

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

факультет «Комп'ютерних технологій і систем»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавра

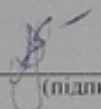
(ступінь вищої освіти)

на тему: Магнітний вплив контактної мережі на рейкові кола

за освітньою програмою Автоматика та автоматизація на транспорті

зі спеціальності: 151 Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: АТ1811



(підпис студента)

/ Ігор ДАЙЛІДЕНКО /

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:



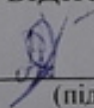
(підпис)

/ доцент Вадим ЩЕКА /

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент



(підпис)

Дніпро – 2022__ рік

**Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies**

Computer technology and systems
(faculty)

Automation and telecommunications
(department)

**Explanatory Note
to Master's Thesis
first (bachelor's)**
(higher education degree)

on the topic: Investigation of operating modes of the voltage converter for the backup
battery_____

according to educational curriculum "Automation and automation in transport"

in the Speciality: **151 "Automation and computer-integrated technologies"**
(speciality and its code)

Done by the student of the group:

Nikita Dulenko

(name, surname)

Scientific Supervisor:

Head of Department

Volodymyr Havryliuk o

(position, name, surname)

Dnipro – 2022

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Комп'ютерних технологій і систем

Кафедра: Автоматики та телекомунікації

Рівень вищої освіти: Перший(бакалаврський)

Освітня програма: Автоматика та автоматизація на транспорті

Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

(підпис)

Володимир Гаврилюк _
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Дата _____

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу

Бакалавра

(ступінь вищої освіти)

студенту Сиваченко Михайлу Володимировичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Дослідження режимів роботи перетворювача напруги для акумуляторної батареї резервного живлення

Керівник роботи: Гаврилюк Володимир Ілліч, д.ф.-м.н., професор

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від

"___" ___ 202_ р. № ___

2. Строк подання студентом роботи: 29.05.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: Схема ДБЖ, параметри літій-іонних акумуляторів

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

4.1 Аналітична частина: Аналітичний огляд літератури за темою роботи

4.2 Основна частина: Джерела безперебійного живлення

4.3. Дослідження режимів роботи перетворювача напруги для акумуляторної батареї резервного живлення на моделі

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	1 розділ	28.02	
2	2 розділ	18.04	
3	3 розділ	29.05	
4	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	10.06	
5	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	23.06	

Студент

(підпис)

Нікіта ДУЛЕНКО

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Володимир Гаврилюк

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

ЗМІСТ

1. ВСТУП

2. АНАЛІЗ СТАНУ РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У СВІТІ

- Аналіз розвитку відновлюваних джерел
- Сонячні фотоелектричні модулі
- Фотоелектричні елементи та їх види
- Порівняльні характеристики сонячних панелей
- Вплив температури навколишнього середовища на характеристики сонячної батареї
- Висновки за розділом

3. ОБЛАДНАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

- Загальна структура сонячних електростанцій
- Вибір оптимального кута нахилу сонячної панелі
- Висновки за розділом

4. Перелік літератури

ВСТУП

Без перебільшення можна сказати, що історія розвитку суспільства і історія енергетики тісно взаємозв'язані, причому першими джерелами енергії для перетворювальної діяльності людини були саме поновлювані джерела - енергії м'язової сили тварин, вітер, річки, припливи. Потім у хід пішли запаси викопного палива та зокрема ядерне паливо. Постійно зростаючі потреби в енергії так чи інакше задовольнялися за рахунок залучення нових ресурсів, удосконалення технології переробки палива, вдосконалення споживання. І ось тут, коли здавалося, що перспективи традиційної енергетики на викопному паливі (саме воно нині є основним джерелом енергії) досить стійкі, у наростаючому темпі стали проявлятися пов'язані з нею негативні ефекти: теплове, хімічне, радіоактивне забруднення середовища у поєднанні зі швидким зменшенням легкодоступних запасів палива, особливо нафти, газу, високоякісного вугілля.

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ.

В даний час, у зв'язку з використанням відновлюваних джерел енергії, широкомасштабне поширення набувають системи генерування електроенергії, до яких належать системи у складі вітроенергетичних установок (ВЕУ), гідроенергетичних установок (ГЕУ) та системи генерування на базі напівпровідникових перетворювачів, у яких як первинне джерело живлення виступають сонячні фотоелектричні модулі (СФМ). За даними міжнародного енергетичного агенства (International Energy Agency – IEA) за 2020 рік у світі сукупна потужність, що виробляється гідроенергетичними установками становила близько 1200 ГВт, вітроенергетичними установками - порядку 466 ГВт та сонячно фотоелектричними установками - понад 300 ГВт. А вже до кінця 2021 року потужність сонячно фотоелектричних модулів досягла порядку 400 ГВт. Також за даними цього агенства до 98% систем за потужністю працюють на електричну мережу. ВЕУ і ГЕУ передбачають у своєму складі наявність великої кількості механічних пристроїв, крім того, що існує необхідність установки додаткових узлов і агрегатів, які дозволяють узгоджувати окремі елементи цих систем генерування. До таких пристроїв, вузлів і агрегатів можна віднести електричні машини, редуктори, підшипники, муфти, шестерні, лопасті /лопатки і та інш. Механічні пристрої вимагають постійного контролю стану і підлягають обов'язковому періодичному сервісному обслуговуванню. Використання таких систем генерування, у зв'язку з наявністю відзначених вище характерних особливостей збільшує витрати на амортизацію і підвищує вартість технічного обслуговування в час експлуатації. До того ж слід зазначити, що розміщення вказаних систем генерування вимагає відповідного визначення географічних районів, де вони можуть бути встановлені, і маються необхідні енергоресурси, забезпечуючі їх

функціонування. В деяких випадках географічні райони можуть не співпадати з розташуванням споживачів електричної енергії, і необхідне створення і прокладка відповідної інфраструктури, зокрема, будівництва ліній електропередач, розгалужуючих станцій, що відобразиться на втратах електричної енергії, пов'язаних з її транспортуванням. Також дані системи генерування наносять шкоду екологічній обстановці, створюючи акустичні та механічні коливання, які можуть пагубно відражатися на біо- і екосистемах. Системи генерування на базі сонечних фотоелектричних модулів є найшвидкорозвиненим типом систем генерування з використанням відновлюваних джерел енергії.

Наприклад, щорічні темпи зростання виробництва електричної енергії системи генерування на базі сонечних фотоелектричних модулів з 1990 по 2020 р.р. становлять 43,3% (Рисунок 1). Це найвищі показники росту виробництва електричної енергії серед усіх видів систем генерування, з використанням відновлюваних джерел енергії.

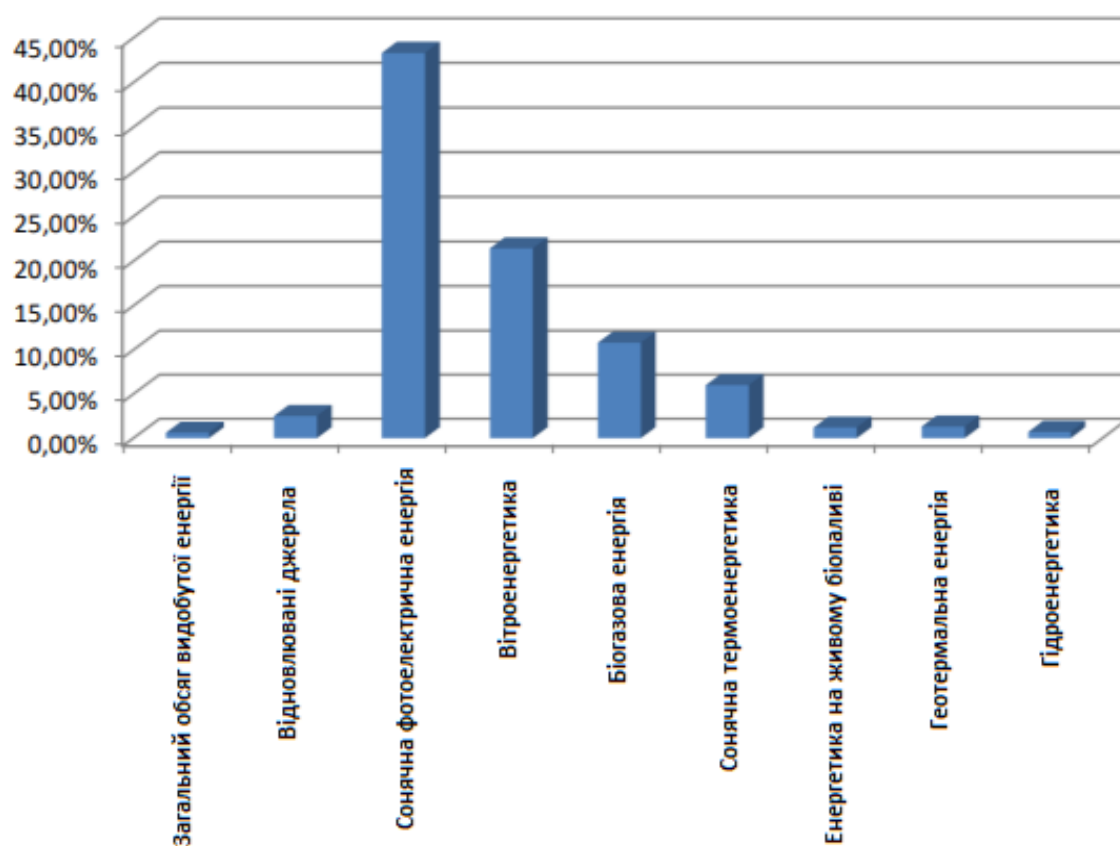


Рисунок 1 – Темпи зростання виробництва електричної енергії системами генерування, з використанням відновлюваних джерел енергії з 1990 по 2020 рік.

1. АНАЛІЗ СТАНУ РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У СВІТІ

1.1. Сонячні фотоелектричні модулі

Як первинне джерело електроживлення в сонячному фотоелектричному модулі використовуються фотоелектричні модулі, які перетворюють енергію падаючого сонячного випромінювання в електричний струм. Існуючі на сьогоднішній день на ринку електронних пристроїв максимально поширені сонячні фотоелектричні модулі можна умовно поділити на такі типи: кремнієві та плівкові (Рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Типи сонячних фотоелектричних модулів

Кремнієві сонячні фотоелектричні модулі діляться на монокристалічні, полікристалічні та аморфні.

Монокристалічні сонячні фотоелектричні модулі виготовляють із кремнію з мінімальним вмістом домішок, ККД монокристалічного сонячного фотоелектричного модуля близько 17 – 22%. Крім того, цей тип сонячного фотоелектричного модуля має додатково ряд недоліків пов'язаних з токсичністю виробництва та наявністю великої кількості токсичних відходів.

Технологія виготовлення полікристалічних сонячних фотоелектричних модулів (у порівнянні з монокристалічними модулями) менш енерговитратна, а, отже, економічніша. ККД полікристалічного сонячного фотоелектричного

модуля близько 12 – 18 %. Причина зниження ККД порівняно з монокристалічними СФМ полягає в утворенні всередині полікристалу області із зернистими межами, які призводять до зменшення ефективності елементів.

Монокристалічні та полікристалічні СФМ займають до 90% ринку сонячних модулів і ділять його між собою у пропорції 2/3 і 1/3. Цінові показники монокристалічних модулів, як правило, вище порівняно з полікристалічними.

Плівкові сонячно фотоелектричні модулі виготовляються з різних матеріалів, які наносять тонким шаром на підкладку. ККД плівкового сонячного фотоелектричного модуля порядку 5 - 20%. До переваг цього типу сонячно фотоелектричних модулів слід віднести наступні: збільшення показника оптичного поглинання (приблизно у 20 разіву порівнянні з полікристалічними та монокристалічними СФМ), товщина елементів порядку 1 мкм, збільшення межі міцності (зміни вигину). Полімерні сонячно фотоелектричні модулі в якості світлопоглинаючих матеріалів використовують органічні напівпровідники, такі як поліфенілен, вуглецеві фулерени, фталоціанін міді та інші. Товщина плівок складає 100 нм.

Полімерні сонячні фотоелектричні модулі мають ККД близько 5 – 6 %, однак, до переваг цього типу СФМ слід віднести такі показники: низька вартість виробництва, доступність сировини для виробництва, відносно високі показники межі міцності.

У таблиці 1.1 представлені типи СФМ та їх ККД.

Таблиця 1.1 - ККД сонячних фотоелектричних модулів

Тип сонячного фотоелектричного модуля	ККД, %
Монокристалічні СФМ	17 – 22
Полікристалічні СФМ	12 – 18
Аморфні СФМ	5 – 6
СФМ на базі CdTe	10 – 12

СФМ на базі CuInSe_2	15 – 20
Полімерні СФМ	5 – 6

Тип сонячного фотоелектричного модуля визначається технічними вимогами та обмеженнями, що формуються виходячи з умов експлуатації та монтажу сонячно фотоелектричних модулів. До них в силу особливостей експлуатації у різних режимах пред'являється ряд основних вимог, таких як енергетична ефективність (ККД), мінімізація масогабаритних показників, підвищення терміну служби та інш. З цього погляду, найкраще підходять монокристалічні фотоелектричні модулі, водночас негативною рисою даних сонячних фотоелектричних модулів є їх цінові показники.

