

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ЕЛЕКТРОДВИГУНА ЧОВНА НА ОСНОВІ
ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ**

Виконав студент IV курсу, групи ЕТс-41

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Бучинський М.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультетприкладних інформаційних технологій та електроінженерії

Кафедраелектричної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.П..

(підпис)(прізвище та ініціали)

« »2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступенябакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

студентуБучинському Михайлу Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботиРозробка системи електропостачання електродвигуна човна на основі фотоелектричних панелей

Керівник роботи

к.т.н., доц. Коваль В.П.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «24» січня 2025 року № 4/7-50.

2. Термін подання студентом завершеної роботи до 20.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Фотоелектрична станція повинна живити двигун прогулянкового човна, який ходитиме по річках України.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Електродвигуни для човна
2. Розрахунок енергоспоживання
3. Розрахунок потужності сонячної електростанції
4. Контролер заряду
5. Simulink модель компонентів запропонованої системи
6. Аналіз результатів моделювання
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
1. Принципова схема пасажирського судна типу "Катамаран"
2. Навантаження
3. Simulink модель запропонованої системи
4. Блок-схема принципу роботи системи
5. Результати моделювання

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 25.01.2025 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд за напрямком кваліфікаційної роботи	з 19.04.2025	
		по 25.04.2025	
2	Підготовка основної частини пояснювальної записки	з 25.04.2025	
	кваліфікаційної роботи	по 21.05.2025	
3	Підготовка розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	з 21.05.2025	
		по 23.05.2025	
4	Складання переліку використаних літературних джерел	з 23.05.2025	
		по 24.05.2025	
5	Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату	з 24.05.2025	
		по 28.05.2025	
6	Підготовка, оформлення та друк графічного матеріалу	з 28.05.2025	
	кваліфікаційної роботи	по 01.06.2025	
7	Отримання відгуку та рецензії на кваліфікаційну роботу, підготовка доповіді на захист	з 01.06.2025	
		по 05.06.2025	

Студент

(підпис)

Бучинський М.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Коваль В.П.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТс–41. – Т. : ТНТУ, 2025.

Стор. 70; рис. 40; табл. 5; креслень (презентацій) ____; джерел 25.

Метою роботи є запропонувати систему електропостачання електродвигуна човна на основі фотоелектричних панелей та провести імітаційне моделювання її роботи за різних експлуатаційних умов.

У роботі представлено принципову схему пасажирського човна типу "Катамаран" з силовою фотоелектричною установкою. Проведено розрахунок швидкості руху човна та необхідної потужності електродвигуна. Обрано двигун постійного струму з постійними магнітами потужністю 5,0 кВт 48 В 3000 об/хв. Він забезпечить задану робочу швидкість човна у 10 км/год. Проведено оцінку загального енергоспоживання із врахуванням графіків навантаження. Встановлено, що середньорічна добова потреба в електроенергії становить 25,38 кВт·год/добу. Проведено розрахунок максимального робочого струму контролера заряду акумуляторів від фотоелектричних панелей, який становить 140 А. Проведено оцінку роботи системи живлення для умов: 1) часткової хмарності (фотоелектричні модулі та акумуляторна батарея), 2) повної хмарності (генератор та акумуляторна батарея) та 3) сонячного дня (фотоелектричні модулі та акумуляторна батарея).

Ключові слова: ЕЛЕКТРОЧОВЕН, ФОТОЕЛЕКТРИЧНА ПАНЕЛЬ, ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ, АКУМУЛЯТОР

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1 Сонячна фотоелектрична панель.....	9
1.2 Полікристалічний кремнієвий елемент.....	10
1.3 Контролер заряду АКБ	11
1.4 Акумуляторна батарея для сонячної системи	12
1.5 Електродвигуни для човна	13
1.6 Висновки до розділу	14
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	15
2.1 Загальний опис початкових даних човна для проектування сонячної електростанції.....	15
2.2 Характеристики човна	15
2.3 Технічні характеристики човна та його агрегатів	15
2.3.1 Технічні характеристики човна	16
2.3.2 Розрахунок швидкості човна.....	17
2.3.3 Розрахунок енергоспоживання човна	18
2.3.4 Вибір типу двигуна човна	19
2.4 Визначення характеристик навантаження фотоелектричної електростанції.....	20
2.5 Архітектура системи.....	22
2.6 Оцінка добового навантаження	22
2.7 Оцінка ресурсів сонячної енергії.....	24
2.8 Технічні характеристики генератора	24
2.9 Технічні характеристики акумулятора	25
2.10 Контролер заряду	25
2.11 Висновки до розділу	26
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	27
3.1 Імітаційна модель запропонованої системи	27

3.2 Генератор сонячного випромінювання та температури для імітаційної моделі.....	28
3.3 Фотоелектричні модулі у Simulink.....	29
3.3.1 Математична модель сонячного елемента	30
3.3.2 Імітаційна модель фотоелектричної батареї	33
3.4 Відстеження точки максимальної потужності	34
3.5 Перетворювач DC/DC	35
3.6 Шина постійного струму	35
3.7 Стабілізатор постійної напруги (від 48В до 50В) для навантаження	37
3.8 Акумуляторна батарея	38
3.9 Контролер заряду акумуляторної батареї.....	39
3.10 Контролер розряду акумуляторної батареї.....	39
3.11 Генератор постійного струму	40
3.12 Двигун постійного струму з постійними магнітами	41
3.13 Драйвер двигуна	43
3.14 Контролер комутації для генератора постійного струму та двигуна	45
3.15 Аналіз результатів моделювання запропонованої системи в MATLAB	45
3.16 Висновки до розділу	56
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	51
4.1 Допомога при ураженні електричним струмом в електроустановках напругою до 1000 В	58
4.2 Зонування територій за ступенем небезпеки	60
4.3 Захист від статичної електрики	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	66

ВСТУП

Актуальність теми. Глобальне потепління та зміна клімату є найгострішими проблемами, які сьогодні стоять перед світом. Використання сонячної енергії є одним з найкращих рішень для подолання цих проблем, оскільки вона не виробляє шкідливих забруднюючих речовин, що призводять до глобального потепління. Використання сонячної енергії може сприяти енергетичній незалежності, довгостроковим фінансовим вигодам, а також певному рівню надійності та безпеки. Є декілька причин, чому так багато власників будинків і підприємств переходять на сонячну енергію. Переваги незаперечні, і не тільки для окремих осіб, але й для планети в цілому. Ось лише кілька з багатьох причин, які підтверджують важливість сонячної енергії.

1. Сонячна енергія корисна для навколишнього середовища

Відмінність сонячної енергії від традиційної електроенергії полягає в тому, що сонячна енергія не залежить від використання викопного палива, не забруднює повітря та воду і не сприяє глобальному потеплінню, що робить її кращим вибором для багатьох. Сонячна енергія працює разом з природними ресурсами Землі, тоді як традиційна електроенергія виснажує або шкодить їм.

2. Сонячна енергія — надійне та економічно вигідне джерело енергії

Сонце є відновлюваним джерелом енергії. Викопне паливо рано чи пізно вичерпається, а сонячне світло — ні. Тому сонячна енергія є надзвичайно надійною. На відміну від викопного палива, видобуток і використання якого є дорогими, сонячне світло є безкоштовним. Щоб скористатися перевагами сонячної енергії, достатньо одноразово встановити сонячне обладнання.

3. Сонячна енергія економить гроші

Вартість встановлення сонячних панелей або сонячної електросистеми за останні роки знизилася. Деякі люди все ще вважають початкові інвестиції в сонячну енергію занадто високими. Однак важливо пам'ятати, що установка обладнання — це одноразова витрата. Оплата традиційної електроенергії — це постійні, регулярні та дорогі витрати, особливо з урахуванням постійного

зростання тарифів на електроенергію. Інвестиції в сонячну енергію для вашого будинку або будівлі дозволять вам значно заощадити гроші з часом.

4. Сонячна енергія створює робочі місця та стимулює економічне зростання

Чи знали ви, що галузь сонячної енергетики створює більше робочих місць, ніж будь-яка інша галузь США? Згідно з останнім звітом Національного перепису робочих місць у галузі сонячної енергетики, опублікованим The Solar Foundation, сонячна енергетика створює робочі місця в 17 разів швидше, ніж загальна економіка США. Станом на 2019 рік у галузі сонячної енергетики працювало приблизно 250 000 осіб по всій країні.

5. Сонячна енергія сприяє енергетичній незалежності

Енергетична незалежність означає, що вам не доведеться покладатися на електромережу. Цей метод не тільки робить вас вразливими до стрибків цін, але й схильним до перебоїв у постачанні електроенергії. Використання сонячної енергії, особливо в поєднанні з резервною батареєю, дозволяє не залежати від ненадійних електромереж, коли енергія потрібна найбільше.

Мета кваліфікаційної роботи: запропонувати систему електропостачання електродвигуна човна на основі фотоелектричних панелей та провести імітаційне моделювання її роботи за різних експлуатаційних умов.

Відповідно до даної мети ставляться такі **завдання**:

1. Розробити принципову схему човна з силовою фотоелектричною установкою.
2. Розрахувати потужність електродвигуна.
3. Провести оцінку загального енергоспоживання.
4. Провести оцінку роботи системи живлення.
5. Виконати аналіз результатів моделювання та зробити висновки щодо функціонування системи електропостачання електродвигуна човна.

Структура роботи. Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Виконана згідно вимог [1]. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 частин,

висновків та переліку посилань. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 71 арк. формату А4, графічна частина – ___ аркушів презентації

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Сонячна фотоелектрична панель

Сотні фотоелектричних елементів (сонячних батарей) утворюють сонячні фотоелектричні (ФЕ) масиви і мають напівпровідникові властивості. Фотоелектрична батарея – це комбінація фотоелектричних модулів. Відповідно до потреби в енергії, фотоелектричні модулі з'єднуються послідовно (в лінію) і паралельно. Коли сонячне світло потрапляє на фотоелементи, воно заряджає електрони і перетворює їх в електричний струм [2-4].

Звичайний фотомодуль складається з 60 або 72 послідовно з'єднаних фотоелементів. На відміну від них, 72-елементні модулі можуть бути сконфігуровані або як один 24-вольтовий модуль з 72 послідовно з'єднаними елементами, або як 12-вольтовий модуль, який складається з двох паралельних ланцюжків по 36 послідовно з'єднаних елементів у кожному. Ми розглянули полікристалічні кремнієві елементи, а розрахунок розмірів сонячних фотоелектричних панелей буде виконано в наступному розділі для моделювання човна, що працює на сонячних фотоелектричних батареях. На сьогоднішній день, в основному, три види технологій фотоелектричних елементів є провідними у світі.

Фотоелектричний елемент виготовлений з дуже чистого монокристалічного кремнію, який утворює єдину однорідну кристалічну структуру [3]. Крім того, це був перший комерційно запущений сонячний елемент у світі. Цей тип елементів є вигідним, але метод виробництва є повільним. Він є більш дорогим у порівнянні з полікристалічними кремнієвими та тонкоплівковими елементами. На рис.1.1 показано монокристалічний кремнієвий елемент.



Рисунок 1.1 – Монокристалічний кремнієвий елемент

1.2 Полікристалічний кремнієвий елемент

Полікристалічна (або мультикристалічна) структура складається з декількох крихітних кристалічних частинок, як показано на рис. 1.2. Хоча фотоелементи з полікристалічного кремнію є менш ефективними [5,6], але дешевшими, вони допомагають лідирувати на світовому ринку фотоелементів у 2015 році, виробляючи 70% фотоелектричних полікристалічних кремнієвих фотоелементів.

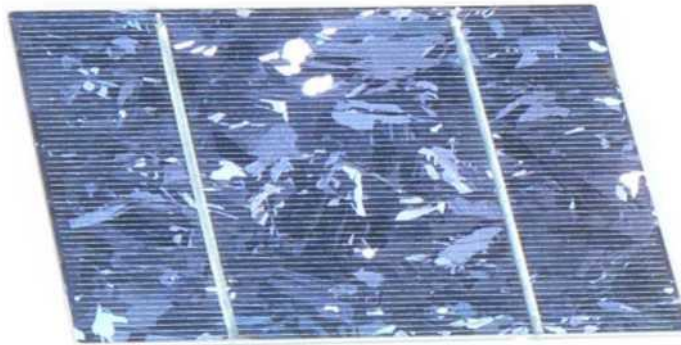


Рисунок 1.2 – Полікристалічний кремнієвий елемент

Фотоелектричні елементи, виготовлені з тонкої плівки, наприклад, аморфного кремнію (a-Si), є неймовірно гнучкими і життєздатними, мають значно нижчу собівартість виробництва, але значно нижчу ефективність. На рис. 1.3 показаний некристалічний кремній, розміщений на гнучкому матеріалі для створення тонкоплівкової сонячної панелі. Тонкоплівкові фотоелементи виготовляються з диселеніду міді індію галію (CIGS) і телуриду кадмію (CdTe),

який має більш високу ефективність, ніж a-Si.



Рисунок 1.3 – Некристалічний кремній розміщений на гнучкому матеріалі для формування тонкоплівкової комірки.

1.3 Контролер заряду АКБ

Функція контролера заряду (КЗ) дозволяє отримати максимальну потужність від доступної сонячної енергії. В даний час на ринку добре відомі контролери сонячного заряду з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) і відстеженням точки максимальної потужності (ТМП). ШІМ-контролер контролює вихідну напругу фотоелектричного модуля, регулюючи розмір імпульсів [7]. ШІМ-КЗ підходить для застосування в сонячних електростанціях потужністю 2 кВт. Крива робочого діапазону для ШІМ-КЗ наведена на рис.1.4. КЗ на основі ТМП витягує максимальну потужність з фотомодуля при певній напрузі, що залежить від заданого навантаження. ТМП-КЗ добре функціонує для сонячних електростанцій потужністю понад 2 кВт. На рис.1.5 показані IV-крива і P-V-крива панелі Suntech [8].

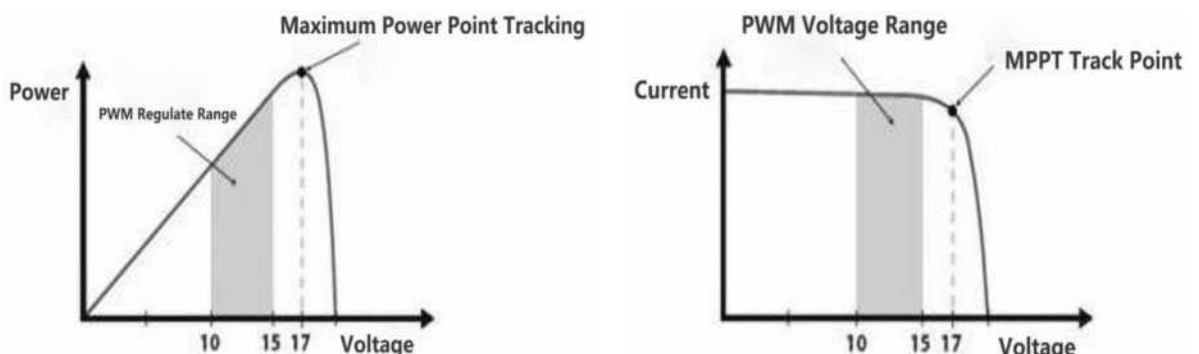


Рисунок 1.4 – Крива робочого діапазону ШІМ

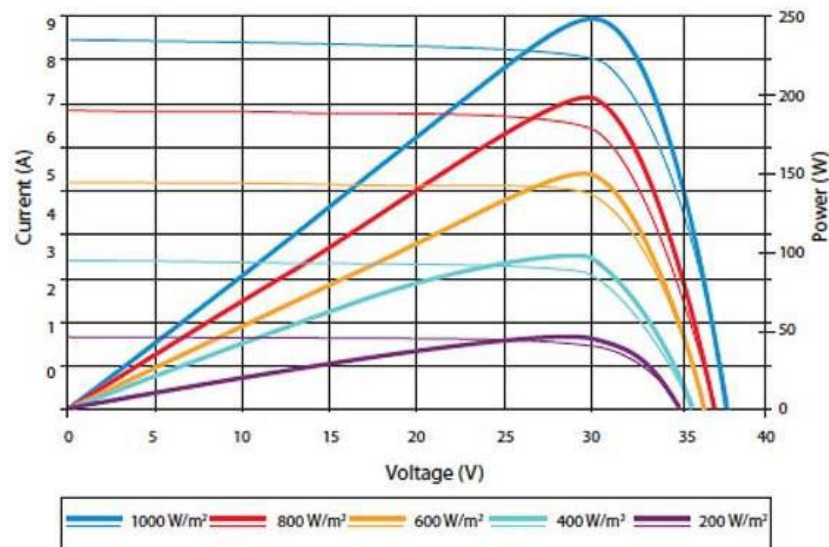


Рисунок 1.5 – Криві VAX та VBX панелі Suntech

1.4 Акумуляторна батарея для сонячної системи

Для зберігання сонячної енергії в акумуляторній батареї потрібна батарея, яка дає невеликий струм протягом тривалого циклу часу. Сонячні батареї класифікуються за хімічним складом на свинцево-кислотні, літій-іонні та морські. Серед цих літій-іонних акумуляторів найкращим вибором для сонячної фотоелектричної системи є літій-іонні акумулятори, враховуючи ємність і номінальну потужність батареї, глибину розряду (DoD), ефективність роботи в обидва боки, а також виробника і гарантію, хоча інші типи також є прийнятними.

Свинцево-кислотні акумулятори [9,10]:

Технологія свинцево-кислотних акумуляторів включає в себе свинцево-кислотні, абсорбуючі скломатові (AGM) та гелеві акумулятори. Вони мають порівняно менший коефіцієнт розряду, коротший життєвий цикл і найдешевші порівняно з іншими типами акумуляторів. Сьогодні ціни на залиті свинцево-кислотні акумулятори становлять від \$70/кВт·год до \$80/кВт·год, на AGM та гелеві батареї – від \$220/кВт·год до \$330/кВт·год.

