місця розташування сховища та нижча ефективність порівняно з гідроакумулювальними електростанціями.

Новітнім варіантом технології CAES є AA-CAES, яка включає теплове зберігання електроенергії.

Маховикові накопичувачі енергії. Зберігання електричної енергії у вигляді кінетичної енергії здійснюється за допомогою маховика.

Сучасна конструкція маховикового накопичувача енергії (FES) може містити компоненти маховика, підшипники, електродвигун/генератор і вакуумну ємність. Накопичення і виділення електрики відбувається в результаті прискорення або уповільнення маховика.

Кількість накопиченої електроенергії в супермаховику залежить від швидкості обертання останнього.

Сучасні маховики витримують понад 100 циклів розгону та гальмування. Значна увага при будівництві цього обладнання приділяється використанню

композиційних матеріалів для підвищення міцності та оптимізації масогабаритних характеристик, а також питанням безпеки.

Маховики широко використовуються для відновлення енергії гальмування поїздів метро, оскільки пристрій знаходиться на підстанції, а не в поїзді. Їх успішно застосовують в аварійних енергосистемах великих відповідальних споживачів, зокрема для подачі енергії під час запуску дизельного двигуна.

Головна перевага FES – майже миттєве поглинання навантаження, при цьому енергоємність досить низька.

Усі супермаховики можна поділити на низькошвидкісні (до 6000 обертів на хвилину) і високошвидкісні (до 100000 обертів на хвилину). Супермаховики мають високий ККД. Останні системи зберігання енергії на базі FES призначені для оперативного регулювання частоти струму в електромережі.

Електрохімічні системи для зберігання енергії. Енергетичний інжиніринг знайшов інші рішення для зберігання електроенергії, простіші з технічного погляду і менш потужні, ніж звичайні гідроакumuлюючі електростанції.

Найбільші зусилля сьогодні зосереджені на електрохімічних технологіях, які перетворюють електроенергію на хімічну енергію речовин.

Ці технології засновані на взаємодії двох електродів і спеціальної рідини - електроліту. Останнім часом почастишали розробки не тільки з рідким, а й із твердим електролітом. За таким принципом працюють уже відомі електрохімічні батареї.

Це одна з найбільш широко використовуваних технологій зберігання електроенергії як у промисловості, так і в повсякденному житті. Принцип роботи будь-яких акумуляторних батарей ґрунтується на оборотності хімічних реакцій, що протікають, тому їх теоретично можливо використовувати багаторазово.

Цікавим рішенням є проточні акумуляторні батареї з рідиною (flow battery), які мають збільшену ємність за рахунок використання відразу двох ємностей з електролітами, розділених мембраною.

Енергія виробляється під час взаємодії рідких компонентів, які можуть прокачуватися через елемент.

Найпоширенішими типами акумуляторних батарей у комерційній мережі є свинцево-кислотні, літій-іонні та нікель-кадмієві.

Свинцево-кислотні батареї. У свинцево-кислотних батареях діоксид свинцю і свинець слугують реагентами, а розчин сірчаної кислоти використовується як електроліт.

У процесі зарядки і розрядки на електродах відбуваються електрохімічні окислювально-відновні реакції, причому електроліт є середовищем для перенесення іонів між ними. Кількість іонів зменшується або з'являються нові.

У цьому процесі електрика накопичується (зарядка) або віддається (розрядка). Під час роботи негативного електрода відбуваються рідкофазні процеси, що протікають за механізмом "розчинення-осадження". Гетерогенні неелектрохімічні реакції кристалізації та розчинення разом із дифузією визначають швидкість процесу розрядки і зарядки. Вони сповільнюються при зниженні температури навколишнього середовища.

Свинцево-кислотні акумулятори широко поширені, але поряд з перевагами у них є істотні недоліки - низька питома енергоємність (на рівні 10-30 Втч/кг) і використання токсичного свинцю. Також вони характеризуються незначною кількістю циклів зарядки / розрядки і малою допустимою глибиною розрядки.

За своїм призначенням свинцево-кислотні акумуляторні батареї поділяються на кілька груп.

Серед них стартерні (використовуються для пуску двигунів внутрішнього згорання), стаціонарні (як резервне джерело живлення, зокрема й ВДЕ), тягові (для електротранспорту), переносні (для електропостачання інструментів і приладів).

Літій-іонні батареї. Літій-іонні акумулятори містять вуглецевий матеріал як негативний електрод, в який оборотно включаються іони літію.

Оксид кобальту, в який також оборотно включаються іони літію, використовується як позитивний електрод.

Принцип дії цієї електрохімічної системи заснований на інтеркаляції - оборотному включенні молекул або груп між іншими молекулами або групами. Іони літію входять до складу різних сполук за різних електрохімічних потенціалів.

Транспорт іонів літію між електродами здійснюється за допомогою органічного електроліту, до складу якого входить суміш органічних розчинників і солі літію.

Використання органічних електролітів збільшує напругу порівняно зі звичайними кислотними і лужними системами.

Якщо акумулятор заряджається, іони літію вставляються в матеріал анода. Під час розрядки іони літію вивільняються і переносяться на катод, а вивільнені електрони генерують електричний струм у зовнішньому ланцюзі.

Цей тип акумуляторів вирізняється високою ємністю і глибоким циклом зарядки, що досягає 70-80%. Водночас економічна доцільність їхнього використання залежить від типу електрохімічних систем у катоді й аноді, а також від температури й умов експлуатації. До недоліків можна віднести високу вартість, похилу криву розрядки і відносно високий саморозряд.

Через високу питому енергію виробництво цих систем за останні роки різко збільшилося.

Нікель-іонні батареї. Остання технологія зберігання електричної енергії і третє покоління нікель-іонних акумуляторів - це системи, які використовують ферофосфат літію як катодний матеріал.

Це чудовий матеріал для акумуляторів, який здатний віддавати майже весь накопичений літій, залишаючись стабільним. При цьому зберігається головна властивість літій-іонних акумуляторів - висока питома енергоемність.

Таким чином, літій-іонні батареї третього покоління стали безпечними і високоефективними.

Нікель-кадмієві акумуляторні батареї відомі давно. Принцип дії їх заснований на утворенні гідроксиду кадмію на аноді та гідроксиду нікелю на

катоді. Як електроліт використовується розчин гідроксиду калію, тому їх ще називають лужними батареями. Вони здатні працювати за низьких температур, а допустимі струми заряджання і розряджання значно вищі порівняно зі свинцево-кислотними батареями.

Ці переваги дають змогу широко використовувати нікель-кадмієві акумулятори в транспортних, авіаційних і стаціонарних системах. Водночас у нікель-кадмієвих акумуляторів є такий недолік, як ефект "пам'яті". Їхнє енергопоглинання істотно знижується, коли розрядка або зарядка не завершені. Для з зарядки застосовуються спеціальні алгоритми.

Незважаючи на всі перераховані вище недоліки, нікель-кадмієві батареї вважалися альтернативою свинцево-кислотним батареям в електротранспорті аж до появи більш сучасних і менш вимогливих систем.

Однак вони не змогли повністю замінити свинцево-кислотні батареї, здебільшого через високу вартість, трудомістку технологію виробництва і дефіцит кадмію та нікелю.

2.4 Електричні технології зберігання електроенергії

Суперконденсатор – це імпульсний пристрій, призначений для компенсації швидких перехідних процесів у різних електричних ланцюгах.

Він відрізняється від різних типів акумуляторних батарей значно меншим енергоспоживанням і підвищеною питомою потужністю (2-10 кВтг/кг).

Процес накопичення енергії в суперконденсаторах здійснюється за рахунок поділу заряду на два електроди з достатньою різницею потенціалів. Оскільки хімічні перетворення речовин не відбуваються під час роботи суперконденсатора (якщо не допускається збільшення напруги заряду), термін служби системи великий і може перевищувати 100 000 циклів зарядки/розрядки.

За своїми основними параметрами суперконденсатори посідають проміжне положення між хімічними джерелами живлення і звичайними конденсаторами.

З огляду на ці характеристики суперконденсаторів, фахівці у сфері енергетичного інжинірингу рекомендують використовувати їх у гібридних схемах з акумуляторними батареями.

У цьому разі суперконденсатор реагує на короткочасні піки вироблення або споживання електрики, збільшує термін служби акумулятора, скорочує час реакції всієї системи на зовнішні впливи.

Зростаюче застосування поновлюваних джерел енергії в енергетичному секторі призводить до активізації зусиль з модернізації електромереж, а також до збільшення використання акумуляторних батарей.

У результаті розвитку технологій останніми роками встановлені потужності ВДЕ зростають рекордними темпами. Це особливо актуально для сонячних і вітряних електростанцій.

У наведеній нижче таблиці 2.1 наведено зміну сукупної генерації вітряних і сонячних електростанцій у різних регіонах світу з 2008 по 2018 рік.

На відміну від традиційних електростанцій, що працюють на викопному паливі, а також від деяких форм виробництва електроенергії з відновлювальних джерел (наприклад, енергія біомаси, гідроенергія та геотермальна енергія), енергія вітру та сонця може постачатися тільки за наявності відновлювальних ресурсів.

Це робить ВДЕ менш передбачуваними. Ці зміни необхідно враховувати, щоб максимально ефективно використовувати поновлювані джерела енергії в системі та гарантувати постійну відповідність між генерацією та споживанням.

Модульність - ще одна характеристика деяких видів відновлюваної енергії, особливо фотоелектричної та вітрової.

Таблиця 2.1 – Зміна сукупної генерації вітряних і сонячних електростанцій у різних регіонах світу з 2008 по 2018 рік

Країна	Вітрові електростанції		Сонячні електростанції	
	2008	2018	2008	2018
Африка	1,31	14,69	0,08	9,03
Близький Схід	0,21	1,06	0,01	6,12
Центральна та Південна Америка	1,67	65,86	0,01	12,43
Північна Америка	59,93	322,53	1,69	102,91
Росія та СНД	0,01	0,98	0,00	0,88
Європа	121,35	404,37	7,50	139,05
Азіатсько-Тихоокеанський регіон	36,09	460,47	3,33	314,21
Разом	220,57	1269,95	12,62	584,63

Це означає, що додаткові енергетичні потужності можуть бути легко додані та введені в експлуатацію на місці. Системи на місці, тобто в будинку, офісній будівлі або іншому комерційному об'єкті, варіюють від малопотужних до великих промислових об'єктів потужністю в мегавати.

Їх встановлюють на даху (найчастіше під час використання в побутових цілях) або в безпосередній близькості від торгового чи промислового майданчика. Ця так звана розподілена генерація замінює традиційну модель

підключення великих об'єктів електропостачання до кінцевого користувача на великих відстанях.