1.2. Фотоелектричні елементи та їх види

Фотоелектричні елементи (Сонячні батареї (СБ)) є об'єднанням безлічі фотоелектричних перетворювачів (сонячних елементів), зафіксованих на жорсткій або гнучкій підкладці. Кожен фотоелемент батареї складається з двох пластин кремнію з струмовідвідними мідними смужками. У місці дотику пластини мають найтонше покриття: одна – борне, інша – фосфорне. Під дією фотонів сонячного світла у фотоелементі з'являються області з надлишком та недоліком (так звані «дірки») електронів. На стику пластин, у місці напівпровідникового р-п переходу, виникає електрогенеруючий ефект. Далі електричний струм по мідних смужках надходить до перетворювачів напруги (Рисунок 1.2)

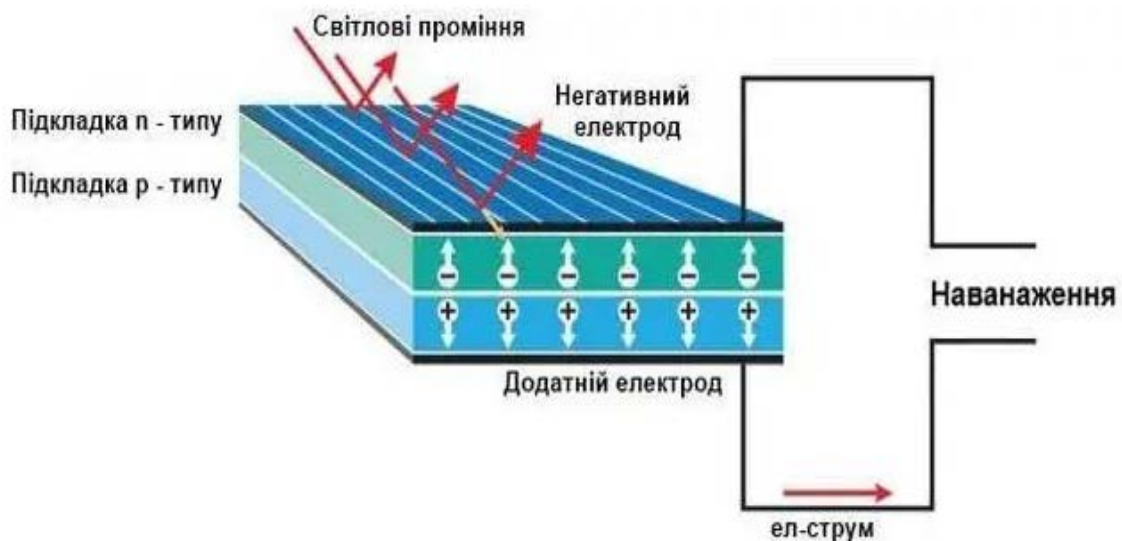


Рисунок 1.2 – Принцип роботи сонячного елемента

На продуктивність сонячних батарей багато в чому впливає орієнтація кристалів та чистота кремнію. Останні десятиріччя розробники б'ються над покращенням цих параметрів, здешевленням виробництва очищеного, однорідного силіціюму. В якості напівпровідникового матеріалу може виступати не лише кремній, але принцип роботи сонячних батарей залишається тим самим.

1.3. Порівняльні характеристики сонячних батарей

На основі відомих введено розширені матричні (табличні) характеристики сонячних батарей, що дозволяють обґрунтовано, на основі статистичного аналізу, вибрати типи сонячних батарей. У першу групу фотоелектричних перетворювачів входять кристалічні сонячні батареї, в другу - тонкоплівкові сонячні батареї. Виробництво структур на основі монокристалічного кремнію – процес технологічно складний та дорогий. Тому увага була звернена на такі матеріали, як сплави на основі аморфного кремнію a-Si:H, арсенід галію та полікристалічні напівпровідники. Тонкоплівкові сонячні елементи (СЕ) можуть складатися з декількох тонких шарів

фотоелектричних матеріалів. Діапазон товщини таких шарів від кількох нанометрів до десятків мікрометрів. Тонкоплівкові сонячні елементи бувають різних видів: їх виробляють з урахуванням 1. кремнію (TF-Si) 2. телурида кадмію (CdTe) 3. з'єднання міді з індієм та селенідом галію (CuInGaS) 4. діоксиду титану (TiO₂).

На рис.1.3, у табл. 1.2 та на рис.1.4 наведені вольт-амперні характеристики (ВАХ) різних сонячних елементів в одному масштабі.

$U_{CE}(V)$

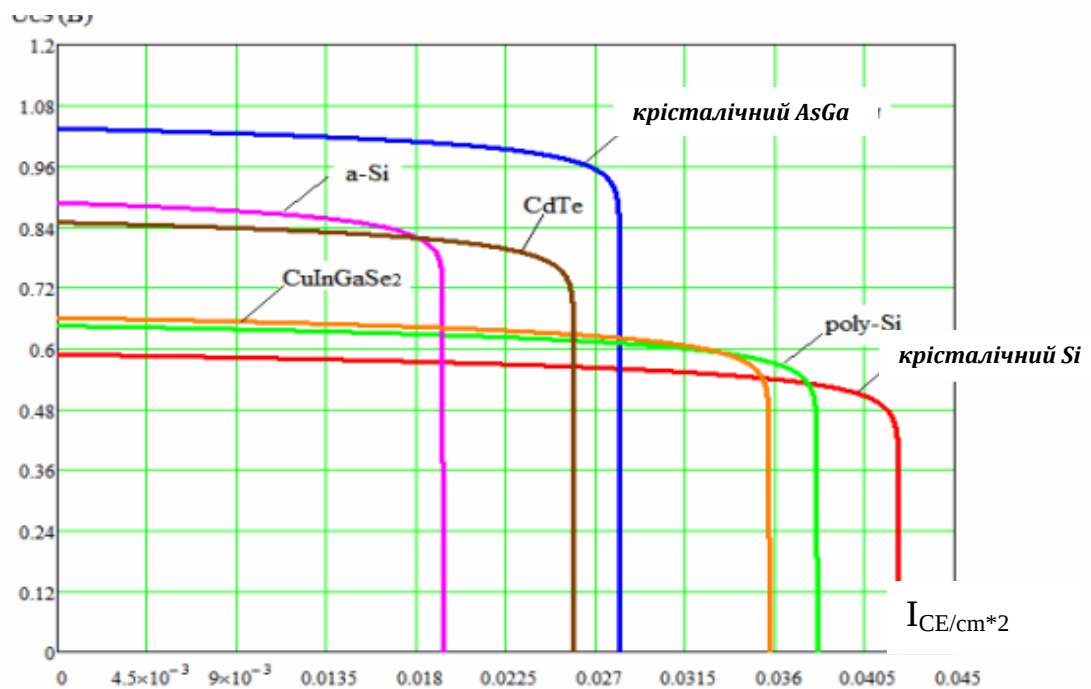


Рисунок 1.3 - Вольт-амперні характеристики для різних типів СБ

Таблиця 1.2 Вольт-амперні характеристики для різних типів СБ

Тип СБ	$I_{K3}(\text{мА/см}^2)$	$U_{XX}(V)$	$I_{ОПТ}(\text{мА/см}^2)$	$U_{ОПТ}(V)$	$P_{МАХ}(\text{мВт/см}^2)$	$Z(K3)$	$\eta(\%)$
C-Si	42,2	0,672	40,4	0,59	23,85	0,842	24
AsGa	28,2	1,034	27,422	0,942	25,826	0,886	26
poly-Si	38,1	0,644	36,409	0,564	20,54	0,837	20,5
a-Si	19,4	0,723	18,619	0,64	11,916	0,85	11,9

CuInGaSe2	35,7	0,66	34,120	0,58	19,791	0,84	19
CdTe	25,9	0,726	24,882	0,643	15,995	0,851	16

У таблиці 1.2: $I_{кз}$ - питомий струм короткого замикання, $U_{хх}$ - напруга холостого ходу, $I_{опт}$ - питомий оптимальний струм, $U_{опт}$ - оптимальна напруга, P_{max} - питома максимальна потужність, ζ - коефіцієнт заповнення, η - ККД в точці максимальної потужності.

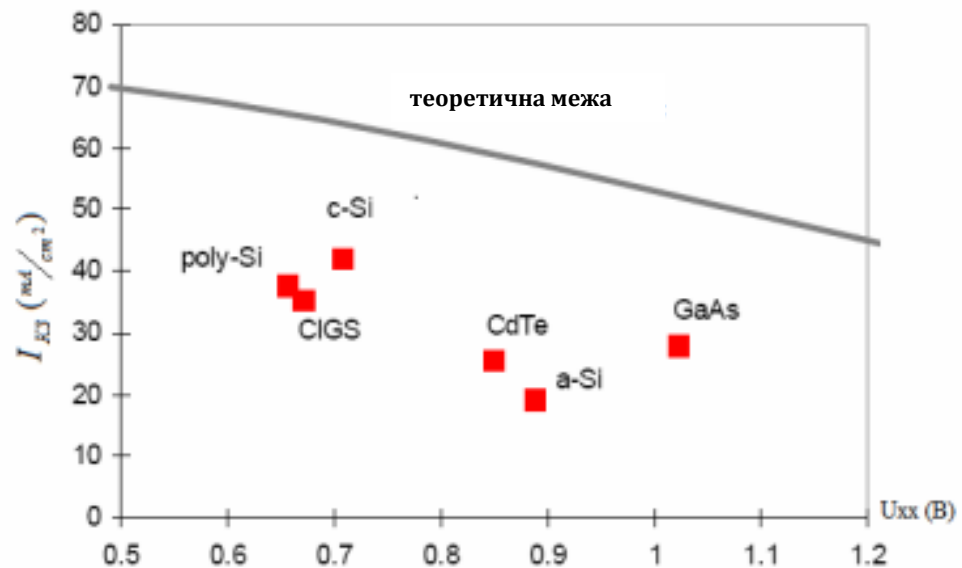


Рисунок 1.4 - Теоретична межа для питомого струму короткого замикання сонячного елемента

З даних табл. 1.2 слід, що найбільший ККД мають два типи СБ: C-Si та AsGa. AsGa дорожчий за C-Si, виготовляється за спеціальним замовленням, тому для ФЕУ обрана кристалічна C-Si СБ. Коефіцієнт заповнення - відношення максимальної потужності до твору струму короткого замикання на напруга холостого ходу сонячного елемента (СЕ) Це є ключовим параметром оцінки ефективності роботи сонячних батарей. Типові комерційні сонячні

батареї мають коефіцієнт заповнення $> 0,70$, тоді як сонячні батареї дешевого класу В мають коефіцієнт заповнення в діапазон від 0,4 до 0,7. Сонячна батарея із високим коефіцієнтом заповнення має менше втрат через послідовні та паралельні опори. На малюнку 6 показана залежність вихідного струму та потужності СЕ від напруги.

На малюнку 1.5 побудовано характеристику потужності СЕ $P=I_{CE} \cdot U_{CE}$, що генерується при зміні вихідної напруги від U_{XX} до нуля. З цієї характеристики видно, що є лише одна точка С, в якій буде максимальна генерована потужність із найбільшим значенням P_{max} (точка 3). Ця точка називається оптимальною робочою точкою ВАХ СЕ, а напруга та струм у цій точці – відповідно оптимальною напругою $U_{ОПТ}$ та оптимальним струмом $I_{ОПТ}$. При проектуванні автономної ФЕУ намагаються забезпечити роботу СБ у цій точці.

$$\zeta = \frac{I_{ОПТ} \cdot U_{ОПТ}}{I_{КЗ} \cdot U_{XX}} = \frac{\text{площа}(A)}{\text{площа}(B)} = K_i \cdot K_u \quad (1.1)$$

$$\text{Де} \quad K_i = \frac{I_{ОПТ}}{I_{КЗ}}, \quad K_u = \frac{U_{ОПТ}}{U_{XX}},$$

Для AsGa СБ відносне значення оптимального струму та напруги коефіцієнта заповнення $\zeta = 0,75 \div 0,89$.

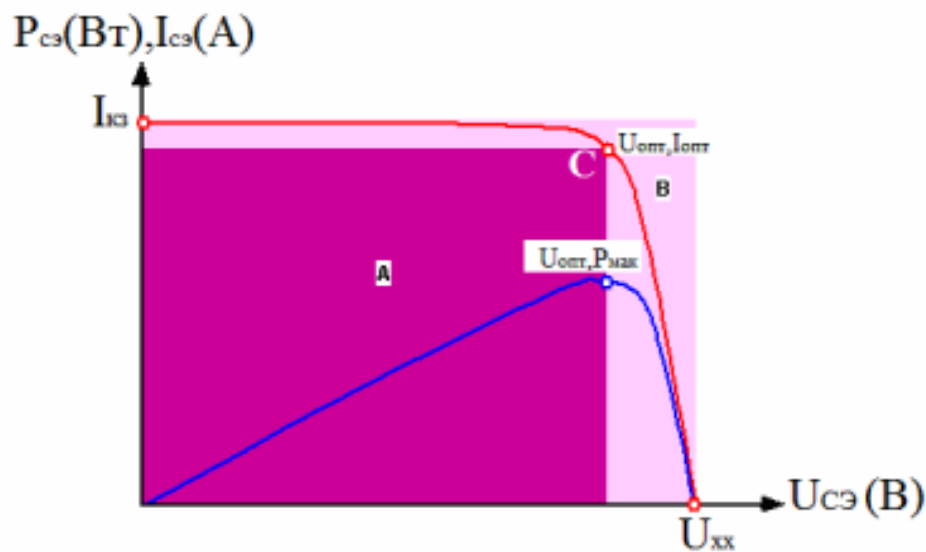


Рисунок 1.5 - Вольт-амперна характеристика та потужність СЕ

Для обраної C-Si СБ $\text{СБ} = 0,8 \div 0,84$, що враховується в подальшому. ККД визначається як відношення потужності, що виробляється СЕ, до потужності падаючого сонячного випромінювання. ККД СЕ залежить від спектру, інтенсивності падаючого сонячного випромінювання та температури СЕ.