Літій-іонні акумулятори [11-16]:

Літій-іонні акумулятори є легшими, меншими, компактнішими і

надійнішими пристроями зберігання енергії, ніж свинцево-кислотні акумулятори еквівалентної ємності. Вони мають більший запас ходу і довший життєвий цикл, але порівняно дорожчі за свинцево-кислотні акумулятори. Наразі найнижчу ціну на літій-іонні акумулятори пропонує Tesla Powerwall – \$505/кВт·год.

Акумулятори з розплавленою сіллю:

Акумулятори з розплавленою сіллю – це нова технологія, яка є більш стабільною для систем зберігання сонячної енергії. Акумулятори з розплавленою сіллю є найбезпечнішими, оскільки вони відмінно справляються з нагріванням і повністю екологічні. Крім того, вони мають більший обсяг життєвих циклів і здатність інтенсивно розряджатися без шкоди для терміну служби, а також не потребують обслуговування. Ціна такої батареї коливається від \$400/кВт·год до \$500/кВт·год.

1.5 Електродвигуни для човна

Для створення рушійної сили човна потрібен двигун потрібної номінальної потужності з приблизно 30% запасом потужності. Наразі доступний електричний підвісний двигун, який є надзвичайно корисним. Він дозволяє повільно рухати кермом, щоб утримувати позицію. Електричні підвісні мотори виготовляються шляхом компонування різних компонентів, таких як вали, створені з високоміцного скловолокна і нержавіючої сталі. Він має численні набори швидкостей для управління рухом човна, як вперед, так і назад. Максимальна пропонована тяга становить 55 фунтів, а допустима напруга – 12 вольт і струм споживання – 52 ампера. Електричний підвісний двигун є дуже відомим для рибальського човна.

На ринку доступні різні типи двигунів постійного струму; серед них три типи електродвигунів підходять для створення тяги для сонячного човна:

1) Двигун постійного струму з паралельним збудженням (Shunt Wound DC Motor) – це різновид двигуна постійного струму з самозбудженням. Обмотки збудження і обмотка якоря з'єднані паралельно; таким чином,

прикладена напруга однакова для обох обмоток. Загалом, двигун постійного струму з паралельним збудженням складається з обмотки збудження (статора), якоря (ротора) і комутатора.

2) Асинхронний двигун. На відміну від нього, первинний трансформатор відноситься до обмотки статора, а другий – до обмотки ротора асинхронного двигуна. Цей пристрій відрізняється меншою вартістю, низькими витратами на обслуговування, простотою експлуатації, відмінним пусковим моментом і можливістю регулювання швидкості. Для роботи асинхронного двигуна потрібен інвертор (постійного струму в змінний).

3) Безщітковий двигун постійного струму (БДПС) – це двигун без щіток, що складається з ротора, неодимового магніту і статора. Крутний момент і швидкість двигуна БДПС регулюються шляхом подачі імпульсу струму на обмотки двигуна через контролер. Характеристики двигуна БДПС, що стосуються характеристик клем, регулювання швидкості та потужності човна, є прийнятними для човнових двигунів.

1.6 Висновки до розділу

1. Розкрито принцип роботи фотоелектричного елементу та проведено аналіз їх типів та характеристик.
2. Проаналізовано особливості функціонування контролера заряду акумулятора від фотоелектричної панелі які використовують широтно-імпульсну модуляцію і відстеження точки максимальної потужності.
3. Проведено аналіз акумуляторних батарей, які можна використати для проектованої системи електропостачання двигуна човна.
4. Описано та проаналізовано декілька типів двигунів, які застосовують для приведення в рух човен.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Загальний опис початкових даних човна для проектування сонячної електростанції

Зазвичай на дачних човнах використовуються або бензинові, або дизельні двигуни. Більше того, існує небагато практик використання гібридної енергетичної системи для руху човна, яка поєднує викопне паливо та чисту енергію (сонячні фотоелектричні панелі, вітрову енергію, паливні елементи). Останнім часом світ замислюється про "зелену" енергетику і прагне триматися подалі від викопного палива. Відтепер найкращим варіантом є електрична тяга для руху човна. Електрична рушійна установка складається з бортових акумуляторів, які накопичують заряд від екологічно чистої енергії (сонячна фотоелектрична панель, енергія вітру, паливні елементи) для створення тяги за допомогою електродвигуна. Таким чином, човен на сонячних батареях є найкращим варіантом і життєздатним для електричної тяги пасажирських поромних суден на річці. Обладнання може досягти найкращого результату збору максимальної сонячної енергії з наявного сонячного випромінювання, зарядки акумуляторам та економічного контролю тяги за рахунок правильного вибору характеристик.

2.2 Характеристики човна

Електродвигун (потужністю 5 кВт, 3000 об/хв) приводить у рух човен, що живиться від гібридної енергетичної системи, яка включає сонячну фотоелектричну установку (10,6 кВт), дизель-генератор постійного струму (1,6 кВт) і акумуляторну батарею (440 А·год) – це ідеальне рішення для звичайного водного човна. Було розглянуто пасажирський човен типу "катамаран", виготовлений зі склопластикового поліефірного матеріалу, довжиною 12 м і шириною 4,8 м. Швидкість човна становить 10 км/год (5,4 вузла), і він може перевозити 20 пасажирів одночасно. Принципова схема гібридного судна

пасажирського човна показана на рис.2.1. Сонячна фотоелектрична (ФЕ) панель буде встановлена таким чином, щоб вона могла працювати як джерело енергії і дах запропонованої системи одночасно. Контролер ТМП на 140 А керує потужністю фотоелектричної панелі, а його вихід підключений до акумулятора через контролер заряду постійного струму (ПС) 25 А і постійної напруги (ПН) 49 В та підвищувальний перетворювач. Газогенератор постійного струму підключений до акумуляторної батареї (АКБ). АКБ з'єднана з контролером швидкості двигуна (MSC) через пристрій захисту від перевантаження по струму (реле постійного струму номіналом 140А). Пропонується ручний перемикач увімкнення/вимкнення двигуна між контролером швидкості двигуна та двигуном.

Нарешті, двигун постійного струму передає механічну обертальну силу на гребний гвинт човна через муфту і механізм валу, коли вимикач знаходиться у стані "Увімкнено".

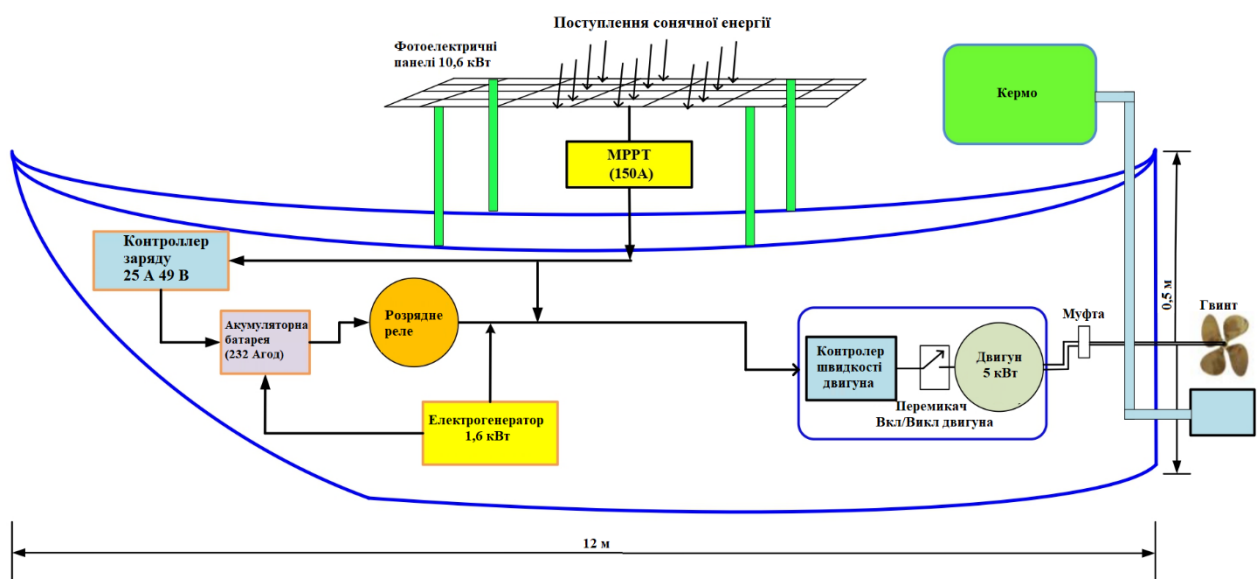


Рисунок 2.1 – Принципова схема пасажирського судна типу "Катамаран" з силовою фотоелектричною установкою

2.3 Технічні характеристики човна та його агрегатів

Основні характеристики: розмір човна, швидкість, потреба в потужності, потужність двигуна, розмір акумулятора, розмір сонячних фотоелектричних

панелей, контролер сонячного заряду та генератор. Повний опис зазначених характеристик наведені нижче крок за кроком. Для моделювання та аналізу даних для визначення розмірів сонячних фотоелектричних панелей, акумуляторів і генератора був застосований інструмент оптимізації HOMER.

2.3.1 Технічні характеристики човна

Було розглянуто корпус човна, виготовлений зі склопластикового поліефірного матеріалу. Довжина становить 12 м, ширина – 4,8 м, враховуючи 40 % довжини човна, а розрахункова висота осадки – 0,04 м. Для безпечної подорожі на човні в гарну погоду необхідно розрахувати пасажиромісткість човна (припустимо, що кожен з них в середньому важить 68 кг) [17]:

$$\text{Пасажиромісткість} = (L \cdot W)/15 = 41 \text{ особа}$$

У цій роботі враховано, що човен переміщає 20 пасажирів за один раз, що еквівалентно 1360 кг.

де, L – довжина човна;

W – ширина човна.

Щоб розрахувати потужність, необхідну для руху човна з розрахунковою швидкістю, потрібно обчислити загальну водотоннажність човна при повному завантаженні, і вона розраховується відповідним чином,

Витіснення води = загальне навантаження

= Вага пасажирів + вага інфраструктури човна + вага акумулятора

Тоді Витіснення води = 2400 кг

2.3.2 Розрахунок швидкості човна

Швидкість запропонованого гібридного човна з електроприводом становить 15,58 км/год. А швидкість човна на сонячних фотоелектричних панелях повинна становити не менше 10 км/год. Розмір фотоелектричних панелей повинен бути збільшений, щоб забезпечити необхідну потужність для забезпечення більш високої швидкості, що впливає на стабільність човна

зазначеного розміру під час плавання. Тому було обрано швидкість човна 10 км/год (5,4 вузла), що є достатнім для перетину річки та туристичних подорожей на середні відстані, а метод розрахунку наведено нижче.

Розрахунок швидкості руху сонячного човна

Для човна катамаранної форми корпусу умовами є відсутність вітру та течії, а також акуратний корпус і відсутність перешкод. В іншому випадку ймовірність надмірного лобового опору, концептуальна швидкість човна або максимально допустима безпечна швидкість визначаються відповідно до наведеного нижче рівняння (2.1):

$$\text{Швидкість корпусу} = 1,34 \cdot \sqrt{LWL} \quad (2.1)$$

В той час як,

LWL = довжина по ватерлінії = 12 м.

З рівняння (3),

$$\text{Швидкість корпусу} = 1,34 \cdot \sqrt{12}$$

$$\Rightarrow \text{Швидкість корпусу (максимально допустима)} = 15,58 \text{ км / год}$$

Тут і далі швидкість човна приймемо 10 км/год.

2.3.3 Розрахунок енергоспоживання човна

Для човна катамаранної форми корпусу умовами є відсутність вітру і течії, а також чистий і вільний від сторонніх предметів корпус. В іншому випадку ймовірність надмірного лобового опору, необхідна концептуальна потужність для досягнення швидкості корпусу, визначається згідно з наведеним нижче рівнянням (2.2).

$$\text{Потужність двигуна (к.с.)} = (\text{Переміщення}) / 150^2 / \text{Швидкість корпусу}^2 \quad (2.2)$$

де, переміщення = 2400 кг;

швидкість корпусу = 10 км/год.

Ми отримуємо, з рівняння (2.2),

$$Кінські сили = 2400 / 150^2 / 10^2 = 6,8 к.с$$

Отже,

$$Потужність двигуна = 6,86 \cdot 746 Вт = 5117 Вт ; [1 к.с. = 746 Вт].$$

Технічні характеристики човна наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики човна

Тип корпусу човна	Пасажирський човен
Матеріали для човна	Скловолокно, Поліефірні матеріали
Повна маса човна (повна вантажопідйомність)	2400 кг
Пасажири на борту	20 осіб
Довжина човна	12 м
Ширина човна (поперечна відстань між зовнішніми бортами човна)	4,8 м
Висота тяги (ДН)	0,04 м
Глибина човна	0,5 м
Витіснений об'єм води	2,41 м ³
Об'єм води, що витісняється повністю завантаженим човном	2400 кг
Максимальна та найбезпечніша швидкість корпусу	15,58 км/год
Розрахункова швидкість корпусу	10 км/год
Максимальна швидкість човна за допомогою гребного гвинта та ефективність гребного гвинта	10,06 км/год, 99,43

2.3.4 Вибір типу двигуна човна

На ринку доступні різні двигуни постійного струму, такі як двигуни постійного струму з паралельним збудженням, безщіткові двигуни постійного

струму та асинхронні двигуни. Для запуску асинхронного двигуна потрібен інвертор (постійного струму в змінний) і драйвер для керування швидкістю, а також висока вартість обслуговування, що протиставляє його використанню. Двигун постійного струму з паралельним збудженням може служити цій меті, але існує ризик, що щітковий двигун може погано працювати в польових умовах, коли він буде амортизований через часте використання.

Прийнято рішення використати двигун постійного струму з постійними магнітами потужністю 5,0 кВт 48 В 3000 об/хв, оскільки напруга системної шини становить 48 В і 3000 об/хв для заданого гребного гвинта (крок 12 дюймів, ковзання 40% і передавальне число 3:1), щоб досягти заданої робочої швидкості човна 10 км/год.

2.4 Визначення характеристик навантаження фотоелектричної електростанції

Сонячна фотоелектрична система є дуже надійним і чистим джерелом електроенергії, яке може використовуватися в широкому діапазоні застосувань, таких як човен, телекомунікації, житло, промисловість, сільське господарство, тваринництво і т.д. Акумуляторна батарея, фотоелектричні модулі та генератор були оцінені вручну для порівняння з програмним забезпеченням HOMER. Отже визначимо характеристики фотоелектричної електростанції:

Вимоги до енергоспоживання

Потреба в електроенергії була розрахована за формулою (2.3):

$$\text{Потреба в енергії} = \text{Навантаження(кВт)} \cdot \text{Час(год)} \quad (2.3)$$

У таблиці 2.2 представлено споживання енергії пристроями човна, що працюють від сонячної фотоелектричної системи (ФЕС), отриманий шляхом розрахунку за рівнянням (2.3). Ці дані отримані шляхом оптимізації енергоспоживання та зменшення потреби в електроенергії шляхом регулювання

часу ввімкнення/вимкнення світла, двигуна та комп'ютера.

Таблиця 2. 2 – Споживання енергії від фотоелектричної системи

Обладнання	Струм (А)	Напруга (В)	Час виконання (год)	Потуж- ність (кВт)	Спожито електроенергії (кВт·год)
Двигун	104	48	8	5,00	40,00
Світло-1	1,25	48	1	0,06	0,06
Світло-2	0,83	48	3	0,04	0,12
Керування кабіною та інші	5,00	48	8	0,24	1,92
Загальне навантаження	111,08	48		5,34	42,10

Для розрахунку розміру фотоелектричної панелі взято полікристалічну канадська фотоелектрична панель марки CS6U-330P, 72-елементна, 330 Вт, розміром 1,96 м x 0,992 м, з урахуванням ефективності та ціни фотоелектричної панелі. Її зображено на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Полікристалічну канадська фотоелектрична панель марки CS6U-330P моделі 330 Вт

2.5 Архітектура системи

Схематична схема запропонованої гібридної енергосистеми для човна показана на рис.2.3. У цій роботі фотоелектричні модулі використовуються для забезпечення базового навантаження. На противагу цьому, дизель-генератор також використовується як резервний варіант, коли є недостатнє надходження електроенергії від ФЕМ через недоступність сонячної енергії, що підвищує її надійність. Надлишок енергії від фотоелектричних модулів і дизель-генераторів заряджається в акумуляторну батарею і використовується для забезпечення потреб навантаження, поки вона не досягне мінімального рівня заряду (РЗ). Система не потребує двонаправленого перетворювача, оскільки в ній немає компонентів змінного струму.

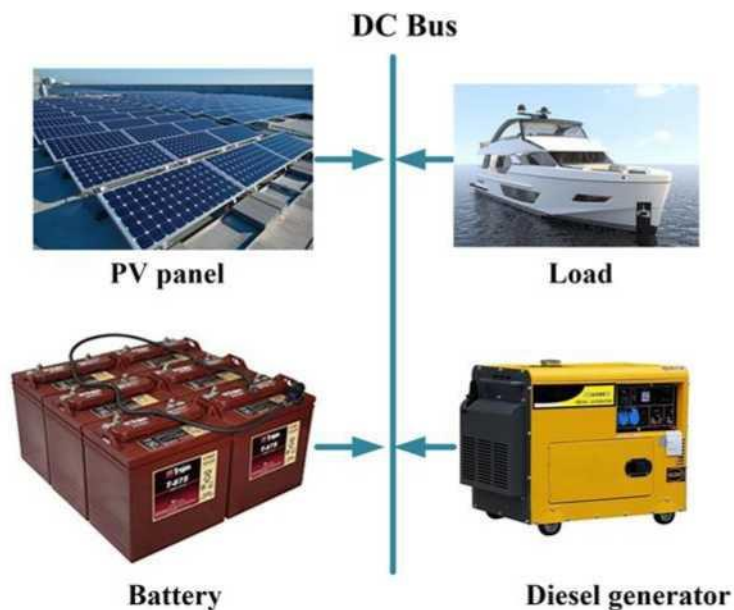


Рисунок 2.3 – Схематичне зображення запропонованої гібридної енергетичної системи для сонячного човна

2.6 Оцінка добового навантаження

Потреба в навантаженні складається з двигуна, освітлення, системи управління, комп'ютера та іншого. У таблиці 2.2 споживання енергії

пристроями човна, що працюють від сонячної фотоелектричної системи. Відповідно до споживання навантаження в програмному забезпеченні HOMER, була зроблена гіпотеза, що сонячний човен буде працювати 08 годин на добу і починає подорож з 08:00 ранку, зупиняється о 16:00 вечора, в той час як човен перебуває у стані спокою о 01:00 вечора. Добовий графік навантаження для човна представлений на рис.2.4. У цій роботі розглядається невеликий двигун PMDC потужністю 5 кВт для руху човна зі швидкістю 10 км/год, де постійне добове навантаження становить 42,10 кВт·год, середнє навантаження – 1,75 кВт і пікове навантаження – 5,34 кВт. У проведеному моделюванні попит на електроенергію вважається постійним незалежно від сезону роботи гібридної системи. Житлове навантаження вибирається в програмному забезпеченні HOMER, яке створює середньомісячний графік даних на основі Таблиці 2.2. Цей загальний графік електричного навантаження потім масштабується з піковим навантаженням 3,22 кВт, середнім навантаженням 1,06 кВт і середнім навантаженням 25,38 кВт·год/добу. Середньорічна потреба в енергії становить 25,38 кВт·год/добу, оскільки човен буде працювати 220 днів на рік. Крім того, базовий та масштабований коефіцієнт навантаження становить 0,33.