Змінний, децентралізований характер поновлюваних джерел енергії ускладнює забезпечення надійного електропостачання.

Системні оператори зобов'язані суворо стежити за балансом між виробленою і споживаною електроенергією, відстежуючи частоту. У Європі цільова частота струму в електромережі становить 50 Гц.

Є багато об'єктів, які відіграють важливу роль у забезпеченні гнучкості електроенергетичної системи, включно зі сховищами енергії. Їхнє використання слід оцінювати індивідуально для кожної системи, беручи до уваги особливості різних частин світу. Батареї, що перезаряджаються, є поширеним варіантом, але їх використання не підходить для деяких систем ВДЕ.

Батареї, що перезаряджаються, можуть регулювати відхилення частоти в електромережі та сприяти використанню змінних поновлюваних джерел, зберігаючи надлишкову енергію для постачання в періоди пікових навантажень.

Існує широкий вибір технологій зберігання енергії для поновлюваних джерел. Найстаріша і найрозвиненіша технологія - так звані гідроакумуючі гідроелектростанції, які найкраще підходять для більш тривалих коливань навантаження (протягом декількох годин). Ці установки давно довели свої економічні та технічні переваги в усьому світі.

З іншого боку, акумуляторна батарея – це нова розробка на ринку. До інших нових технологій відносяться зберігання енергії за рахунок адіабатичного стиснення повітря, генераторів водню і суперконденсаторів.

Енергія може зберігатися у вигляді тепла з використанням котлів, теплових насосів, льоду або охолодженої води. Такі технології можна застосовувати для комбінованого виробництва тепла та електроенергії для досягнення максимального використання енергії вітру.

Зберігання електроенергії у формі тепла часто є дешевшим варіантом, ніж інші, хоча перетворення тепла в електрику менш ефективне. Тому зазвичай

електрику, перетворену в тепло, пізніше використовують як таку для опалення, охолодження або в промислових процесах.

2.5 Акумуляторні батареї для відновлюваних джерел енергії

Через нестабільність вироблення електроенергії за допомогою вітряних турбін і сонячних фотоелектричних панелей, технології зберігання електроенергії стали ключовим атрибутом систем електропостачання.

Електроенергія, накопичена протягом дня, подається акумуляторними батареями в електромережу в нічний час або в години пік, коли виробництва недостатньо для потреб споживачів.

Батареї, що перезаряджаються, можуть бути розміщені в централізованих вітрових і сонячних установках, щоб збалансувати нерівномірне виробництво енергії. Вони можуть зберігати надлишки відновлюваної енергії для подальшого використання.

Процес, за якого надлишкова енергія передається для використання в періоди більш високого навантаження, називається "перемиканням енергопостачання".

Система накопичення енергії – це не просто акумулятор. Провідні світові компанії надають цьому поняттю інше значення.

Вони пропонують користувачеві більш комплексне рішення, яке включає в себе акумуляторні батареї та програмні рішення, що забезпечують контроль і оптимальний розподіл навантаження.

За даними US Energy Storage Monitor, 94,2% батарей, що використовуються для зберігання енергії в Сполучених Штатах, є літій-іонними, ще 5% припадає на проточні батареї з окислювально-відновним потенціалом ванадію та 0,5% ринку становлять свинцево-кислотні батареї.

Наразі в цільовому зберіганні електроенергії переважають літій-іонні батареї, що встановлюються в будинках із сонячними батареями.

За допомогою нових технологій можна створити велику електричну мережу, з якої кожен клієнт використовуватиме електроенергію відповідно до своїх потреб (на рівні лічильника).

За оцінками компаній Lazard і Enovation Partners, це знижує витрати на зберігання електроенергії з поточних 891-985 доларів за 1 МВтг до 184-338 доларів.

Акумулятори перетворюють електрику на хімічну енергію для зберігання і назад в електрику за потреби. Вони можуть виконувати різні функції на різних етапах електричної мережі. Із сонячними фотоелектричними системами і вітряними турбінами батареї можуть врівноважувати генерацію і накопичувати надлишкову енергію для використання під час більш високого навантаження.

В даний час ці коливання компенсуються енергією від природного газу, атомних електростанцій або вугільних електростанцій, але для цієї технології зазвичай потрібно більше часу для досягнення максимальної потужності.

З іншого боку, акумуляторні батареї досить швидко реагують на потреби споживача. При їх використанні замість електростанцій на викопному паливі вони значно скорочують викиди вуглекислого газу в атмосферу.

При низьких відпускних цінах на електроенергію акумуляторні батареї можуть зберігати енергію деякий час, поки ціни не зростуть. У домашніх умовах батареї можуть накопичувати енергію для використання в будь-який час, а також забезпечувати резервне живлення будинків і підприємств у надзвичайній ситуації.

Один із таких акумуляторів – алюмінієво-повітряні батареї. Ця технологія заснована на процесі плавлення, що використовується під час виробництва алюмінію. Батареї виготовляються з дешевих матеріалів і мають вищу питому енергоемність, ніж літій-іонні елементи. З іншого боку, їх потрібно обслуговувати вручну: користувачі повинні замінювати алюмінієві пластини, щоб заряджати акумулятор.

Ще одна технологія зберігання енергії для ВДЕ – так звані проточні акумулятори.

Акумулятори миттєвої дії особливо підходять для зберігання енергії на рівні мережі, оскільки їх легко масштабувати. Вони дають електрику, прокачуючи розчин електроліту через елемент, тому збільшення їхньої ємності пов'язане зі збільшенням розміру резервуарів для зберігання електроліту.

Оскільки активні компоненти розділені, проточні акумулятори безпечніше використовувати у великих масштабах, ніж звичайні батареї. Вони також швидко заряджаються і мають тривалий термін експлуатації, але необхідні матеріали, такі як електроліти з високою енергоємністю енергії та іонообмінні мембрани, залишаються дорогими.

Деякі компанії на ринку розробляють способи збільшення питомої енергоємності нинішніх батарей за допомогою екологічно чистих матеріалів і за нижчою ціною. Але електрика - не єдиний економічно ефективний вид енергії.

Дослідники також шукають більш ефективні способи зберігання і використання тепла в майбутньому.

Наприклад, команда вчених з Каліфорнійського університету в Лос-Анджелесі (США) розробляє метод зберігання тепла сонячних електростанцій з використанням "надкритичних рідин" або рідин, нагрітих до високих температур і високого тиску. Більшість сонячних електростанцій, де встановлені системи накопичення енергії, використовують спеціальну розплавлену сіль, яка зберігає тепло і виділяє його вночі для нагріву води, що обертає турбіну.

За допомогою надкритичних рідин такі електростанції можуть знизити витрати на зберігання енергії до 40% завдяки дешевшій, простішій і надійнішій конструкції.

Таким чином, сонячні електростанції можуть забезпечувати більш надійну і постійну енергію, а також стати більш конкурентоспроможними порівняно з атомними електростанціями і вугільними електростанціями.

Інноваційні системи накопичення енергії. Батарея є лише частиною складної системи, що складається з декількох основних компонентів, включно з самим акумулятором, системами управління та контролю, а також системою перетворення енергії.

Системи контролю та моніторингу гарантують її безпеку, максимальну продуктивність і надійність експлуатації.

Система запобігає перевантаженню окремих елементів і контролює зарядку та розрядку акумулятора, що важливо для ефективності. Це робить вибір обладнання для контролю та моніторингу критично важливим під час реалізації великих проєктів у галузі енергетичного інжинірингу.

У разі літій-іонних акумуляторів це обладнання має стежити за температурою, оскільки вони мають тенденцію до перегріву. При виході на ринок багатьох нових пристроїв система зберігання енергії також підключається до інвертора, щоб надати закінчений, повністю інтегрований продукт.

Децентралізовані рішення на основі акумуляторів. Електрифікація островів та ізольованих сільських районів – це виклик і водночас унікальна можливість для інтеграції ВДЕ.

Деякі віддалені райони покладаються на дизельні генератори, але цей вид виробництва енергії є дорогим і продукує велику кількість шкідливих викидів.

Віддаленість і відсутність інфраструктури означають, що регулярне постачання дизельного палива - справа дорога та ризикована. Водночас дизельні генератори вважаються найдоступнішим і економічним рішенням для виробництва енергії у віддалених районах, оскільки вони гнучко реагують на змінне навантаження.

Проте, ізольовані споживачі мають чудову можливість спробувати акумуляторні батареї. Цю технологію зберігання енергії можна використовувати для інтеграції поновлюваних джерел енергії, зниження залежності від дизельного палива і газу, а в деяких випадках і для зниження витрат.

У деяких віддалених районах діють "мікромережі" зі слабкими мережевими зв'язками і недостатньо гнучкими джерелами енергії.

Ці об'єкти виграють від накопичення енергії для більш надійного використання місцевих вітряних і сонячних електростанцій.

Зберігання електроенергії в домашніх умовах. Акумулятори дозволяють використовувати більшу кількість відновлюваної енергії для побутових потреб.

Вони можуть подолати обмеження, пов'язані з пропускною спроможністю місцевої електромережі, оскільки вони можуть ефективно розподіляти накопичену електроенергію в період природного зниження генерації.

Привабливість використання акумуляторних батарей у житлових будинках залежить від відповідності часу пікового вироблення і споживання сонячної енергії.

У деяких країнах Перської затоки, наприклад, інженерам доводиться враховувати кондиціонування повітря в спекотні періоди.

Крім того, пікове споживання для деяких домогосподарств припадає на денний час. Тому оптимальні способи заряджання та розряджання відрізняються залежно від конкретної системи електропостачання та району, домогосподарства, а також періоду року [9-15].

3 АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ БАТАРЕЇ В СИСТЕМІ MATLAB

3.1 Класифікація пристроїв, що підвищують енергетичні показники та якість електричної енергії

Батарейний блок реалізує узагальнену динамічну модель (рис.3.1).

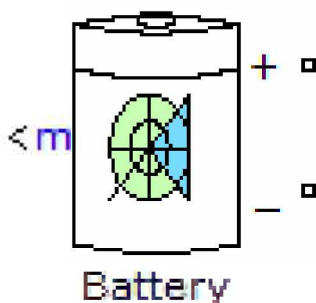


Рисунок 3.1 – Блок Battery узагальнена динамічна модель

Заряд і розряд динамічної моделі батареї перевіряються експериментально за допомогою чотирьох найбільш відомих типів акумуляторних батарей:

- Нікель-кадмієві;
- Нікель-металгідридні;
- Літій-іонні;
- Свинцево-кислотні.

