

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені
академіка В. Лазаряна

Кафедра «Електрорухомий склад залізниць»

(повна назва)

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

Гетьман Г.К.

(підпис)

(ПІБ)

20 р. грудень « »

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань 14 Електрична інженерія

(шифр)

(назва)

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код)

(повна назва)

Спеціалізація Електричний транспорт

(повна назва)

Тема Розробка та дослідження системи електричної тяги
з використанням сонячної енергії

Theme Development and research of electric traction system
using solar energy

Керівник дипломної роботи професор

(посада)

(підпис)

Афанасов А.М.

(ПІБ)

Нормоконтролер

професор

(посада)

(підпис)

Афанасов А.М.

(ПІБ)

Студент групи

ЕТ1921

(підпис)

Ткаченко А.М.

(ПІБ)

Student

Tkachenko Artem

(Family name)

Дніпро 2020

РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему «Розробка та дослідження систем електричної тяги з використанням сонячної енергії» виконана на 80 сторінках основного тексту і містить: рисунків – 31, таблиць – 9, літературних джерел – 13.

У першому розділі магістерської роботи проведено аналіз проблеми підвищення енергетичної ефективності електричної тяги.

У другому розділі було проведено аналіз бортових накопичувачів на електричному транспорті. Проаналізовано інерційні та електричні накопичувачі енергії.

У третьому розділі магістерської роботи було проаналізовано розвиток сонячної енергетики. Розглянуто принцип дії сонячного елемента та вольт-амперну характеристику сонячної батареї. Були розглянуті типи сонячних елементів.

У четвертому розділі був здійснений розрахунок сонячної батареї для живлення електропоїзда. Проаналізовані накопичувачі енергії в електропоїзді.

У п'ятому розділі, була розроблена принципова силова схема, а також пояснення процесу роботи схеми.

У шостому розділі, була розроблена принципова силова схема системи електропостачання сонячної енергії до споживачів

Ключові слова: сонячна панель, сонячний елемент, електропоїзд, суперконденсатор, акумуляторна батарея, силова схема.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Аналіз стану проблеми підвищення енергетичної ефективності електричної тяги.....	8
2 Аналіз досвіду використання на електротранспорті бортових накопичувачів електроенергії.....	12
2.1 Інерційні механічні накопичувачі.....	12
2.2 Електричні накопичувачі електроенергії.....	14
3 Аналіз розвитку сонячної електроенергетики.....	25
3.1 Принцип дії сонячного елементу та вольт-амперна характеристика сонячної батареї.....	30
3.2 Типи сонячних елементів.....	37
4 Розрахунок сонячної батареї та аналіз системи накопичення енергії на електропоїзді.....	47
4.1 Розрахунок сонячної батареї.....	48
4.2 Аналіз суперконденсаторів	55
4.3 Аналіз акумуляторів.....	57
5 Розробка принципової силової схеми електрорухомого складу.....	60
5.1 Регулювання напруги на ТЕД в режимі тяги.....	60
5.2 Регулювання напруги на ТЕД в режимі рекуперативного гальмування.....	65

					Розробка та дослідження системи електричної тяги з використанням сонячної енергії			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ткаченко А.М.			Розрахунково- пояснювальна записка		Літ.	Арк.
Перевір.		Афанасов. А.М.						4
Реценз.							ДНУЗТ, ЕТ1921	
Н. Контр.		Афанасов А.М.						
Затверд.		Гетьман Г.К.						

5.3 Принципова силова схема при підзарядці від зарядного пристрою на станції.....	67
6 Розробка принципової силової схеми системи електропостачання.....	69
Висновки.....	79
Список використаних джерел	80
ДОДАТОК Б.....	81
..	

						Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В Україні на сьогоднішній час електрифіковано 47,3% загальної довжини залізничних доріг. Це електрифікація більш магістральних та завантажених ділянок залізниці. Та залишаються ділянки, так би мовити, місцевого характеру. Тобто, існують ділянки приміського та міжміського сполучення, які не електрифіковано і на них експлуатується застарілий рухомий склад, який використовує вичерпне паливо. На утримання цього рухомого складу витрачається багато коштів а також багато коштів на поповнення запасів паливно-мастильних матеріалів. Це не раціональна експлуатація такого рухомого складу на цих ділянках так, як він не окупає себе тому, що електрифікація цих ділянок порівняно дорожча в перспективі окупності. В середньому, ціна на електрифікацію складає 3-4 млн грн/км.

Отже приміська ділянка 20-120 км на якій не має вантажного руху а тільки пасажирський або дуже рідко проходить вантажний поїзд, на ній експлуатується лише до 1-3 пар поїздів з зупинками кожні 1,5-3 км і вони курсують кілька разів на день, можуть бути як і дизель-поїзди так і звичайні локомотиви, то таку ділянку можна не електрифікувати, так як експлуатаційні витрати на утримання контактної мережі будуть великими.

Магістерська робота спрямована на розробку системи електричної тяги з використанням сонячної енергії. Тому на таких ділянках можна використовувати відновлювальну енергію, тобто встановити сонячні батареї певної площини на кожній станції або одну велику сонячну батарею яка буде під'єднуватися до загальної мережі електропостачання країни. Замінивши застарілий рухомий склад на електропоїзди з автономним джерелом енергії, це може буди електропоїзд на іоністорах (суперконденсаторах), акумуляторний електропоїзд або комбінований, також можливо, що на криші будуть гнучкі сонячні панелі, для підзарядки бортових накопичувачів та за для власних потреб.

						Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Такий електропоїзд зможе курсувати між станціями без контактної мережі, на станціях під час посадки/висадки пасажирів зможе підзарядити накопичувачі за рахунок власних сонячних батарей на кожній станції або від загальної системи електропостачання.

Також, сонячна енергетика може добре себе зарекомендувати у живленні метрополітенів, використовуючи її на тягу поїздів. При використанні сонячної енергії у метрополітені, можна зменшити витрати електроенергії міста. Це ще один напрямок виконання моєї роботи.

Використання сонячної енергії в тязі дозволить брати енергію сонця не використовувавши загальне електропостачання, по суті, це буде як самодостатній ізольований від зовнішньої енергетичної системи електропоїзд.

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ

З самого початку впровадження електричної тяги у процесах перевезення вантажів чи пасажирів, розглядалися питання по підвищенню енергетичної ефективності.

З того моменту пройшло не так багато часу, підвищити енергетичну ефективність вдалося завдяки:

а) підвищенню тягово-енергетичної ефективності електровозів та електропоїздів за рахунок зменшення питомої витрати енергії на тягу, що досягається:

- підвищенням ккд основного силового обладнання (переходом на асинхронний тяговий привід);
- зниженням енерговитрат на допоміжні потреби;
- вдосконаленням системи рекуперації

б) підвищенню коефіцієнта потужності електровозів та електропоїздів змінного струму, за рахунок використання більш сучасних пасивних та активних перетворювачів.