Значення параметра масштабу HOMER визначено за наведеним нижче рівнянням (2.8) [17]:

$$\text{Масштабоване значення} = \left(\frac{\text{загальна кількість робочих днів на рік}}{365 \text{ днів}} \right) \cdot \text{попит на енергію} \quad (2.4)$$

$$\text{Масштабоване значення} = 25,38 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{добу}$$

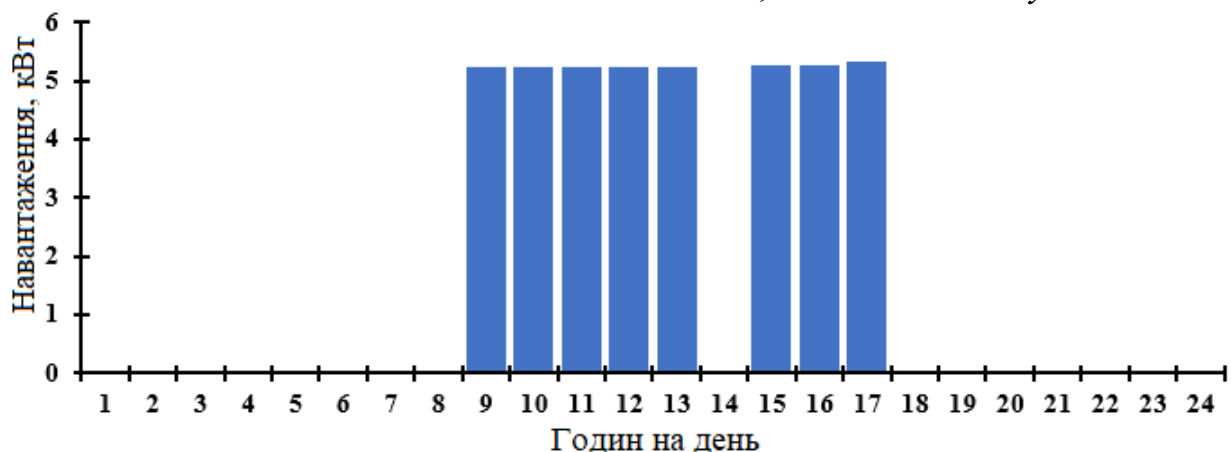


Рисунок 2.4 – Добовий графік навантаження для запропонованої енергетичної системи катамарана

2.7 Оцінка ресурсів сонячної енергії

Середньомісячні дані про сонячну радіацію та графік індексу ясності були отримані від NASA за допомогою інструменту HOMER. Дані сонячної радіації змінюються в діапазоні до 5,76 кВт·год/м²/добу, де середньобагаторічне значення становить 4,65 кВт·год/м²/добу з індексом ясності 0,52.

2.8 Технічні характеристики генератора

В аварійних ситуаціях, якщо фотоелектричної потужності та енергії, що зберігається в акумуляторі, недостатньо для живлення навантаження, генератор забезпечить додаткову потужність для подолання цієї ситуації. У цій роботі розглядається малогабаритний інверторний генератор Champion 1600W / 2000W, який має потужність 1,6 кВт, термін служби генератора 12000 годин і вартість палива 56грн/літр. Технічна специфікація генератора наведена в таблиці 2.4.

Таблиця 2. 4 – Специфікація генератора

Ширина, глибина і висота в зібраному вигляді (см)	32,52 та 43
Вага в зібраному вигляді (кг)	21
Генератор	Інвертор
Рівень шуму (дБ)	53
Початкова потужність (Вт)	2000
Споживана потужність (Вт)	1600
Кількість розеток 220 В	1
Запускається генератор	Ручний
Час роботи з половинним навантаженням (год)	5,5
Ємність паливного бака (л)	4,1

2.9 Технічні характеристики акумулятора

У цій роботі для моделювання розглядається свинцево-кислотна батарея, яка отримує надлишкову енергію під час заряджання і забезпечує енергією в той час, коли джерела ВДЕ не в змозі задовольнити потреби навантаження. Якщо сонячної фотоелектричної енергії недостатньо для запуску двигуна човна, то додаткову енергію забезпечить акумуляторна батарея в жахливих погодних умовах за відсутності сонця. У цій роботі використано акумуляторну батарею Victron AGM Ассу 12V/220Ah з номінальною напругою 12,0 В, номінальною максимальною ємністю 220 А·год (1,32 кВт·год). На рис. 2.5 зображено цю акумуляторну батарею.



Рисунок 2.5 – AGM акумуляторна батарея марки Victron AGM, номінальною ємністю 220 А·год.

2.10 Контролер заряду

Система відстеження точки максимальної потужності (ТМП) – це система, що входить до складу контролерів заряду, яка використовується для отримання максимальної доступної потужності з фотоелектричного модуля за

певних умов шляхом регулювання напруги та струму. Максимальна потужність залежить від сонячного випромінювання, температури навколишнього середовища та температури сонячних елементів. Номінальна потужність ТМП визначається на основі наступного розрахунку [18]:

$$\text{Номінальний струм ТМП} = \frac{\text{загальна необхідна потужність}}{\text{Напруга шини}} = \frac{5,34 \text{ кВт}}{48 \text{ В}} = 111,25 \text{ А}$$

Для врахування непередбачуваних факторів та для надійності використання обираємо номінальний струм на 25% більший за розрахований.

$$\text{Номінальний струм ТМП} = 111,25 + 111,25 \cdot 25\% \cong 140 \text{ А}$$

2.11 Висновки до розділу

1. Описано вихідні дані до проектування фотоелектричної станції живлення двигуна човна та деякого малопотужного обладнання.
2. Представлено принципову схему пасажирського судна типу "Катамаран" з силовою фотоелектричною установкою.
3. Проведено розрахунок швидкості руху човна та необхідної потужності електродвигуна. Обрано двигун постійного струму з постійними магнітами потужністю 5,0 кВт 48 В 3000 об/хв. Він забезпечить задану робочу швидкість човна у 10 км/год.
4. Проведено оцінку загального енергоспоживання із врахуванням графіків навантаження. Встановлено, що для середньорічна добова потреба в електроенергії становить 25,38 кВт·год/добу
5. Описано технічні характеристики резервного дизель-генератора та акумуляторної батареї.
6. Проведено розрахунок максимального робочого струму контролера заряду акумуляторів від фотоелектричних панелей, який становить 140 А.

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Імітаційна модель запропонованої системи

Simulink модель запропонованої системи в MATLAB показано на рис.3.1.

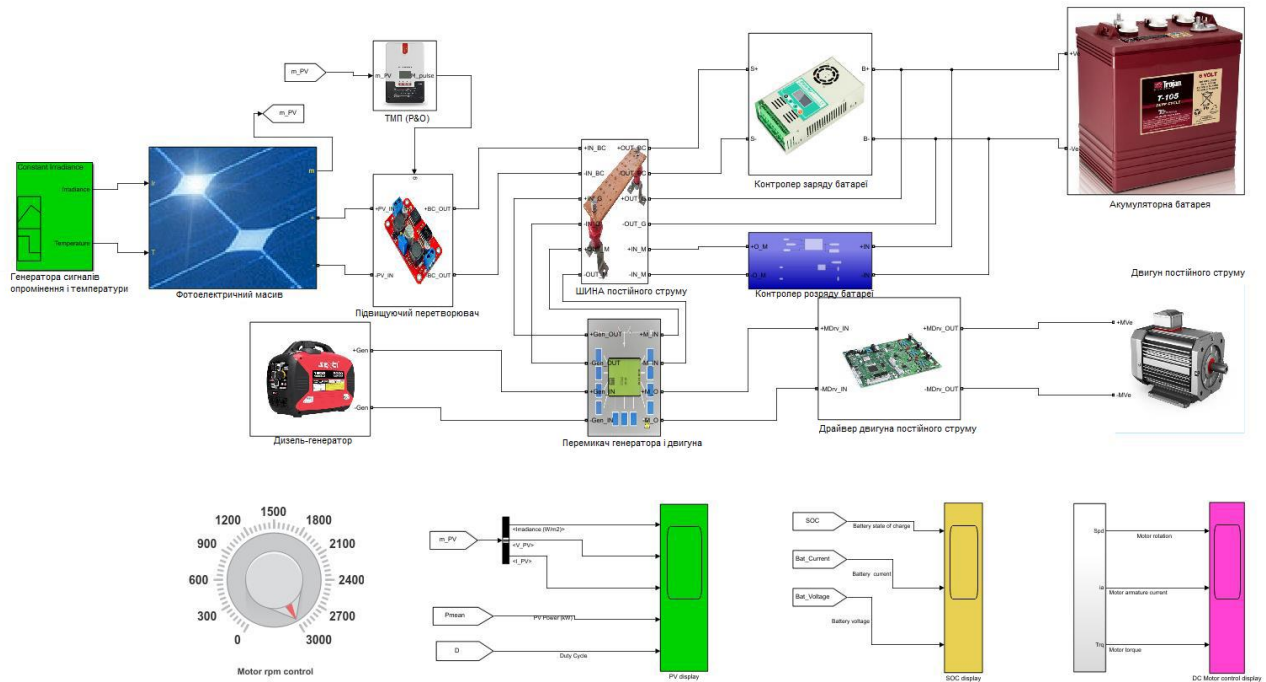


Рисунок 3.1 – Simulink модель запропонованої системи в MATLAB

У попередньому розділі запропоновано структуру сонячної фотоелектричної системи на основі фотоелектричного генератора та акумулятора.

Запропонована схема для човна складається з:

- генератора сигналів опромінення і температури,
- фотоелектричного масиву (330 Вт/модуль і всього 32 модулів),
- ТМП (P&O),
- підвищуючого перетворювача,
- дизель-генератора постійного струму (1,6 кВт),
- двигуна постійного струму потужністю 5 кВт і 3000 об/хв,
- драйвера двигуна постійного струму,
- акумуляторної батареї 48 В ємністю 440 А·год,

- контролера заряду батареї,
- контролера розряду батареї,
- перемикача генератора і двигуна та шини постійного струму.

3.2 Генератор сонячного випромінювання та температури для імітаційної моделі

Однією з цілей динамічного моделювання та симуляції енергосистеми на основі сонячних фотоелектричних панелей-генератора-акумулятора на платформі MATLAB для сонячного електричного човна є відстеження впливу зміни сонячного випромінювання та температури на зарядку акумулятора, стан генератора та швидкість обертання двигуна протягом часу роботи човна на фотоелектричному живленні, а також продуктивність акумулятора без фотоелектричних панелей та генератора. Динамічна модель потребує багато часу для розрахунку одного сонячного дня, оскільки вона містить кілька складних блоків. Відтепер, щоб подолати цю складність, симуляція виконується протягом 40 секунд. Дані про сонячне випромінювання та температуру підібрані таким чином, що обидві криві спадають і піднімаються в невеликій частині через хмари на час до 10 секунд і визначаються як ситуація з частковою хмарністю. Перехід до попереднього стану, коли хмари розсіюються, визначається як точна хмарність, і це відбувається від 10 до 20 секунд. Повна хмарність описується, коли значення освітленості та температури дорівнюють нулю, і це відбувається від 20 до 40 секунд. На рис.3.2 та рис.3.3 показано графіки освітленості та температури для 40 секунд відповідно. Отримані форми відповідають зміні освітленості і температури протягом одного сонячного дня.

Вищеописані сигнали сонячного випромінювання та температури генеруються в MATLAB Simulink за допомогою конструктора сигналів для входів фотоелектричних модулів. Система була запрограмована таким чином, що з моменту $T=0s$ до $T=20s$ тільки фотоелектричні модулі та акумуляторна батарея будуть отримувати енергію, з $T=20s$ до $T=30s$ тільки акумуляторна

батарея буде отримувати енергію, а з $T=30s$ до $T=40s$ генератор та акумуляторна батарея будуть передавати енергію на навантаження (двигун постійного струму).

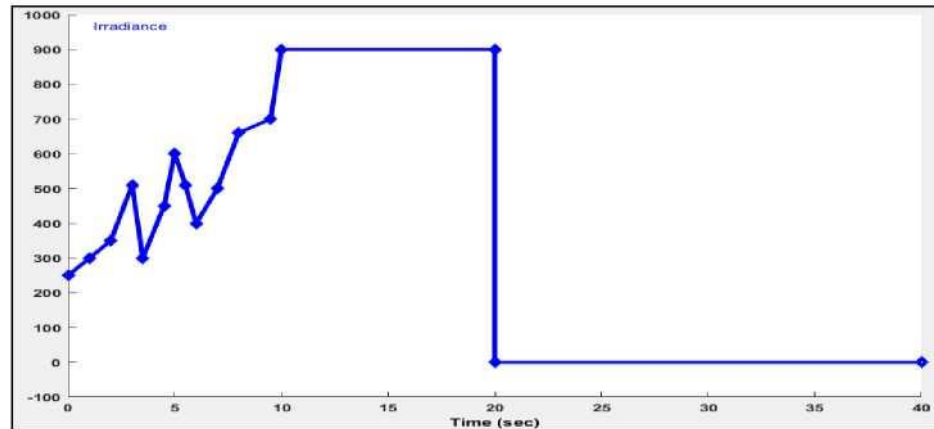


Рисунок 3.2 – Модельована освітленість для моделювання човна на сонячних фотоелектричних батареях

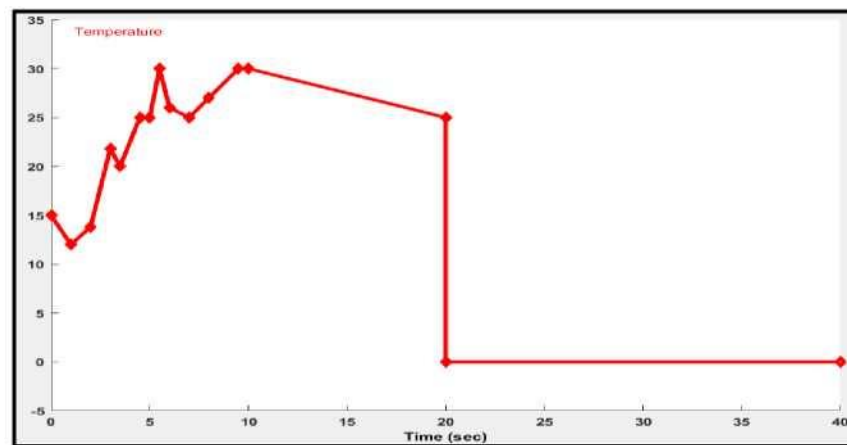


Рисунок 3.3 – Модельована температура для моделювання човна на сонячних фотоелектричних батареях

3.3 Фотоелектричні модулі у Simulink

На рис. 3.4 наведено скріншот налаштування параметра блоку PV array, який описує вхідний параметр PV масиву в Simulink PV блоці.

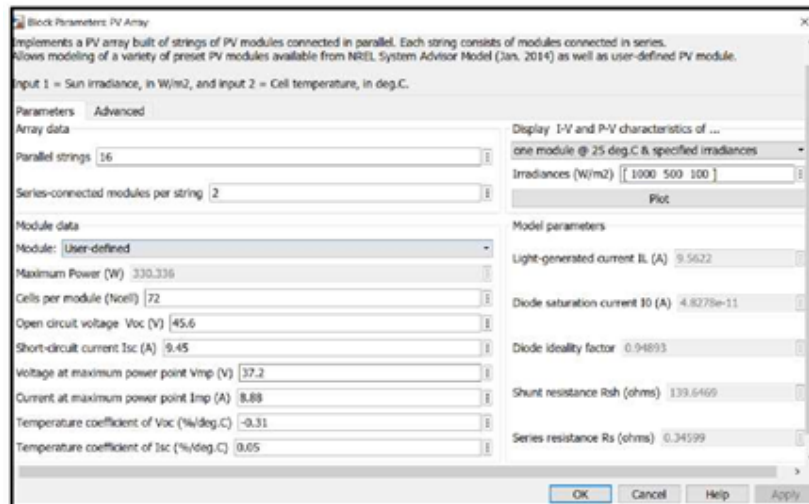


Рисунок 3.4 – Налаштування фотоелектричного масиву в Simulink

З оптимізаційного рішення HOMER було встановлено, що сонячні фотомодулі потужністю 10,6 кВт необхідні для генерування достатньої потужності для запуску двигуна постійного струму потужністю 5 кВт, 3000 об/хв та інших навантажень (освітлення та комп'ютер човна). Загальна кількість фотоелектричних модулів збільшується до 16 паралельних і 2 серійних фотомодулів на кожну лінію, загалом 32 фотомодуля для досягнення заданої потужності 10,6 Вт від номінальної потужності 330 Вт. Параметри фотоелектричних модулів наведено на рис. 3.4.