Для порівняння двох СЕ потрібно їх випробувати за прийнятих стандартних умов. Наземні СЕ випробовуються при повітряній масі АМ1.5 та температурі 25°C , тобто у середніх широтах при висоті Сонця $41^{\circ}49'$. СЕ, призначені для використання в космосі, вимірюються при повітряній масі АМ0, тобто. у навколоземному космічному просторі. Зазвичай енергетичні характеристики СБ визначаються за номінальною умовою освітлення ($P_c = 1000 \text{ W/m}^2$). Ефективність панелі, як правило, на $1 \div 3\%$ нижча, ніж ефективність сонячного елемента за рахунок відображення скла, рами, затінення, вищих температур тощо.

$$\text{ККД}(\%) = \frac{U_{xx} * I_{k3} * \zeta}{P_c} \quad (1.2)$$

Для різних типів СБ ККД наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 ККД різних типів СБ

Тип СБ	Коефіцієнт корисної дії
<i>Кремнієві</i>	
Si (кристалічний)	24,7
Si (полікристалічний)	20,3
Si (тонкоплівкова передача)	16,6
Si (тонкоплівковий субмодуль)	10,4
<i>Арсенід-галієві</i>	
GaAs (кристалічний)	25,1
GaAs (тонкоплівковий)	24,5
GaAs (полікристалічний)	18,2
<i>Тонкі плівки халькогенідів</i>	
CIGS (фотоелемент)	19,9
CIGS (субмодуль)	16,6
CdTe (фотоелемент)	16,5
<i>Аморфний/Нанокристалічний кремній</i>	
Si (аморфний)	9,5
Si (нанокристалічний)	10,1
<i>Фотохімічні</i>	
На базі органічних барвників	10,4
На базі органічних (субмодуль)	7,9
<i>Органічні</i>	
Органічний полімер	5,15
<i>Багатошарові</i>	
GaInP/GaAs/Ge	32
GaInP/GaAs	30,3
GaAs/CIS (тонкоплівковий)	25,8
a-Si/mc-Si (тонкий субмодуль)	11,7

Різноманітність розроблених типів СБ дозволяє вибрати СБ найбільше, відповідний умов за критерієм: вартість, термін служби, ККД, доступність.

1.4. Вплив температури навколишнього середовища на характеристики сонячної батареї

Основною особливістю СБ при робочому режимі є сильна залежність електричної потужності від зовнішніх умов, температури та інтенсивності фотоструму I_{Φ} . Струм I_{CE} СЕ лінійно залежить від інтенсивності світлового потоку,

$$I_{CE} = I_{\Phi} - I_{\phi} (e^{\frac{qU_{CE}}{kT}} - 1) \quad (1.3)$$

Де: I_{Φ} - світлового струму, I_{ϕ} - струм насичення, q – заряд електрона ($q=1,60217646 \cdot 10^{-19} \text{C}$), k – постійна Больцмана ($k=1,3806503 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$), T - абсолютна температура, $^{\circ}\text{K}$.

Відповідно до [14] напруга СЕ U_{CE} при кімнатній температурі $T = 293 \text{ }^{\circ}\text{K}$ зростає за логарифмічним законом із збільшенням інтенсивності фотоструму I_{Φ} . Вольт-амперну характеристику СБ можна побудувати із формули (1.3).

$$U_{CE} = \frac{k * T}{q} * \ln \left(\frac{I_{\Phi} - I_{CE}}{I_{\phi}} \right) + 1 \quad (1.4)$$

Рівняння (1.4) показує, що напруга СЕ залежить від фотоструму, струму насичення та температури. Струм насичення I_{ϕ} залежить від носіїв заряду рекомбінації в СЕ. Для високоякісного кристалічного СЕ на основі кремнію напруга холостого ходу U_{XX} досягає 730 мВ, а для типового комерційного СЕ на основі кремнію полікристалічного в мультипрозорому корпусі типово значення 600мВ . Напруга холостого ходу використовується нижче під час створення моделі СЕ. Представимо фотострум СБ I_{Φ} залежно від температури та освітленості наступним чином:

$$I_{\Phi} = (I_{\Phi M} + K_i * \Delta T) * \frac{G}{G_H} \quad (1.5)$$

де: $\Delta T = T - T_H$, T – поточна температура, T_H – номінальна температура 25°C, K_i – температурний коефіцієнт струму, G – поточне освітлення від Сонця. G_H – номінальне освітлення $P_C = 1000 \text{ Вт/м}^2$, $I_{\Phi, H}$ – номінальний фотострум при температурі 25°C і при G_H . Відповідно до можна розрахувати діодний струм СБ I_{∂} в залежності від температури;

$$I_{\partial} = I_{\partial, H} * \left(\frac{T_H}{T}\right)^3 \exp\left[\frac{q * \Delta W}{a * K} * \left(\frac{1}{T_H} - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (1.6)$$

де: $\Delta W = 2,1 \text{ еВ}$ – енергія, що відповідає ширині забороненої зони, a – параметр, що забезпечує узгодження з реальними характеристиками СБ і дорівнює 1.3 [13]. $I_{\partial, H}$ – номінальний діодний струм:

$$I_{\partial, H} = \frac{I_{k3, \text{СБ}, H}}{\exp\left(\frac{U_{xx, \text{СБ}, H}}{a V_{t, H}}\right) - 1} \quad (1.7)$$

У формулі 1.7 позначено: $U_{xx, \text{СБ}, H}$ – напруга холостого ходу при стандартних умовах (при 1000 Вт/м^2 та 25°C), температурний потенціал $V_{t, H}$; $V_{t, H} = \frac{Ns * k * T}{q}$. У якому параметри k , T та q позначені вище, а Ns – кількість послідовно з'єднаних СЕ модулів.

Напруга холостого ходу кремнієвого елемента лінійно залежить від температури відповідно до [14].

$$\Delta U_{xx} / \Delta T = 2,8 * 10^{-3} \text{ В/}^{\circ}\text{C} \quad (1.8)$$

Це відповідає зменшенню напруги холостого ходу на 5,0 % зі збільшенням температури на 1°C. Струм короткого замикання I_{k3} кремневого елемента менше залежить від температури, він зростає на $(1,5 \div 3) * 10^{-5} \text{ А}$ при збільшенні

температури на 1°C , тому залежність вихідної потужності від температури в основному визначається залежністю напруги U_{xx} від температури.

Температурні коефіцієнти струму $K_i = (\frac{dI_{K3}}{dT})$ та напруги холостого ходу $K_u = (\frac{dU_{xx}}{dT})$ залежать від багатьох факторів, наприклад, від матеріалу, з якого виготовлений елемент СБ, від конструкції сонячного елемента та технології виготовлення. Усереднені значення температурних коефіцієнтів згідно з [14] наступні:

для Si елементів:

$$\begin{aligned} (dU_{xx}/dT)/U_{xx}(60^{\circ}\text{C}) &= -0,005/^{\circ}\text{C}; \\ (dI_{K3}/dT)/I_{K3}(60^{\circ}\text{C}) &= 0,001 \div 0,002/^{\circ}\text{C}; \end{aligned} \quad (1.9)$$

для AsGa елементів:

$$\begin{aligned} (dU_{xx}/dT)/U_{xx}(75^{\circ}\text{C}) &= -0,0019/^{\circ}\text{C}; \\ (dI_{K3}/dT)/I_{K3}(60^{\circ}\text{C}) &= 0,0016/^{\circ}\text{C}. \end{aligned} \quad (1.10)$$

На рисунку 1.6 та в таблиці 1.4 представлені ВАХ для двох типів СБ (С-Si, AsGa) в залежності від температури навколишнього середовища відповідно до рівнянь (1.9 та 1.10). Побудовані ВАХ за різних температур від -60°C до $+60^{\circ}\text{C}$. Для елементів Si вплив температури сильніше позначається на напрузі холостого ходу U_{xx} чим на струмі I_{K3} ; для GaAs елементів температурні коефіцієнти приблизно рівні. Насправді часто використовується такий вираз [16,45]:

$$U_{xx, \text{Модуль}} = K_i \left(\frac{\text{В}}{^{\circ}\text{C}} \right) * [T_n(^{\circ}\text{C}) - T(^{\circ}\text{C})] + U_{xx, \text{СБ, н}} (\text{В}) \quad (1.11)$$

де $U_{xx, \text{Модуль}}$ - напруга холостого ходу за даної температури.

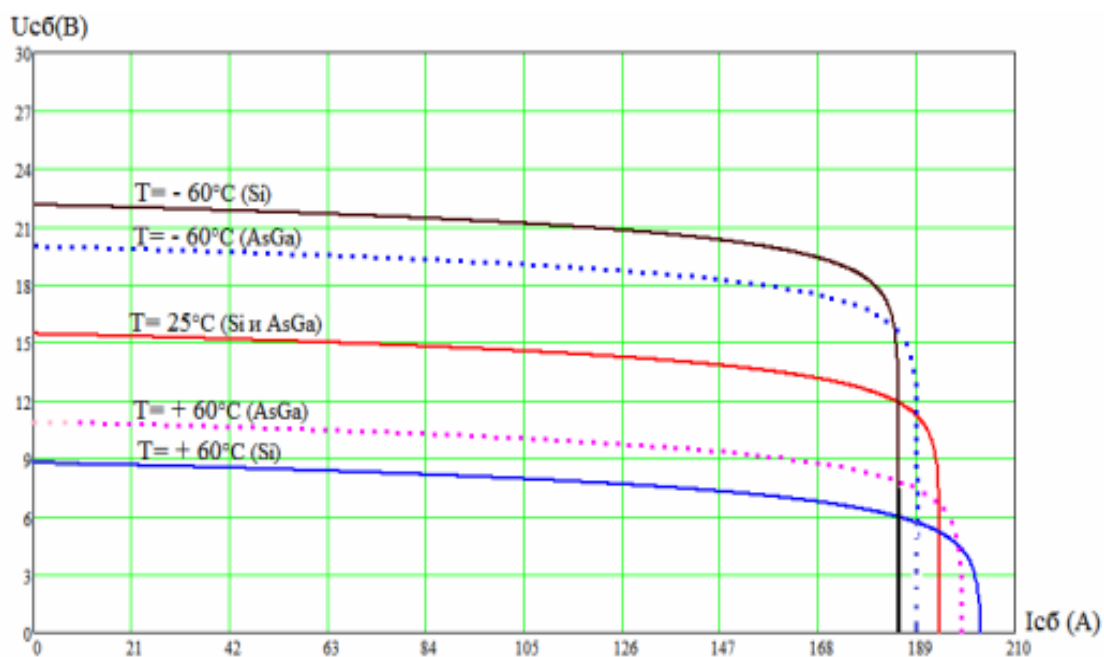


Рисунок 1.6. Вплив температури на вольт-амперні характеристики СБ

Результати розрахунку параметрів СБ за зміни температури навколишнього середовища

Таблиця 1.4

Тип СБ	Температура СБ, $T_{CB}(^{\circ}C)$	Напруга холостого ходу, $U_{xx}(B)$	Струм короткого замикання $I_{kз}(A)$	Напруга в точці максимальної потужності, $U_{опт}(B)$	Струм у точці максимальної потужності $I_{опт}$	Потужність у точці $U_{опт}$ та $I_{опт}$, $P_{CB,мак}(кВт)$
Si	-60	22,2	184,6	19,3	175,4	3,39
AsGa	-60	19,9	189,2	17,6	172,1	3,03
Si	25	15,4	193,5	13,5	183,8	2,47
AsGa	25	15,4	193,5	13,5	183,8	2,47
Si	60	8,72	202,2	7,58	192,1	1,46
AsGa	60	10,9	198,7	9,64	180,8	1,73

При зміні температури від $+60^{\circ}C$ до $-60^{\circ}C$ напруга C-Si СБ збільшується в 2,54 рази, що призводить до збільшення потужності в $1,75 \div 2,3$ рази. Це є підставою для ширшого використання ФЕУ у гірських районах М'янми. Розрахунок ВАХ СБ може бути проведений за формулами (1.4 ÷ 1.11).

1.5. Висновки розділу

1. Проведено аналіз розвитку відновлювальних джерел енергії.
2. Розглянуті основні типи фотоелектричних модулів, проведена їх порівняльна характеристика з точки зору їх ККД, технології виготовлення, доступності на ринку та цінової політики.
3. Розглянуті типи сонячних батарей та проведені розрахунки вольт-амперних характеристик СБ в залежності від зміни температури.

2-ОБЛАДНАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

2.1. Загальна структура сонячних електростанцій

Сонячні фотоелектричні станції (СЕС, ФЕС, PV farms або PV plants) -це один із видів електростанцій, що генерує електрику шляхом безпосереднього перетворення енергії сонячного випромінювання у електроенергію. Для надійного забезпечення споживача електрикою з використанням сонячної енергії до складу ФЕС, крім сонячних батарей, входить ряд додаткових елементів, склад яких багато в чому залежить від типу та призначення сонячної електростанції.

Розрізняють два основні типи сонячних фотоелектричних систем:

- автономні системи;
- системи, що працюють паралельно із мережею.

Автономна ФЕС, крім сонячних панелей, зазвичай містить акумуляторні батареї (АБ) і контролер заряду-розряду. При необхідності для електропостачання споживачам, що вимагають стандартної напруги 220/380В змінного струму, до складу ФЕС необхідно увімкнути інвертор. Інвертор - перетворювач напруги - пристрій, який перетворює постійний струм у змінний струм із заданими параметрами (напруга, частота). Крім того, як інтелектуальна система, він контролює та керує роботою всієї енергетичної системи.