в) впровадженню реєстратора параметрів руху і автоведення і реєстратор параметрів роботи на електропоїздах, пасажирських і вантажних електровозах постійного і змінного струму. дані системи підвищують точність обліку і планування витрат електроенергії, забезпечують контроль роботи і технічного стану.

г) використанню змінного струму замість постійного для живлення рухомого складу.

д) застосуванню рекуперативного гальмування в пасажирському та приміському русі дозволяє економити не тільки електроенергію, але і час ходу поїздів, що особливо актуально при нагоні запізнення, а також при жорсткому графіку руху поїздів. За розрахунками при рекуперативному гальмуванні на

						Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

затяжних спусках економія часу становить 5-20% в порівнянні з пневматичним гальмуванням. Основні переваги електричного рекуперативного гальмування:

- висока плавність руху поїзда;
- менша ймовірність обриву автозчепних пристроїв і сходу вагонів в вантажних поїздах, більш висока безпека руху, обумовлена також наявністю другого гальма;
- скорочення часу руху на спусках за рахунок підтримки більш високої швидкості;
- економія гальмівних колодок і електричної енергії.

Практика показала, що ефективність рекуперативного гальмування істотно залежить від взаємодії електрорухомого складу і системи тягового електропостачання, їх технічного стану, якості ремонту і настройки схем рекуперації.

Отже, енергетична ефективність дуже важлива. Так як від неї залежить, скільки електроспоживання витрачається на тягу, приблизно 4,5% від загального споживання в країні [1].

З огляду на усі перелічені способи підвищення енергетичної ефективності, можна сказати, що проблем з цим не виникає. Але, нажаль, в нашій країні з цим питання виникає досить велика проблема.

Застосування рекуперативного гальмування повертає в мережу тільки 0,3%, а можна повертати до 5-10% енергії яка витрачається на тягу, на змінному струмі таке гальмування не викликає великих ускладнень але таки не використовується в повну міру, через застаріле обладнання, малі швидкості застосування такого гальмування. На постійному струмі, рекуперація досить складна, щоб використовувати її у повну міру, потрібно щоб енергію рекуперації споживав локомотив або електропоїзд поруч і передати таку енергію для не тягових споживачів складно, витрати при цьому будуть досить

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

суттєвими і весь сенс використання рекуперації втрачається, а якщо не буде споживачів, то не буде і енергії рекуперації.

Проблема оптимізації сполучення систем зовнішнього і тягового електропостачання. Вона обумовлена принципами, що застосовувалися при електрифікації залізниць, коли при будівництві тягових підстанцій одночасно вирішувалася проблема забезпечення електроенергією промислових підприємств інших індустріальних галузей, сільського господарства та населених пунктів. Це призводить до збільшення технологічних втрат електроенергії в системі тягового електропостачання.

Збільшення втрат електроенергії в системі тягового електропостачання обумовлено в першу чергу протіканням по контактної мережі зрівняльних струмів, які з'являються внаслідок різниці напруг по модулю і фазі на шинах суміжних тягових підстанцій, що може бути викликано живленням суміжних тягових підстанцій від різних живлячих енергосистем, наявністю на одній з тягових підстанцій системи подвійної трансформації, значними перетіканнями електроенергії по ліній живлення 110 - 220 кВ, районним навантаженням, порівнянної за величиною з тяговим навантаженням, і т.д. В межах залізниці приблизно в кожній третій міжпідстанційній зоні полігону змінного струму втрати від протікання зрівняльних струмів складають не менше 200-300 тисяч кВт·год в рік. В окремих випадках втрати перевищують 1 мільйон кВт·год в рік.

Причинами погіршення показників якості електроенергії на шинах тягових підстанцій полігону змінного струму можуть бути як режим роботи промислових навантажень, так і вплив електричної тяги. Електрорухомий склад змінного струму, обладнаний двухпульсовими випрямними (випрямно-інверторними) агрегатами, споживаючи в режимі тяги електроенергію на основній частоті, виступає в якості генератора вищих гармонійних складових, які повертаються в мережу живлення. У режимі рекуперативного гальмування електрорухомий склад генерує в контактну мережу як потужність основної

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

частоти, так і вищих гармонійних складових. Тому потрібно встановлювати сучасні перетворювачі та фільтрувати гармонійні складові ще на рухомому складі, для підвищення енергетичної ефективності.

Не менш важливим є те, що більшість тягових підстанцій працюють з застарілим обладнанням (строк служби ≥ 25 років): трансформатори, згладжуючими пристроями, перетворювальними агрегатами. Що в свою чергу також впливає на електропостачання, збільшуються витрати на перетворення енергії.

Найбільший вплив на цю проблему, має технічний стан електрорухомого складу та стан контактної структури. Ці дві проблеми в країні, мабуть, найважливіші у вирішенні питання енергоефективності тяги.

Технічний стан рухомого складу в країні досить критичний через те, що знос тягового парку складає 90%, то споживання електричної енергії збільшилося. Потрібно проводити модернізацію або закупати новий парк локомотивів та електропоїздів, для вирішення проблеми переспоживання електроенергії.

Нажаль наша економіка не може похизуватися значними цифрами у бюджеті, тому вирішуючи цю глобальну проблему потрібні досить великі капіталовкладення.

Отже, головною проблемою підвищення енергоефективності тяги є застаріле обладнання і тяговий парк та бракування коштів на покупку сучасного обладнання і тягового парку або його модернізацію.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

2 АНАЛІЗ ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ НА ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТІ БОРТОВИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

На електротранспорті в якості бортових накопичувачів електроенергії використовувалися: інерційні (маховик) та електричні. До електричних відносяться: іоністори, електрохімічні акумулятори.

2.1 Інерційні механічні накопичувачі

Маховичні накопичувачі енергії - це накопичувач механічної енергії, в якому енергія накопичується і зберігається у вигляді кінетичної енергії обертового маховика, а виділяється у вигляді механічної енергії обертання. Для використання маховика в якості накопичувача енергії його від'єднують до двигуна-генератора, щоб його розкрутити, а потім, механічну енергію обертання перетворюють в електричну.

Електротранспорт який використовував в якості бортового накопичувача електроенергії маховик, був гіробус в середині 20 століття.

Гіробус – це на кшталт тролейбуса з автономним ходом, який рухається за рахунок кінетичної енергії, накопиченої обертовим маховиком, що приводить в рух тяговий генератор і має штанги для підпитки на зупинках. Працює це наступним чином: трифазний мотор-генератор отримує живлення через три рухомі штанги на даху, цей агрегат починає розкручувати маховик до 3000 об/хв. З 0 до 3000 об/хв розганяється за пів години. Він працює в моторному режимі тільки епізодично. Після того як маховик набрав свою швидкість, гіробус виходить на маршрут, щоб поповнювати витрачену енергію, уздовж маршруту проходження гіробуса, обладнуються пункти підзарядки (зазвичай на деяких зупинках). На цих пунктах штанги гіробуса підіймаються і торкаються до встановлених над зупинкою контактів трифазної електричної мережі. Після розгону маховика до потрібних обертів штанги опускаються,

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

агрегат переключається в режим генератора, і гіробус слідує далі. При необхідності, енергія обертового маховика могла віддаватися назад в мережу.