3.3.1 Математична модель сонячного елемента

Еквівалентна електрична схема сонячного фотоелемента показана на рис.3.5, а для вихідної напруги V і струму I еквівалентне рівняння може бути виражене відповідно до рівняння (3.1):

$$I = I_L - I_D - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (3.1)$$

де,

I_L – струм, що генерується світлом = 9,652А;

I_D – струм насичення діода = $1,888e^{(-09)}$ А;

R_s – послідовний опір = 0,44 Ом;

R_{sh} – шунтувальний опір = 85,739 Ом.

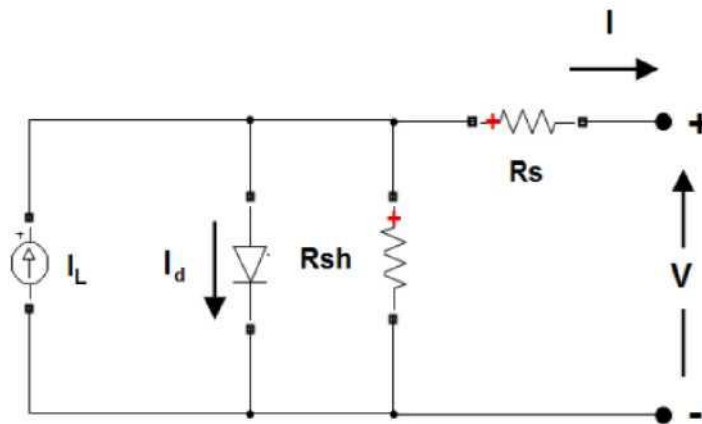


Рисунок 3.5 – Еквівалентна електрична схема сонячного фотоелемента

I-V характеристики діода для конкретного фотомодуля виражаються наступними рівняннями (3.2) і (3.3):

$$I_d = I_0 \left[\exp \left(\frac{V_d}{V_T} \right) - 1 \right] \quad (3.2)$$

$$V_T = \frac{KT}{q} \cdot nl \cdot N_{cell} \quad (3.3)$$

де nl – коефіцієнт ідеальності діода = 1,101;

K – стала Больцмана = $1,3806 \cdot 10^{-23}$ Дж. К⁽⁻¹⁾;

q – заряд електрона = $1,6022 \cdot 10^{-19}$ С;

N (комірка) – кількість послідовно з'єднаних комірок у модулі = 72;

T – температура комірки (К);

I_d – струм діода (А);

V_d – напруга на діоді (В).

Значення T , I_d та V_d змінюються в залежності від часу в рівняннях (3.2) та (3.3).

Вольт-амперна характеристика (рис. 3.6) та графік кривої потужності (рис. 3.7) для одного фотомодуля [19,20,21,22] були отримані після моделювання в MATLAB.

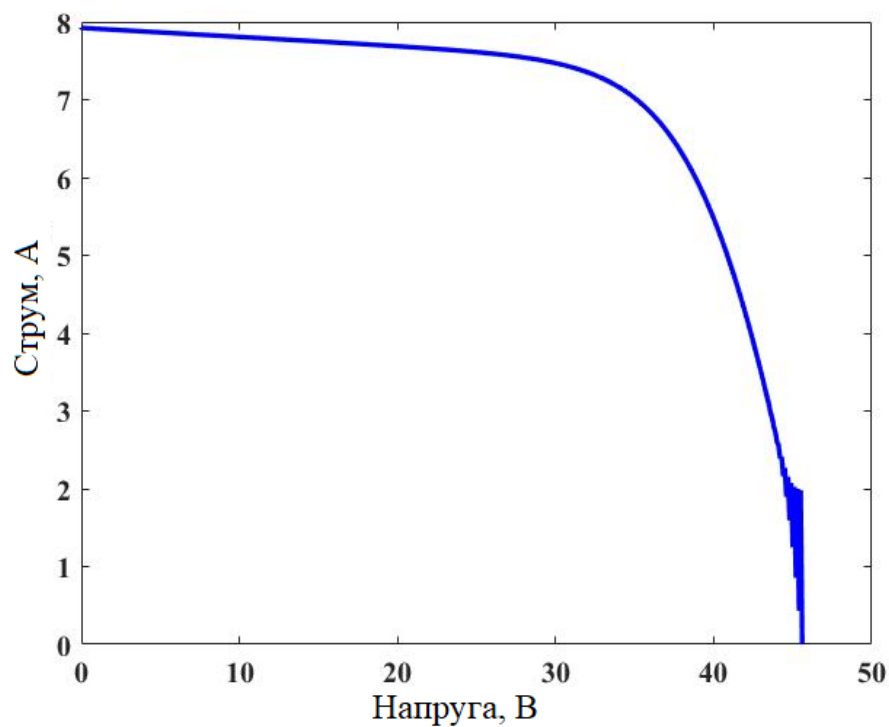


Рисунок 3.6 – Вольтамперна характеристика одиночного фотомодуля

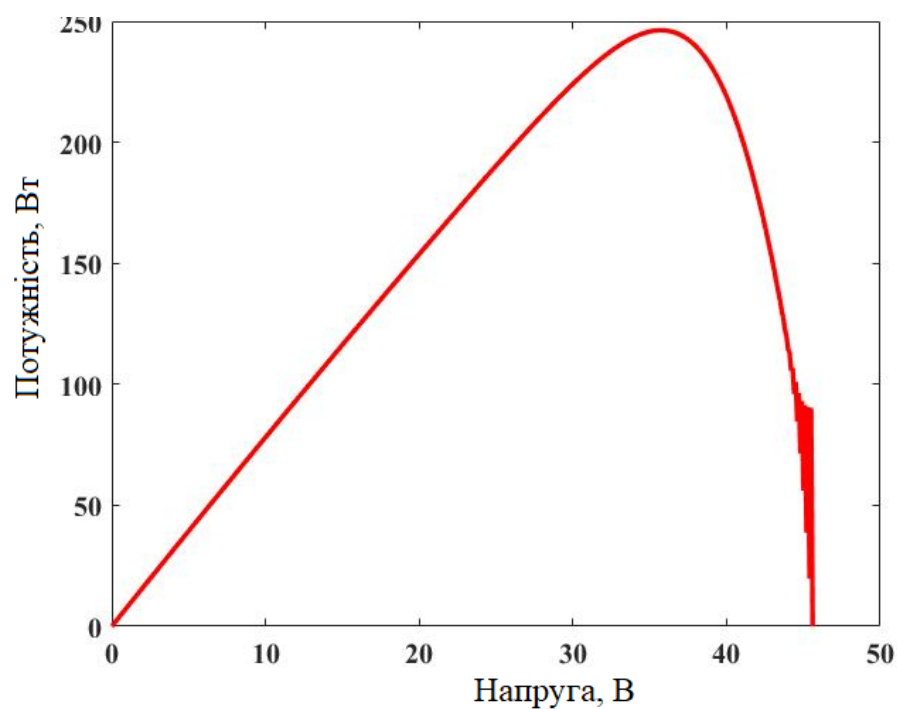


Рисунок 3.7 – Крива потужності одного фотомодуля

На рис. 3.8 та рис. 3.9 показані V-I та P-V характеристики фотоелектричного масиву для різних сонячних випромінювань 1000 Вт, 500 Вт/м² та 100 Вт/м², відповідно.

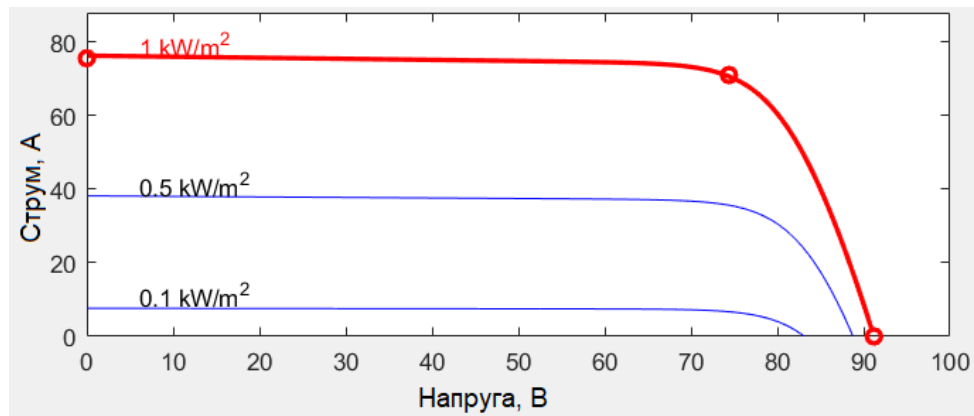


Рисунок 3.8 – Вольт-амперна характеристика фотоелектричного масиву для різних сонячних опроміненнь

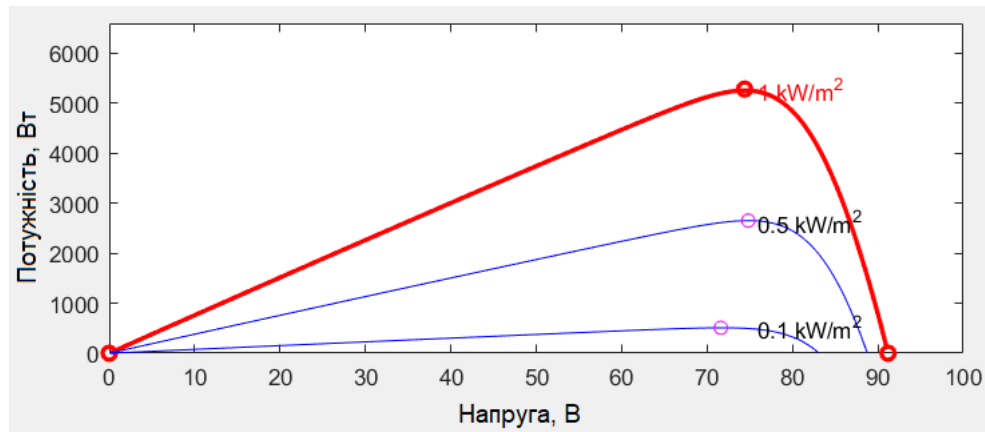


Рисунок 3.9 – Вольтамперна характеристика фотоелектричного масиву P-V для різних сонячних освітленостей

3.3.2 Імітаційна модель фотоелектричної батареї

Обрана сонячний фотоелектрична батарея (ФЕМ) марки Canadian Solar, модель CS-6U-330P, а розмір кожного ФЕМ становить 330 Вт для моделі MATLAB Simulink. Фотоелектричний масив будується в MATLAB за допомогою блоку Simulink, що складається з джерела сонячного випромінювання і струму з регульованою температурою, діода, а також послідовного опору (R_s) і шунта (R_{sh}). На рис.3.10 зображено сонячний фотоелектричний масив у блоці Simulink.

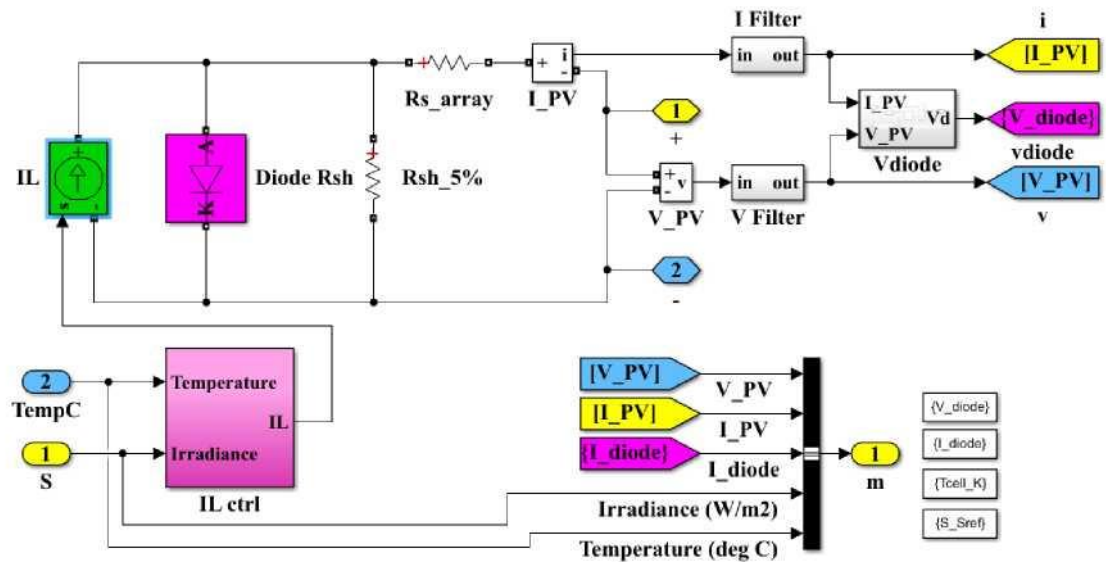


Рисунок 3.10 – Блок сонячного фотоелектричного масиву Simulink

3.4 Відстеження точки максимальної потужності (ТМП)

Зміна сонячного випромінювання, температури та напрямку сонця змінює електричну потужність сонячного фотоелектричного модуля (ФЕМ). Фотоелектричні модулі мають унікальні фотоелектричні характеристики, що стосуються конкретного Power Point для конкретної робочої ситуації. Іншими словами, фотоелектричний модуль повинен функціонувати близько до цієї точки, щоб вихід фотоелектричного модуля був близьким до точки максимальної потужності (ТМП). За цих обставин спосіб роботи фотоелектричного модуля відомий як відстеження точки максимальної потужності (ТМП), і збільшення використання фотоелектричних елементів залежить від максимального збору енергії [23]. Найбільш критичною частиною ТМП є система керування та підхід до зміни коефіцієнта навантаження для досягнення максимальної точки потужності.

Серед них найпопулярнішими алгоритмами є інкрементна провідність (ІП) та збурення та спостереження (Р&О) [24].

3.5 Перетворювач DC/DC

Підсилюючий перетворювач побудований за схемою L-C і комутаційним елементом IGBT, тоді як функція перемикання регулюється робочим циклом (D), значення якого лежать в діапазоні від 0 до 1. Контролер МТП генерує робочий цикл, а потім перетворює його в імпульсний сигнал (M_Pulse), який надходить на IGBT підсилювального перетворювача і подає сигнал "відкрито затвор" (g). Емітер (E) підключається до негативної клема фотоелектричного перетворювача, а колектор (C) – до позитивної клема фотоелектричного перетворювача. Робочий цикл, тобто M_Pulse, позначений як 0,6, щоб заблокувати всі імпульси вистрілу шляхом подачі еквівалентного сигналу рівня 1 на вхід "g" IGBT в прототипі Simulink, і цей метод має тенденцію до прискорення симуляції. Принципова схема буст-перетворювача показана на рис.3.11.

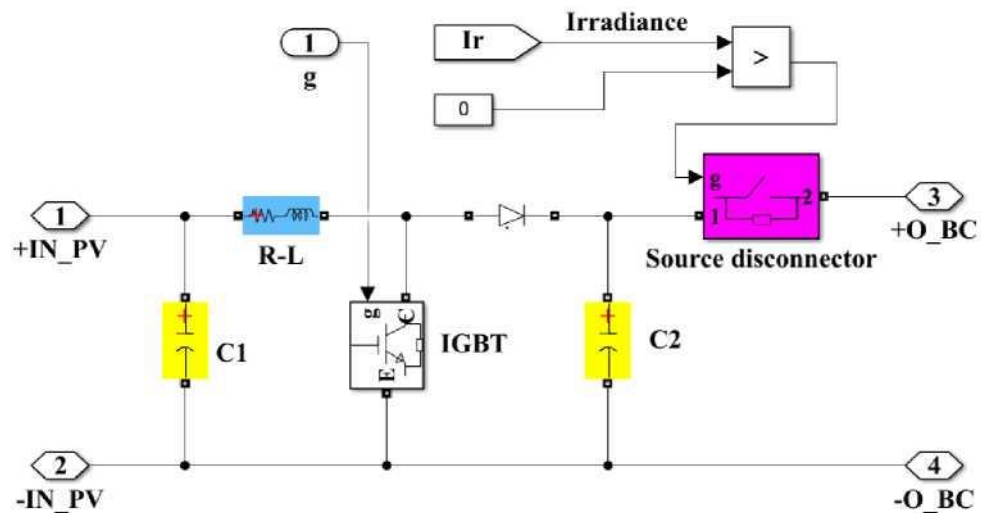


Рисунок 3.11 – Підсилюючий перетворювач у Simulink-моделі

3.6 Шина постійного струму

Шина виготовлена з мідної шини з захищеною ізоляцією, яка забезпечує вхідне і вихідне з'єднання, щоб уникнути складних з'єднань. Підвищувальний перетворювач, газогенератор постійного струму та двигун постійного струму

підключені до портів IN_BC, IN_G та O_M. З іншого боку, контролер заряду батареї та вимикач розряду батареї підключені до портів CC та IN_M. Підсистема шини постійного струму (Bus Bar) в Simulink моделі показана на рис.3.12, а з'єднання Bus Bar в Simulink моделі – на рис.3.13.