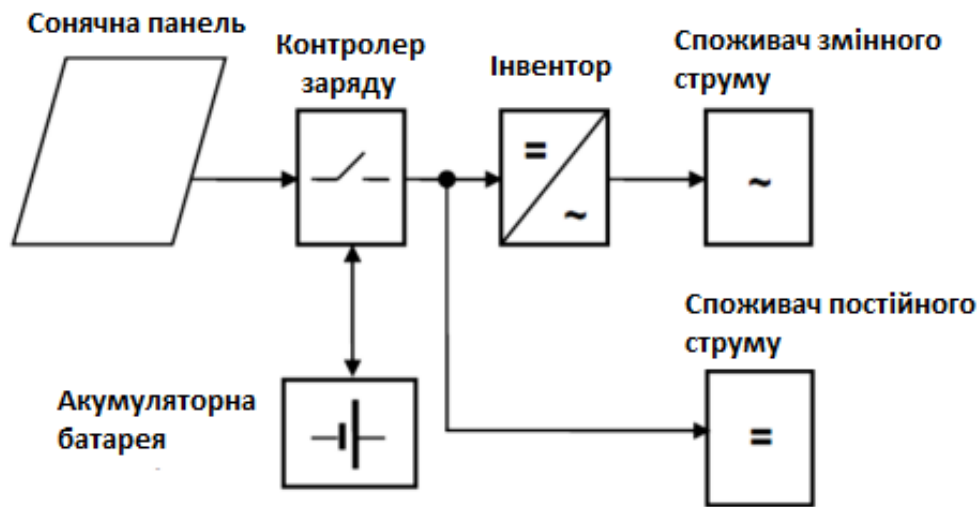


Рисунок 2.1. Автономна фотоелектрична система електропостачання

Параметри елементів ФЕС (тип та кількість СБ, ємність АБ, потужність інвертора), а відповідно і її вартість, залежать від багатьох факторів: складу електричного навантаження та середньодобового електроспоживання, характеру роботи ФЕС (сезонний або цілорічний), середньомісячного приходу сонячної радіації та числа послідовних днів без сонця у місці встановлення фотоелектричних модулів, системи орієнтації сонячних панелей на Сонці та деяких інших факторів. Оскільки СБ здатні виробляти електроенергію лише у світлий час доби, величина їх встановленої потужності має вибиратися з розрахунком на те, що запасеної за день енергії вистачить на гарантоване забезпечення споживачів протягом доби. Це призводить до необхідності значно збільшувати встановлену потужність СБ та ємність акумуляторів. Очевидним недоліком автономних ФЕС є втрата надлишків енергії у режимах мінімальних навантажень. У більшості стандартних автономних фотоелектричних систем сонячна батарея просто вимикається, коли акумулятори повністю заряджені. Можна використовувати надлишки енергії на баластних опорах для підігріву води або повітря, що дозволяє дещо підвищити ефективність корисного використання енергії, що генерується, проте проблема повністю не вирішується.

Серйозним недоліком автономних ФЕС є необхідність використання акумуляторних батарей, що працюють у циклічному режимі. Число робочих циклів поширених кислотно-свинцевих акумуляторів невелико (1500-2000), що потребує їх частої заміни. Застосування промислових акумуляторів з великим терміном служби, наприклад нікель-кадмієвих або літій-іонних, вимагає значного збільшення фінансових вливань на побудову енергетичної системи. Крім того, необхідно враховувати, що в акумуляторах також мають місце втрати енергії. У кращому випадку ефективність процесів заряду-розряду акумуляторів становить 90%, і вона погіршується у міру їхнього старіння.

Використання ФЕС за наявності мережі дозволяє уникнути багатьох, якщо не всіх, недоліків автономних систем. По суті, мережа є великим акумулятором зі 100% ККД, який може прийняти всі надлишки енергії. Структурна схема мережевої фотоелектричної електростанції наведено на рисунку 2.2.

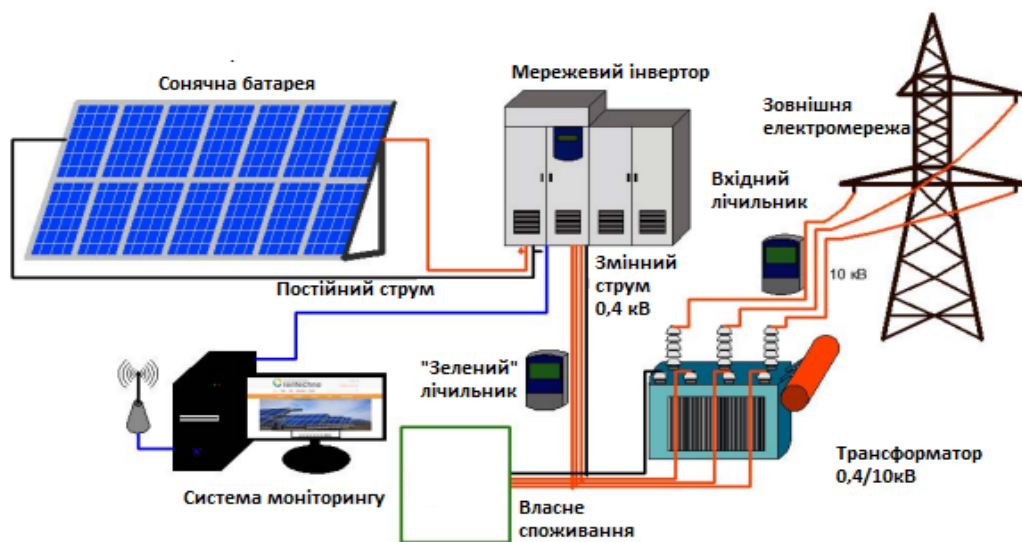


Рисунок 2.2. Структурна схема мережевої фотоелектричної електростанції

До складу мережевої фотоелектричної системи, крім сонячних батарей, також зазвичай входять:

- мережні інвертори, що перетворюють постійний струм (DC), що генерується сонячними панелями, змінний (AC);
- контролери максимального відбору потужності із сонячних батарей;
- система моніторингу, що дозволяє відстежувати параметри робочого режиму сонячної електростанції;
- централізована мережа – лінія електропередач, до якої приєднана електростанція;
- власні споживачі електроенергії (промислові або побутові електроприлади).

У свою чергу, мережеві ФЕС за способом побудови поділяються на два основні типи:

- без акумуляторних батарей;
- з акумуляторними батареями.

На практиці найбільшого поширення набули фотоелектричні системи без акумуляторних батарей. Безакумуляторні ФЕС дуже надійні та практично не вимагають обслуговування. Крім того, вони мають максимальну ефективність використання енергії від сонячних батарей – від 90 до 98%. У таких системах застосовуються спеціальні інвертори, введені мережею, які використовують мережу формування опорної напруги для їх запуску та синхронізації. Недоліком таких систем є припинення живлення споживачів у разі відключення центральної мережі. Так як мережеві інвертори виробляють напругу, ідентичну мережному, то при його втраті інвертор перестає працювати. Припинення генерації мережевих інверторів при зникненні напруги в мережі пов'язане також із забезпеченням безпеки під час проведення ремонтних робіт (необхідно забезпечити відсутність напруги на лінії, якщо подача напруги відключена електриком на підстанції). При ненадійній електричній мережі застосовують ФЕС з акумуляторними батареями, які є набагато складнішими, але дозволяють

створювати системи безперебійного електропостачання споживачів. Потужність інвертора в таких системах визначається за сумарною потужності навантаження, яке потрібно живити під час аварій у мережі, відстань аварій визначає ємність АБ і встановлену потужність сонячної батареї. Для забезпечення максимально ефективної роботи акумуляторна фотоелектрична система, з'єднана з мережею, вимагає використання спеціалізованого автономного (батарейного) інвертора.

Можливі 3 варіанти побудови таких систем:

1. Сонячні батареї заряджають АБ через контролер заряду, а потім енергія через інвертор передається у навантаження чи мережу.
2. Сонячні батареї працюють на мережевий фотоелектричний інвертор, від якого живиться навантаження, надлишки енергії йдуть на заряд акумуляторів, і якщо АБ заряджені, то прямують до мережі.
3. Гібридна система, що включає елементи обох перерахованих вище типів.

Структурну схему мережевої фотоелектричної системи з контролером заряду наведено на рисунку 2.3.

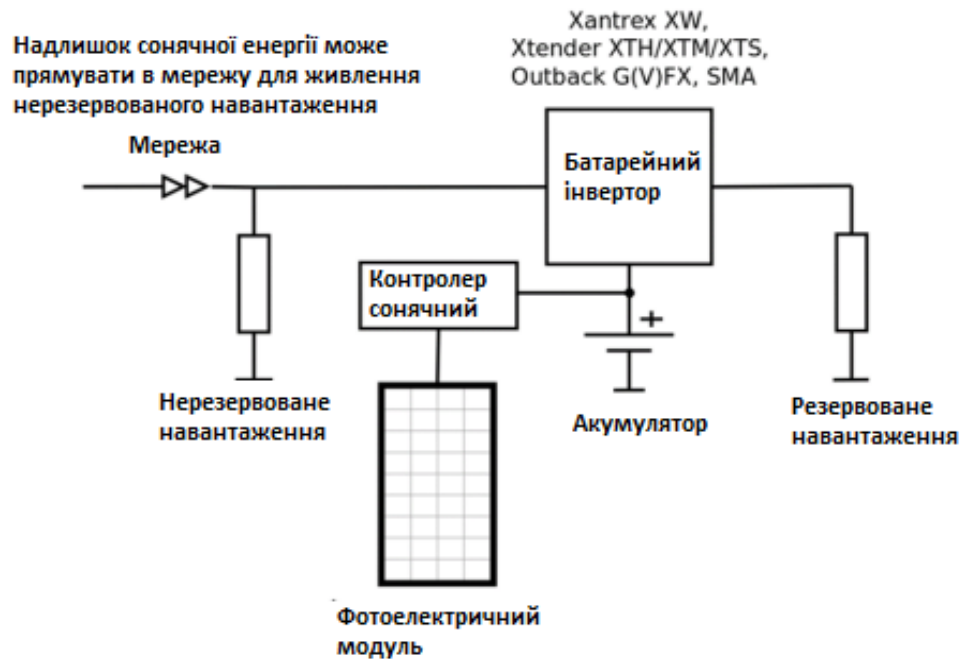


Рисунок 2.3. Мережева фотоелектрична система електропостачання контролером заряду постійного струму

Даний варіант побудови системи є найпростішим і поширеним. У цій системі заряд акумуляторів від сонячних батарей проводиться через контролер заряду постійного струму. При використанні стандартного джерела безперебійного живлення (ДБЖ), за наявності мережі заряд акумуляторів походить від мережі, та сонячні батареї мало використовуються. Для максимального використання енергії, що виробляється сонячними батареями, застосовують контролер MPPT і спеціальний інвертор з функцією передачі електроенергії в навантаження або мережу при напруги на АБ вище заданого. У цьому випадку, навіть якщо АБ повністю заряджені, енергія від СБ прямує у навантаження, тим самим зменшуючи споживання від мережі. Якщо навантаження споживає менше енергії, ніж виробляють сонячні батареї, такий інвертор може або надсилати надлишки в мережу, або зменшувати вироблення сонячних батарей за рахунок підвищення напруги на акумуляторах. Перевагами таких систем є можливість використання енергії сонця, як за наявності мережі, і

під час відключень; можливість відновлення роботи при тривалих перервах в електропостачанні та глибокому розряді акумуляторів шляхом заряду АБ від СБ. До недоліків слід віднести подвійне перетворення сонячної електрики, що призводить до додаткових втрат у контролері, інверторі, частково в акумуляторах; циклічний режим роботи акумуляторів при перервах у централізованому електропостачанні, що призводить до їх швидкого зношування. Для побудови ФЕС цього типу можуть бути використані такі моделі інверторів: Xtender XTH/XTM, SMA Sunny Island, Xantrex XW, RichElectric CombiPlus, Outback GFX/GVFX та ін. При аваріях у мережі інвертор починає генерувати енергію від акумуляторів. Якщо сонячні батареї підключені через контролер заряду до акумуляторів, інвертор використовує сонячну електрику, і, якщо його не вистачає, то і енергію з акумуляторів. Якщо сонячної енергії більше, ніж потрібно для споживачів, вона йде на заряд акумуляторів. Фотоелектрична система електропостачання з мережним інвертором на вході ДБЖ представлена на рисунку 2.4. Достоїнствами даної схеми побудови ФЕС є можливість застосування мережного та автономного інверторів з мінімальним набором опцій, широко представлених на ринку численними виробниками. Акумулятори постійно перебувають у зарядженому стані, експлуатуються в буферному режимі і використовуються тільки при відключення мережевої електрики. ФЕС такого типу доцільно використовувати у системах електропостачання, у яких основне споживання сонячної електрики має місце вдень, а відключення централізованого електропостачання рідкісні та недовгі. Вдень мережний інвертор забезпечує енергією всіх споживачів, зокрема і резервованих. Надлишки енергії прямують у загальну мережу лише у випадках, якщо споживання менше, ніж генерують сонячні батареї, при цьому енергія сонця використовується і на заряд АБ. Ефективність мережних інверторів, як правило, становить більше 90%, що забезпечує хороші

енергетичні показники усієї системи електропостачання. Єдиним недоліком є припинення використання енергії сонця при аваріях у мережі.