Гіробус мав електричні гальма, при гальмуванні проводилася рекуперація енергії, що збільшувала запас ходу. Підзарядка гіробуса займала від 30 секунд до 3 хвилин. Гіробус міг проїхати приблизно 6 кілометрів зі швидкістю в 50-60 км/ч. при повному заряді маховика. Загалом, маховики мають питому енергію від 2,5 Вт*год/кг у монолітних маховиків і до 1200 Вт*год/кг у перспективних графенових супермаховиків.

Експлуатувалися гіробуси у Швейцарії та Бельгії, саме комерційна експлуатація.

В 2004-05 роках, приблизно через п'ять років після початку французькою стороною (Alstom) випробувань, маховик як джерело тяги знайшов застосування у 5-звенному низькопольному трамвайному вагоні Роттердама. Автономність ходу склала 900 м - без струмоприймачів транспорт з пасажирами перетинав міст ім. Еразма Роттердамського. Маховикові накопичувач в цьому випадку відрізняє дахове розташування. Його застосування в якості джерела автономного ходу пов'язано зі зменшенням власної ваги і розмірів - сучасні маховики виготовлені з композитів (вуглецевого волокна, котрі легші і міцніші металевих сплавів) і обертаються в безповітряному просторі, розкручуючись до десятків тисяч об/хв. Сучасні конструкції з вакуумною камерою обертання і магнітним підвісом супермаховика з кевларового волокна забезпечують щільність запасеної енергії більше 5 МДж / кг, причому можуть зберігати кінетичну енергію тижнями і місяцями. Однак поки вони існують лише у вигляді експериментальних екземплярів або дослідних партій. За оптимістичними оцінками, використання для навивки надміцного «суперкарбонного» волокна дозволить збільшити швидкість обертання і питому щільність енергії, що запасється ще у багато разів - до 2-3 ГДж / кг і ККД 95%.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Не зважаючи на те, що маховики зберігають значну щільність енергії, в електротранспорті зараз їх не використовують. Використовують тільки на дослідних машинах. Тому що, для нормального перевезення пасажирів при великих габаритах транспортного засобу і великій кількості пасажирів, потрібен маховик значного розміру та маси. Також, при збільшені маси і розмірів, збільшується і інерційність маховика, це становить загрозу для безпеки.

Не дуже приємним є момент, що маховик має властивості гіроскопа (прагне зберігати незмінне положення в просторі), тобто, керувати електротранспортом буде складно, на рейках цей ефект не дуже помітний але з точки зору безпеки при великих швидкостях може бути не безпечним. Тому, маховики знайшли собі нішу накопичувачів енергії на тягових підстанціях метрополітену при рекуперативному гальмуванні.

2.2 Електричні накопичувачі електроенергії

2.2.1 Електрохімічні акумулятори

Електрохімічні накопичувачі енергії використовують енергію хімічних реакцій для накопичення і повернення енергії. Такі накопичувачі називаються «гальванічними елементами» або «батареями»

Акумуляторні батареї – це найпоширеніші накопичувачі електроенергії. Вони другі по щільності запасеної енергії після маховиків але практичніше. Вдалий досвід використання акумуляторних батарей на електротранспорті показують електробуси. В якості накопичувача та елемента живлення на електробусах використовуються акумуляторні батареї великої ємності.

Акумуляторні батареї або акумулятори являють собою пристрої, які накопичують і використовують електроенергію без підключення до мережі

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Хімічне джерело струму, джерело ЕРС багаторазової дії, основна специфіка якого полягає в оборотності внутрішніх хімічних процесів, що забезпечує його багаторазове циклічне використання (через заряд-розряд).

Для того, щоб реалізувати необхідну автономність локомотиву та живлення тягових двигунів, потрібно використовувати не звичайні акумулятори, а спеціально створенні для такої цілі.

Такими акумуляторами є тягові. Вони забезпечують необхідну енергію протягом доволі тривалого часу. Також не так сильно підлягають руйнуванню під час глибокого розряду як звичайні, так як розраховані на такий режим роботи.

Тягові акумулятори поділяються на такі різновиди:

- а) срібно-цинковий (СЦА).
- б) свинцево-кислотний (SLA).
- в) нікель-кадмієвий (NiCd).
- г) літій-полімерний (Li-pol, Li-polymer, LiPo, LiP, Li-poly).
- д) літій-залізо-фосфатний (LiFePO₄, LFP).
- е) літій-іонний (Li-ion).
- є) гелевий.
- ж) літій-тітанатний (LTO)

Плюси і мінуси різних видів тягових АКБ та їх короткий опис:

а) срібно-цинковий акумулятор (СЦА) має малий питомий опір і велику питому енергоємність. Особливість - можливість передавати в навантаження струми великої сили

Переваги: малі габарити і невелика вага; висока міцність; широкий діапазон температур для роботи; висока питома енергія.

Недоліки: висока вартість; підвищене газовиділення; короткий термін служби

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

б) свинцево-кислотний акумулятор (SLA) має невисокий потенціал перезарядження. Анодні і катодні пластини виконані зі свинцю. Сірчана кислота виступає в якості електролітного речовини.

Переваги: малий саморозряд; дешева вартість; висока енергоємність.

Недоліки: значна вага

в) нікель-кадмієвий акумулятор (NiCd) - лужний вид АКБ, принцип дії заснований на оборотному процесі. Застосовується там, де основну роль грає струм, що віддається і великий ресурс.

Переваги: низька вартість; робота при низькій температурі; при правильній експлуатації багато робочих циклів; зберігання в розрядженому стані.

Недоліки: токсичність матеріалів; ефект пам'яті

г) Літій-полімерний акумулятор (Li-pol, Li-polymer, LiPo, LIP, Li-poly) володіє вдосконаленою конструкцією. В якості електроліту - полімерний матеріал.

Переваги: відсутність ефекту пам'яті; низький струм саморозряду; широкий діапазон робочих температур; отримання різних форм.

Недоліки: пожежонебезпека.

д) літій-залізо-фосфатний (LiFePO₄, LFP) є видом Li-ion.

Переваги: тривалий термін служби; стабільну напругу розряду; екологічно чистий; повільна втрата ємності.

Недоліки: низька питома щільність енергії.

е) літій-іонний (Li-ion) найрозповсюджений електричний акумулятор. Включає в себе електроди, які розділені пористими сепараторами, просочені електролітом.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Переваги: низький саморозряд; не потребує обслуговування; висока енергетична щільність.

Недоліки: без використання втрачають ємність.

є) гелевий акумулятор містить густий (гелеподібний) електроліт. Це надає йому можливість довгої роботи при правильній експлуатації. Дана технологія заснована на використанні постійної кількості електроліту без доливання води. Завдяки густій консистенції не відбувається витоку. Цей вид акумулятора широко застосовується для моторів електротранспорту та альтернативній енергетиці.

Переваги: низький саморозряд; експлуатація в будь-якому положенні; не токсичний.