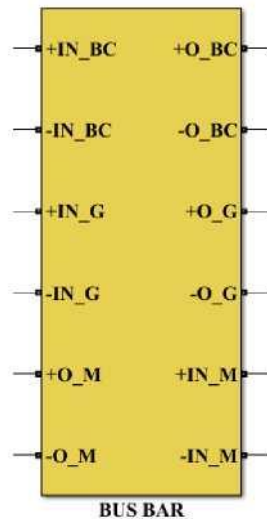


Рисунок 3.12 – Підсистема шини постійного струму у Simulink-моделі

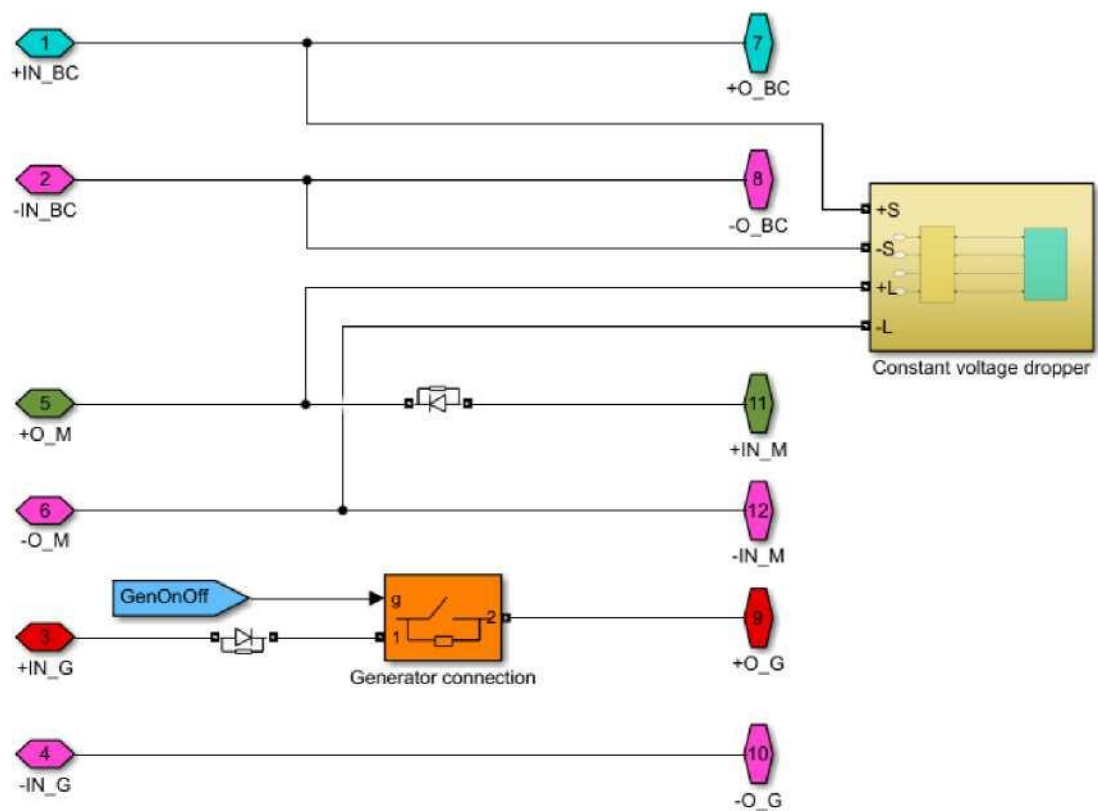


Рисунок 3.13 – Підключення шини в моделі Simulink

3.7 Стабілізатор постійної напруги (від 48В до 50В) для навантаження

Стабілізатор постійної напруги розроблений з використанням MOSFET, логічного оператора, котушки індуктивності, конденсатора та дискретного пропорційно-інтегрального похідного (ПІП) регулятора. Джерелом є фотоелектрична система, а навантаженням – двигун постійного струму. Схема з'єднання та Simulink-модель CVD показані на рис.3.14.

ПІП-регулятор працює згідно з наведеним нижче рівнянням (3.4):

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.4)$$

де $u(t)$ – змінна ПІП-регулювання;

K_p – пропорційний коефіцієнт підсилення;

$e(t)$ – значення помилки;

K_i – інтегральний коефіцієнт підсилення;

de – зміна значення помилки;

dt – зміна часу.

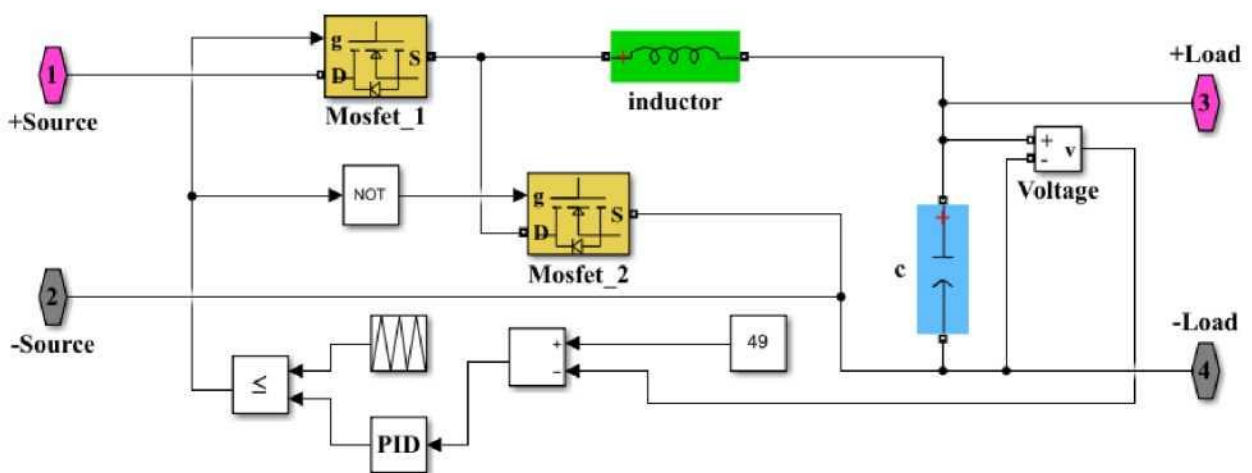


Рисунок 3.14 – Модель стабілізатора постійної напруги CVD Simulink

3.8 Акумуляторна батарея

Акумуляторна батарея (АБ) була зібрана з використанням свинцево-кислотного AGM акумулятора, оскільки вплив температури на батарею є незначним. АБ буде забезпечувати живлення двигуна та зарядку від сонячної енергії та генератора. Номінальний вхідний параметр свинцево-кислотного акумулятора в блоці Simulink наведено на рис.3.15. Параметр розряду визначається з номінальних параметрів свинцево-кислотного акумулятора, представлених на рис.3.16.

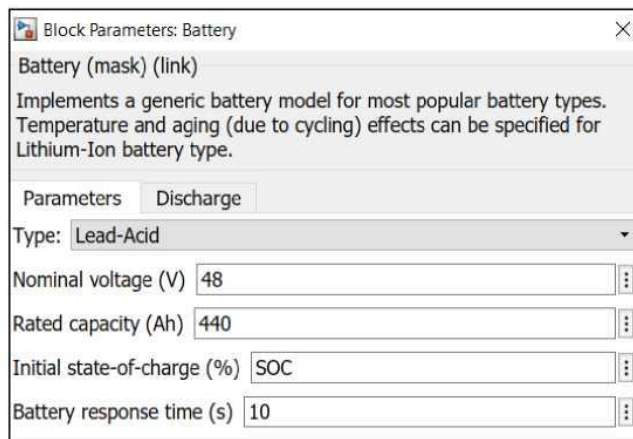


Рисунок 3.15 – Номінальні параметри AGM акумулятора 48 В у блоці Simulink

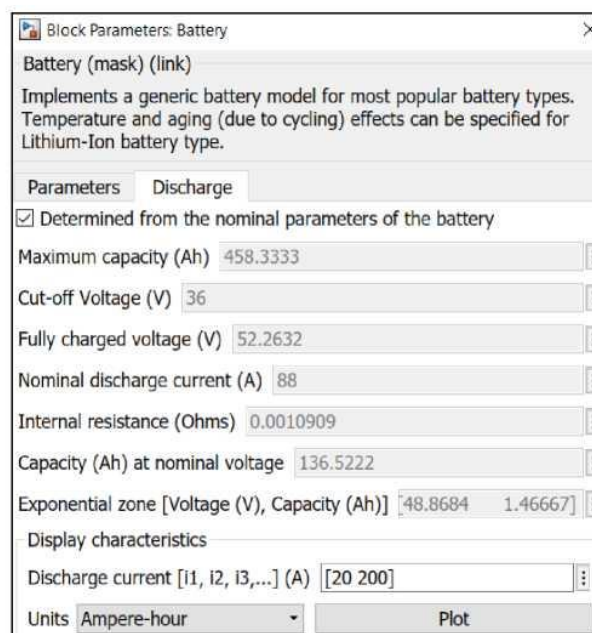


Рисунок 3.16 – Параметр розряду досліджуваного AGM акумулятора

3.9 Контролер заряду акумуляторної батареї

Контролер заряду акумулятора (КЗА) було змодельовано для зарядки акумулятора при постійній напрузі (від 49 до 50 В) і постійному струмі (25А). Зарядний струм 25А оцінюється як 5,5 % від ємності акумулятора 440 А·год. КЗА складається з перетворювача напруги, двох біполярних транзисторів з ізольованим затвором (IGBT). Один IGBT використовується для відключення джерела, а інший – для відключення навантаження, ШІМ-генератора, фільтра електромагнітних перешкод і програмованого контролера, який генерує імпульс для відключення IGBT джерела, відключення IGBT навантаження і ШІМ-генератора відповідно до стану струму (А) і напруги (В) акумулятора. Деталі контролера заряду акумулятора (BCC) у Simulink-моделі показано на рис. 3.17.

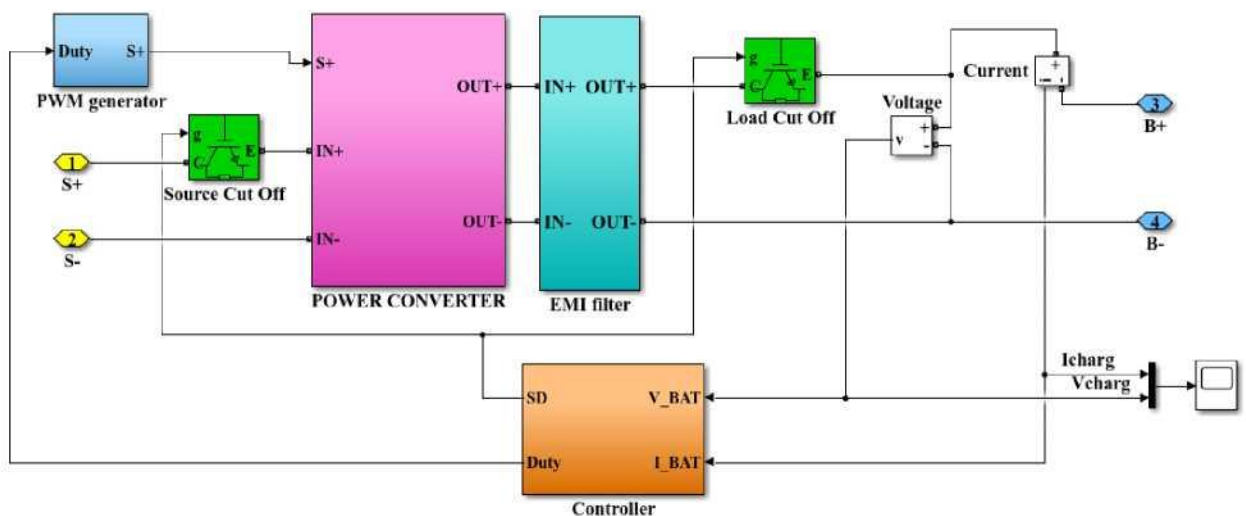


Рисунок 3.17 – Контролер заряду акумулятора у Simulink-моделі

3.10 Контролер розряду акумуляторної батареї

Батарея буде розряджати енергію на навантаження, тобто тільки на двигун постійного струму, в той час як:

- генератор постійного струму знаходиться в режимі ON або OFF
- фотоелектрична панель виробляє потужність та випромінювання

менше 700 Вт/м^2

- фотоелектричний масив виробляє потужність і випромінювання більше 700 Вт/м^2 і швидкість обертання двигуна більше 2500 об/хв.

Simulink модель контролера розряду акумулятора показана на рис.3.18.

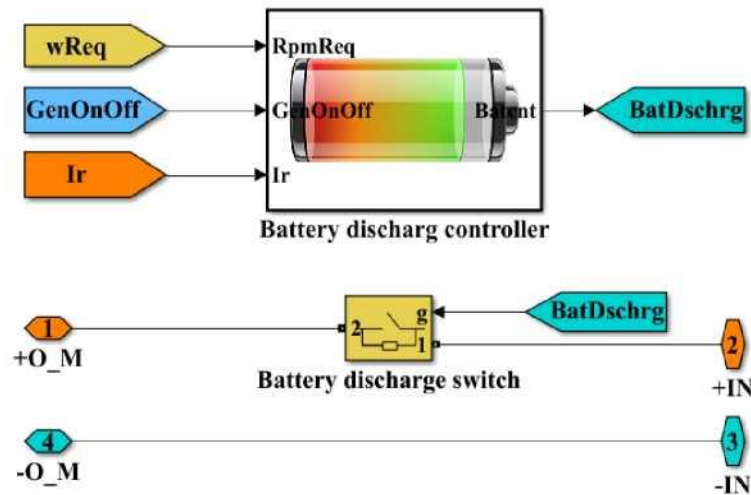


Рисунок 3.18 – Simulink модель контролера розряду акумулятора

3.11 Генератор постійного струму

Для створення генератора постійного струму обрана машина постійного струму з обмоткою збудження, яка видає 1,6 кВт потужності на шину 48 В. Напруга постійного струму 48 В подається на клему збудження, позначену "F", і мається на увазі від'ємне значення моменту на валу (T_L), що є механічним входом для роботи машини постійного струму в якості генератора постійного струму (рис.3.19). Схема RfLf ілюструє еквівалентну схему котушки збудження. Коло якоря належить до портів, позначених "A" блоку машини. Він позначений послідовною гілкою $R_a L_a$ і розміщений послідовно з блоком вимірювання струму і керованим джерелом напруги.

$$K = \frac{16}{314,16^2} \cong 0,0001612$$

Якір двигуна постійного струму живиться через триступеневий стартер і вимикач, керований генератором імпульсів, як показано на рис.3.20. Генератор імпульсів триступеневого стартера генерує імпульси через 0,1с, 0,2с та 0,3с послідовно під час запуску двигуна. На рис.3.21 зображено Simulink-модель трикрокового стартера для запуску двигуна.

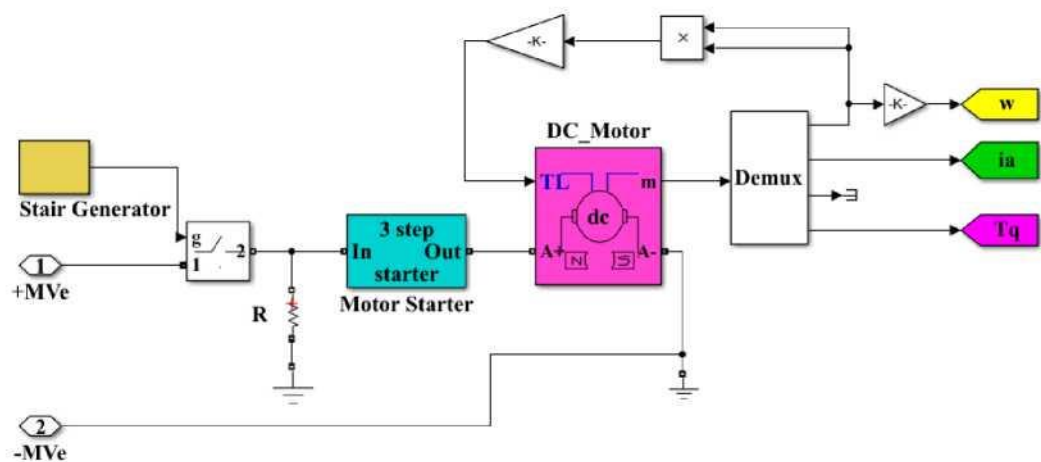


Рисунок 3.20 – Підключення двигуна постійного струму на постійних магнітах

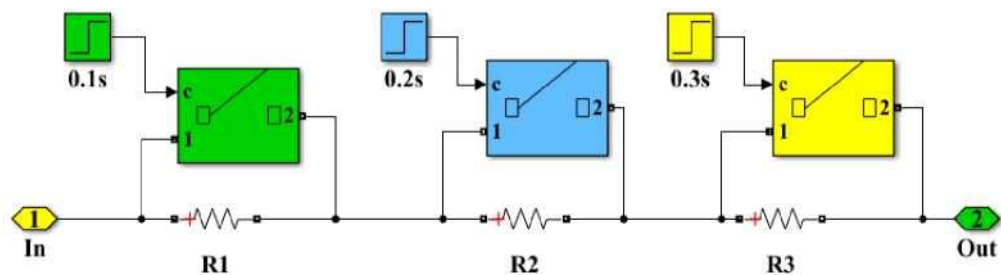


Рисунок 3.21 – Триступеневий пускач для запуску двигуна

Коло якоря належить до портів, позначених літерою "А" машинного блоку. Він позначений послідовним RaLa крилом і розміщений послідовно з блоком вимірювання струму та керованим джерелом напруги. Двигун постійного струму з постійними магнітами в Simulink показано на рис.3.22.

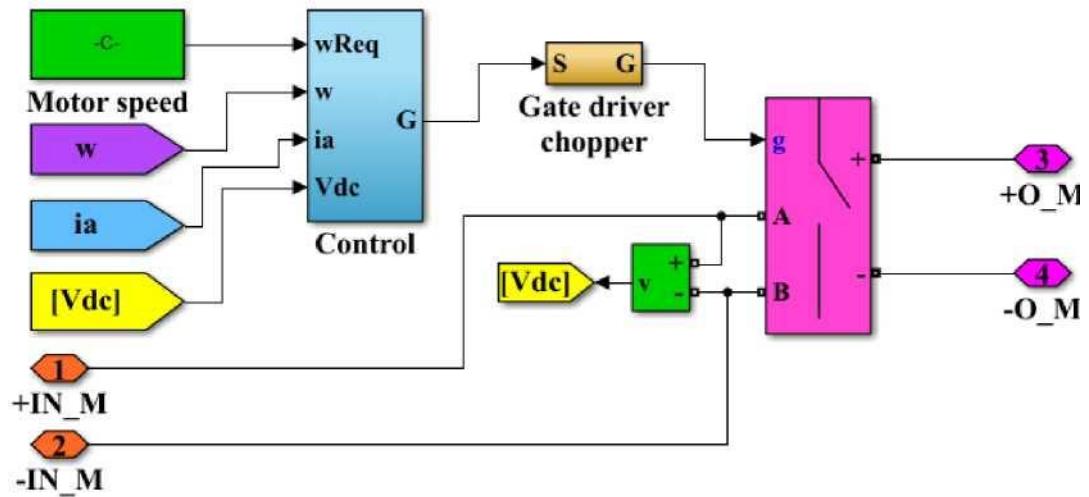


Рисунок 3.24 - Simulink-блок драйвера двигуна

Система керування роботою двигуна базується на необхідних обертах двигуна, фактичному оберті (ω), струмі якоря та прикладеній напрузі на затискачі мостової схеми. Система керування була розроблена в Simulink з використанням обмежувача швидкості, при цьому швидкість висхідного повороту становить 3000 об/хв, а швидкість низхідного повороту -3000 об/хв, одного ПІ-регулятора для керування обертами, іншого обмежувача швидкості для лінеаризації струму якоря, що дорівнює i_A . Цей контролер постійного струму має нульове значення скидання та ШІМ-генератор для генерації кінцевого імпульсу. Блоки керування двигуном у Simulink показані на рис.3.25.