Особливістю цієї моделі є простота отримання експлуатаційних характеристик. Необхідні всього три параметри для введення в блок: номінальна напруга, В (Nominal Voltage); номінальна ємність, А/год (Rated Capacity); початковий стан заряду, % (Initial State-Of-Charge).

Еквівалентну схему батареї наведено на рис. 3.2.

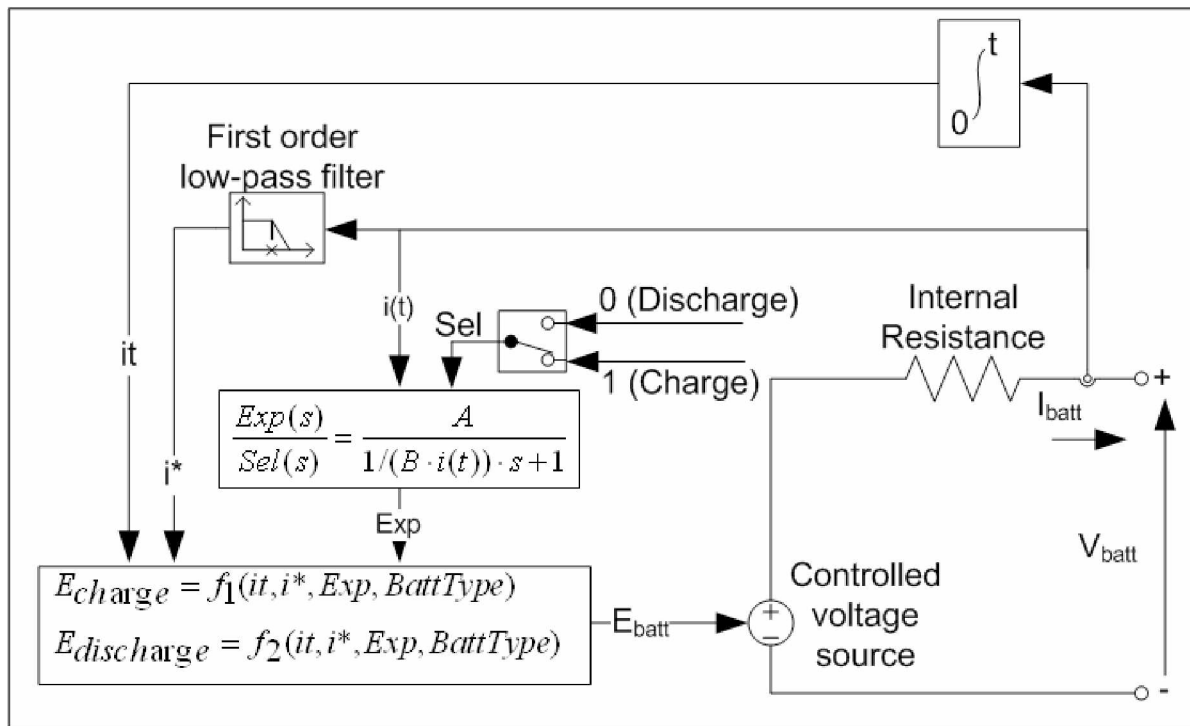


Рисунок 3.2 – Еквівалентна схема АКБ у середовищі MATLAB

Нижче наведено формули, що розраховують моделі розряду і заряду акумуляторних батарей у батарейному блоці [40]:

Для свинцево-кислотних АБ

Модель розрядки ($i^* > 0$):

$$f_1(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + \text{Laplace}^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)} \cdot 0 \right).$$

Модель зарядки ($i^* < 0$):

$$f_2(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it + 0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + \text{Laplace}^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)} \cdot \frac{1}{s} \right).$$

Для літій-іонної АБ

Модель розрядження ($i^* > 0$):

$$f_1(it, i^*, i) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it).$$

Модель зарядки ($i^* < 0$):

$$f_2(it, i^*, i) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it + 0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it).$$

Для нікель-кадмієвої та нікель-металгідридної АБ

Модель розрядження ($i^* > 0$):

$$f_1(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + \text{Laplace}^{-1} \left(\frac{\text{Exp}(s)}{\text{Sel}(s)} \cdot 0 \right).$$

Модель зарядки ($i^* < 0$):

$$f_2(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{|it| + 0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + \text{Laplace}^{-1} \left(\frac{\text{Exp}(s)}{\text{Sel}(s)} \cdot \frac{1}{s} \right),$$

де

E_{Batt} – нелінійна напруга (В);

E_0 – постійна напруга (В);

$\text{Exp}(s)$ – експоненціальна динаміка зони (В);

$\text{Sel}(s)$ – представляє режим роботи від акумулятора;

$\text{Sel}(s) = 0$ під час розрядження батареї;

$\text{Sel}(s) = 1$ під час заряджання акумулятора;

K – постійна поляризації (Ач-1);

i^* – низькочастотна поточна динаміка (А);

i – струм батареї (А);

it – витягнута ємність (Ач);

B – експоненціальна ємність (Ач)-1;

Q – максимальна ємність батареї (Ач);

A – експоненціальна напруга (В).

Параметри еквівалентної схеми можуть бути змінені, для того щоб представляти певний тип батареї, що ґрунтуються на його розрядних характеристиках. Типова розрядна крива складається з трьох областей (рис.3.3).

Вкладка блок параметрів (рис. 3.4).

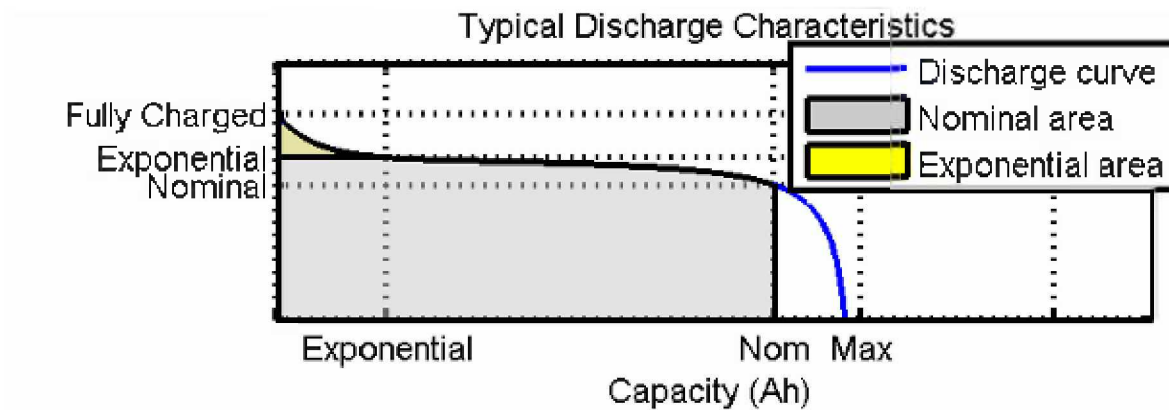


Рисунок 3.3 – Типова розрядна крива

Перша область являє собою експоненціальне падіння напруги, коли акумулятор заряджений. Залежно від типу акумулятора, ця область більш-менш широка.

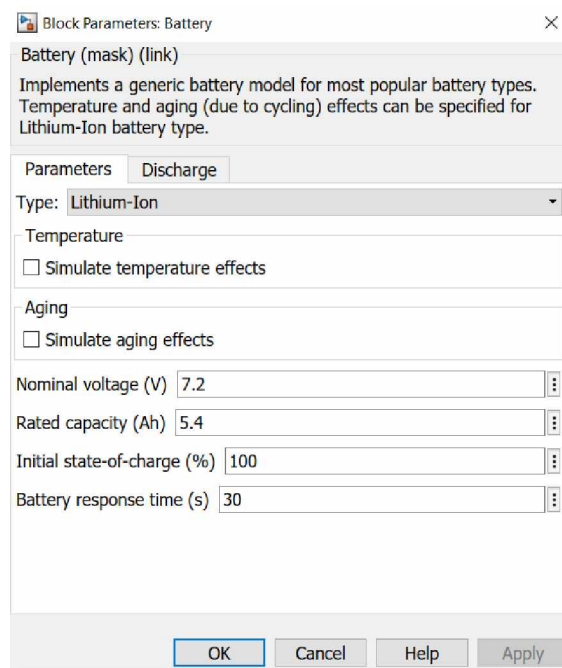


Рисунок 3.4 – Блок параметрів блоку Battery

Друга область показує напругу, яку може бути витягнуто з акумулятора, поки напруга не впаде нижче номінальної напруги батареї.

Третя область показує повний розряд акумулятора, коли напруга падає дуже швидко.

Тип батареї. Дає змогу вибрати тип АБ зі списку зумовлених моделей поведінки для чотирьох типів батарей:

- Свинцево-Кислотні;
- Літій-іонний;
- Нікель-Кадмієві;
- Нікель-Металгідридні.

Номінальна напруга, В. Номінальна напруга представляє кінець лінійної зони характеристик розряду.

Номінальна ємність, А/год. Номінальна ємність - мінімальна ефективна ємність батареї.

Початковий стан заряду, %. Початковий стан заряду позначається як SOC. Якщо значення дорівнює 100%, то акумулятор є повністю зарядженим. А при значенні 0% акумулятор є розрядженим ("порожнім"). Цей параметр використовується як початкова умова для моделювання і не впливає на криву розряду.

Максимальна ємність, А/год. Максимальна теоретична ємність, коли виникає розрив у напрузі батареї. Значення цього параметра, як правило, дорівнює 105% від номінальної ємності.

Номінальний струм розряду, А. Номінальний струм розряду, для яких було виміряно криву розряду.

Внутрішній опір, Ом. Внутрішній опір постійний під час циклів заряду і розряду і не змінюється залежно від амплітуди струму.

Ємність при номінальній напрузі, А/год. Пропускна здатність витягується з батареї, поки напруга не падає нижче номінальної напруги.

Експоненціальна зона. Напруга (U_{exp}) і ємність (Q_{exp}) властиві кінцю експоненціальної зони. Напруга визначається в інтервалі U_{nom} і U_{full} , ємність в інтервалі від 0 до Q_{nom} .

Вкладка вид характеристики розряду (рис.3.5).