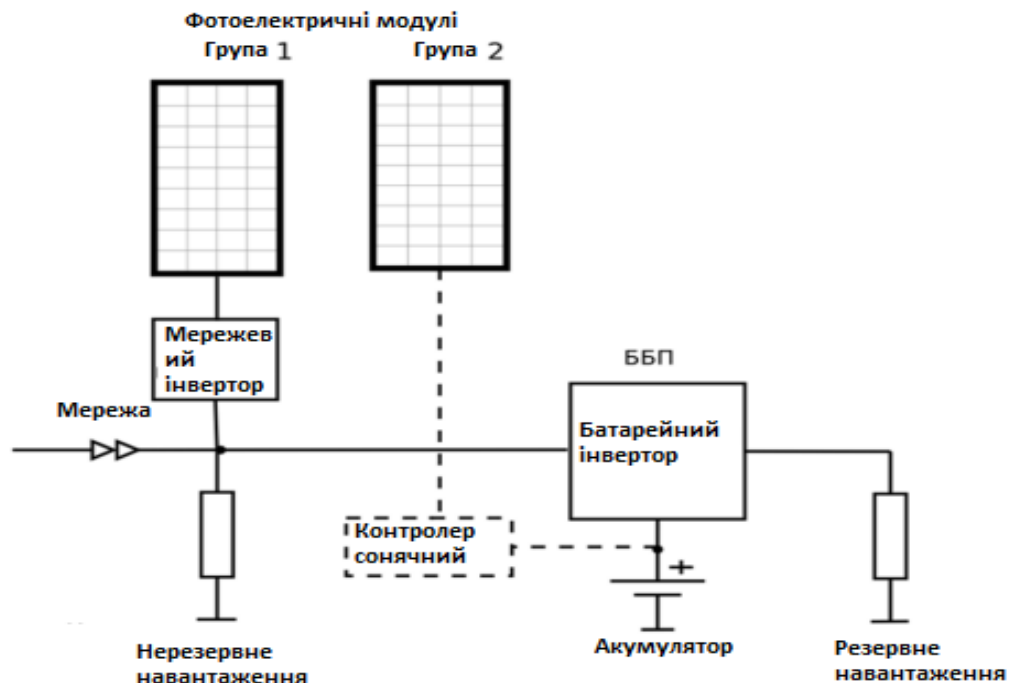


Рисунок 2.4. Мережева фотоелектрична система електропостачання мережевим інвертором на вході ДБЖ

Потужність ДБЖ у таких системах вибирається за потужністю резервованого навантаження і не залежить від потужності сонячних батарей. Потужність мережного інвертора може бути як більшою, так і меншою за потужність ДБЖ. Для відновлення системи при глибокому розряді акумуляторів у схемі електростанції можна передбачити невелику сонячну батарею, яка підключається до АБ через контролер заряду (показаний пунктиром). Якщо відключення короточасні, то дані елементи можна не використовувати. Найбільш універсальними є фотоелектричні системи з мережевим інвертором на виході ДБЖ, рисунок 2.5. У цій схемі побудови електростанції також використовується вискоефективний мережевий інвертор, але відмінність від попередньої схеми, за відсутності напруги мережі сонячні батареї продовжують живити резервоване навантаження і заряджати

аккумулятори. У нормальному режимі, за наявності напруги в мережі, мережевий інвертор забезпечує енергією резервоване навантаження, при цьому ККД Перетворення інвертора дуже високий - понад 90-95%. Якщо навантаження споживає менше, ніж виробляють сонячні батареї, надлишки енергії ідуть на заряд аккумуляторів. Якщо навантаження споживає більше - то енергія, що бракує, береться з мережі. Після повного заряду аккумуляторів надлишки енергії спрямовуються в загальну мережу та живлять інше навантаження. При аварії в мережі ДБЖ перемикається на роботу від аккумуляторів, та забезпечує одночасно опорну напругу для мережного інвертора. Тому енергія сонця продовжує використовуватись і при аваріях у мережах. Як і за наявності мережі, надлишки сонячної електрики спрямовуються на заряд аккумуляторів.

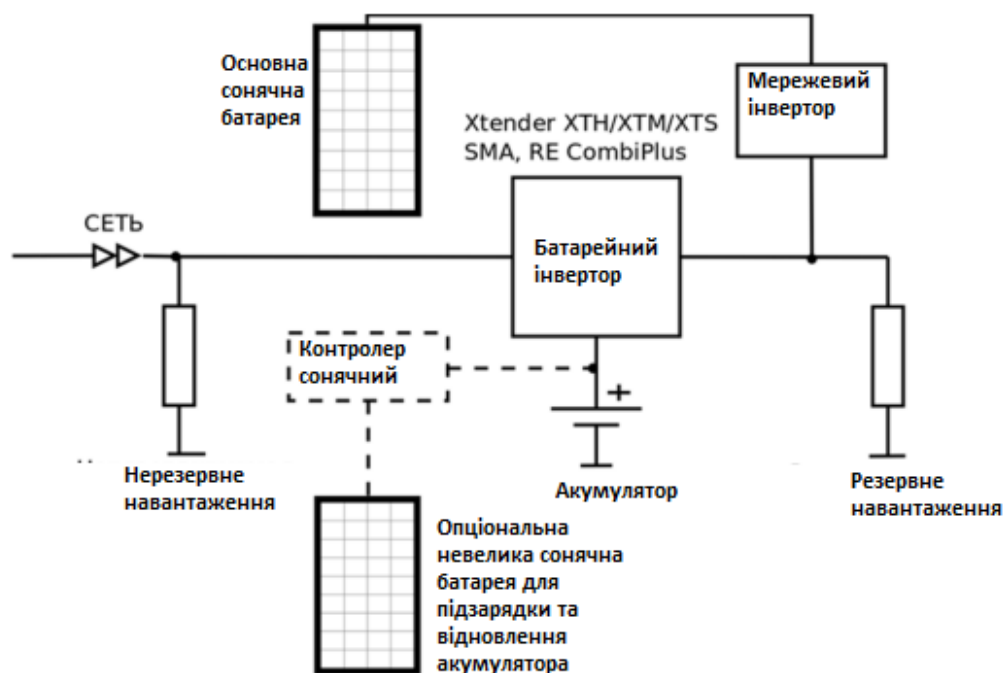


Рисунок 2.5. Мережева фотоелектрична система електропостачання з мережевим інвертором на виході ДБЖ

Якщо напруга в мережі не зникла, але вийшла за межі допустимого, то інвертор відключається від такої мережі та продовжує жити відповідальне навантаження якісним струмом - від СБ та від АБ. Навантаження підключена до інвертора, живиться тим напругою, яке є в мережі. Достоїнствами системи є ефективне використання акумуляторних батарей (робота в буферному режимі), ефективне використання сонячної енергії, що відновлюється, можливість відновлення при глибокому розряді акумуляторів при використанні невеликої СБ, підключеної до АБ через контролер заряду (показаний пунктиром). До недоліків слід віднести необхідність застосування спеціальних гібридних автономних інверторів, які можуть заряджати АБ з виходу, а також надсилати надлишки сонячної енергії в мережу. Такий інвертор повинен або давати сигнал на вимкнення мережного інвертора, або підвищувати частоту на виході для керування мережним інвертором (Більшість мережних інверторів припиняють роботу при виході параметрів частоти за задані межі). Для побудови таких систем необхідні моделі інверторів, що забезпечують виконання перерахованих вище функцій, наприклад, Steca Xtender XTH/XTM, SMA Sunny Island, Xantrex XW, RichElectric CombiPlus та ін. Виконаний порівняльний аналіз схем побудови ФЕС показує, що застосування мережних інверторів та схем включення, показаних на рисунках 2.4 і 2.5, в більшості випадків підвищує ефективність системи, особливо якщо більша частина сонячної енергії споживається в денний час. Застосування спеціальних ДБЖ з можливістю заряду АБ з виходу дозволяє використовувати мережеві фотоелектричні інвертори навіть під час перерв у електропостачанні від централізованої мережі. Також проведений аналіз показав, що схеми побудови фотоелектричних систем досить різноманітні та вимагають застосування спеціалізованого енергетичного обладнання. При цьому ефективність усієї енергетичної системи багато в чому визначатиметься складом та

характеристиками використовуваного енергетичного обладнання. Однією з провідних світових компаній з розробки, виробництва та реалізації енергетичного обладнання та приладів для побудови різних систем енергопостачання є компанія SMA Solar Technology AG. Технології SMA, розроблені з використанням останніх досягнень у галузі електроніки, дозволяють отримати максимальну ефективність від автономних, мережевих та резервних систем енергопостачання на основі як традиційних, так і альтернативних джерел енергії. Як технологічний лідер, SMA Solar Technology розробляє та виробляє високоефективні інвертори від 2 до 1000кВт для установок будь-якого розміру, всіх класів потужності та специфікацій. Обсяг продажів компанії у 2020 році становив 1.5 млрд. Євро. Інвертори SMA характеризуються високою ефективністю. Наприклад, розроблений компанією інвертор Sunny Mini Central, має ефективність понад 98%. SMA пропонує різноманітні моделі інверторів, які можна розділити за трьома важливими характеристиками: потужність, спосіб включення на стороні постійного струму (DC) та топологія електричної схеми. Допустима потужність інвертора лежить в діапазоні від 1600 Вт до кількох мегават. Встановлена номінальна потужність може становити від 3 до 6 кВт (один кіловат дорівнює 1000 Вт) для енергетичних систем приватного сектора, від 10 до 20 кВт для комерційних фотоелектричних установок на дахах підприємств чи господарських будівель, та від 500 до 800 кВт для фотоелектричних електростанцій. Важливою технічною характеристикою інверторів є спосіб включення на стороні постійного струму, який визначає можливі варіанти з'єднання фотоелектричних модулів з інвертором. Ця проблема викликана тим, що в багатьох (особливо великих) фотоелектричних станціях сонячна батарея може містити кілька масивів фотоелектричних модулів, що мають різну освітленість, і навіть різний тип, а відповідно й різні енергетичні характеристики. Для максимального

використання енергії сонця компанія SMA розробила спеціальні багатоланкові інвертори.

2.2. Перерахунок сонячної енергії, що падає на поверхню ЕАЗС та вибір оптимального кута установки сонячних батарей

Оскільки плановані панелі будемо встановлювати безпосередньо на даху навісу, електрозарядних зарядних пристроїв, необхідність враховувати кут установки сонячних модулів. Розрахунок проводимо згідно з методикою. Для визначення щоденної опроміненості похилого майданчика необхідне середньомісячне надходження сонячного випромінювання в кВт·год/місяць на майданчик, що має той самий кут нахилу, що і сонячні панелі, поділити на кількість днів місяця. Сонячно-електрична підзарядка планується бути енергоавтономно і повністю працювати від сонячних батарей. Зробимо розрахунок для серпня місяця, оскільки це середина року. Схиляння Сонця (кут між лінією, що з'єднує центри Землі та Сонце, та її проекцією на площину екватора) в середній день місяця, град:

$$\delta = 23.45 \times \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right) = 23.45 \times \sin\left(360 \frac{284 + 228}{365}\right) = 22.10^\circ \quad (2.1)$$

де n – порядковий номер дня, відрахований від 1 січня (номер середнього розрахункового дня кожного місяця року). Для решти місяців розрахунок проводиться аналогічно та занесений до таблиці 2.1, для наочності дані таблиці, за допомогою програмного Забезпечення «MS Excel» перенесено на графік (Рисунок 2.6).

Таблиця 2.1 - Кут відміни Сонця по місяцях

МІСЯЦЬ	СІЧЕНЬ	ЛЮТИЙ	БЕРЕЗЕНЬ	КВІТЕНЬ	ТРАВЕНЬ	ЧРВЕНЬ	ЛИПЕНЬ	СЕРПЕНЬ	ВЕРЕСЕНЬ	ЖОВТЕНЬ	ЛИСТОПАД	ГРУДЕНЬ
--------	--------	-------	----------	---------	---------	--------	--------	---------	----------	---------	----------	---------

δ_c , град	- 21,2 7	- 13,2 9	-2,82	9,41	18,7 9	23,2 1	21,5 2	13,7 8	2,22	-9,60	- 19,0 0	- 23,3 4
----------------------	----------------	----------------	-------	------	-----------	-----------	-----------	-----------	------	-------	----------------	----------------

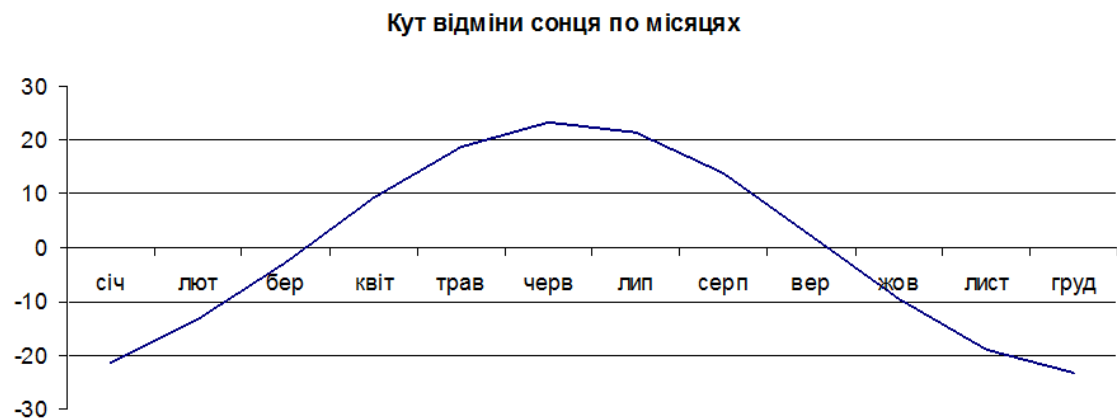


Рисунок 2.6 - Кут відміни Сонця по місяцях

Для забезпечення умов поглинання сонячної енергії сонячними панелями, його поглинаюча поверхня повинна бути орієнтована на південь кутом нахилу $\beta_{\text{опт}}$, який дорівнюватиме: $\beta_{\text{опт}} = \varphi_p - \delta_c$

де - φ_p широта місцевості, де розглядається проектування ФЕС.