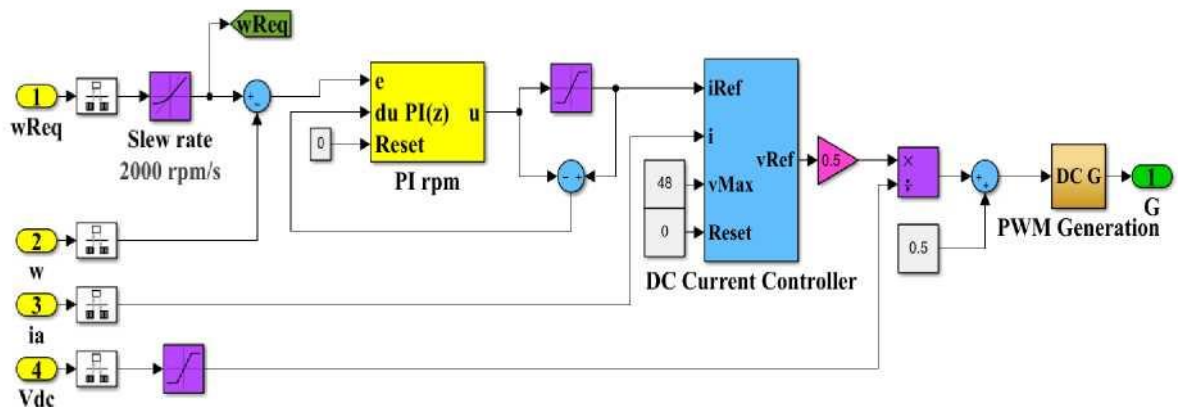


Рисунок 3.25 – Блоки Simulink контролера двигуна

3.14 Контролер комутації для генератора постійного струму та двигуна

Відповідно до стану заряду (C3) батареї, двигун постійного струму завжди буде в робочому стані, тобто увімкнений, за винятком випадків, коли значення C3 нижче 55 %. Водночас, якщо $C3 < 55 \%$, двигун буде відключений, щоб запобігти погіршенню стану акумулятора. Генератор постійного струму буде в робочому стані, тобто працюватиме, поки $75 \% < C3 < 85 \%$, і буде відключений, якщо $C3 > 85 \%$. Контролер комутації генератора постійного струму та двигуна формується за допомогою чотирьох вимикачів, керованих зовнішнім сигналом, генератора сигналів та запрограмованого контролера. Simulink-модель комутаційного контролера для генератора постійного струму та двигуна наведено на рис. 3.26.

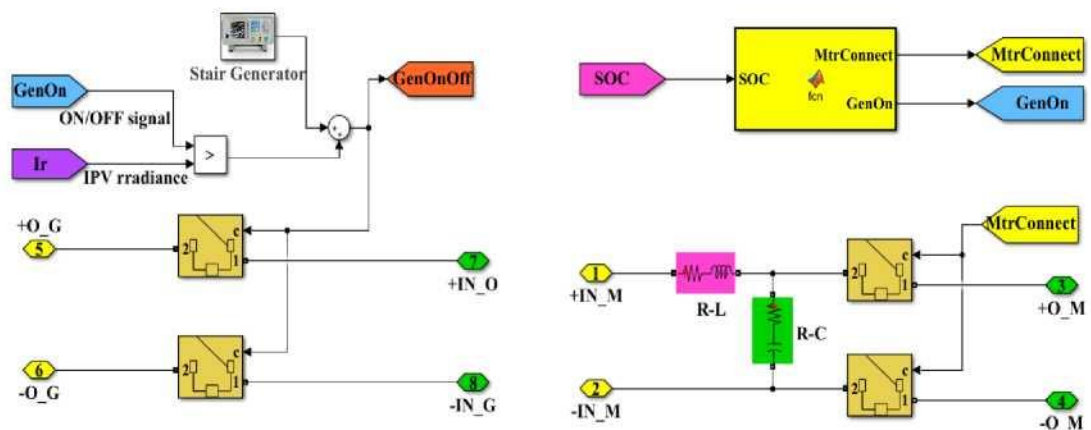


Рисунок 3.26 – Simulink модель комутаційного контролера для генератора постійного струму та двигуна

3.15 Аналіз результатів моделювання запропонованої системи в MATLAB

Загальний час моделювання в MATLAB становить 40 секунд. На відміну від цього, перші 20 секунд (від $T=0\text{с}$ до $T=20\text{с}$) тільки для фотоелектричної потужності та функціональності розряду акумулятора, а решту 20 секунд (від $T=20\text{с}$ до $T=40\text{с}$) генератор та акумулятор працюють, щоб запустити двигун,

тому випромінювання ФЕ (Вт/м^2) стає рівним нулю при $T=20\text{с}$ до $T=40\text{с}$. Як наслідок, після $T=20\text{ с}$ напруга, струм та потужність фотоелектричного випромінювання стають нульовими і залишаються такими до кінця моделювання, тобто до $T=40\text{ с}$. Спочатку для цієї динамічної симуляції було обрано рівень заряду батареї (РЗ %) 67%, а напруга на клеммах свинцево-кислотного акумулятора 48В становила 48,4В. Система була запрограмована таким чином, що газогенератор вмикався при $T=20\text{с}$, але залишався відключеним до $T=30\text{с}$, щоб дослідити режим розряду батареї і можливість роботи двигуна на заданій швидкості. Генератор був підключений безпосередньо до акумулятора. Відтепер, під час роботи генератора, контролер заряду батареї показує нульовий зарядний струм.

Після завершення моделювання було зроблено висновок, що батарея з номінальною напругою 48 В і ємністю 440 А·год забезпечує необхідний струм для роботи двигуна з бажаними обертами від 0 до 3000 об/хв. Спроектована фотоелектрична система може генерувати 8,82 кВт потужності і заряджати батарею постійним струмом 25 А і постійною напругою від 49 до 50 В через контролер заряду батареї. Система одночасно працює з номінальним двигуном постійного струму (5 кВт, 3000 об/хв) зі швидкістю 3000 об/хв. У той же час, ТМП подає імпульс запуску відповідно до вихідної напруги фотоелектричної батареї.

З іншого боку, також було перевірено генератор постійного струму потужністю 1,6 кВт. Він може одночасно запускати двигун з максимальною швидкістю 2500 об/хв і заряджати батарею при постійному зарядному струмі 25 А і постійній напрузі 50 В, коли двигун працює зі швидкістю 500 об/хв. При швидкості двигуна 1500 об/хв генератор міг заряджати батарею, але повільно. Система контролю швидкості двигуна постійного струму, тобто двигун був протестований з довільною швидкістю, змінюючи ручку швидкості на 2500 об/хв, 1000 об/хв, 1500 об/хв, 3000 об/хв, 2000 об/хв, 2500 об/хв, 1500 об/хв, 1000 об/хв і 500 об/хв відповідно, і було виявлено, що двигун реагує відповідно до заданої швидкості.

Графік залежності освітленості (Вт/м^2), напруги (В), струму (А), середньої потужності (кВт) та амплітуди робочого циклу ФЕС від часу в секундах показано на рис. 3.27.

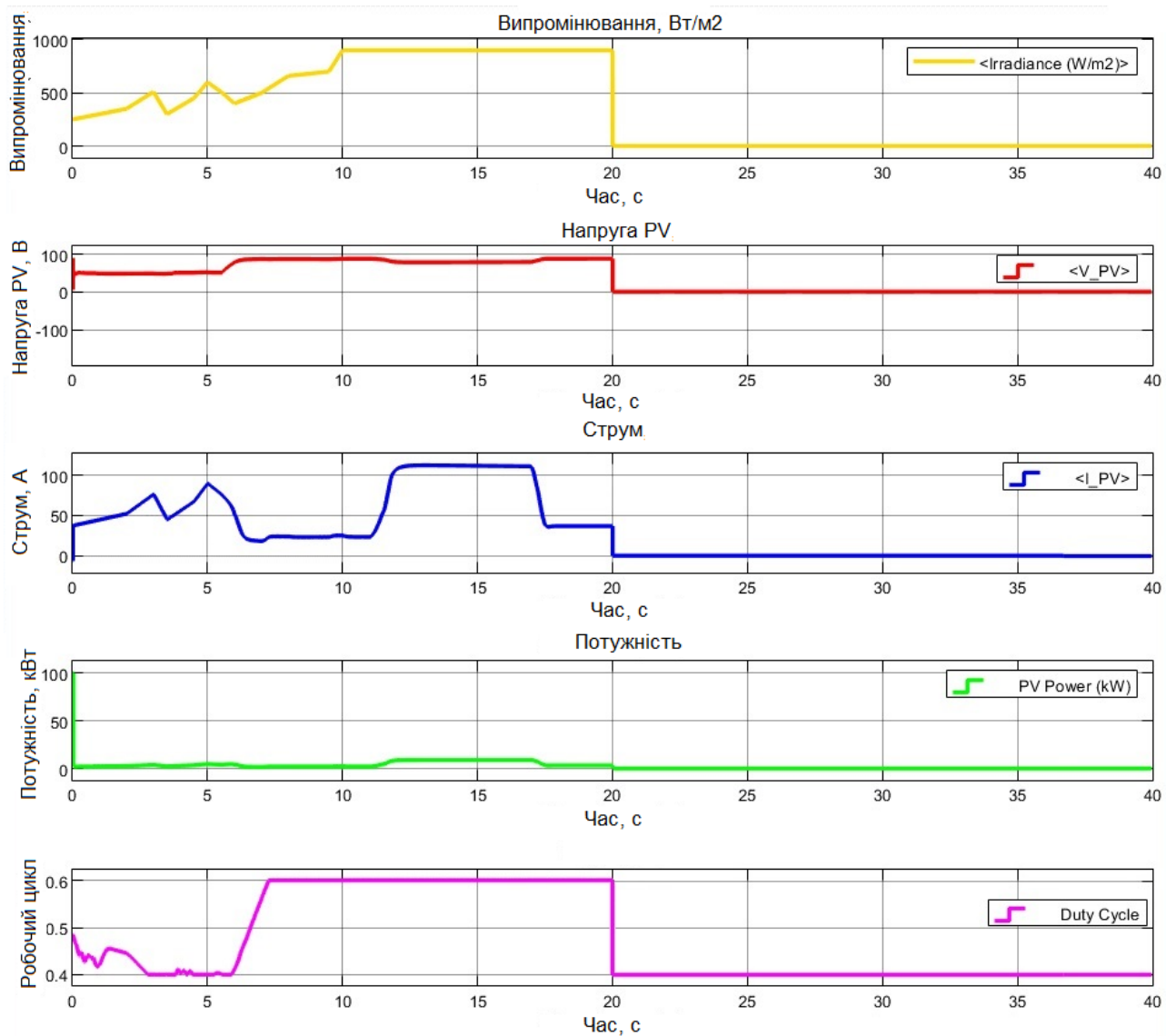


Рисунок 3.27 – Графік залежності освітленості (Вт/м^2), напруги (В), струму (А), середньої потужності (кВт) та амплітуди робочого циклу ФЕС від часу в секундах

Графік залежності частоти обертання двигуна (об/хв), струму якоря двигуна (А) та крутного моменту двигуна (Н.м) від часу в секундах показано на рис.3.28.

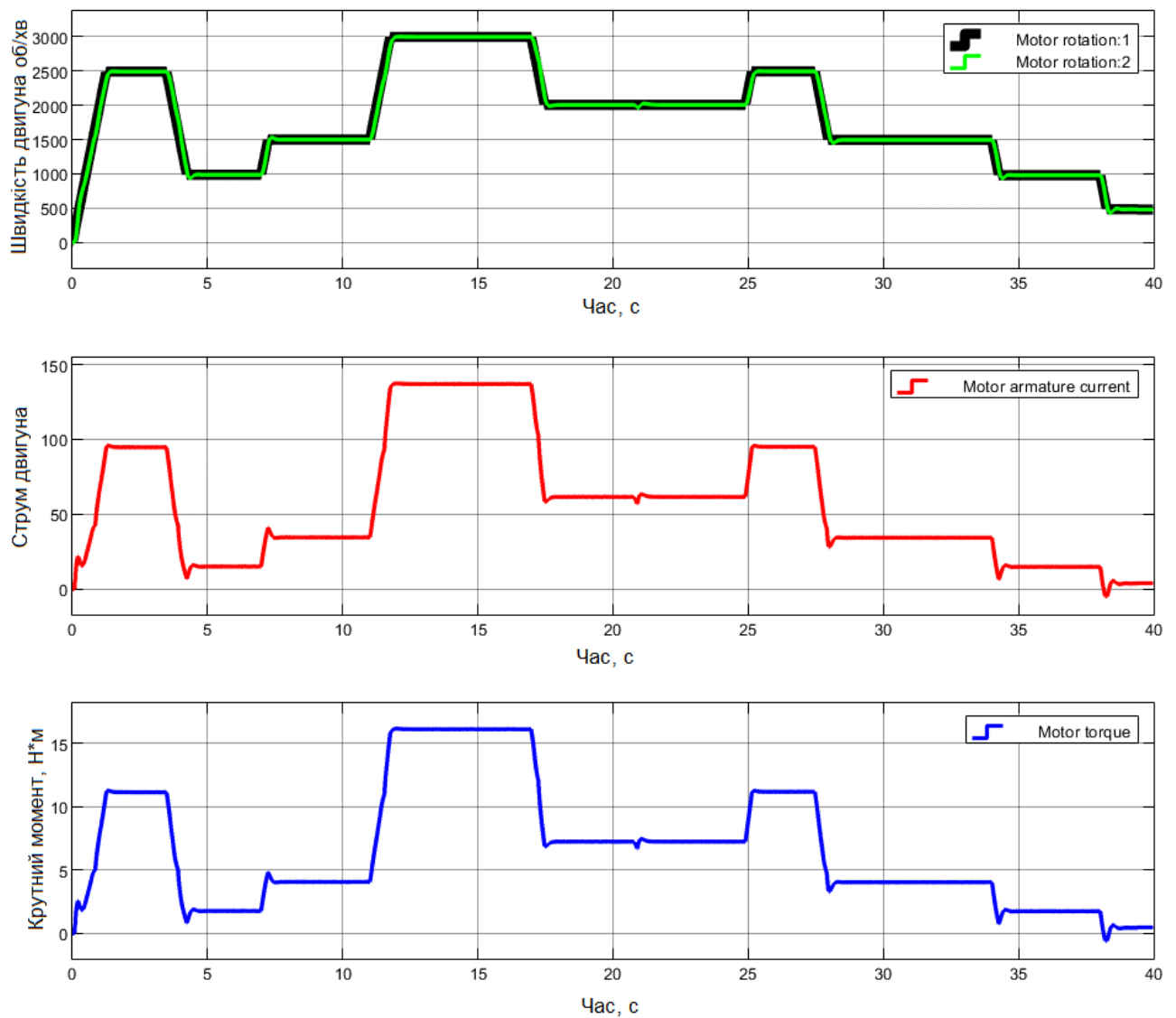


Рисунок 3.28 – Графік частоти обертання двигуна (об/хв), струму якоря двигуна (А) та крутного моменту двигуна

Графік залежності рівня заряду акумулятора, тобто РЗ (%), струму акумулятора (А) та напруги акумулятора (В) від часу в секундах, показано на рис.3. 29.

Залежність струму (А) і напруги (В) зарядного пристрою від часу в секундах показано на рис. 3.30.