Недоліки: не обслуговується після розгерметизації; не підлягає ремонту

ж) літій-тітанатний (LTO) АКБ відносно новий вид хімічної композиції, стабільно віддають струм в десять разів перевищує їх ємність, і в тридцять разів при імпульсних навантаженнях. Ранні зразки витримували до 7000 циклів розрядки, а сучасні акумулятори забезпечують 15000-20000 циклів - з цими показниками не зрівняється жоден інший тип літій-іонних батарей

Переваги: низький саморозряд; експлуатація в будь-якому положенні; величезний за сьогоднішніми мірками ресурс (1000 циклів і більше).

Недоліки: велика ціна; велика вага

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Таблиця 2.1 - Порівняння різних типів тягових акумуляторних батарей

Тип АКБ	Напруга, В	Питома енергоемність, Вт*г/кг	Життєвий цикл, заряд/розряд	Робоча температура, °С
1	2	3	4	5
Срібно-цинковий акумулятор	1,85 (робоча напруга 1,55)	До 150	До 100	-40...+50
Свинцево-кислотний акумулятор	2,11...2,17 (робоча 2,1)	25...40	500...1000	40...+40
Літій-іонний	Максимальна: 4,2 (4,35/4,40 для високовольтних) Мінімальна: 2,5 (2,8/3,0 для високовольтних)	110...270	600 до втрати ємності до 80%	-20...+60
Літій-тітанатний	Робоча 2,4	30...110	15000...20000	-30...+50
Нікель-кадмієвий акумулятор	1,37 (робоча 1,35...1,0)	45...65	100...900	-50...+40

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
Літій-залізо-фосфатний	Максимальна: 3,65 Мінімальна: 2 (повністю розряджений) Робоча : 3,0...3,3	90...160	2000...7000 до втрати 20% ємності	-30...+55

У 2017 році в Австралії був запущений у експлуатацію поїзд з 2-х вагонів на сонячних батареях, в якості накопичувача, був встановлений літій-іоний акумулятор ємністю 77кВт*ч на 410 В. Його маршрут складає 3 км, батареї у 77 кВт*ч вистачає на 15 прогонів цього поїзда. З того часу, він працює бездоганно.



Рисунок 2.1 Поїзд з сонячними батареями та акумуляторною батареєю в якості основного джерела

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	19

Отже, акумуляторні батареї можна використовувати в якості основного джерела живлення.

2.2.2 Суперконденсатори (іоністори)

Іоністори, інша назва суперконденсатори або ультраконденсатори - це такі пристрої, схожі на конденсатори в яких накопичується електричний заряд між двома обкладинками на межі поділу двох середовищ - електроліту і електродами. Його ємність оцінюється в Фарада і в тисячі разів більше ємності електролітичного. Суперконденсатор використовується для зберігання енергії, яка піддається частим циклам заряду / розряду при високих значеннях сили струму і короткою тривалістю. Вся енергія в іоністорах зберігається у вигляді статичного заряду. Накопичення енергії відбувається за рахунок прикладеної постійної напруги на його зовнішні виводи.

Збільшення загальної ємності суперконденсатора здійснюється за рахунок застосування матеріалів які мають досить велику власну поверхневу площу.

У іоністорів обкладки бувають наступних видів: з використанням активованого вугілля, провідних полімерів і різних оксидів металів. Використання дуже пористих вугільних матеріалів дозволяє отримати загальну щільність ємності від 10 Фарад / см³ і навіть вище. Суперконденсатори на основі активованого вугілля виходять дешевшими при промисловому виготовленні. Їх ще називають DLC-конденсаторами - двошаровими, так як ємність накопичується в подвійному шарі, який утворюється на поверхні обкладання.

Електроліт іоністорів, може бути водним або органічним. Іоністори які містять водний електроліт, мають низький внутрішній опір, але їх напруга заряду обмежена рівнем до одного вольт. Навпаки, суперконденсатори на основі органічного електроліту мають досить великий опір, натомість їх рівень заряду 2-3 вольт.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Для того, щоб отримати більш високі значення номіналу напруги, що є у одного іоністора, їх з'єднують послідовно, але при цьому загальна ємність знижується, тому потрібно оптимально підібрати значення ємності і номінальної напруги У суперконденсаторах можливо домогтися щільності потужності на масу робочої речовини від одного до тридцяти кВт·год/кг.

Щільність енергії іоністорів поки ще в кілька разів менше можливостей акумуляторів. Наприклад, щільність енергії іоністорів ВСАР3000 (3000 Ф 2,7 В) масою 0,51 кг становить 21,4 кДж / кг (6 Вт·год/кг). Це в 7,6 рази менше щільності енергії свинцевих електролітичному акумуляторів, в 25 разів менше літій-полімерних акумуляторів, але в десятки разів більше щільності енергії електролітичному конденсатора.



а)- циліндричні; б) – призматичні; в) – модульні

Рисунок 2.2 - Типи конструкційного виконання суперконденсаторів

						Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

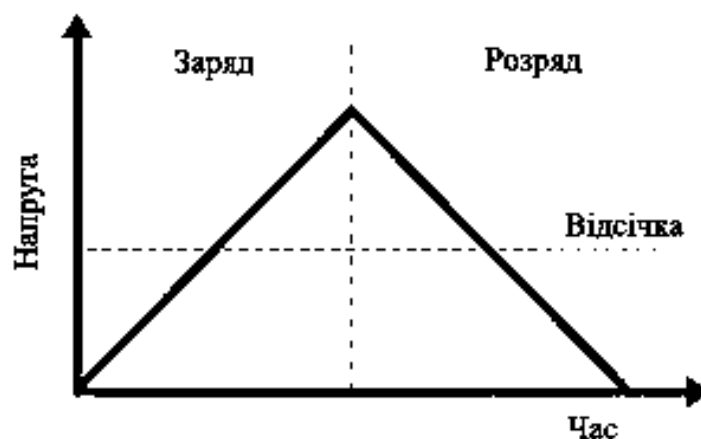


Рисунок 2.3 - Розрядна характеристика суперконденсатора

Плюси суперконденсаторів: малий внутрішній опір, збільшений термін служби, відсутність обмежень по кількості циклів заряд/розряд, широкий діапазон робочих температур, швидкий процес заряду і розряду, робота при будь-якій напрузі, що не вище номінальної, немає необхідності контролю за зарядом

Мінуси суперконденсаторів: низька енергетична щільність, немає можливості забезпечення достатнього накопичення енергії, низька напруга на одному іоністорі, високий рівень саморозряду, висока вартість, при послідовному включенні більше трьох іоністорів, потрібні схеми додаткового збалансування, аби уникнути перенапруги окремої комірки. лінійне зниження рівня напруги протягом часу його роботи до повного розряду. Тому іоністори не можуть утримувати повний заряд. Загальна ступінь заряду обчислюється у відсотках і залежить від того, який номінал напруги спочатку буде додано. Для збільшення ступеня використання енергії застосовують перетворювачі, але при цьому падає ККД.