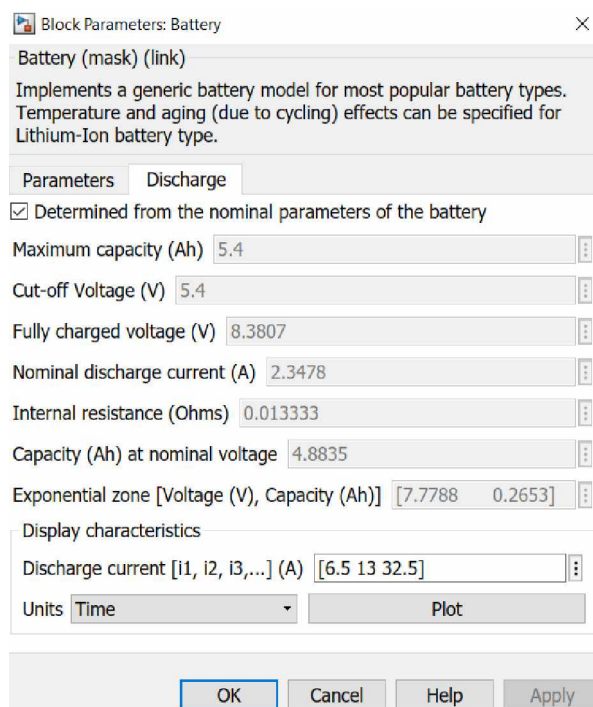


Рисунок 3.5 – Характеристики розряду

Ділянка характеристики розряду (Plot Discharge Characteristics). Використовується при виборі ділянок фігури, що містить два графіки. Перший графік показує номінальну криву розряду, за номінального струму розряду, а другий графік - криві розряду за заданих струмів. Коли прапорець активний, графа залишається увімкненою і оновлюється при зміні параметра в діалоговому вікні.

Розрядний струм (Discharge current). Дозволяє задавати різні значення розрядного струму. Розрядні характеристики цих струмів подано в другій частині графіка.

Одиниці вимірювання (Units). Ця графа дає змогу задавати час або ампер-годину як вісь X для графіка.

Запропонована модель ґрунтується на певних припущеннях та обмеженнях.

Припущення моделі:

- внутрішній опір припускають постійним під час циклів заряджання і розряджання і не залежить від амплітуди струму;
- параметри моделі виводяться з розряду характеристики і приймається рівним для зарядки;
- ємність батареї не змінюється залежно від амплітуди струму;
- температура не впливає на поведінку моделі;
- саморозряд відсутній;
- ефекту пам'яті немає.

Обмеження моделі:

- мінімальна напруга батареї дорівнює 0 V , а максимальна напруга батареї $2 \cdot E_0$.
- мінімальна ємність батареї 0 A/год , а максимальна не може бути більшою за 100% .

4 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ З АКУМУЛЮЮЧИМ ПРИСТРОЄМ

4.1 Моделювання зарядки акумулятора від фотоелектричної панелі в програмі MATLAB Simulink (SimPowerSestems)

Внутрішня архітектура струму насичення та зворотного струму насичення. Коли діод має зворотне зміщення, ширина області виснаження збільшується і основні носії віддаляються від переходу, а потік струму, зумовлений основними носіями, відсутній, але є термічно утворені електронно-діркові пари. Якщо ці електрони і дірки генеруються поблизу переходу, то виникає потік струму. Негативна напруга, прикладена до діода, буде притягувати дірки, що утворилися таким чином, і відштовхувати електрони. У той же час позитивна напруга буде притягувати електрони до батареї і відштовхувати дірки.

Це спричинить протікання струму в ланцюзі. Зазвичай цей струм дуже малий (від мікроампер до наноампер). Оскільки цей струм зумовлений неосновними носіями, а кількість неосновних носіїв є фіксованою при даній температурі, струм є майже постійним і називається зворотним струмом насичення.

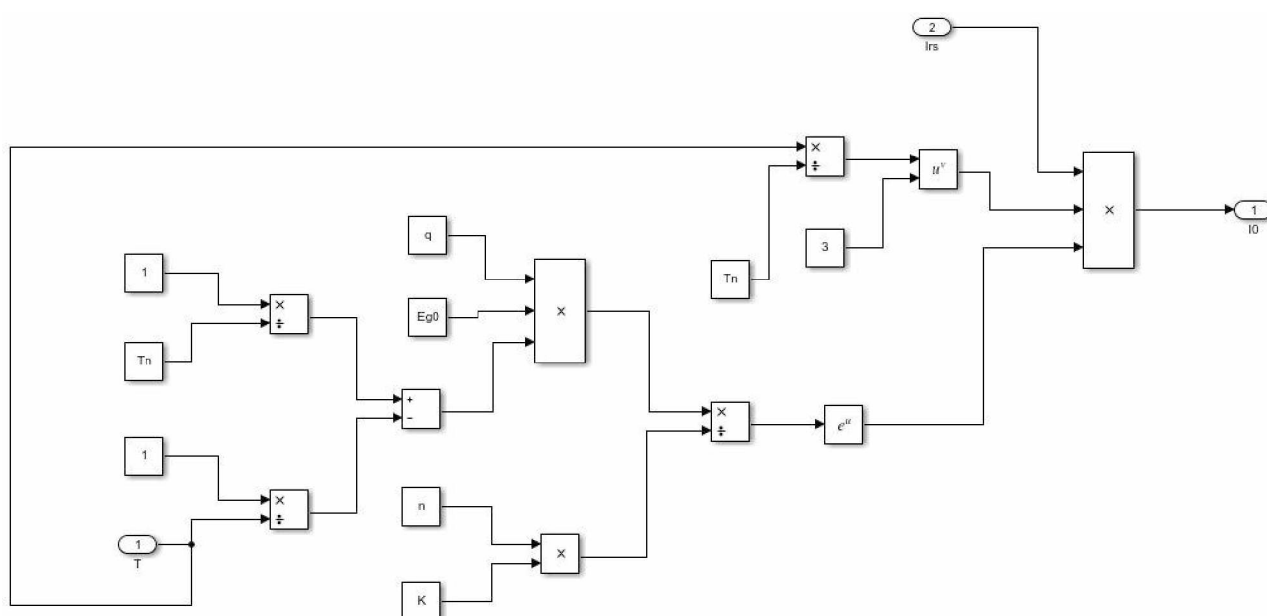


Рисунок 4.1 – Застосування формули струму насичення в Simulink

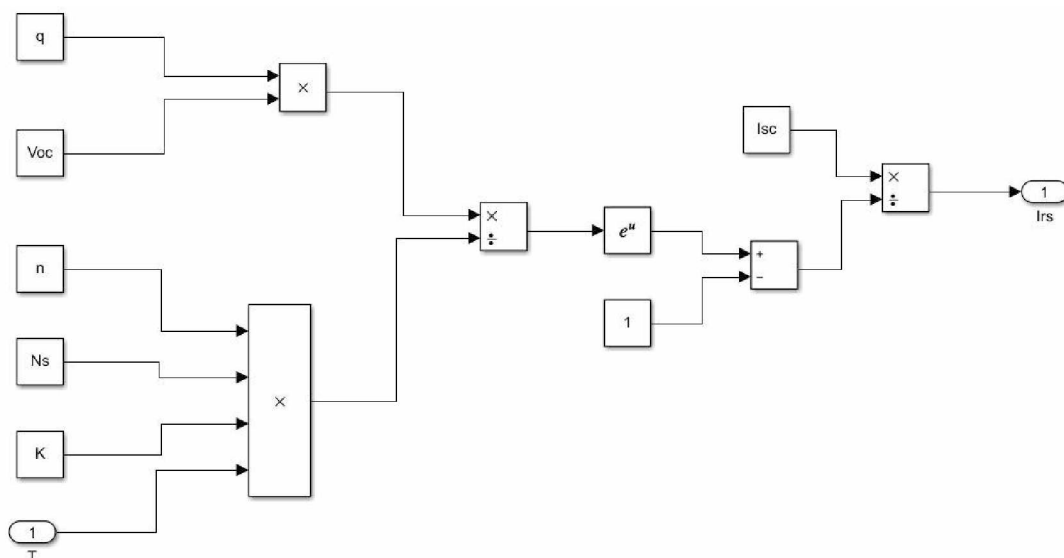


Рисунок 4.2 – Застосування струму за зворотною формулою насичення в Simulink

Внутрішня архітектура шунтуючого струму. «Шунт» – це резистор, який використовується для вимірювання контурних струмів в електричних ланцюгах. Власне, раніше шунт використовувався як резистор, який паралельно підключався до амперметрів для розширення діапазону вимірювання електричних приладів (індикаторних лічильників). Однак останнім часом шунт частіше використовується як датчик, що виявляє струми в ланцюзі. Існують різні способи виявлення струмів, але найпростішим є використання шунтів, які просто підключаються до вимірювальних ланцюгів послідовно.

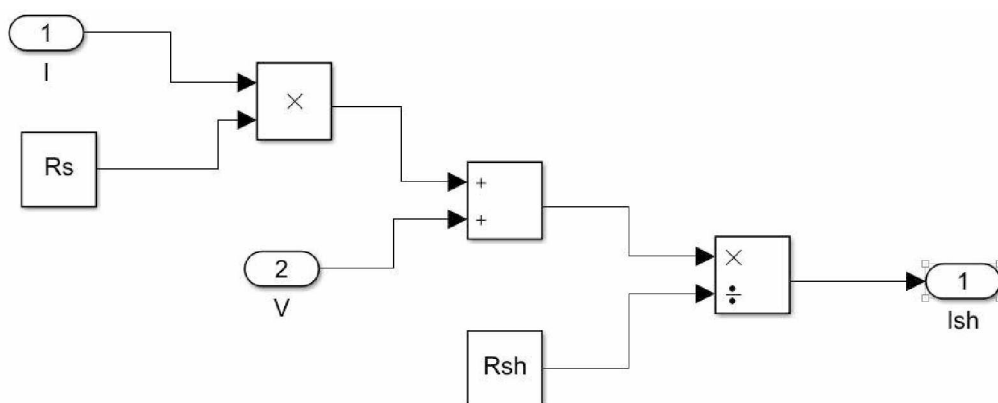


Рисунок 4.3 – Застосування формули шунтуючого струму в Simulink

Це метод вимірювання та виявлення напруги, співмірної зі струмами, що генеруються в шунтах, підключених до контурів. Для того, щоб вставити шунт в ланцюг послідовно, необхідно встановити відповідне значення опору для роботи ланцюга.

Внутрішня архітектура фотоструму. Фотострум – це електричний струм, що проходить через світлочутливий пристрій, наприклад, фотодіод, в результаті впливу променевої енергії. Фотострум може виникати в результаті фотоелектричного, фотоємісійного або фотогальванічного ефекту. Фотострум може бути посилений внутрішнім підсиленням, викликаним взаємодією між іонами і фотонами під впливом прикладених полів, як це відбувається в лавинному фотодіоді (APD). Як метод характеристизації, фотострум зазвичай використовується для вивчення властивостей зарядів, таких як екситони напівпровідникових наноструктур та інших матеріалів, що поглинають світло.