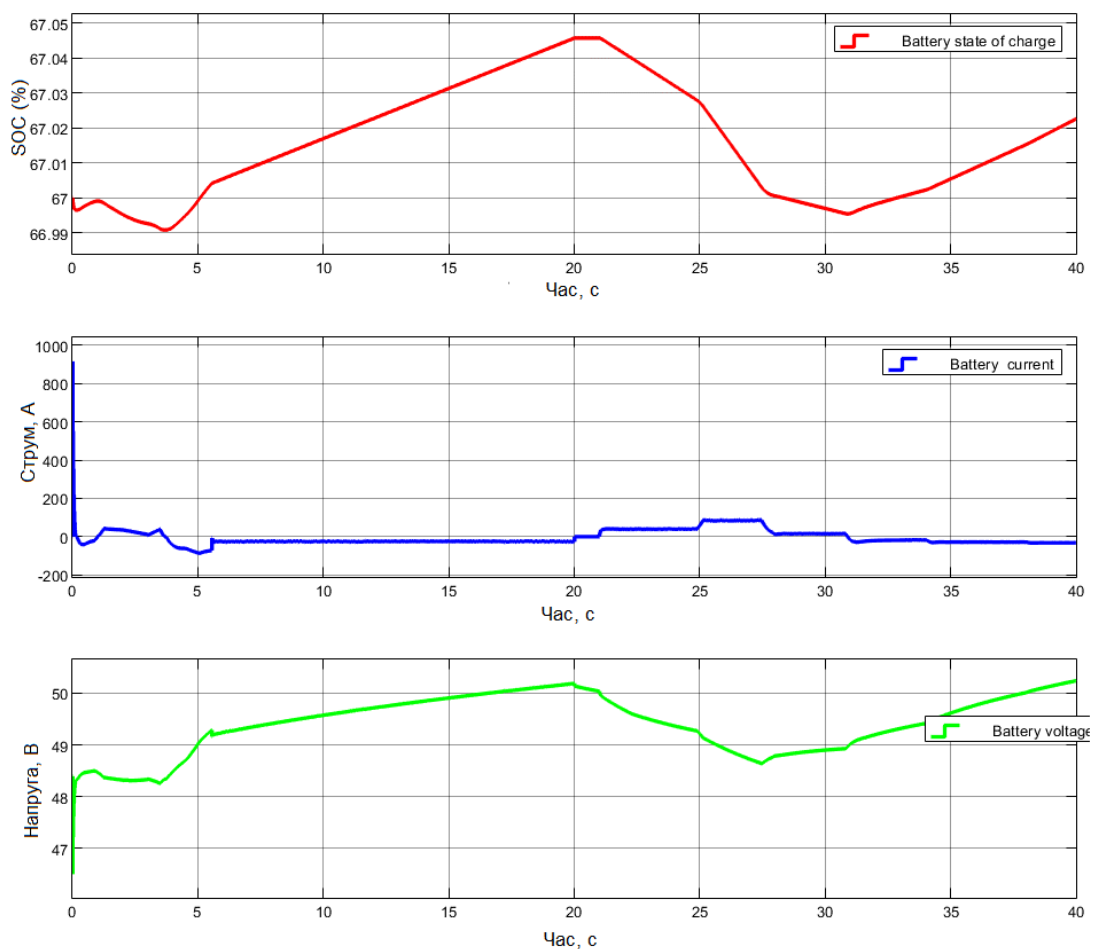


Рисунок 3.29 – Графік залежності рівня заряду акумулятора, тобто РЗ (%), струму акумулятора (А) та напруги акумулятора (В) від часу в секундах

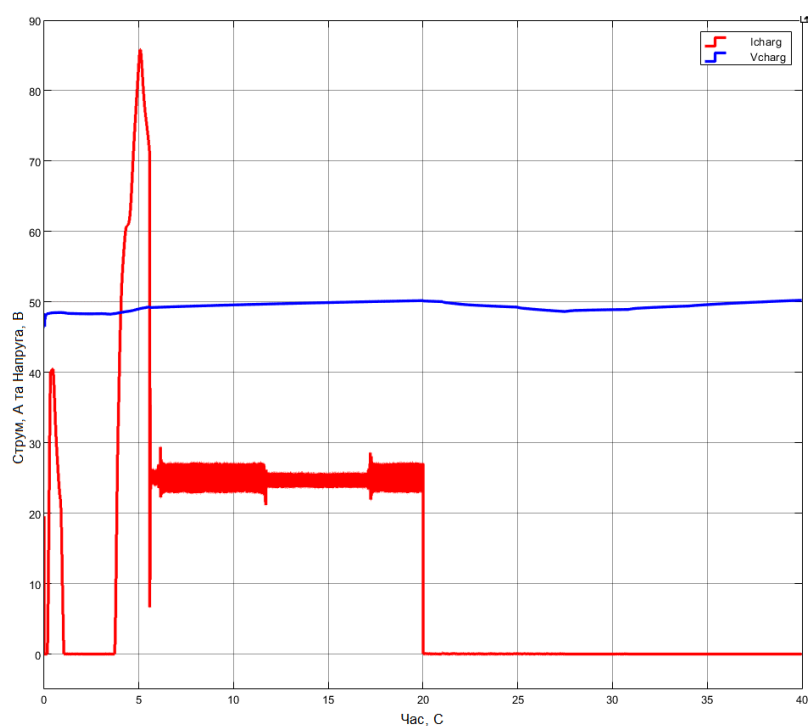


Рисунок 3.30 – Залежність струму (А) та напруги (В) зарядного пристрою від часу в секундах

Залежність напруги генератора (В) від часу в секундах показано на рис. 3.31, а струму генератора (А) від часу в секундах – на рис. 3.32.

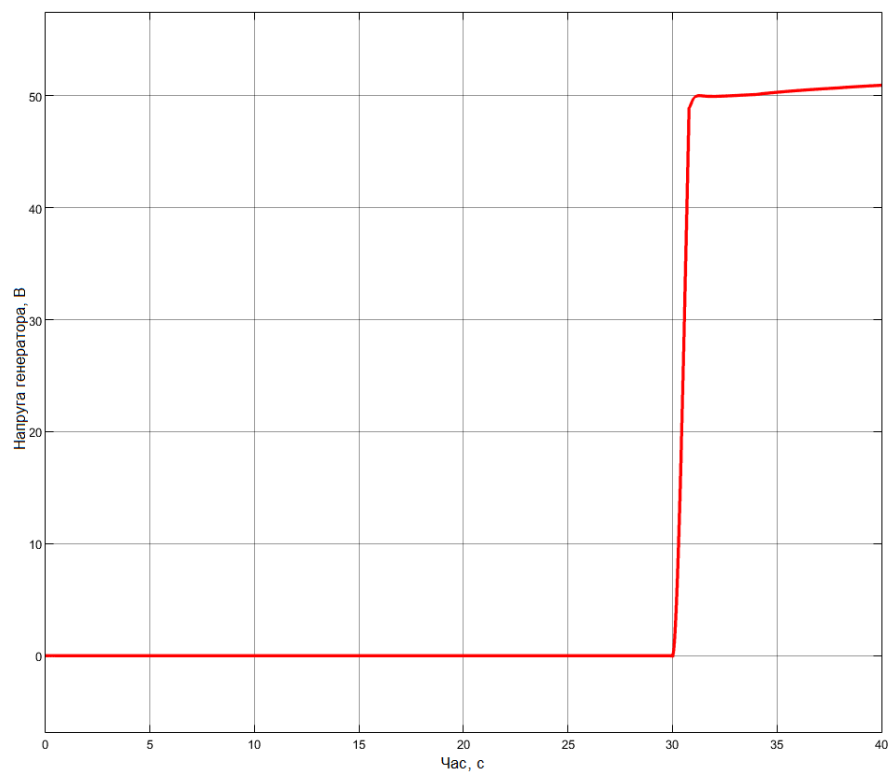


Рисунок 3.31 – Залежність напруги генератора (В) від часу в секундах

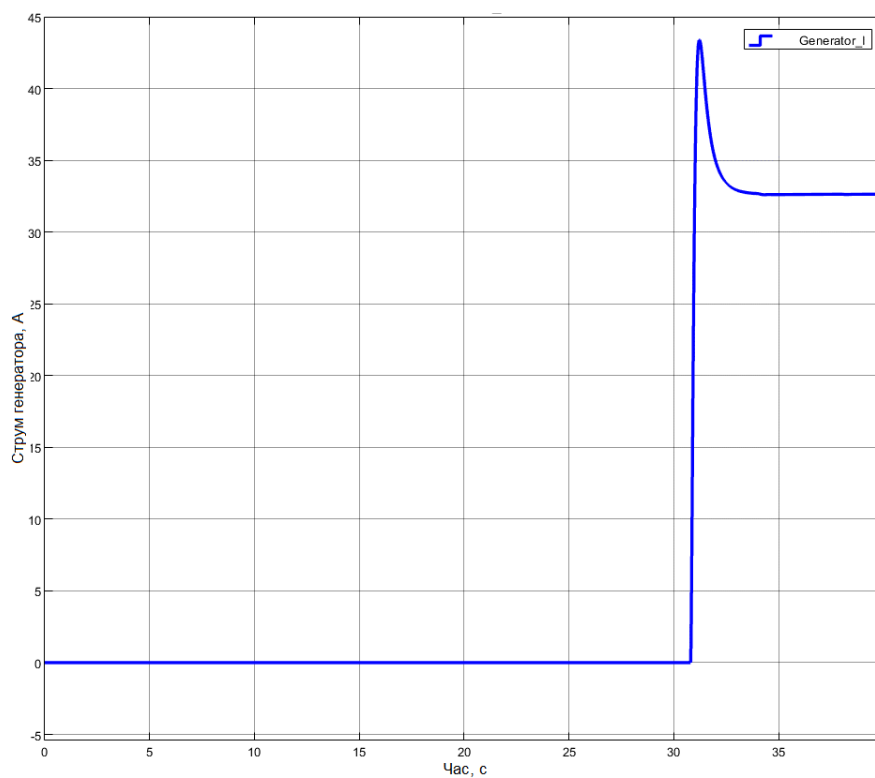


Рисунок 3.32 – Струм генератора (А) в залежності від часу в секундах

Моделювання в MATLAB складається з чотирьох кроків, які описано нижче.

Крок-1: Частково хмарне небо (від $T=0$ с до $T=10$ с).

В інтервалі часу від $T=0$ с до $T=10$ с з результатів моделювання було виявлено, що в умовах часткової хмарності фотоелектричні перетворювачі виробляли в середньому 3 кВт, чого недостатньо через низьку освітленість і температуру для досягнення бажаної швидкості двигуна 2500 об/хв, а також для зарядки акумулятора, отже, акумулятор переходить в режим розрядки, щоб забезпечити необхідний струм, а драйвер двигуна може зафіксувати швидкість двигуна відповідно до заданої швидкості (об/хв) впродовж короткого проміжку часу. Коли швидкість двигуна встановлена на 1000 об/хв і 1500 об/хв, вироблена фотоелектрична енергія може постійно забезпечувати роботу двигуна і заряджати батарею, заряджаючи струм 25 А і напругу 49 В. Відтепер цей режим виражає режим заряду-розряду.

Крок 2: Чисте небо (від $T=10$ с до $T=20$ с)

В інтервалі часу від $T=10$ с до $T=20$ с, за результатами моделювання було виявлено, що при ясному небі потужності, виробленої фотоелектричними модулями (8,82 кВт), достатньо для досягнення найвищої бажаної швидкості двигуна 3000 об/хв, а також для зарядки акумулятора, завдяки більш високій освітленості і температурі. Система запрограмована таким чином, що якщо швидкість двигуна перевищує 2500 об/хв, то відкривається режим розряду акумулятора, щоб забезпечити додатковий струм, якщо це необхідно, і знайдена фотоелектрична енергія може одночасно обслуговувати обидва процеси – зарядку акумулятора і роботу двигуна. Драйвер двигуна також може зафіксувати швидкість обертання двигуна, щоб отримати бажану швидкість обертання (об/хв) протягом короткого періоду часу. Акумулятор починає заряджатися при постійному струмі 25 А, а постійна напруга знаходиться в діапазоні від 49 В до 50 В.

Крок 3: Повністю хмарне небо і тільки резервна батарея (T=20 секунд до T=30 секунд)

В інтервалі від T=20 с до T=30 с, за результатами моделювання було виявлено, що коли небо затягнуте хмарами, температура різко падає, а сонячне випромінювання падає до нуля.

Потужність, вироблена фотоелектричною установкою, стає нульовою, і вмикається газогенератор. Також автоматично відкривається шлях для розрядки акумулятора. Генератор все ще залишався відключеним, щоб перевірити можливості акумуляторної батареї, і виявилось, що акумуляторна батарея починає розряджатися, щоб запустити двигун відповідно до заданої швидкості, але обмежується 2500 об/хв.

Крок 4: Повністю хмарне небо за допомогою генератора (T= 30 с до T= 40 с)

В інтервалі від T=30 с до T=40 с, за результатами моделювання було виявлено, що коли небо затягнуте хмарами, температура різко падає. Сонячне випромінювання падає до нуля, тоді потужність фотоелектричних перетворювачів стає нульовою, газогенератор вмикається і починає подавати енергію на навантаження (двигун і акумулятор), відповідно, шлях розряду акумулятора залишається відкритим, і було виявлено, що газогенератор може заряджати акумуляторну батарею і забезпечувати роботу двигуна з заданою швидкістю.

Для ФЕ: T= 0 с до T= 10 с.

Проаналізуємо графіки, що зображені на рис. 3.27:

I. Сонячне випромінювання змінюється від найнижчого значення 250 Вт/м² до 700 Вт/м². Напруга, що генерується ФЕС, змінюється від 48,76 В до 87,59 В, діапазон струму, що генерується ФЕС, становить від 24,28 А до 89,86 А, середня потужність, що генерується ФЕС, дорівнює 3 кВт і змінюється від 2,09 кВт до 4,67 кВт. Коефіцієнт завантаження ТМП D змінювався від мінімальної амплітуди 0,4 до максимальної амплітуди 0,6, щоб викликати еквівалентні значення сигналу 0 і 1 в затворі IGBT підвищувального

перетворювача.

Для ФЕ: $T = 10$ с до $T = 20$ с.

II. Сонячне випромінювання підтримувалося постійним 900 Вт/м^2 , напруга на ФЕ змінювалася до $87,74 \text{ В}$, $78,94 \text{ В}$ і $87,9 \text{ В}$, струм ФЕ становив $23,5 \text{ А}$, $111,3 \text{ А}$ і $36,7 \text{ А}$, потужність, що генерувалася ФЕ, становила $2,1 \text{ кВт}$, $8,82 \text{ кВт}$ і $3,24 \text{ кВт}$ від $T=10$ с до $T=11,02$ с, $T=12$ с до $T=16,9$ с і $T=17,68$ с до $T=19,93$ с, відповідно. Коефіцієнт завантаження ТМП D фіксувався з найбільшою амплітудою $0,6$, щоб викликати еквівалентне значення сигналу 1 в затворі IGBT підвищувального перетворювача. Відмічено зміну потужності фотоелектричних перетворювачів. Через зміну швидкості двигуна, тобто струму якоря двигуна.

Одним словом, фотоелектрична система реагує відповідно до потреб системи в енергії.

Для ФЕ: $T = 20$ с до $T = 40$ с.

III. Сонячне випромінювання перетворилося на 0 Вт/м^2 при $T=20$ с. Відповідно, напруга на ФЕ, струм ФЕ, середня потужність, що генерується ФЕ, миттєво падають на нульові лінії від відповідних значень до кінця симуляції ($T=40$ с). Коефіцієнт завантаження ТМП D був перетворений на найнижчу амплітуду $0,4$, що еквівалентно нульовим спрацьовуванням, і утримувався зафіксованим до завершення моделювання.

Для двигуна постійного струму: $T = 0$ с до $T = 10$ с.

Проаналізуємо графіки, що зображені на рис. 3.28:

I. Світло-зелена крива (Оберти двигуна2), яка маскується чорною кривою (Оберти двигуна1), є виміряною швидкістю двигуна, а крива чорного кольору є кривою швидкості двигуна. Задана швидкість була встановлена на 2500 об/хв , що збігається з виміряною швидкістю протягом $1,35$ секунди, в той час як якір двигуна споживав струм 95 А , а механічний крутний момент був виміряний $11,14 \text{ Н.м}$. Також швидкість двигуна була змінена на 1000 об/хв , а потім на 1500 об/хв , і виявилось, що драйвер двигуна швидко регулює швидкість двигуна відповідно до заданих об/хв.

Для двигуна постійного струму: $T = 10$ с до $T = 20$ с.

II. Швидкість була встановлена на 1500 об/хв, максимальна 3000 об/хв і 2000 об/хв, зафіксована вимірною швидкістю протягом 793,84 мс, в той час як якір двигуна споживав струм 34,55 А, 137 А і 61,43 А відповідно, а також був вимірний механічний крутний момент 4,05 Н·м, 16,08 Н·м і 7,22 Н·м відповідно. Після цього драйвер двигуна зміг за короткий час досягти заданої швидкості обертання двигуна.

Для двигуна постійного струму: $T = 20$ с до $T = 30$ с.

III. Швидкість обертання регулювалася ручкою від 2000 до 2500 і 1500 об/хв, при цьому виміряна швидкість фіксувалася в межах 348,06 мс і 669,34 мс відповідно, а струм через якір двигуна проходив 95 А і 34,55 А, відповідно. Також було виміряно механічний крутний момент 4,05 Н·м і 11,14 Н·м відповідно. Після цього драйвер двигуна зміг за короткий час досягти заданої швидкості обертання двигуна.

Ми спостерігали на рис. 3.30:

IV. Швидкість обертання регулювалася ручкою від 1500 об/хв до 1000 об/хв і 500 об/хв, що відповідає вимірній швидкості за 374,83 мс, при цьому якір двигуна споживав струм 14,76 А і 3,6 А відповідно. Також було виміряно механічний крутний момент 1,73 Н·м і 0,43 Н·м відповідно. Після цього драйвер двигуна зміг за короткий час досягти заданої швидкості обертання двигуна.

Проаналізуємо графіки, що зображені на рис. 3.29:

Рівень заряду акумулятора ($P3\%$) зменшився на $9,143e^{-3}\%$ при $T=3,5$ с. Струм розряду акумулятора в середньому становив 35 А, а напруга майже не змінилася – 48,3 В. Відтепер протягом зазначеного інтервалу часу акумулятор перебуває в режимі розряду, а в зарядному пристрої не спостерігається протікання зарядного струму, як показано на рис. 3.32. Від $T=3,5$ с до $T=5,5$ с – перехідний період. Від $T=5,5$ с до $T=10$ с $P3$ батареї починає зростати, і батарея починає заряджатися постійним струмом 25 А, постійною напругою 49 В, а $P3$ досягає 67,18%.

Для батареї: $T = 10$ с до $T = 20$ с:

Рівень заряду акумулятора (P3%) збільшився до 67,05%. Виявлено струм акумулятора -25,25 А, який постійно протікає. Від'ємне значення струму означає, що батарея заряджається. Напруга акумулятора значно зросла до 50,19 В. Причому протягом зазначеного інтервалу часу акумулятор перебуває в режимі заряду. Зафіксовано постійний зарядний струм 25,5 А.

Напруга заряду була в діапазоні від 49 В до 50 В на зарядному пристрої, як показано на рис. 3.30.

Для батареї: $T = 20$ с до $T = 30$ с

Проаналізуємо графіки, що зображені на рис. 3.29:

Рівень заряду акумулятора (P3%) знизився з 67,05% до 67,00%. Акумулятор розряджався зі швидкістю 40,04 А від $T = 20$ с до $T = 24,75$ с, 87 А від $T = 24,75$ с до $T = 27,37$ с і 16,39 А від $T = 28,01$ с до $T = 30$ с. Позитивне значення струму означає, що батарея розряджається. Напруга батареї значно знизилася з 50,19 В до 48,89 В.

Більше того, протягом цього інтервалу батарея перебуває в режимі розряду, а зарядний пристрій не показує струм заряду, як показано на рис. 3.30.