Розрахунки занесено до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Оптимальний кут установки фотоелементів

МІСЯЦЬ	СІЧЕНЬ	ЛЮТИЙ	БЕРЕЗЕНЬ	КВІТЕНЬ	ТРАВЕНЬ	ЧРВЕНЬ	ЛИПЕНЬ	СЕРПЕНЬ	ВЕРЕСЕНЬ	ЖОВТЕНЬ	ЛИСТОПАД	ГРУДЕНЬ
$\beta_{\text{опт}}$, град	26,73	34,71	45,8	57,41	66,76	71,31	69,52	61,78	50,22	38,4	29	24,66

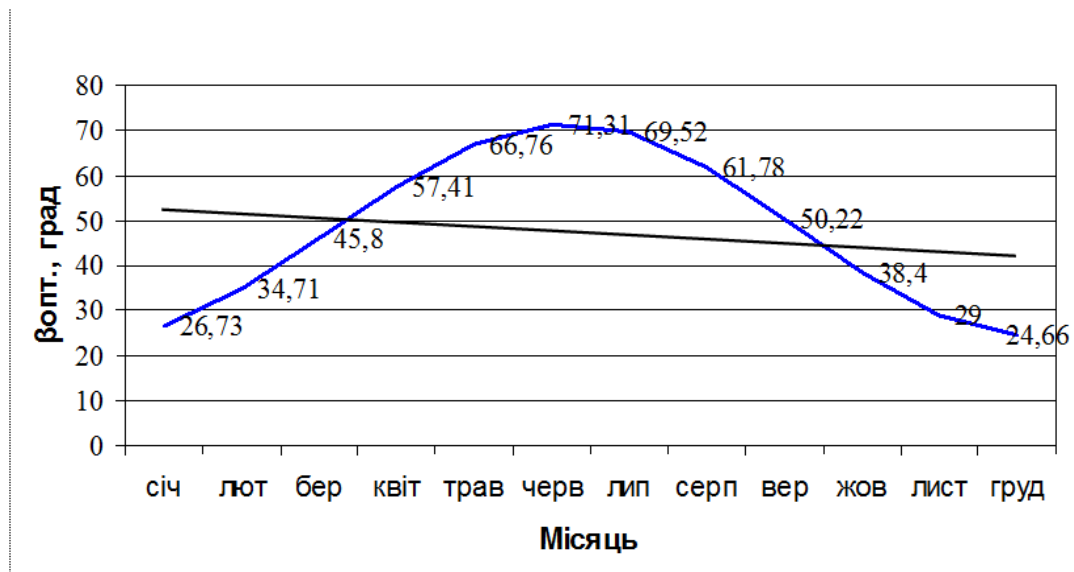


Рисунок 2.7 – Оптимальний кут встановлення фотоелементів

Згідно з рисунком 2.7 оптимальним кутом нахилу сонячних батарей для повного автономного постачання електростанції складе 45 градусів, що показує апроксимація на графіку. Розрахунок будемо проводити для зимового місяця, оскільки це самий несприятливий місяць. Знайдемо годинний кут заходу Сонця для похилої поверхні південною орієнтацією:

$$\omega_{\text{зн}} = \arccos[-\operatorname{tg}(\varphi - \beta) \cdot \operatorname{tg} \delta] = \arccos(-\operatorname{tg}(45 - 90) \cdot \operatorname{tg}(22.10)) = 91,62 \quad (2.2)$$

де φ – широта місцевості, град;

β – кут нахилу поверхні сонячної батареї до горизонту;

$\beta = 45^\circ$, так як він найоптимальніший для нашої місцевості, з графіка, показаного малюнку 2.3.

Часовий кут заходу (сходу) Сонця для горизонтальної поверхні:

$$\omega_s = \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta) = \arccos(-\operatorname{tg}(48) \cdot \operatorname{tg}(22.10)) = 116,8^\circ \quad (2.3)$$

Середньомісячний коефіцієнт перерахунку прямого сонячного випромінювання з горизонтальною на похилу поверхню:

$$R_n = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_{zn} + \frac{\pi}{180} \omega_{zn} \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_z + \frac{\pi}{180} \omega_z \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta} =$$

$$\frac{\cos(48 - 45) \cdot \cos(22.10) \cdot \sin(91.62) + \frac{\pi}{180} 91.62 \cdot \sin(48 - 45) \cdot \sin(22.10)}{\cos(48) \cdot \cos(22.10) \cdot \sin(116.8) + \frac{\pi}{180} 116.8 \cdot \sin(48) \cdot \sin(22.10)} = 0,8689 \quad (2.4)$$

де β - кут нахилу сонячної батареї до горизонту, град;

Коефіцієнт перерахунку з горизонтальної площини на похилу південною орієнтацією дорівнює сумі трьох складових, що відповідають прямому, розсіяному та відбитому сонячному випромінюванню:

$$R = \left(1 - \frac{E_p}{E}\right) \cdot R_n + \frac{E_p}{E} \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} =$$

$$\left(1 - \frac{0,6}{0,96}\right) \cdot 0,8689 + \frac{0,6}{0,96} \cdot \frac{1 + 0,719}{2} + 0,2 \cdot \frac{1 - 0,719}{2} = 1,23 \quad (2.5)$$

де E_p – середньомісячна денна кількість розсіяного сонячного випромінювання, що надходить на горизонтальну поверхню; таблиця 2.3 згідно з даними NASA.

Таблиця 2.3 Середньомісячне значення за добу дифузне випромінювання, падаючого потоку на горизонтальну поверхню

МІСЯЦЬ	СІЧЕНЬ	ЛЮТИЙ	БЕРЕЗЕНЬ	КВІТЕНЬ	ТРАВЕНЬ	ЧЕРВЕНЬ	ЛИПЕНЬ	СЕРПЕНЬ	ВЕРЕСЕНЬ	ЖОВТЕНЬ	ЛИСТОПАД	ГРУДЕНЬ	РАЗОМ
E_p , (кВт·ч /м ² / день)	0,73	1,06	1,60	2,13	2,47	2,67	2,55	2,21	1,73	1,15	0,73	0,6	1,64

E_p/E – середньомісячна денна частка розсіяного сонячного випромінювання;

R_n – середньомісячний коефіцієнт перерахунку прямого сонячного випромінювання з горизонтальною на похилу поверхню;

β – кут нахилу поверхні сонячної батареї до горизонту;

$\beta=45^\circ$, оскільки він найоптимальніший для розглянутої місцевості. Розрахунок кута взятий згідно з оптимальним дозволом використання та отримання сонячної енергії, так як панелі стаціонарні та не повертаються за сонцем, а також відсутня система нахилу. Тому взимку, сонце низько, панель має бути – аналогічно, влітку - навпаки. Тому кут взятий 45° .

ρ – коефіцієнт відображення (альbedo) поверхні Землі та навколишніх тіл, що зазвичай приймається рівним 0,7 для зими і 0,2 для літа, приймаємо для зимового часу, щоб уточнити кількість енергії що припадає на Землю.

Якщо сонячні панелі встановлюються під деяким кутом β до горизонту, то середньомісячна денна кількість прямої сонячної енергії, що надходить на похилу поверхню, може бути знайдено формулою:

$$E_{avg} = R \cdot E = 1,23 \cdot 0,96 = 1,1808 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2 \quad (2.6)$$

де E_{avg} – середньомісячна денна сумарна кількість прямої сонячної енергії, що надходить на горизонтальну поверхню, кВт·ч/м²/день. Це в свою чергу показує, що під кутом 45° , наші панелі працюватимуть у номінальному режимі, відповідно ККД установки буде знижуватися через температуру, що в свою чергу вказує на необхідність проведення подальших досліджень. Але для проектування СЕС враховуємо лише перерахунок енергії на похилу поверхню.

2.3. Основні типи інверторів для сонячних електростанцій

Поява нових напівпровідникових приладів, таких як IGBT, MOSFET та високопродуктивних мікроконтролерів, полегшило реалізацію схем технічних рішень перетворювачів даних систем генерування.

Розвитком та опрацюванням різних аспектів пристроїв силової електроніки та систем генерування електричної енергії у різний час займалися такі видні вітчизняні та зарубіжні вчені як А. Nabae, L. G. Franquelo, Н. Akagi, D. Holmes, E. Gubia, F. Blaabjerg, T. Lipo та ін.

В даний час перспективним напрямком є застосування багаторівневих напівпровідникових перетворювачів (БНП) у складі інверторів. Дані топології мають ряд переваг у порівнянні з дворівневими перетворювачами, тому що дозволяють покращити якість генерованої електричної енергії у складі інвертору без збільшення частоти ШІМ. За рахунок отримання більш точної апроксимації форми генерованих сигналів можна добитися зниження масогабаритних і вартісних показників фільтрів що використовуються. При проектуванні можуть бути використані ключі з меншим значенням напруги колектор-емітер/сток-витік, що також позитивно позначиться на вартісних показниках інвертору.

Інвертор, як правило, містить у своїй структурі, крім сонячних фотоелектричних модулів, DC/DC та DC/AC напівпровідникові перетворювачі (НП), акумуляторну батарею, фільтр та трансформатор (Рисунок 2.8), що виконує функції гальванічної розв'язки та погодження рівню вихідної напруги з мережею або навантаженням у разі автономного інвертору.

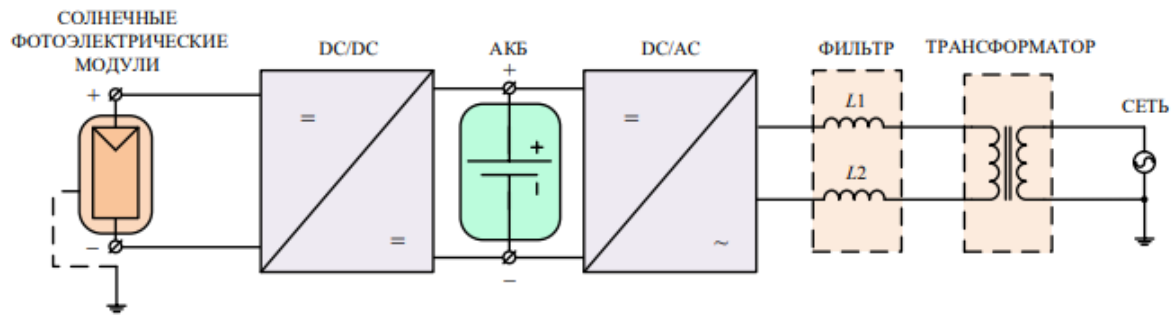
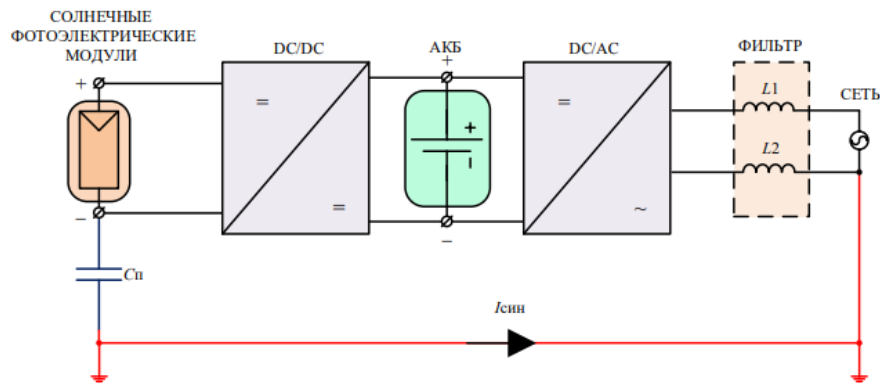


Рисунок 2.8 – Структура інвертора із трансформатором

За способом гальванічної розв'язки системи генерування електричної енергії поділяються на два основні типи: трансформаторні інвертори та безтрансформаторні інвертори. У інверторі, якімають у своєму складі трансформатор (Рисунок 2.8), важко покращити масогабаритні показники. До того ж вартість таких систем генерування, як правило, вища порівняно з безтрансформаторними інверторами. Безтрансформаторні системи генерування дозволяють підвищити ККД та знизити масогабаритні та вартісні показники. Структура такої системи генерування представлена на рисунку 2.9. Сьогодні у світі ведуться дослідження, спрямовані на покращення енергетичних показників якості перетворення електричної енергії у інверторах. Серед інших до них відносяться коефіцієнт гармонік вихідного струму системи генерування, а також коефіцієнт корисної дії напівпровідникового перетворювача що характеризують енергетичну ефективність інвертора. Крім того, ведуться роботи спрямовані на покращення технічних показників інвертора, насамперед пов'язані зі зниженням масогабаритних показників. Ці роботи в здебільшого пов'язані з дослідженням безтрансформаторних інверторів.



Малюнок 2.9 – Структура інвертора без трансформатора

Негативним фактором усунення структури системи генерування трансформатора є поява паразитного синфазного струму витoku (СТУ). СТУ протікає через контури, що включають паразитні елементи схеми системи генерування (ємності та індуктивності) (рисунок 2.9). Наявність СТУ призводить до зниження якості вихідної напруги та струму, що формується перетворювачем, а також є причиною виходу з ладу деяких типів сонячних фотоелектричних модулів та створює загрозу ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу. Дослідженню безтрансформаторних інверторів на сьогоднішній день приділяється велика увага, проте рівень теоретичного та експериментального досліджень щодо поліпшення енергетичної ефективності інвертора, а також розвитку методик розрахунку показників якості перетворення електричної енергії, способів та алгоритмів придушення синфазного струму витoku не задовольняють сучасному тренду розвитку систем генерування з використанням відновлюваних джерел енергії.

2.4. Висновки розділу

1. Розглянуто загальні структури сонячних електростанцій.
2. Проведено розрахунок сонячної енергії, що падає на поверхню ЕАЗС при заданих умовах.
3. Проведено вибір оптимального кута встановлення сонячних батарей при заданих умовах.

4. Проведено аналіз основних типів інвенторів.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА НАПРУГИ ДЛЯ СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ

3.1. Постановка завдання на моделювання.

Як було проаналізовано у першому розділі роботи сонячні електростанції містять у складі як мінімум два перетворювача, один з яких призначений для перетворення напруги з виходу фотоелектричної панелі (ФП) у напругу необхідного півня для заряджання акумулятора. Другий перетворювач призначений для перетворення енергії постійного струму в змінний струм промислової частоти для внутрішніх потреб і, при наявності надлишкової енергії для її продажу зовнішнім споживачам (рис. 3.1). Розроблено багато схем перетворювачів, які можна поділити на трансформаторні і безтрансформаторні.