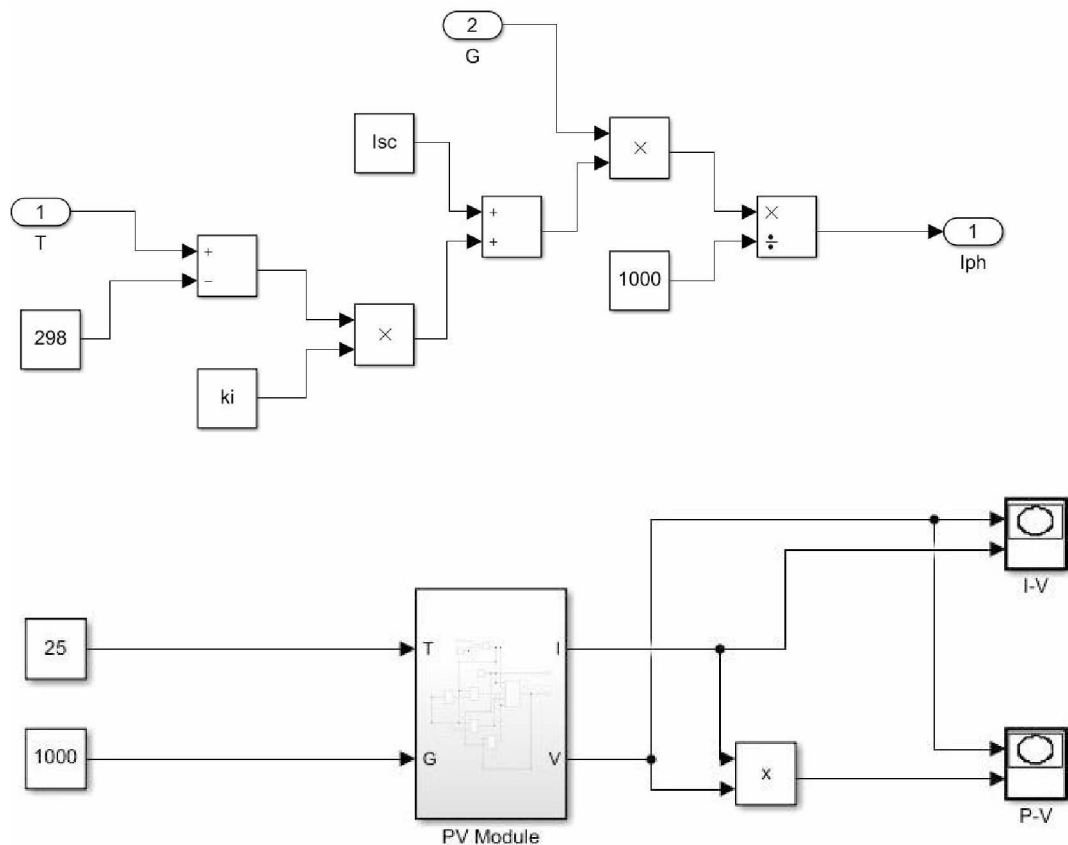


Рисунок 4.4 – Застосування повної фотоелектричної моделі в Simulink

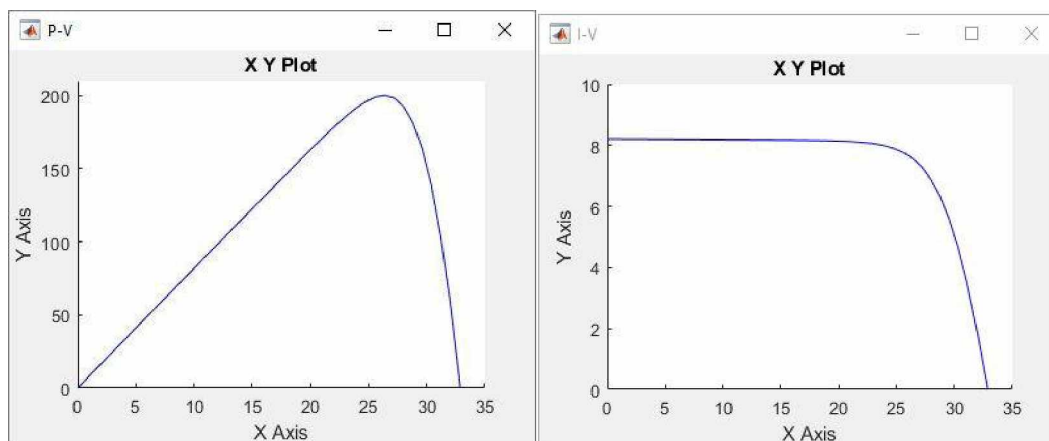


Рисунок 4.5 – Вольт-амперні характеристики фотоелектричних модулів

Схема стабілітрона – це перетворювач постійного струму в постійний, який знижує напругу на вході. Схема працює в двох станах, коли перемикач знаходиться в провідному стані, а діод – в ізоляції, і коли діод знаходиться в провідному стані, а перемикач – в ізоляції. Відношення часу перебування перемикача в стані провідності до періоду перемикання в ланцюзі називається коефіцієнтом заповнення. Він позначається символом D . Для схеми з бак-транзистором ця величина також є коефіцієнтом трансформації схеми.

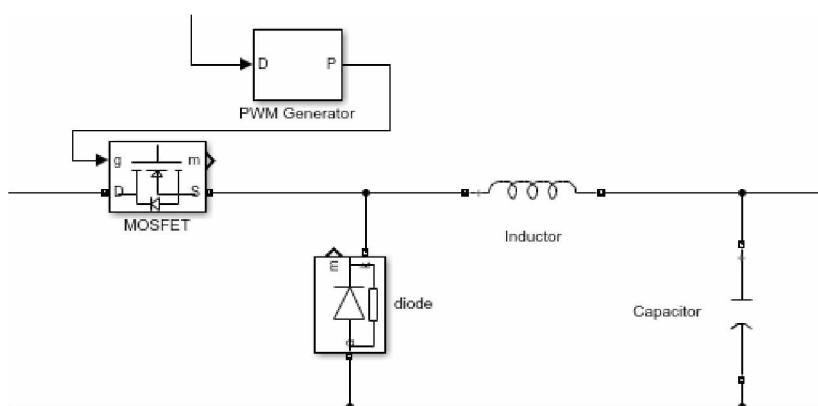


Рисунок 4.6 – Блок стабілітрона

Наступні розрахунки можна виконати, припускаючи, що коло перебуває у сталому стані, струм котушки індуктивності неперервний і позитивний, конденсатор достатньо великий, а елементи кола ідеальні.

Схема виглядає наступним чином протягом ($D * T$) часу. (Мосфет в передачі, діод в ізоляції рис. 4.6)

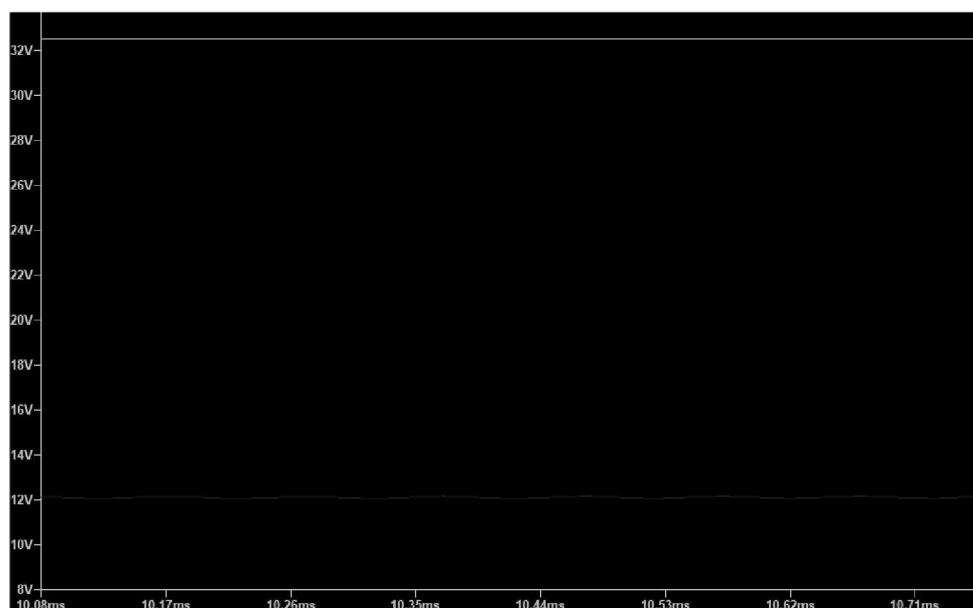


Рисунок 4.7 – Графік вхідної та вихідної напруги

З огляду на це, параметри нашого перетворювача, який ми використовуємо, є наступними: Індуктивність 1 мГн, ємність 1 мкФ, частота 10 кГц. Відповідний коефіцієнт заповнення відповідно до напруги панелі та напруги акумулятора становить 0,369.

MPPT (Maximum power point tracking – відстеження точки максимальної потужності) – це назва технології, яка використовується для більш ефективного заряджання акумуляторів електричної енергії, виробленої сонячними панелями (PV-фотоелектричними) та вітрогенераторами. Ця технологія відстежує миттєву та змінну генерацію енергії на елементах сонячної панелі за допомогою спеціальних алгоритмів і має на меті отримати максимальну ефективність протягом кожного часу, коли панель активна.

12В сонячні панелі дають вихідну напругу близько 18-20В відповідно до їх структури, класичний ШІМ (широтно-імпульсна модуляція) регулятор намагається перетворити цю напругу в 12В напругу акумулятора, відсікаючи її, і не може оцінити різницю потенціалів в 6-8В, і ця енергія, вироблена в панелі, втрачається. Регулятор, що використовує технологію MPPT, перетворює баланс

напруги і струму всередині себе і спрямовує більшу частину енергії, виробленої в панелі, до акумулятора.