Відмінність іоністора від конденсатора полягає в тому, що між його електродами немає спеціального шару з діелектрика. Замість цього електроди у іоністора зроблені з речовин, що володіють протилежними типами носіїв заряду.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Електрична ємність конденсатора залежить від площі обкладок: чим вона більше, тим більше ємність. Тому електроди іоністорів найчастіше роблять зі спіненого вуглецю або активованого вугілля. Завдяки цьому прийому вдається отримати велику площу своєрідних "обкладок". Електроди поділяються сепаратором і все це знаходяться в електроліті. Сепаратор необхідний виключно для захисту електродів від короткого замикання. Електроліт же виконується на основі розчинів кислот і лугів і є кристалічним і твердим.

Наприклад, за допомогою твердого кристалічного електроліту на основі заліза, срібла і йоду (RbAg₄I₅) можливе створення іоністорів з низьким саморазрядом, великою ємністю і витримують низькі температури.

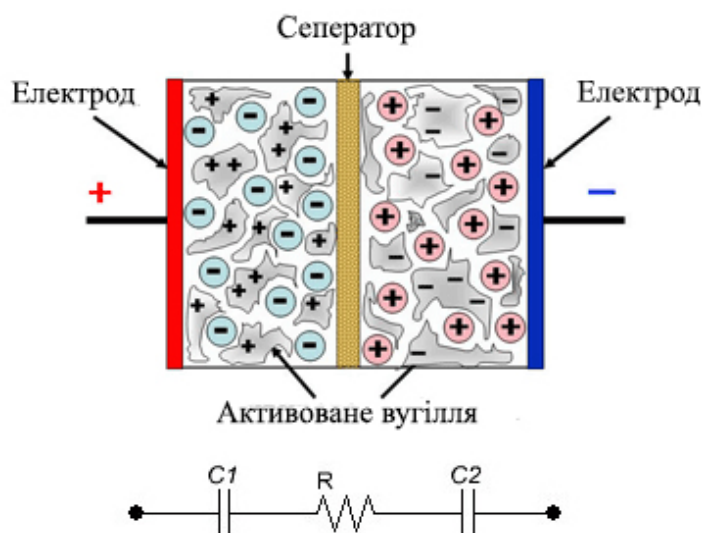


Рисунок 2.4 -Внутрішня будова іоністора

Заряд в іоністорі зберігається на кордоні розділу електрода з вуглецем і електролітом. Товщина електричного шару, який утворений аніонами і катіонами, становить дуже малу величину часом рівну 1 ... 5 нанометрів (нм).

Фахівці покладають великі надії на розробку графенових пристроїв. Застосування інноваційного матеріалу допоможе вже найближчим часом створити вироби з високими показниками накопиченої питомої енергії.

Суперконденсаторні тягові батареї знаходять такі застосування:

а) пусковий пристрій приєднується паралельно тяговим батареям. Застосовується для підвищення експлуатаційного терміну і поліпшення пускових характеристик двигуна.

б) буферні батареї підходять для застосування в гібридному транспорті. Вони характеризуються невеликою ємністю і значною вихідною потужністю.

в) тягові батареї актуальні при використанні в якості основного джерела живлення.

Отже акумуляторні батареї краще підходять для утримання заряду протягом тривалого часу, але, вони не можуть швидко заряджатися та віддавати значну величину струму за досить короткий проміжок часу, тобто, швидко заряджатися/розряджатися. Для таких цілей підходять суперконденсатори (іоністори).

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

3 АНАЛІЗ РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

На початку 40-х років 19 століття., французьким фізиком, був відкритий ефект перетворення світла в електричний струм. Перші прототипи сонячних панелей із селену були створені італійським фотохіміком, кінець 19 – початок 20 століття. Саме тоді, почались більш поглиблена розробка та дослідження в області альтернативної відновлюваної електроенергії з використанням енергії світла від Сонця. Згодом, кінець 40-х років 20 століття, були створені перші робочі сонячні панелі на основі кремнію для отримання електричного струму, а вже наприкінці 50-х, запущені перші супутники з сонячними панелями в якості джерела електричної енергії.

Сонячна панель - об'єднання фотоелектричних перетворювачів (фотоелементів) - напівпровідникових пристроїв, прямо перетворюючих сонячну енергію в постійний електричний струм.

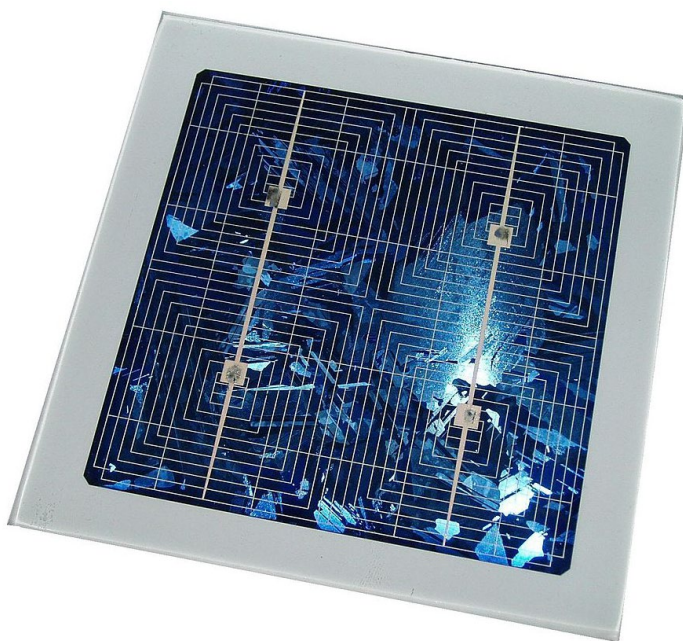


Рисунок 3.1 - Фотоелемент на основі монокристалу кремнію

Отже, як було зазначено вище, сонячні панелі складаються з напівпровідникових фотоелементів, в свою чергу ці фотоелементи за останні 10 річчя зазнали багато вдосконалень з боку їх дослідження та розробки. За цей

						Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

час було винайдено нові хімічні з'єднання напівпровідників, які використовуються у фотоелементах. Ці з'єднання дозволяють підвищити ККД перетворення сонячного світлу в електричний струм, або, якщо достатнього підвищення ККД не спостерігається, то здешевіти процес створення напівпровідникового фотоелементу. Все це відображається у ККД та ціні вже самої сонячної панелі.

Потужність потоку сонячного випромінювання на вході в атмосферу Землі, становить близько $1\,366\text{ Вт/м}^2$. У той же час, питома потужність сонячного випромінювання в Україні в дуже хмарну погоду навіть удень може бути менше 100 Вт/м^2 . За допомогою сонячних панелей можна перетворити цю енергію в електрику з ефективністю $9\ldots38\%$. При цьому ціна панелі складе близько 1-3 доларів США за Ватт номінальної потужності. Фотоелементи і модулі діляться залежно від типу і бувають: монокристалічні, полікристалічні, аморфні (гнучкі, плівкові), багатошарові.