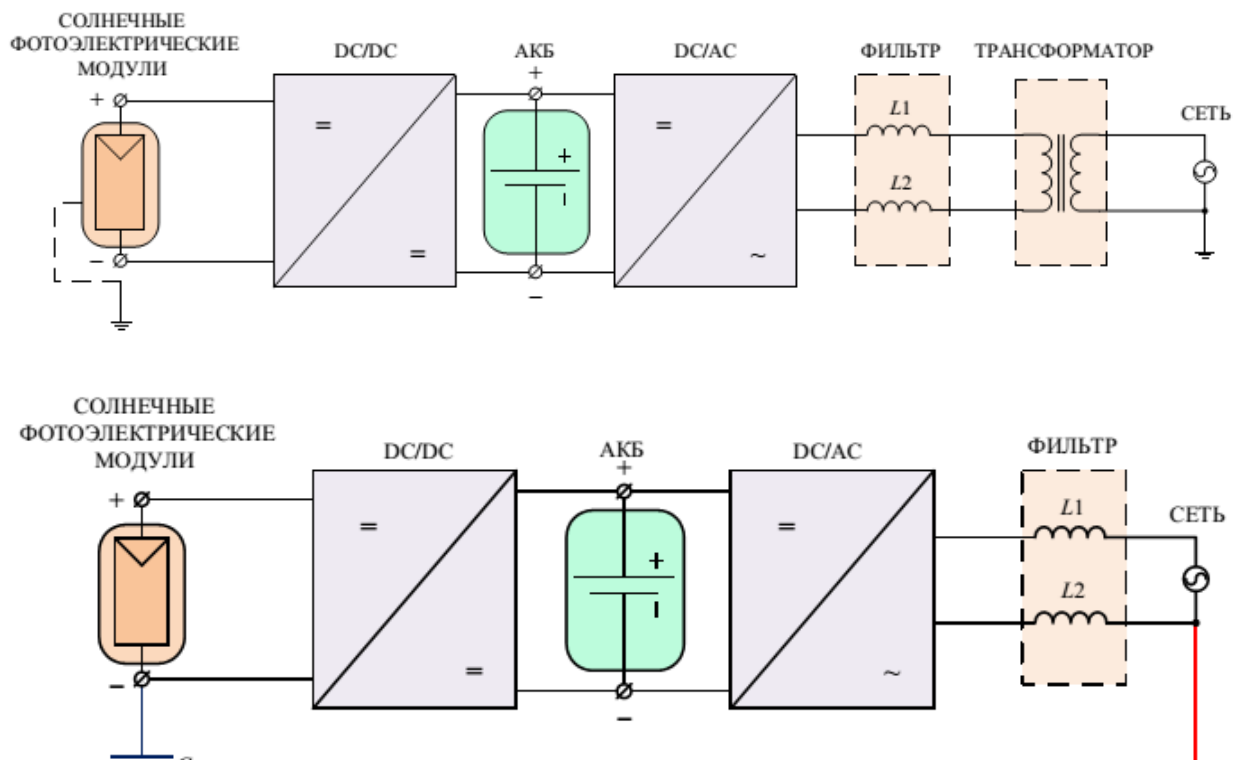


Рисунок 3.1. Трансформаторні і без трансформаторні перетворювачі.

В роботі розглядаються тільки перетворювачі між ФП і акумулятором.

В якості ФП обрано типову панель SolarTechUniversalHJTБ-W-325 що має такі параметри:

- кількість елементів в панелі – 60;
- максимальна потужність панелі - 329,5 Втж
- напруга розімкненого кола - 44,07 в;
- струм короткого замикання - 9,71 А;
- напруга при максимальній потужності – 37.92 В;
- струм при максимальній потужності – 8.69 А.

Для накопичення енергії обрано стандартний акумулятор напругою 12 В.

Відповідно для перетворення вибрано схему перетворювача постійної напруги (ППН), що зменшує напругу до напруги заряду акумулятора ~15 В.

Для проведення моделювання вибрано пакет моделювання Simulink.Matlab.

3.2. Перетворювач постійної напруги, що знижує напругу

На рис. 3.2(а) показана схема перетворювач постійної напруги (ППН), що знижує напругу, а на рис. 3.2(б) - діаграми струмів і напруг на навантаженні і колекторі транзистора. Діаграми відповідають припущенню, що транзистор і діод ідеальні, ємність конденсатора $C_f = \infty$, а струм у ланцюзі навантаження безперервний. Діод VD служить для пропускання струму, що проходить при вимиканні транзистора VT за рахунок енергії, запасеної індуктивності навантаження. Конденсатор C_f зменшує втрати джерела живлення, роблячи споживання енергії від нього більш постійним. Якщо транзистор VT включається в момент t_1 , напруга джерела живлення прикладається до навантаження (до навантаження прикладається імпульс напруги), а коли він вимикається в момент t_2 струм навантаження протікає за рахунок енергії,

запасеної в індуктивності L_n , і замикається через діод VD. На момент t_3 процеси повторюються.

Для регулювання напруги на виході ППН змінюють тривалість включеного стану транзистора. Регулювання напруги, у якому частота подачі імпульсів на навантаження стала, але змінюється їх тривалість, називається широтно-імпульсною модуляцією (ШИМ). ППН, в яких застосовується такий спосіб регулювання, називають широтно-імпульсними перетворювачами (ШИП).

Таким чином, при ШІМ частота і період проходження імпульсів постійні. Можливі й інші способи регулювання, при яких регулювання середнього значення напруги на виході проводиться зміною частоти імпульсів постійної тривалості (частотно-імпульсна модуляція) або одночасним зміною частоти і тривалості імпульсів (частотно-широтно-імпульсна модуляція). Найчастіше застосовується ШІМ. Тому далі розглядається лише ШІМ. Всі співвідношення нижче розглядаються для безперервного струму в навантаженні, коли за час проходження струму через діод він не спадає до нуля. цю область, тому при проектуванні електроприводу вона, як правило, не враховується.

Чим більша тривалість включеного стану транзистора, тим більше середнє значення напруги на навантаженні U_n

$$U_n = \gamma U_d \quad (3.1)$$

де γ - відносна тривалість включеного стану транзистора. Так як γ не може бути більше 1, цей ППН називається понижуючим. У понижувальному ППН γ відповідає відносній тривалості імпульсів напруги, що прикладаються до навантаження.

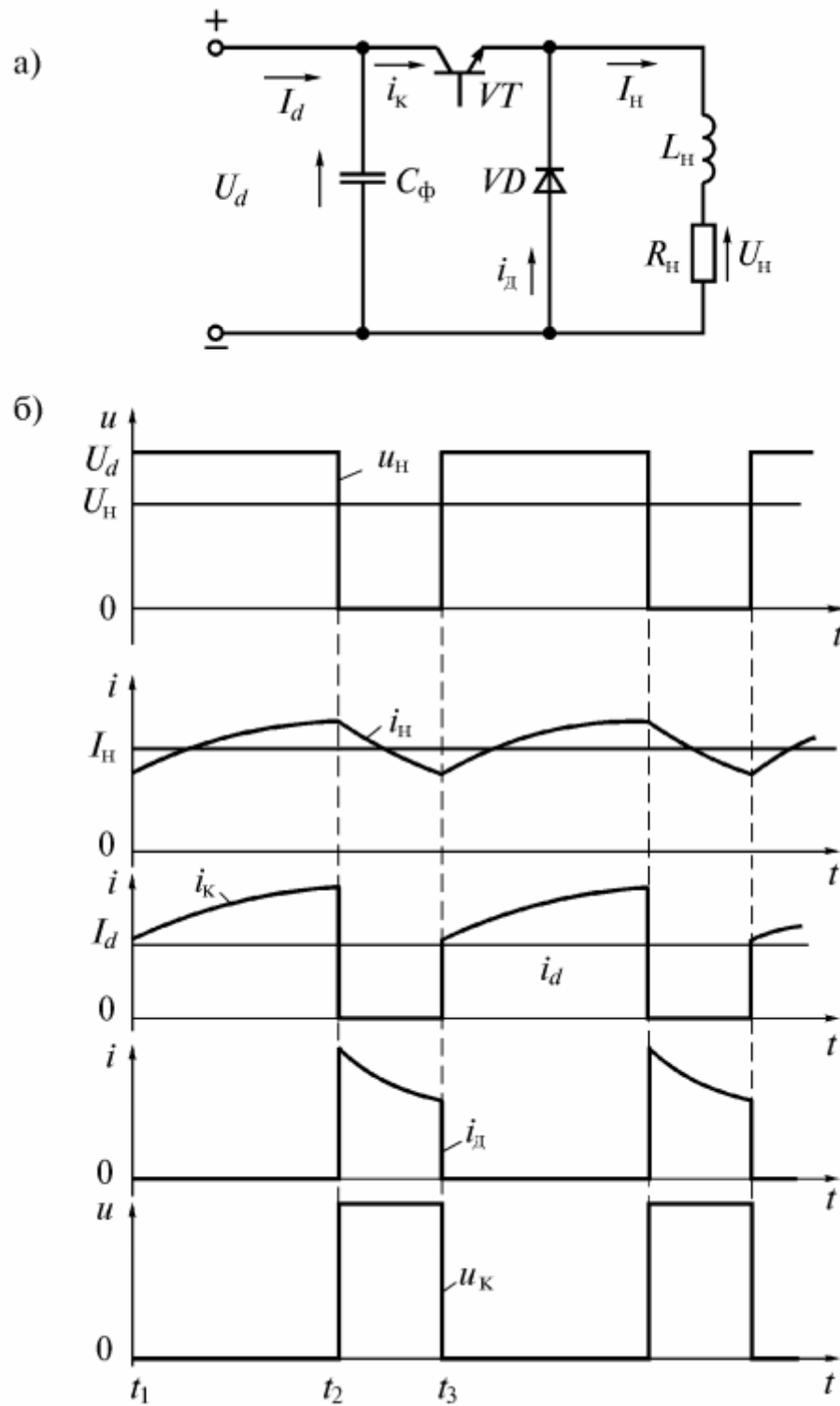


Рисунок 3.2. Схема понижуючого ППН (а) та діаграми напруг і струмів, що ілюструють його роботу (б)

3.3. Модель перетворювача для зарядження батареї

Модель перетворювача для зарядження батареї від ФП, розроблена в середовищі Simulink/Matlab наведено на рис. 3.3.



Рисунок 3.3. Симулінк-модель пристрою для зарядження батареї від ФП.

Модель складається з випрямляча на чотирьох діодах і понижуючого ППН. Для управління IGBT транзистором використовується схема керування, яка задає певне значення коефіцієнта

$$\gamma = \frac{t_n}{T},$$

де t_n - тривалість імпульсів напруги, що прикладаються до затвору транзистора або інакше, - тривалість включеного стану транзистора; T – період імпульсів. Відповідно змінюється напруга на виході ППН

Для розрахунку ППН необхідно визначитися зі значенням напруги, що генерує панель в залежності від сонячного випромінення.

Змодельовані для даної ФП залежності струму від напруги для трьох значеннях сонячного опромінення 50, 200 і 500 Вт/м² наведені на рис. 3.4.

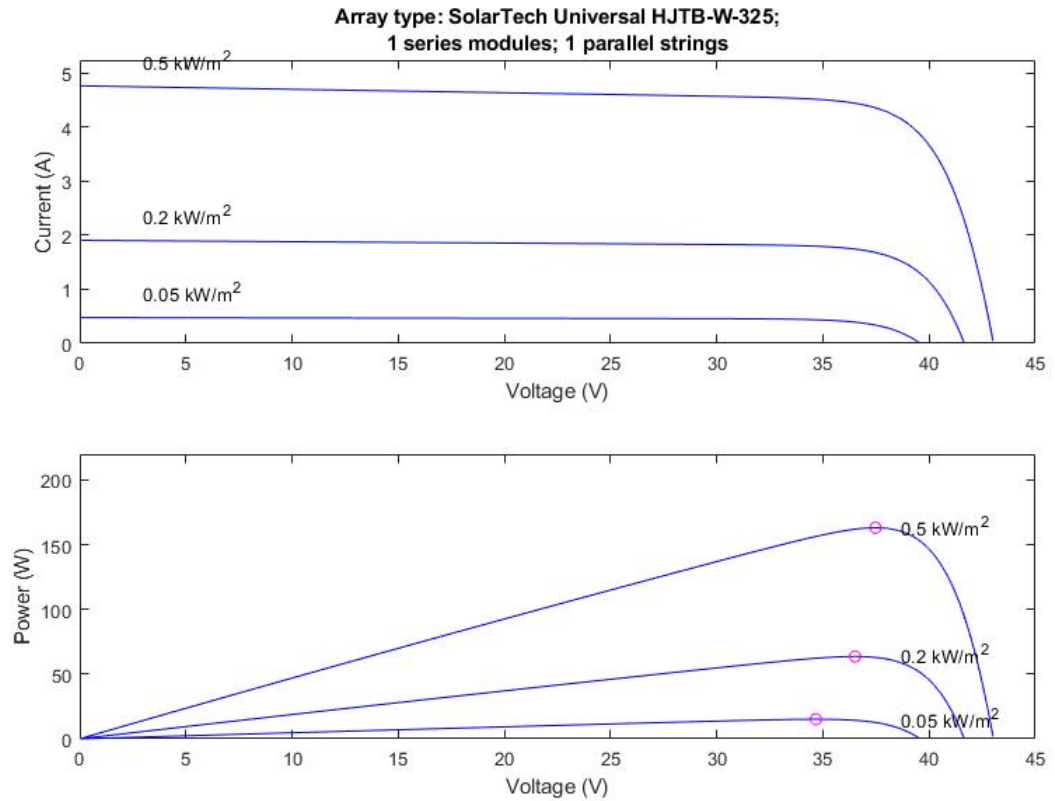


Рисунок 3.4. Залежності струму від напруги (верхній графік) і потужності від напруги для трьох значеннях сонячного опромінення 50, 200 і 500 Вт/м²

В моделі задано залежність сонячного опромінювання від часу (рис. 3.5) і залежність температури ФП від часу (рис. 3.6).