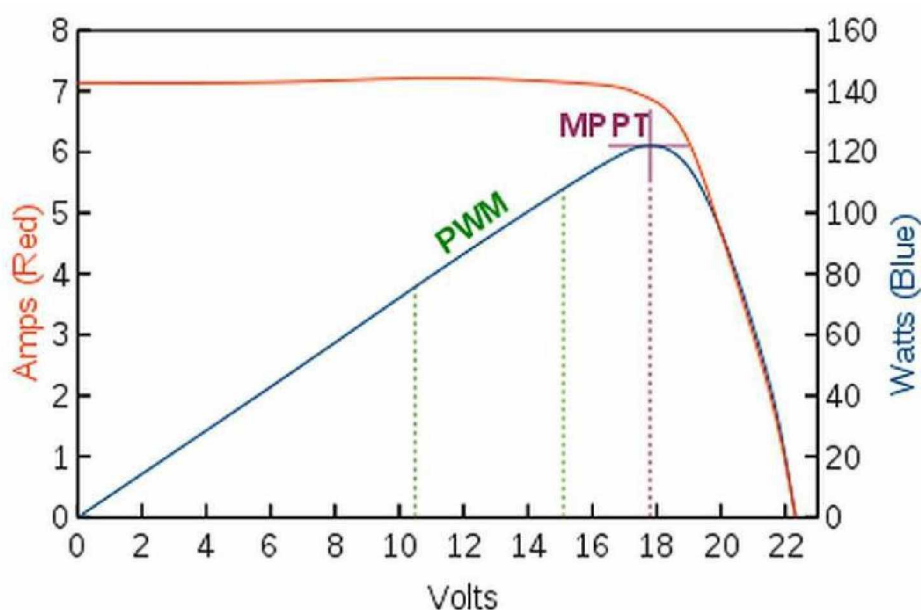


Рисунок 4.8 – Графік точки максимальної потужності

На графіку вище ми бачимо криву «струм-напруга» (I-V) панелі помаранчевим кольором, а криву «потужність» (Вт) – синім. У той час як PWM-регулятор може передавати на батареї лише 10,5-15 В, MPPT-регулятор може передавати на батареї найбільшу потужність, яку можна отримати від панелі, фіксуючи найвищу точку на графіку в будь-який момент часу.

На додаток до цих переваг, MPPT також мають деякі недоліки. Особливо дорогі ціни на MPPT, крім того, їм не завжди надають перевагу через те, що вони містять складні та чутливі схеми, а також через необхідність правильного монтажу через проблеми з нагріванням. Без цих недоліків, ймовірно, ніколи не було б такого поняття, як регулятор PWM.

Сонячні панелі складаються з дуже маленьких фотоелементів, з'єднаних послідовно в групи. Залежно від конструкції панелі, з'єднання цих комірок і груп між собою може бути різним. Тому форма тіні, що падає на панель, змінює вироблення панелі. При деяких затіненнях падає тільки напруга, при інших - тільки струм, іноді все одночасно. Тобто поточний стан тіні впливає на значення

змінних в ланцюзі. Метод MPPT відповідно знаходить найбільш підходящу точку і забезпечує найефективніший збір врожаю, виходячи з отриманих тут чисел.

Існує багато методів, які виконують процедуру MPPT. З них ми дізнаємося про метод P&O.

Завдяки своїй простій структурі, метод P&O є одним з найбільш використовуваних алгоритмів. Панель і вихідна потужність розраховуються за допомогою значень струму і напруги. Моніторинг MPP забезпечується збільшенням або зменшенням опорного значення на основі зміни потужності.

Якщо ми хочемо досягти MPP, ми можемо вибрати струм і напругу як опорні значення.

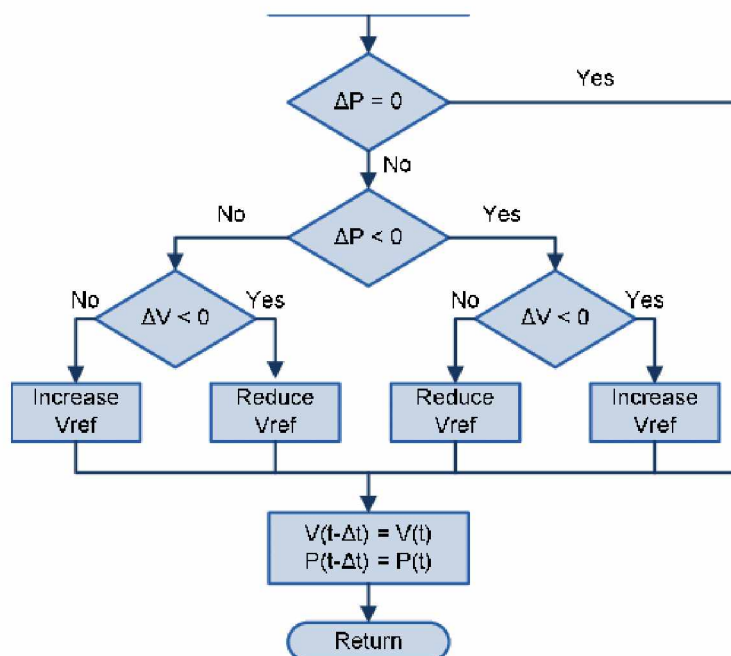


Рисунок 4.9 – Алгоритм знаходження точки максимальної потужності

У дослідженні, яке ми бачили вище, вихідна потужність панелі та вихідна потужність з боку навантаження розраховуються та порівнюються за допомогою струму та напруги. Наступним кроком є порівняння напруг. Після цього еталонне значення (напруга) збільшується або зменшується на задану величину.

Коли вона досягає точки максимальної потужності, вона постійно змінюється в цій точці, і коливання відбуваються завдяки візуальному процесу.

У літературі існує багато алгоритмів, які використовують метод MPPT, але алгоритмів, які використовують інтенсивність неатмосферного випромінювання для відстеження точок потужності, не було знайдено. У цьому розділі буде показано алгоритм MPPT, який відстежує точку максимальної потужності, використовуючи інтенсивність неатмосферного променя.

Як ми бачимо в таблиці, спочатку була створена таблиця перетворення, яка дає струм точки максимальної потужності у відповідь на інтенсивність випромінювання фотоелектричної панелі, що використовується в тестовій платформі.

Ця таблиця створюється для цієї фотоелектричної панелі на основі властивостей фотоелектричної панелі, яка буде використовуватися в системі, і її не потрібно створювати знову, якщо тільки фотоелектрична панель не буде замінена. Таким чином, алгоритм не впливає на обчислювальне навантаження. Для моделювання фотоелектричної панелі використовуються найрізноманітніші математичні моделі, крім того, модель, яка буде використовуватися тут, повинна бути максимально простою і легкою в обчисленні.

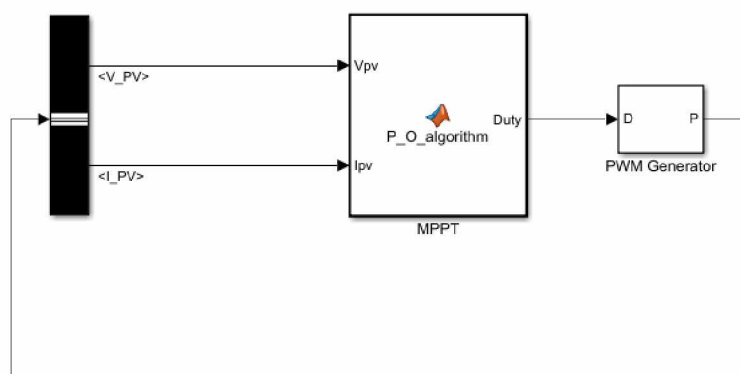


Рисунок 4.10 – Блок алгоритму точки максимальної потужності

Сигнал інсоляції (опромінення сонячної радіації). Генератори сигналів можна використовувати для створення тестів у Simulink. Наприклад, ви хочете створити фільтр низьких частот і хочете переконатися, що не допустили найменшої помилки при його розробці. Ви можете надіслати на фільтр низьких частот сигнал, наприклад, різні синусоїди з різними частотами, і поспостерігати за поведінкою вашого фільтра.

Генератор сигналів створює умови для створення різних типів тестових кейсів для спостереження за поведінкою вашої Simulink-моделі і запуску їх усіх.

У нашому генераторі сигналів було застосовано змінний сигнал, наприклад, змінне випромінювання протягом дня. Завдяки генератору сигналів в нашій системі ми виконали відстеження точки максимальної потужності, і ми використовували алгоритм Р&О при цьому. Мета цього алгоритму - обчислити потужність за значеннями струму та напруги, отриманими з входу панелі, а потім порівняти її з попередніми значеннями потужності.

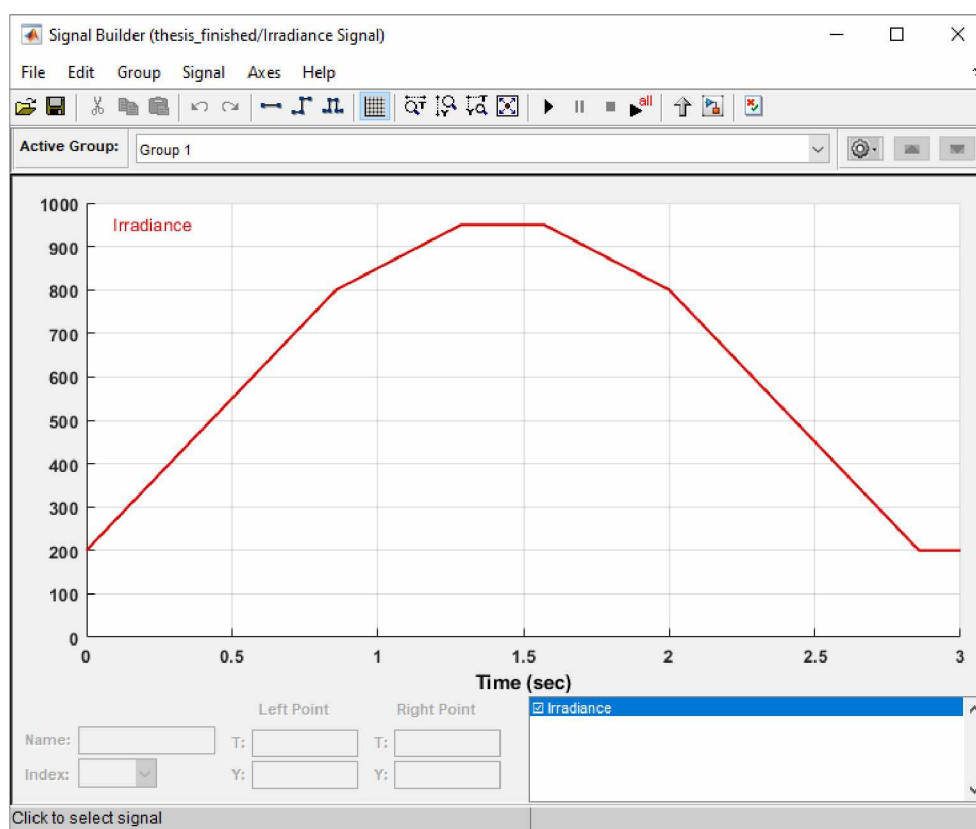


Рисунок 4.11 – Графік сигналу опромінення

Модуль фотоелектричної панелі в Simulink. Блок PV Array дозволяє реалізувати масив фотоелектричних (PV) модулів. Масив складається з масивів, які є паралельними сітками, а його масив складається з мережових модулів, з'єднаних послідовно один з одним. Цей блок дозволяє легко зрозуміти фотоелектричні модулі з раніше розглянутими фотоелектричними модулями з Моделі системного радника Національної лабораторії відновлюваної енергетики (NREL) (2018).