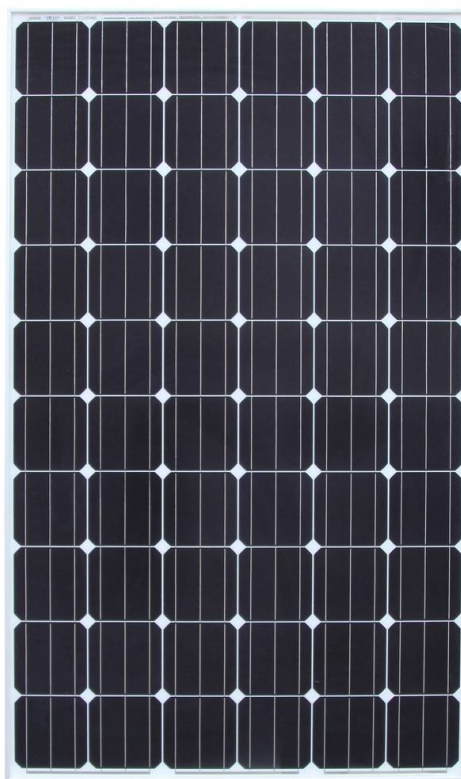


Рисунок 3.2 - Кремнієва монокристалічна сонячна панель

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

У 2009 році компанія Spectrolab (дочірня фірма Boeing) продемонструвала сонячний елемент з ефективністю 41,6% у лабораторних умовах, а у реальних до 39%. У 2011 році каліфорнійська компанія Solar Junction домоглася ККД фотоелемента розміром $5,5 \times 5,5$ мм в 43,5%.

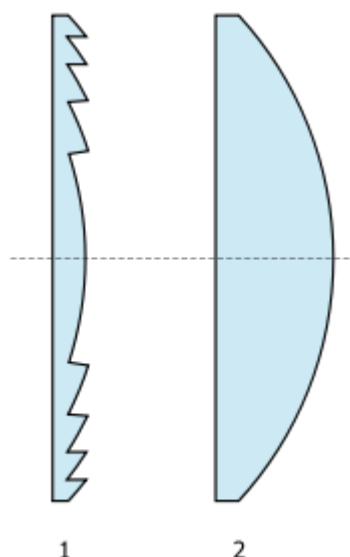
У 2012 році компанія Morgan Solar створила систему Sun Simba з поліметилметакрилату (оргскла), германію та арсеніду галію, об'єднавши концентратор з панеллю, на якій встановлено фотоелемент. ККД системи при нерухомому положенні панелі склав 26-30% (в залежності від пори року і кута, під яким знаходиться Сонце), в два рази перевищивши практичний ККД фотоелементів на основі кристалічного кремнію.

У 2013 році компанія Sharp створила тришаровий фотоелемент розміром 4×4 мм на індієвий-галій-арсенідній основі з ККД 44,4%, а група фахівців з Інституту систем сонячної енергії суспільства Фраунгофера, компаній Soitec, CEA-Leti і Берлінського центру імені Гельмгольца створила використовувачи лінзи Френеля фотоелемент з ККД 44,7%.

Лінза Френеля являє собою оптичну деталь зі складною ступінчастою поверхнею. Лінза Френеля може замінити як сферичну, так і циліндричну лінзи. При цьому ступені такої лінзи можуть бути розмежовані концентричними, спіральними або лінійними канавками. Лінза Френеля, що замінює сферичну лінзу, складається з концентричних кілець, кожне з яких представляє собою ділянку конічної поверхні з криволінійним профілем і є елементом поверхні суцільний лінзи.

Завдяки такій конструкції лінза Френеля має малу товщину і вагу навіть при великій кутовій апертурі. Перетини кілець у лінзи будуються таким чином, щоб знижувалася її сферична аберація, і промені точкового джерела, поміщеного в фокусі лінзи, після заломлення в кільцях виходять практично паралельним пучком.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27



1-лінза Френеля; 2-звичайна лінзи

Рисунок 3.3 - Поперечний перетин

У 2014 році Інститут сонячних енергосистем Фраунгофер створили сонячні батареї, в яких завдяки фокусуванню лінзою світла на дуже маленькому фотоелементі ККД склав 46%.

Перспективним напрямком є створення фотоелементів на основі наноантен, що працюють на безпосередньому випрямленні струмів, що наводяться в антені малих розмірів (близько 200-300 нм) світлом (тобто електромагнітним випромінюванням частоти близько 500 ТГц). Наноантени не вимагають дорогої сировини для виробництва і мають потенційний ККД до 85%.

Особливості будови фотоелементів викликають зниження продуктивності панелей з ростом температури. Зі збільшенням температури фотоелемента на 1°C , його ефективність падає на 0,3...0,5%. Ця залежність нелінійна і підвищення температури елемента на 10°C призводить до зниження ефективності майже в два рази.

Часткове затемнення панелі викликає падіння вихідного напруги за рахунок втрат в неосвітленому елементі, який починає виступати в ролі

						Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

паразитного навантаження. Від даного недоліку можна позбутися шляхом установки байпаса на кожен фотоелемент панелі. У хмарну погоду при відсутності прямих сонячних променів вкрай неефективними стають панелі, в яких використовуються лінзи для концентрування випромінювання, так як зникає ефект лінзи.

З робочої характеристики (рисунок 3.9) фотоелектричної панелі видно, що для досягнення найбільшої ефективності потрібно правильно підбирати опір навантаження. Для цього фотоелектричні панелі не підключають безпосередньо до навантаження, а використовують контролер управління фотоелектричними системами, що забезпечує оптимальний режим роботи панелей.

Контролери управління фотоелектричними системами потрібні для правильного заряду акумуляторних батарей, для захисту від перезаряду та контролю заряд/розряд акумуляторів, також для підключення навантаження.