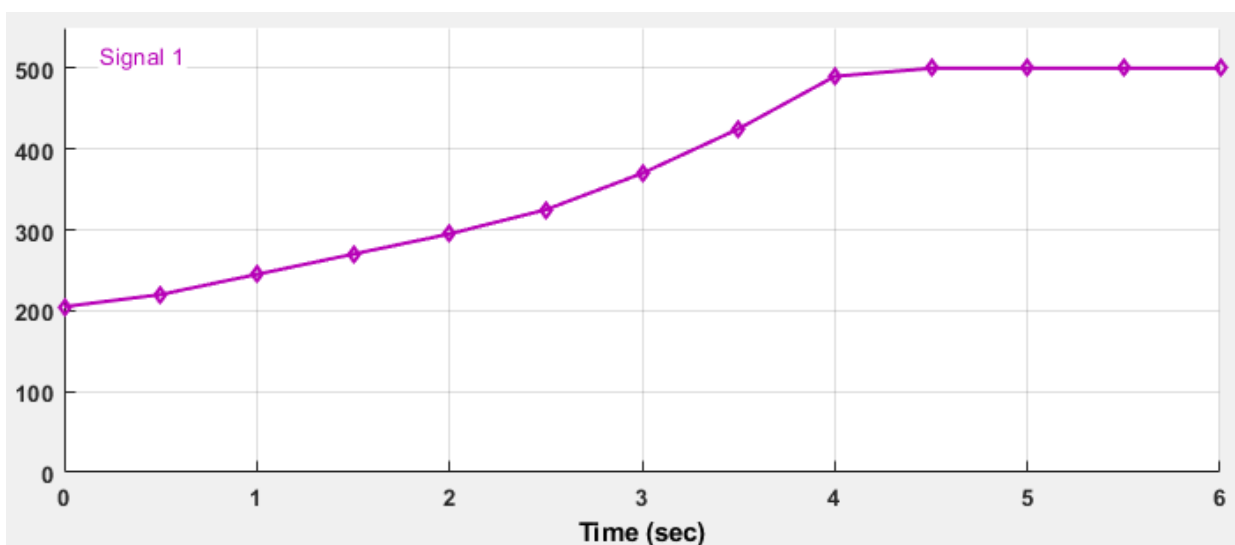


Рисунок 3.5. Залежність сонячного опромінювання від часу

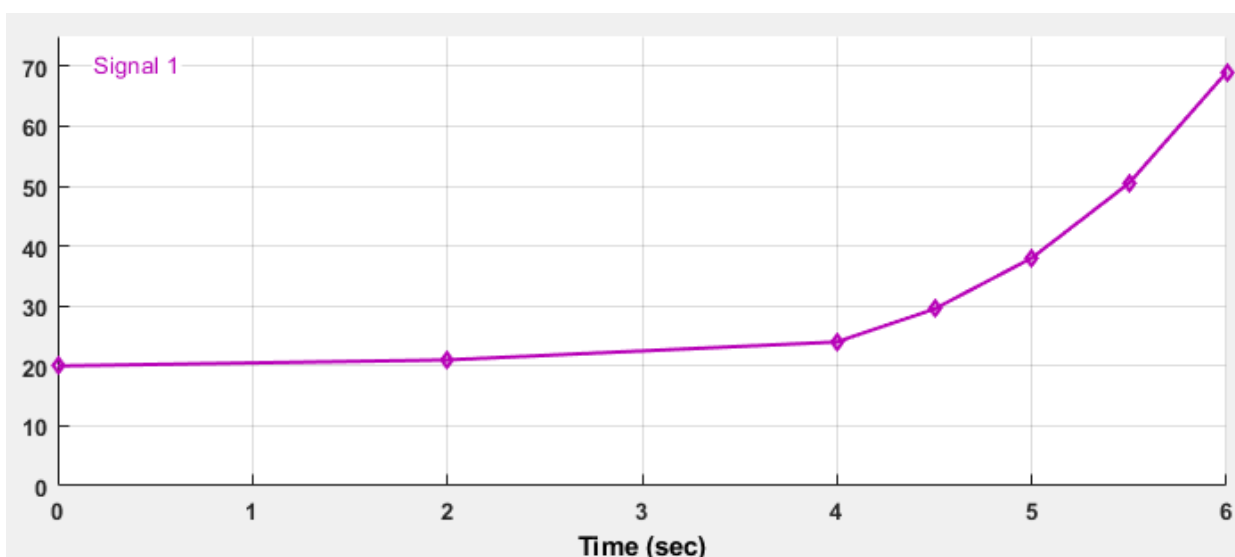


Рисунок 3.6. Залежність температури ФП від часу

3.4. Результати моделювання.

Результати моделювання характеристик ФП наведено на рис. 3.7. Як видно з рисунка підвищення сонячного опромінювання приводить до збільшення напруги і струму. Підвищення температури приводить до незначного збільшення струму і напруги.

Результати моделювання зарядження батареї наведено на рис. 3.8.

Напруга і струм через акумуляторну батарею збільшуються внаслідок збільшення сонячного опромінювання, заряд за час моделювання (6 с) з 20 % до приблизно 26 %.

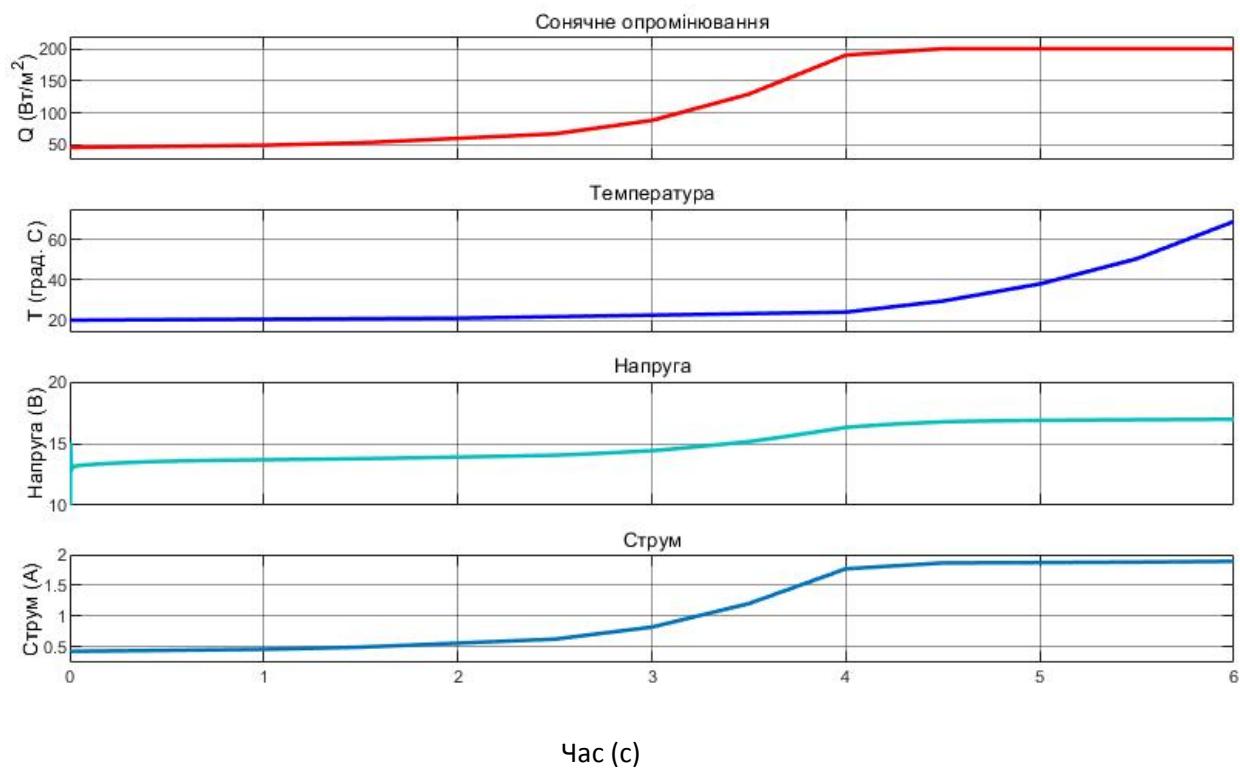


Рисунок 3.7. Результати моделювання характеристик ФП.

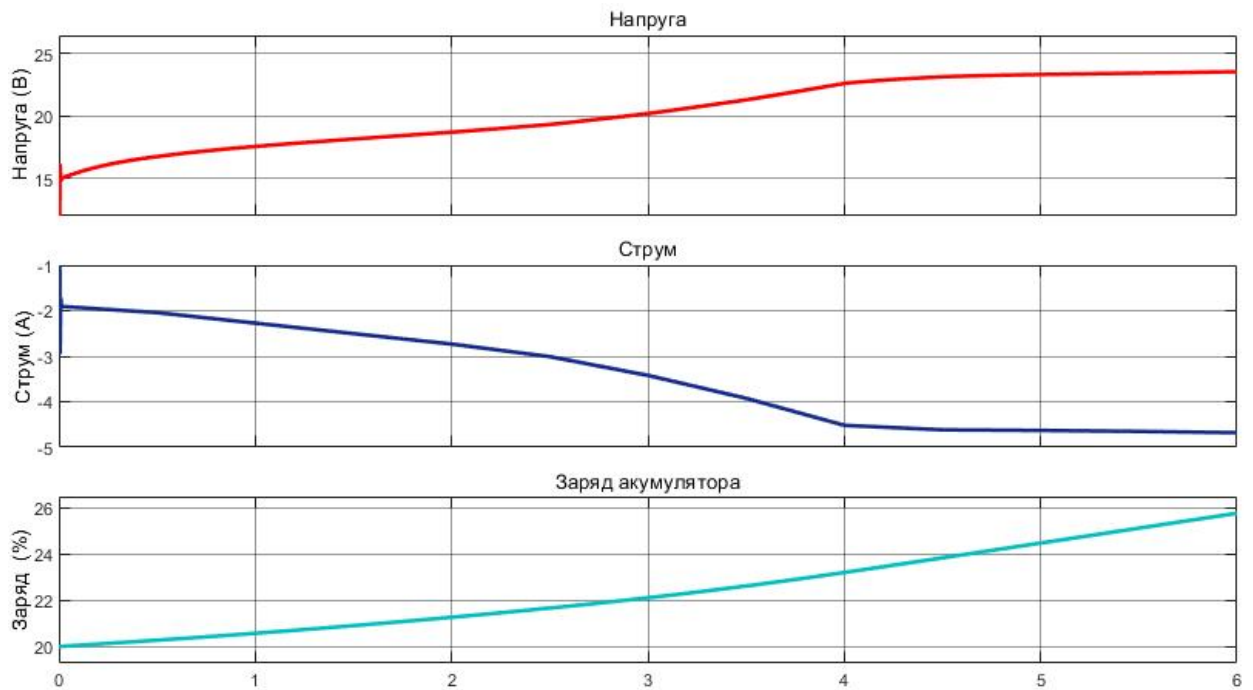


Рисунок 3.8. Результати моделювання зарядження батареї.

3.5. Висновки за розділом.

1. Розроблено модель роботи перетворювача напруги для сонячної батареї.
2. Проведено моделювання і отримано залежності струму, напруги на батареї і стану заряду батареї в процесі функціонування.

Перелік літератури

- Електроніка та мікросхемотехніка [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» / А. А. Щерба, К. К. Победаш, В. А. Святненко ; – Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – 360 с.
- Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник для студентів вищ. закл. освіти, що навчаються за напрямками "Електромеханіка" та "Електротехніка": У 4-х т. / Сенько В.І., Панасенко М.В., Сенько Є.В., Юрченко М.М., Сенько Л.І., Ясінський В.В. -К.: ТОВ "Видавництво"Обереги", 2000. Т.1. Елементна база електронних пристроїв.- 300с.
- Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник для студентів вищ. закл. освіти, що навчаються за напрямками "Електромеханіка" та "Електротехніка": У 4-х т. / Сенько В.І., Панасенко М.В., Сенько Є.В., Юрченко М.М., Сенько Л.І., Ясінський В.В. - Харків: Фоліо, 2002. Т.2. Аналогові та імпульсні пристрої.- 510с.
- Руденко В.С., Сенько В.И., Трифонюк В.В. Основы промышленной электроники: Учебник для вузов. - Киев, Выща школа, 1985, - 400с.

- Руденко В.С. та ін. Промислова електроніка: Підручник /В.С. Руденко В.Я. Ромашко, В.В.Трифонюк.- Київ, Либідь, 1993, 432 с
- Руденко В.С., Сенько В.И., Трифонюк В.В. Приборы и устройства промышленной электроники. -Киев, Техника, 1989.
- Скаржепа В.А., Новацкий А.А., Сенько В.И. Электроника и микросхемотехника: Лабораторный практикум. Под ред. А.А Краснопрошиной. - К., Выща школа, 1989.
- Скаржепа В.А., Сенько В.И. Электроника и микросхемотехника Сборник задач. Под ред. А.А. Краснопрошиной. - К., Выща школа, 1989,
- Руденко В.С., Сенько В.И., Чижено И.М. Основы преобразовательной техники: Учебник для вузов. - М., Высшая школа, 1980. - 424 с.
- Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. Кн. 2 Цифрова схемотехніка: Підручник/Бойко В. І., Гуртій А. М., Жуйков В. Я. та ін. – 2-ге вид., допов. і переробл. – К.: Вища шк., 2004. – 423с.: іл.
- Руденко В .С, Сенько В .И., Трифонюк В .В. Промышленная электроника. - Киев, Техника, 1979,-503 с.
- Основы промышленной электроники. /В.С. Руденко, Ю.А. Исаков, А.П. Платонов, В.И. Сенько и др./ Киев, Техника, 1976.
- Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учебное пособие для вузов. - Москва, Высшая школа, 1982,- 485 с.