Весь блок PV Array має модель, яка відповідає характеру нашого мода і використовує зразкове закінчення (I_L), показане в прикладі, серію (R_s) і шунтовий опір (R_{sh}), в залежності від його перебігу.

PV Array Block – це модель з п'ятьма параметрами, що використовує джерело світлового струму (I_L), діод, послідовний резистор (R_s) і шунтуючий резистор (R_{sh}) для представлення I-V джерела в залежності від інтенсивності світла і температури модулів.

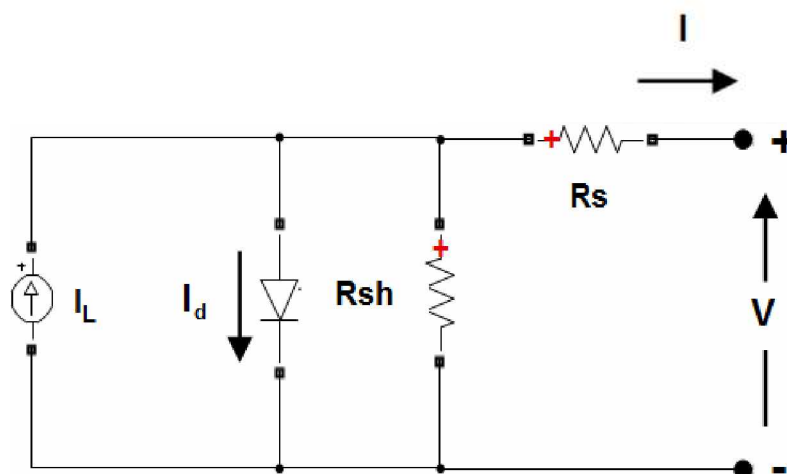


Рисунок 4.12 – Фізична блок-схема модулю фотоелектричної панелі в програмі Simulink

Симуляція системи зарядки акумулятора. Мета системи – змодельовати процес заряджання акумулятора за допомогою фотоелектричної панелі. На вхід нашої панелі подавався змінний сигнал, наприклад, змінна радіація протягом

дня, і відстежувалася точка максимальної потужності. Для цього відстеження використовувався алгоритм P&O.

Мета цього алгоритму – зробити розрахунок потужності за значенням напруги, отриманим з входу панелі. Значення потужності, отримане з входу, порівнюється з попереднім значенням потужності і перевіряється різниця. Якщо різниця дорівнює 0, наш алгоритм повертається назад і виконує обчислення знову. Якщо різниця не дорівнює 0, тобто якщо вона від'ємна або додатна, цього разу перевіряється вхідне значення панелі. Ми забезпечуємо відстеження точки максимальної потужності, збільшуючи або зменшуючи нашу опорну напругу залежно від зміни вхідної напруги. Ми застосовуємо нашу програму, кодуючи її за допомогою функції MATLAB на Simulink.

Розрахунок ефективності проводиться при запуску симуляції. У нашій системі співвідношення вихідної та вхідної потужності становить близько 90%. Коли ми подивилися на статистику нашого акумулятора, ми вибрали початковий заряд акумулятора на рівні 20%. Батарея заряджається з часом. Коли ми дивимося на інші параметри, синій сигнал означає наш струм, і він є негативним.

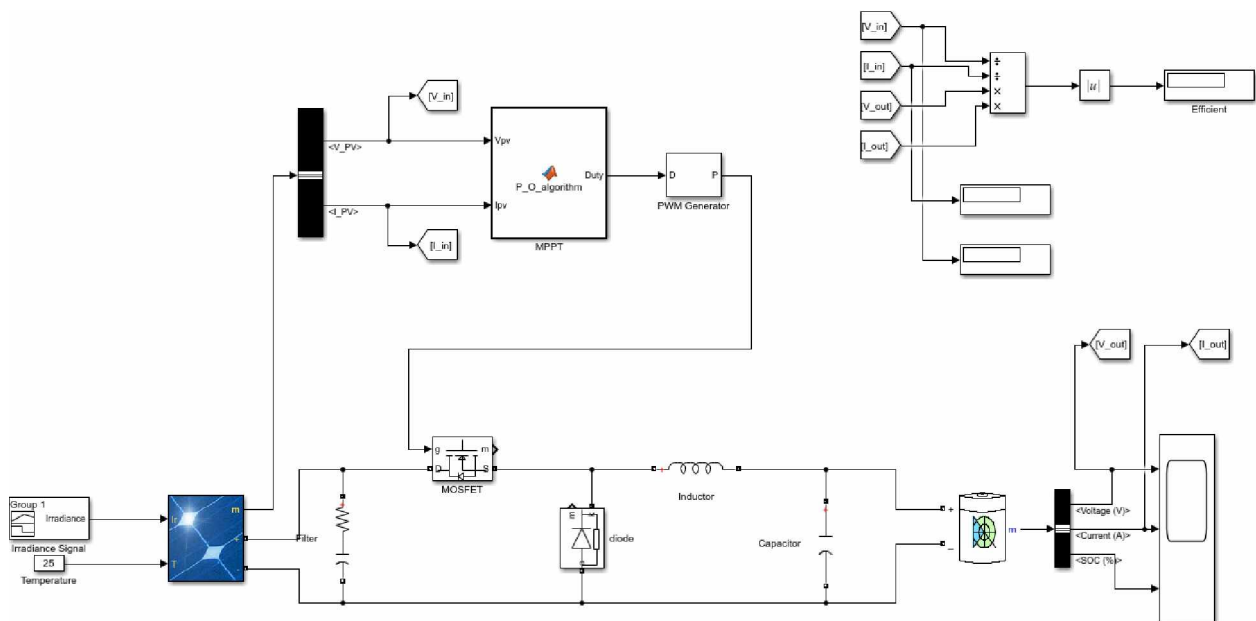


Рисунок 4.13 – Моделювання системи заряджання акумуляторів

Це тому, що наша батарея заряджається. Як і у випадку з напругою нашої батареї, ми маємо сигнал напруги 12В. На даний момент він здається стабільним, але коли ми збільшимо масштаб і подивимось, то побачимо, що наша батарея заряджається. Наш акумулятор заряджається відповідно до інтенсивності випромінювання, що надходить від входу, і система продовжує працювати таким чином.

У нашому моделюванні ми отримали приблизний рівень ефективності 90%. Ми отримуємо його зі співвідношення вихідної та вхідної потужності.

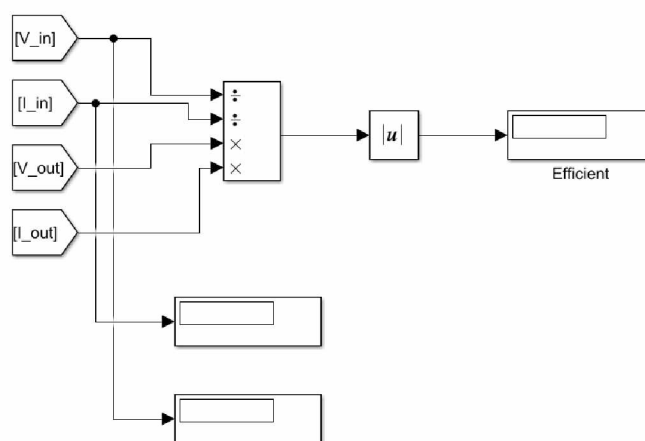


Рисунок 4.14 – Розрахунок ефективності

Мета системи – імітувати процес заряджання акумулятора за допомогою фотоелектричної панелі. У нашій системі на вхід панелі подається змінний сигнал, наприклад, випромінювання, яке постійно змінюється протягом дня. Основною причиною цього є відстеження максимальної потужності шляхом застосування цього змінного сигналу. Існують різні методи для такого відстеження, але ми використовуємо алгоритм Р&О.

Мета алгоритму Р&О – розрахувати потужність, використовуючи значення напруги на вході панелі. У цьому алгоритмі спочатку значення потужності, взяті з входу, порівнюються з попереднім значенням потужності, а потім перевіряється різниця. Якщо отримана різниця дорівнює 0, наш алгоритм повертається на початок і виконує обчислення знову. Якщо різниця не дорівнює

0, тобто якщо різниця між значенням потужності, взятим з входу, і попереднім значенням потужності є від'ємною або додатною, відбувається контроль вхідного значення панелі. Ми слідуємо за точкою максимальної потужності, збільшуючи або зменшуючи нашу опорну напругу в залежності від зміни вхідної напруги.

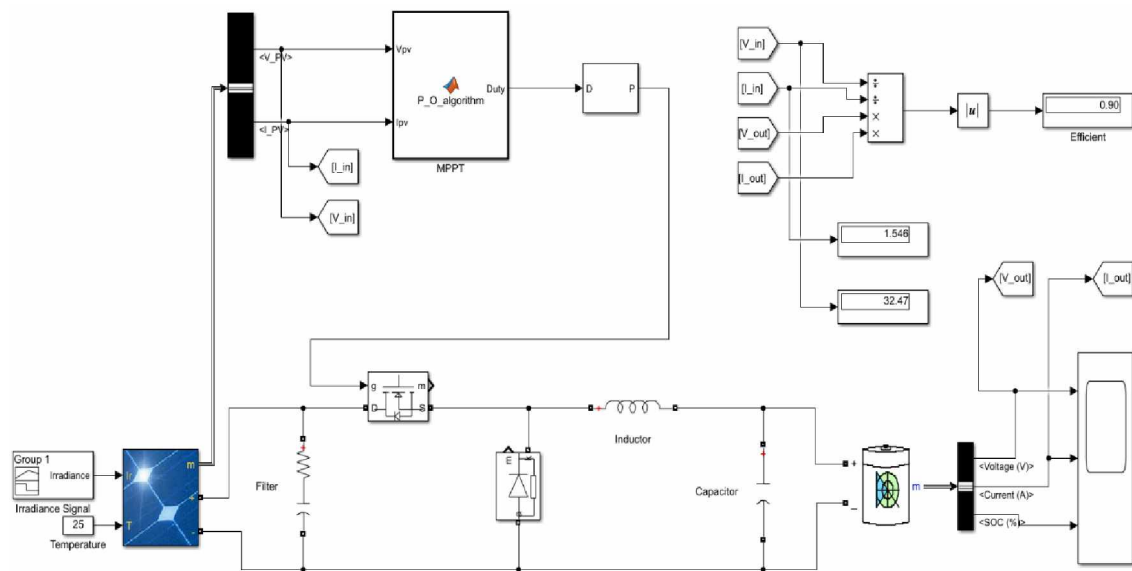


Рисунок 4.15 – Повна система для моделювання

Ми реалізуємо нашу програму шляхом кодування в Simulink за допомогою функції MATLAB. Розрахунок ефективності проводиться під час запуску симуляції. У нашій системі співвідношення вихідної та вхідної потужності становить близько 90%.