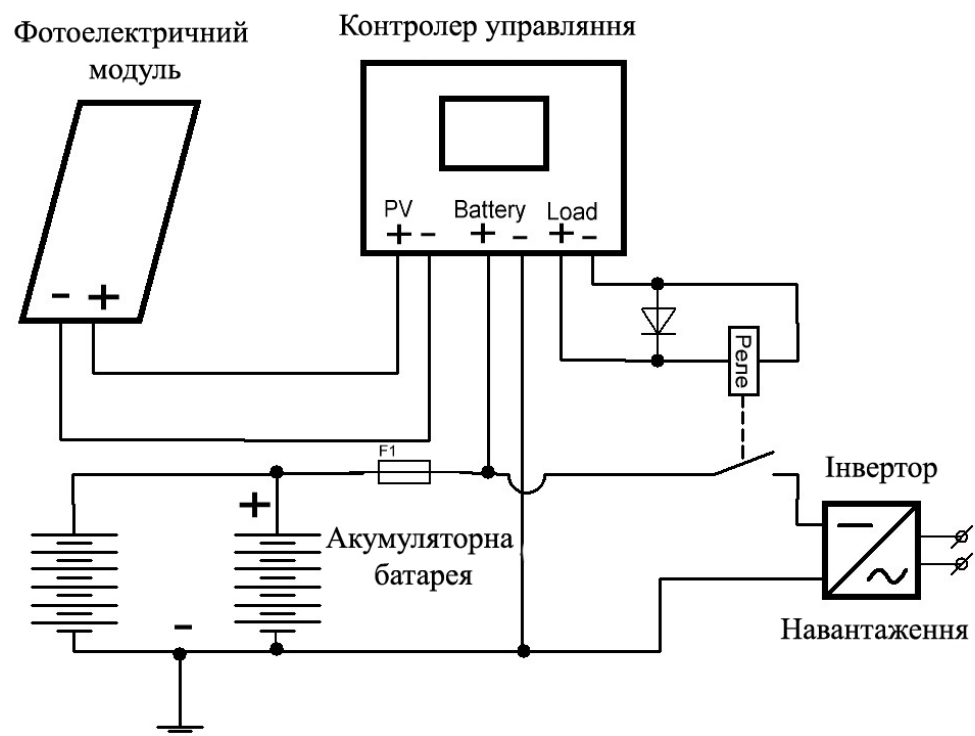


Рисунок 3.4 - Типова схема підключення контролера управління

Сучасні контролери заряду акумуляторів від сонячних батарей поділяються на 2 великі групи - PWM (ШИМ) і MPPT (зі стеженням за ТМП). ШИМ контролер найпоширеніший, він забезпечує заряд батареї на 100%, MPPT контролери більш сучасні і тому в них порівняно зі звичайними контролерами більша ціна, це обумовлено більш складною технологією, вони також застосовують ШИМ для регулювання, це такі контролери які мають змогу відстежувати точку максимальної потужності, що дозволяє не тільки заряджати батареї на 100% але і використовувати сонячні панелі з максимальною ефективністю потужності, відповідно і менші строки окупності системи за рахунок використання повної потужності.

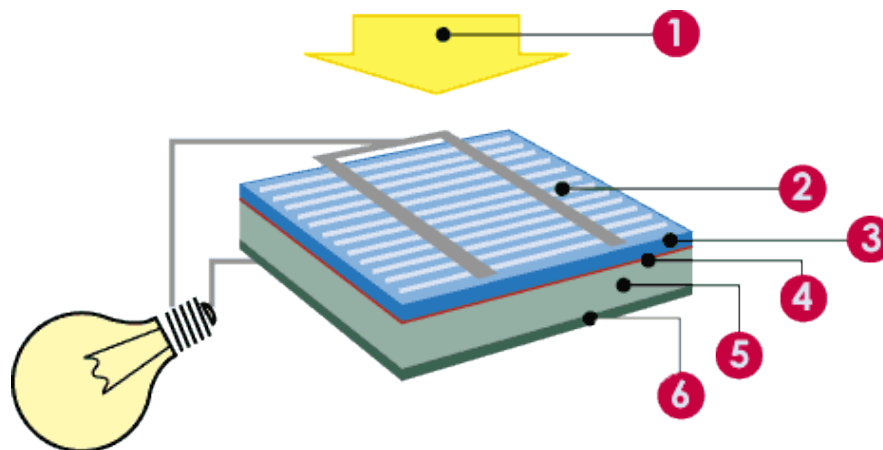
3.1 Принцип дії сонячного елемента та вольт-амперна характеристика сонячної батареї

Коли на сонячний елемент падає сонячних світло, матеріал сонячного елемента поглинає частину сонячного світла (фотони). Кожен фотон має малу кількість енергії. Коли фотон поглинається, він ініціює процес звільнення електрона в сонячному елементі. Внаслідок того, що обидві сторони фотоелектричного елемента мають струмовідводи, в ланцюзі виникає струм коли фотон поглинається. Сонячний елемент генерує електрику, яка може бути використана відразу або збережена в акумуляторної батареї.

Поки сонячний елемент освітлюється, процес утворення вільних електронів триває і генерується електрику. Матеріали, з яких робиться елемент - це напівпровідники з особливими властивостями.

Найпростіша конструкція сонячного елемента (СЕ) - приладу для перетворення енергії сонячного випромінювання - на основі монокристалічного кремнію показана на рисунку 3.5.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

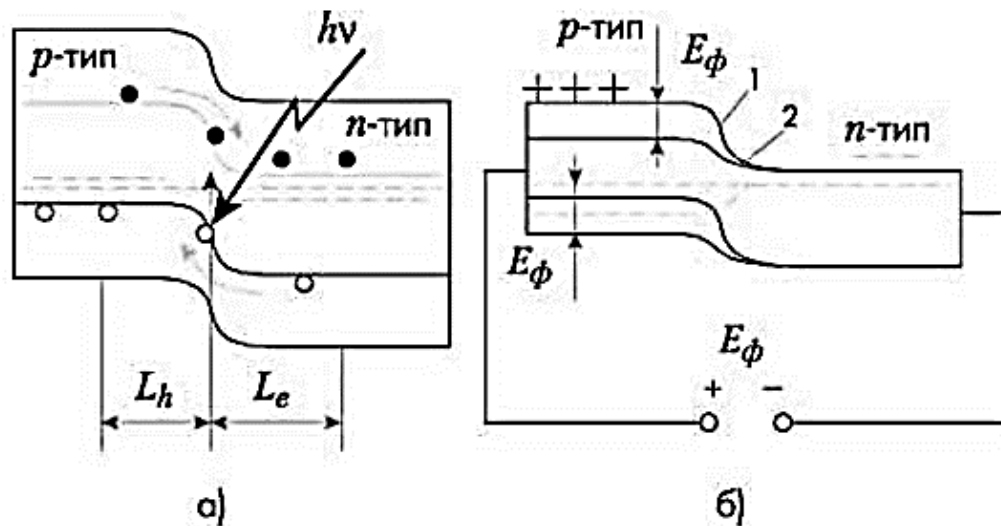


1- світло (фотони); 2- фронтальний контакт; 3- негативний шар; 4- шар р-n переходу;
5- позитивний шар; 6- задній контакт

Рисунок 3.5- Конструкція сонячного елементу

На малій глибині від поверхні кремнієвої пластини р-типу сформований р-n-перехід з тонким металевим контактом. На тильну сторону пластини нанесений суцільний металевий контакт.