Стан заряду акумулятора (P3%) збільшився з 67% до 67,02%, за час від $T = 30$ с до $T = 40$ с струм акумулятора став від'ємним і знаходився в діапазоні від -18,03 А до -32,02 А. Від'ємне значення струму означає, що батарея заряджається. Напруга акумулятора зростала і досягла значення 50,24 В при $T = 40$ с. У цей період газогенератор працював, як показано на рис. 3.31 і рис. 3.32.

Система спроектована таким чином, що фотоелектрична батарея заряджає акумуляторну батарею через зарядний пристрій з постійним струмом (cc) і напругою (cv), а газогенератор заряджає батарею напряму, тобто в обхід зарядного пристрою. Саме тому зарядний струм падає до 0 А при $T = 30$ с. Під час часткової хмарності освітленість була низькою, і фотоелектрична батарея виробляла напругу нижче 50 В, отже, до $T = 4$ с зарядний пристрій не міг

стабілізувати зарядний струм. У той час як фотоелектрична батарея виробляла достатню напругу, зарядному пристрою знадобилося 2 секунди, щоб стати стабільним і почати заряджати батарею, коли $T=6$ секунд, при постійному струмі 25 А і напрузі, що лежить між 49 В і 50 В. Відображення видно на рис.3.30.

Генератор не працював від $T=0$ с до $T=30$ с, і він починає працювати з моменту $T=30$ с до кінця моделювання $T=40$ с. Генератор виробляв напругу 50 В і струм 33 А, тобто, на рис. 3.31 і рис. 3.32 потужність еквівалентна 1,65 кВт.

3.16 Висновки до розділу

1. У даному розділі представлено імітаційні моделі та динамічне моделювання гібридної енергосистеми для човна. Загальна система складається з:

- 1) гібридної енергосистеми, яка складається з фотоелектричної системи, малогабаритного генератора і резервного акумулятора,
- 2) системи керування, яка складається з контролера ТМП, контролера заряду акумулятора, контролера швидкості двигуна, контролера фіксованої напруги (DC-DC перетворювач) і контролера розряду акумулятора, і
- 3) двигуна постійного струму з постійними магнітами.

2. Проведено оцінку роботи системи живлення для умов: 1) часткової хмарності (фотоелектричні модулі та акумуляторна батарея), 2) повної хмарності (генератор та акумуляторна батарея) та 3) сонячного дня (фотоелектричні модулі та акумуляторна батарея).

3. Аналіз результатів моделювання в MATLAB показав, що фотоелектрична система виробляє 8,82 кВт, що майже дорівнює необхідній потужності отриманій в HOMER, з різницею лише в 12%. Її достатньо щоб запустити двигун зі швидкістю 3000 об/хв і одночасно заряджати батарею постійним струмом 25А і 49В. Через 3 години батарея буде заряджена на 80%, а

через 5 годин батарея буде повністю заряджена (100%). Поки генератор працює і швидкість двигуна дорівнює 500 об/хв, він може заряджати батарею постійним струмом 25А і 49В. Драйвер двигуна реагує на задані оберти і відповідно вмикається. Контролер ТМП виробляє необхідну потужність для системи, в той час як контролер фіксованої напруги забезпечує постійну напругу 49 В на двигуні. Контролер розряду акумулятора розряджає батарею відповідно до вимог системи.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

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

Перша медична допомога — це комплекс заходів, спрямованих на відновлення або збереження здоров'я потерпілих, здійснюваних немедичними працівниками (взаємодопомога) або самим потерпілим (самодопомога) [25]. Найважливіше положення надання першої допомоги — її терміновість. Чим швидше вона надана, тим більше сподівань на сприятливий наслідок.

Послідовність надання першої допомоги:

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

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

Якщо електричний струм проходить в землю через потерпілого і він судорожно стискає один провід, то простіше перервати струм, відокремивши потерпілого від землі (підсунувши під нього суху дошку, або відтягнувши за ноги від землі вірьовкою, або відтягнувши за одяг), дотримуючись при цьому запобіжних заходів. Можна також перерубати дроти сокирою з сухою ручкою

або перекусити їх інструментом з ізольованими ручками. Перерубувати або перекушувати проводи слід пофазово, тобто кожний провід окремо, при цьому рекомендується стояти на сухих дошках, на дерев'яній драбині.

Заходи долікарської допомоги залежать від стану, в якому знаходиться потерпілий після звільнення від електричного струму. Після звільнення потерпілого від дії електричного струму необхідно оцінити його стан. У всіх випадках ураження електричним струмом необхідно обов'язково викликати лікаря незалежно від стану потерпілого.

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

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

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

Потерпілого слід переносити в інше місце лише в тих випадках, коли йому та особі, що надає допомогу, продовжує загрожувати небезпека або коли надання допомоги на місці не можливе. Для того, щоб не втрачати час, не слід роздягати потерпілого. Не обов'язково, щоб при проведенні штучного дихання

потерпілий знаходився в горизонтальному положенні. Якщо потерпілий знаходиться на висоті, необхідно перед спуском на землю зробити штучне дихання безпосередньо в люльці, на щоглі і на опорі.

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

4.2 Зонування територій за ступенем небезпеки

З метою диференційованого підходу до планування запобіжних заходів здійснюється зонування територій країни, регіонів, міст і населених пунктів за територіями природного і техногенного ризиків.

Територія міста з урахуванням переважного функціонального призначення поділяється на селітебну, виробничу і ландшафтно-рекреаційну.

Селітебна територія має таке призначення: розміщення житлового фонду, громадських будівель і споруд (в т.ч. науково-дослідних комплексів), а також окремих комунальних і промислових об'єктів, які не вимагають утворення санітарно-захисних зон; будівництво шляхів міського сполучення, вулиць, площ, парків, бульварів та інших місць загального користування.

Виробничу територію призначено для розміщення промислових підприємств і пов'язаних з ними об'єктів, комплексів наукових установ з дослідними виробництвами, комунально-складських об'єктів, споруд зовнішнього та приміського транспорту.

Ландшафтно-рекреаційна територія включає міські ліси, лісопарки, лісозахисні зони, водойми, сільськогосподарські угіддя, які разом з парками і скверами селітебної території формують систему відкритого простору. Крім того, на територіях виділяються небезпечні зони.

Зона можливого небезпечного землетрусу – територія, в межах якої інтенсивність сейсмічного впливу становить сім і більше балів (визначається за картами сейсмічного районування відповідно до ДБН).

Зона вірогідного затоплення – територія, межі якої можуть бути вкриті водою внаслідок стихійного лиха або руйнування гідротехнічних споруд.

Зона вірогідного катастрофічного затоплення – територія, на якій можлива загибель людей, сільськогосподарських тварин і рослин пошкодження або знищення матеріальних цінностей (в першу чергу будівель і споруд), а також збитки навколишньому середовищу.

Зона можливих небезпечних геологічних явищ – територія, у межах якої передбачається виникнення небезпечних геологічних явищ, що становлять загрозу життю і здоров'ю людей, завдають збитків економіці.

Зона можливого радіоактивного забруднення – територія або акваторія, на якій є можливим забруднення поверхні ґрунту, будівель і споруд, атмосфери, води. продуктів харчування радіоактивними речовинами, яке може викликати перевищення нижнього критичного значення доз опромінення населення.

Зона можливого хімічного зараження – територія. В межах якої внаслідок пошкодження або руйнування ємностей з хімічно небезпечними речовинами можливий викид в довкілля цих речовин в концентраціях або кількостях, які становлять загрозу для людей , тварин і рослин впродовж певного періоду.

Зона можливих руйнувань – територія міст. Інших населених пунктів і ОГ, на якій можливе виникнення надмірного тиску у фронті повітряної ударної хвилі, який складає 30 кПа і більше, а також сейсмічний вплив, що спричиняє руйнування будівель, споруд, комунікацій.

Зона можливого утворення завалів – частина зони можливих руйнувань, яка включає ділянки розташування будівель і споруд з прилеглою до них місцевістю, де слід очікувати обвалення будівельних конструкцій та утворення завалів.

Позаміська зона – територія, розташована за межами зон можливих руйнувань, можливого радіоактивного та хімічного забруднення, вірогідного катастрофічного затоплення, і може бути використана для евакуації населення.

Можливе часткове або повне накладання двох і більше зон можливої небезпеки. На такі території запобіжні заходи проводяться від усіх видів

небезпек відповідно до накладених зон.

4.3 Захист від статичної електрики

Статична електрика – це сукупність явищ, що пов’язані з виникненням, накопиченням та релаксацією вільного електричного заряду на поверхні або в об’ємі діелектричних та напівпровідникових речовин, матеріалів та виробів. Виникнення зарядів статичної електрики є результатом складних процесів перерозподілу електронів чи іонів при стиканні двох різнорідних тіл (речовин) [25].

Порушення поверхневого контакту при терті тіл призводить до електризації – виникнення електричних зарядів, які можуть утримуватись на поверхні цих тіл протягом тривалого часу. Такі заряди, на відміну від рухомих зарядів динамічної електрики (електричний струм) знаходяться у статичному стані.

Електричні заряди виникають:

- при терті діелектричних тіл один об одного або об метал (наприклад, пасові передачі);
- при переливанні, перекачуванні, перевезенні в ємностях горючих та легкозаймистих рідин;
- при транспортуванні горючих газів трубопроводом;
- при подрібненні діелектриків;
- при переміщенні сухого запиленого повітря зі швидкістю понад 15 – 20 м/с і т.п.

Систематичний вплив електростатичного поля підвищеної напруженості негативно впливає на організм людини, викликаючи, в першу чергу, функціональні розлади центральної нервової та серце-судинної систем. Відповідно до ДСТУ ГОСТ 12.1.045-84 гранично допустима напруженість електричного поля $E_{\text{доп}}$ на робочих місцях не повинна перевищувати 60 кВ/м, якщо час впливу t_v не перевищує 1 год; при $1 \text{ год} < t_v < 9 \text{ год}$ – $E_{\text{доп}} = 60\sqrt{t_v}$.

Захист від статичної електрики та її небезпечних проявів досягається трьома основними способами:

- запобіганням виникнення та накопичення статичної електрики,
 - прискоренням стікання електростатичних зарядів,
- нейтралізацією електростатичних зарядів.

.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Описано та проаналізовано декілька типів двигунів, які застосовують для приведення в рух човен.
2. Представлено принципову схему пасажирського човна типу "Катамаран" з силовою фотоелектричною установкою.
3. Проведено розрахунок швидкості руху човна та необхідної потужності електродвигуна. Обрано двигун постійного струму з постійними магнітами потужністю 5,0 кВт 48 В 3000 об/хв. Він забезпечить задану робочу швидкість човна у 10 км/год.
4. Проведено оцінку загального енергоспоживання із врахуванням графіків навантаження. Встановлено, що середньорічна добова потреба в електроенергії становить 25,38 кВт·год/добу.
5. Проведено розрахунок максимального робочого струму контролера заряду акумуляторів від фотоелектричних панелей, який становить 140 А.
6. Проведено оцінку роботи системи живлення для умов: 1) часткової хмарності (фотоелектричні модулі та акумуляторна батарея), 2) повної хмарності (генератор та акумуляторна батарея) та 3) сонячного дня (фотоелектричні модулі та акумуляторна батарея).
7. Аналіз результатів моделювання в MATLAB показав, що фотоелектрична система виробляє 8,82 кВт, що майже дорівнює необхідній потужності отриманій в HOMER, з різницею лише в 12%. Її достатньо щоб запустити двигун зі швидкістю 3000 об/хв і одночасно заряджати батарею постійним струмом 25А і 49В. Через 3 години батарея буде заряджена на 80%, а через 5 годин батарея буде повністю заряджена (100%). Поки генератор працює і швидкість двигуна дорівнює 500 об/хв, він може заряджати батарею постійним струмом 25А і 49В. Драйвер двигуна реагує на задані оберти і відповідно вмикається. Контролер ТМП виробляє необхідну потужність для системи, в той час як контролер фіксованої напруги забезпечує постійну

напругу 49 В на двигуні. Контролер розряду акумулятора розряджає батарею відповідно до вимог системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тарасенко М.Г., Коваль В.П., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 50 с.
2. Коваль В. Залежність енергоефективності сонячних елементів від експлуатаційних факторів / В. Коваль // Збірник тез доповідей XVII наукової конференції ТНТУ ім. Івана Пулюя, 20-21 листопада 2013 року. — Т. : ТНТУ, 2013. — Том I : Природничі науки та інформаційні технології. — С. 53
3. Іме А.Н. Підвищення ефективності сонячних панелей шляхом використання водяного охолодження/Аях Нсікак Іме, В.П. Коваль//Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій —, 25-26 листопада 2020 року.—Т.: ТНТУ, 2020.—Том 2.— С. 80–81
4. Measuring device for photovoltaic modules electrical characteristics testing / Vadym Koval, Bogdan Orobchuk, Nataliia Kuzemko, Gao Lijin // ICAAEIT 2021, 15-17 December 2021. — Tern.: TNTU, Zhytomyr «Publishing house „Book-Druk“» LLC, 2021. — P. 14–19. — (Electrical engineering and power electronics)
5. Герега С. Збільшення ефективності використання сонячних панелей / Степан Герега, Вадим Коваль, Ярослав Філюк // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування“, 8-9 червня 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 202.
6. Vadym Koval, Bogdan Orobchuk, Nataliia Kuzemko, Gao Lijin. Measuring device for photovoltaic modules electrical characteristics testing // Proceedings

of the International Conference „Advanced applied energy and information technologies 2021», 2021

7. Філюк Я. О. Автономне живлення зовнішнього освітлення з використанням світлодіодних джерел світла / Ярослав Філюк, Вадим Коваль // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», 19–21 травня 2015 року — Т. : ТНТУ, 2015 — С. 191-192.
8. Maximum Power Point Tracking. Електронний ресурс. Дата звернення 10.03.2025. <https://www.solarquotes.com.au/inverters/mppt/>
9. Керя Ю.Б. Роль системи накопичення енергії у електроенергетичній системі //Ю.Б.Керя, В.П.Коваль /Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 груд. 2022.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 68.
10. Creation and substantiation of the matrix for model series of tubular propeller turbines for small hydropower plants / Myroslav Zin, Vadym Koval, Mykola Tarasenko, Ivan Sysak // Scientific Journal of TNTU. — Tern. : TNTU, 2023. — Vol 109. — No 1. — P. 24–31
11. Робота фотоелектричної станції на основі гібридного інвертора з різною ємністю системи накопичення електроенергії. Коваль, В., Оробчук, Б., Буняк, О., Гетманюк, В. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. 343(6(1), (2024). С. 208-214. Галузь науки: технічні (17.03.2020)
12. Гнатюк В.В. Роль систем зберігання електроенергії для енергосистеми // В.В. Гнатюк; В.І. Кузьмич; В.П.Коваль / Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій", присвячена 180-річчю з дня народження Івана Пулюя та 65-річчю з дня заснування Тернопільського національного технічного

- університету імені Івана Пулюя, 28-29 травня 2025 року – Тернопіль. ТНТУ ім.І.Пулюя, 2025. – С. 21-22.
- 13.Стельмах С.С. Енергоефективність гідроакумуючих установок малої потужності // С.С.Стельмах, В.П.Коваль /Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 груд. 2022.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 71
 - 14.Коваль В.П. Вплив ємності акумулятора на ефективність роботи фотоелектричної станції//В.П.Коваль / Інноваційні технології в світлотехніці та електроенергетиці : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 16–17 трав. 2024 р. / Нац. акад. наук вищ. освіти України, Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Нац. наук. центр «Ін-т метрології» [та ін.]. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – С. 75-77
 - 15.Малушенко А.С. Перспектива зарядки електромобілів від відновлювальних джерел енергії // А. С. Малушенко; М.Б. Горват; В. П. Коваль / Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. – С. 225.
 - 16.Коваль В.П. Фотоелектрична станція для забезпечення власних потреб // В.П. Коваль, Д.Ф.Паловці, Abul Kalam Azad / Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції, (Тернопіль, 29-31 травня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. – С .
 - 17.The Basics of Boat Design. Електронний ресурс. Дата звернення 25.03.2025. <https://www.compositesworld.com/articles/the-basics-of-boat-design>.
 - 18.Solar Charge Controller Sizing and How to Choose One. Електронний ресурс. Дата звернення 25.03.2025. <https://www.renogy.com/blog/solar-charge->

controller-sizing-and-how-to-choose-one-

/?srsltid=AfmBOopMFzO9XLfi1cwzBNN7Yai5i2NP9-ojE7Ci5JAt-I0l07uq0jeN

- 19.Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Енергозбереження». / В.П.Коваль, [Текст]. – Тернопіль: ТНТУ, 2021. – 80 с.
- 20.Коваль В.П. Автоматизована вимірювальна установка для дослідження електричних характеристик фотоелектричних модулів / В.П. Коваль, Б.Я. Оробчук, Я.М. Осадца, Л.М. Костик // Вісник Хмельницького національного університету – 2022. - №5. – С.168–173
- 21.Коваль В. П. Суміщене електропостачання від поновлювальних джерел енергії / Вадим Коваль // Матеріали IV Міжнародної науково технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп’ютерних технологій— присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця, 20-21 червня 2019 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2019. — С. 294
- 22.Коваль В. П. Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей / В. П. Коваль, Р. Р. Івасечко, К. М. Козак // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2015. – № 3. – С. 2-10
- 23.Понтус О.В. Особливості проектування та введення в експлуатацію промислової сонячної електростанції // О.В. Понтус, Р.А. Карпишин, В.П.Коваль / Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції, (Тернопіль, 29-31 травня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. – С 19-21.
- 24.González-Morán, C., Arbolea, P., Reigosa, D., Díaz, G., & Gómez-Aleixandre, J. (2009, September). Improved model of photovoltaic sources considering ambient temperature and solar irradiation. In 2009 IEEE PES/IAS Conference on Sustainable Alternative Energy (SAE) (pp. 1-6). IEEE.

25. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник/ В.Ц.Жидецький, В.С. Джигирей, О.В.Мельников. – Вид. 5-те, доповнене. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.