Коли ми подивилися на статистику нашої батареї, ми вибрали 20% від першого заряду нашої батареї. Наш акумулятор заряджався з часом. Коли ми дивимося на інші параметри, синій сигнал представляє наш струм і знаходиться в негативному полюсі. Коли ми подивимося на причину цього, ми побачимо, що дія, яка викликає це, – це зарядка акумулятора. Наш акумулятор заряджається відповідно до інтенсивності випромінювання, що надходить від входу, і наша система продовжує працювати таким чином[16-20].

Моделюючи вищезгадану модель, ми отримуємо три параметри. Залежно від цих параметрів ми бачимо, що наша батарея швидко заряджається постійним

струмом і напругою. Це також означає, що модель нашого проекту отримує енергію від Сонця і успішно заряджає батарею.

Остаточний вигляд моделі та вихідні параметри нашого проекту показані на рис. 4.16.

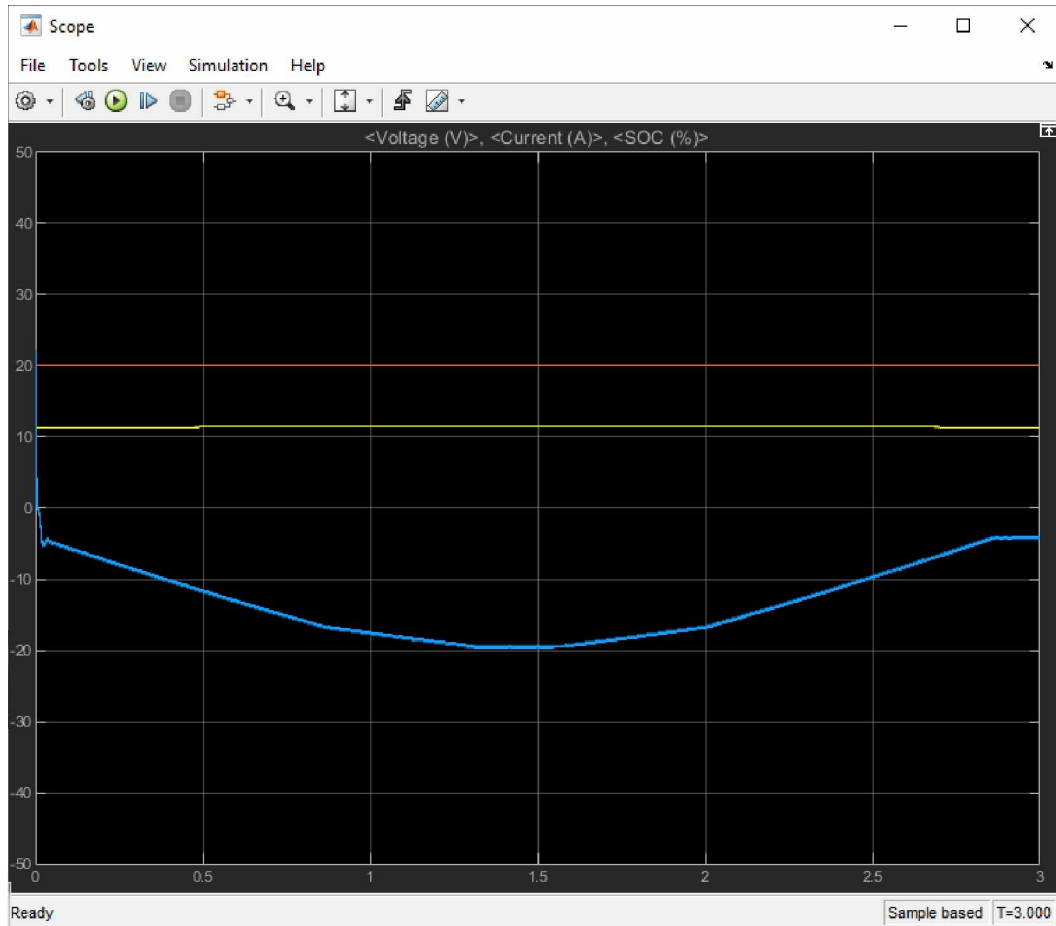


Рисунок 4.16 – Графік заряду акумулятора

Таким чином, проаналізувавши параметри відновлювальних джерел енергії та системи зберігання електричної енергії, можливо сказати, що використання акумуляторних батарей призведе до підвищення надійності та безперебійності роботи системи електрозабезпечення електроприймачів різної потужності.

ВИСНОВКИ

При виконанні дипломного проєкту було поглиблено й закріплено знання з вивчених дисциплін, а також отримано навички самостійного прийняття рішень, пов'язаних з розробкою фотоелектричної системи генерації електричної енергії з пристроєм збереження (накопичення) енергії для використання її в пікові години навантаження енергосистеми, що належать до відновлювальних джерел енергії.

У ході виконання дипломної роботи було вирішено наступні завдання:

1) проведено докладний аналіз існуючих видів відновлювальних джерел генерації електричної енергії, що використовуються в різних країнах світу відносно їх територіальних особливостей;

2) розглянули основні недоліки та переваги системи електропостачання від альтернативних джерел енергії, а саме залежність генерації електроенергії від погодних умов та сонячного дня;

3) обґрунтовано доцільність використання «буферної» ємності для накопичення електричної енергії для підвищення надійності та безперебійності роботи енергосистеми за допомогою різних технологій збереження енергії;

4) проведено математичне моделювання системи електропостачання з використанням акумулюючого пристрою з відновлювальним джерелом енергії, а саме фотоелектричною станцією для живлення технологічного об'єкту в системі MATLAB (Simulink).

Основну увагу звертаємо на те, що в моделі використовувались залежності сонячної інсоляції протягом доби, що впливало на швидкість заряду акумулюючої ємності. Також, відмітимо, що використання акумуляторів в системі електропостачання збільшують незалежність та автономність енергосистеми в цілому.

Таким чином, нами при виконанні дипломного проєкту було отримано основні залежності вихідної напруги енергосистеми та вольт-амперні

характеристики генеруючого фотоелектричного елемента та акумулюючого пристрою, які можливо використовувати в інженерно-технічній документації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с. – ISBN 978-966-999-077-8.
2. Комплексне використання відновлюваних джерел енергії: Курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М.П. Кузнецов, О.А. Мельник – Електронні текстові дані (1 файл: 7,93 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 304 с.
3. Тарасенко М.Г. Методичні вказівки до практичних робіт з курсу «Відновлювані джерела енергії». Методичні вказівки / Тарасенко М.Г. Гетманюк В.І. – Тернопіль : Видавництво ТНТУ ім. І.Пулую, 2012. – 65 с.
4. Альтернативна енергетика в Україні : монографія/ за ред. Г. Г. Півняк, Ф. П. Шкрабець. Дніпро : НГУ, 2013. 109 с.
5. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії: монографія / за ред. О. Адаменка, В. Височанського, В. Лютко, М. Михайліва. Івано-Франківськ: ІМЕ, 2001. 432 с.
6. Альтернативні паливно-енергетичні ресурси: економічні засади / за ред. І. В. Андрійчука, У. Я. Витвицької, М. А. Козоріз. Івано-Франківськ: ПП Супрун, 2008. 190 с.
7. Аналіз сучасного стану альтернативної енергетики та рекомендації по екологізації паливно-енергетичного комплексу України / В. Г. Петрук, С. С. Коцюбинська, Д. В. Мацюк // Зб. матеріалів II-го Всеукр. з'їзду екологів з міжнар. участю. Вінниця, 2016. С. 56–62.
8. Андрійчук І. В., Палійчук У. Ю. Розробка алгоритму визначення економічного потенціалу альтернативних енергоресурсів регіону. Ефективна економіка. 2017. №5. С. 24-29.

9. ESFC Investment Group [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://esfccompany.com/articles/tekhnologii/tekhnologii-khraneniya-elektricheskoy-energii/>.

10. Енергоефективні технології : навчальний посібник / А. С. Мандрика та ін. ; за заг. ред. А. С. Мандрики. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 330 с. – ISBN 978-966-657-884-9

11. Енергозбереження і використання поновлювальних джерел енергії: Методичні вказівки до практичних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 141 – “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” / Ю. О. Стьопін, В. Б. Гулевський, Н. П. Перова – Мелітополь: ТДАТУ, 2019. – 60 с – ISBN 978-966-2470-03-1

12. 1. Гевко Р. Б., Дзядикевич Ю. В., Градовий В. В. Підвищення енергозбереження та енергоефективності виробництва продукції на підприємствах АПК. Інноваційна економіка. 2017. № 3–4. С. 157–161.

13. Industrial Technologies program. Energy Saving Opportunities for Manufacturing Enterprises. U.S. Department of Energy. Washington: EERE information Center, 2015. P2.

14. Гелетука Г. Г., Желєзна Т. А., Праховнік А. К. Аналіз енергетичних стратегій країн ЄС та світу і ролі в них відновлюваних джерел енергії. Аналітична записка БАУ № 13. 2015. URL: <http://www.uabio.org/img/files/docs/uabio-position-paper-13-ua.pdf>

15. В.А. Маляренко, Л.В. Лисак Енергетика, довкілля, енергозбереження. /Під заг. ред. проф. В. А. Маляренка, Х.: Рубікон, 2004. – 368 с. – ISBN 966-7152-52-9.

16. Hart, D. W. (2011). The Buck (Step Down) Converter. In D. W. Hart, Power Electronics (pp. 199-205). McGraw-Hill.

17. Дьяконов В. П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. – М.: ДМКПресс, 2008. – 784 с.: ил. – ISBN 9785940744238.

18. Чорних І. В. Ч45 Моделювання електротехнічних пристроїв у МАТЛАВ, SimPowerSystems та Simulink. - М: ДМК Прес; СПб.: Пітер, 2008. – 288 с.: іл.
19. Дьяконов В. П. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.: ил. – ISBN 978-5-94074-652-2
20. Бахрушин В.Є. Математичні основи моделювання систем: Навчальний посібник для студентів. - Запоріжжя: Класичний приватний університет, 2009. - 224 с. – ISBN 966-414-009-0

ДОДАТОК А.
ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРАЛЕРА
до дипломної роботи студента групи ГЕМм-22
Шибанова Максима Михайловича

Позначення документа	Документ	Умовне позначення	Зміст зауваження

Дата _____