Коли СЕ освітлюється, поглинені фотони генерують нерівноважні електрон-діркові пари. Електрони, які генеруються в р-шарі поблизу р-n-переходу, підходять до р-n-переходу і існуючим в ньому електричним полем виносяться в n-область. Аналогічно і надлишкові дірки, створені в n-шарі, частково переносяться в р-шар (рисунок 3.6,а). В результаті n-шар набуває додатковий негативний заряд, а р-шар - позитивний. Знижується первісна контактна різниця потенціалів між р- і n-шарами напівпровідника, і у зовнішньому ланцюзі з'являється напруга (рисунок 3.6,б)



а) - в початковий момент освітлення; б) - зміна зонної моделі під дією постійного освітлення і виникнення фотоЕДС

Рисунок 3.6 - Зонна модель розімкнутого р-п-переходу:

Величина усталеної фотоЕДС при освітленні переходу випромінюванням постійної інтенсивності описується рівнянням вольт-амперної характеристики сонячного елемента (ВАХ СЕ) (рисунок 3.7)

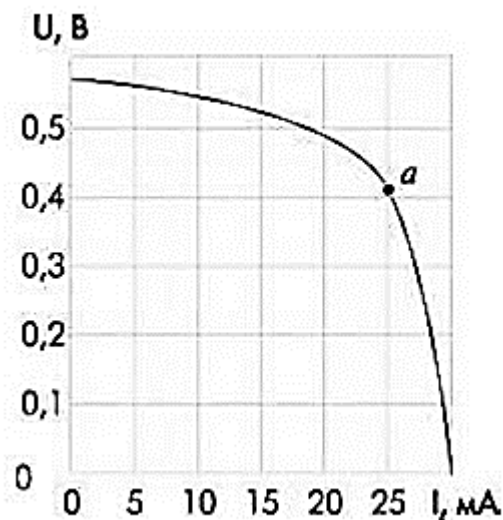


Рисунок 3.7- Вольт-амперна характеристика сонячного елемента

Рівняння вольт-амперної характеристики (див. рисунок 3.7) сонячного елемента :

$$U = \left(\frac{kT}{q}\right) \cdot \ln \left(\frac{(I_{ph} - I) \cdot I_s}{+1}\right) \quad (3.1)$$

де I_s - струм насичення, а I_{ph} - фотострум.

ВАХ пояснює еквівалентна схема фотоелемента (рисунок 3.8), що включає джерело струму $I_{ph} = S q N_0 Q$, де S - площа фотоелемента, а коефіцієнт збирання Q - безрозмірний множник (<1), що показує, яка частка всіх створених світлом електронно-дірочних пар (SN_0) збирається рп-переходом. Паралельно джерелу струму включений р-п-перехід, струм через який дорівнює $I_s [e^{U/kT} - 1]$. р-п-перехід шунтує навантаження, і при збільшенні напруги струм через нього швидко зростає. У навантаження (опір R) відбирається струм I .

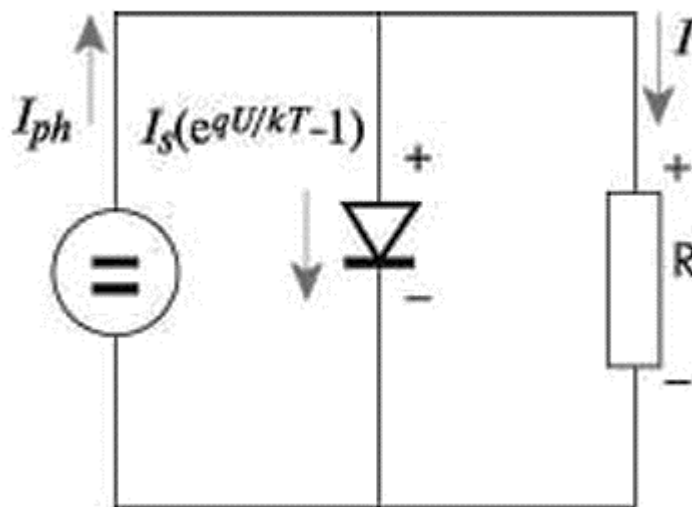


Рисунок 3.8 - Еквівалентна схема фотоелемента

Рівняння ВАХ справедливо і при освітленні фотоелемента світлом довільного спектрального складу, змінюється лише значення фотоструму I_{ph} . Максимальна потужність відбирається в тому випадку, коли фотоеlement знаходиться в режимі, зазначеному точкою а (дивись рисунок 3.7).

Максимальна потужність, що знімається з одиниці площі, дорівнює:

$$P = I_{ph} \cdot U = x \cdot I_{кз} \cdot U_{хх} \quad (3.2)$$

де x - коефіцієнт форми або коефіцієнт заповнення вольт-амперної характеристики, $I_{кз}$ - струм короткого замикання, $U_{хх}$ - напруга холостого ходу.

Коефіцієнт заповнення вольт-амперної характеристики сонячного елемента

Коефіцієнт заповнення ВАХ сонячного елемента (fill factor - FF) - це відношення реальної потужності ($V_{рmax} \times I_{рmax}$) до гіпотетичної потужності ($V_{oc} \times I_{sc}$). Цей коефіцієнт є одним з найголовніших параметрів, за яким можна судити про якість фотоелектричного перетворювача. Типові якісно серійно випускаємі сонячні елементи мають коефіцієнт заповнення $ВАХ > 0.70$. У аморфних елементів і інших тонкоплівкових фотоелектричних перетворювачів коефіцієнт заповнення ВАХ знаходиться в діапазоні 0.4 - 0.7.

Коефіцієнт заповнення ВАХ може також використовуватися для визначення опору сонячного елемента.

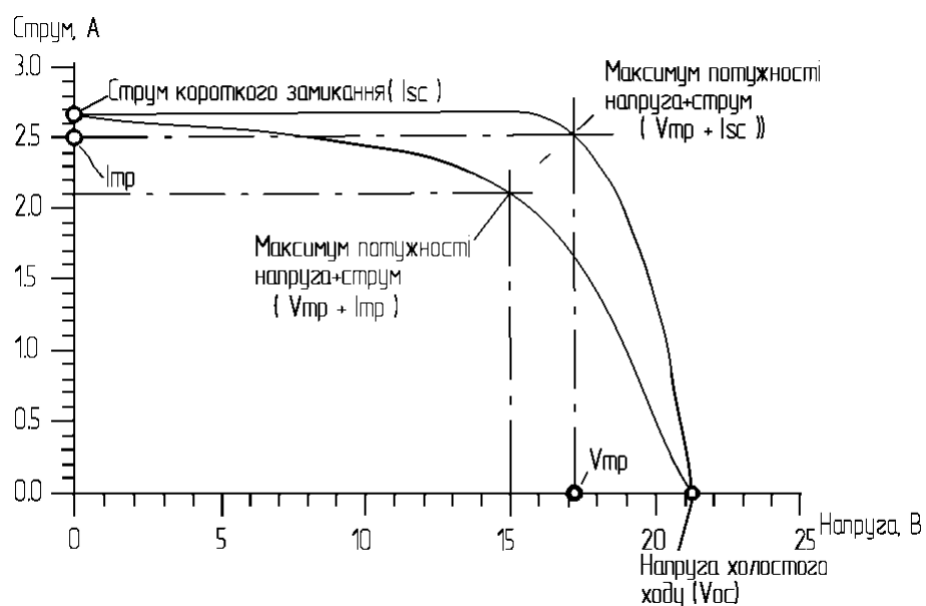


Рисунок 3.8 - Коефіцієнт заповнення ВАХ сонячного модуля

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	34

$$\text{Коефіцієнт заповнення ВАХ (FF)} = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

де:

V_{mp} = напруга в точці максимальної потужності (ТМП)

I_{mp} = струм в ТМП

V_{oc} = напруга холостого ходу

I_{sc} = струм короткого замикання

Вольт-амперна характеристика сонячного модуля

Сонячний модуль може працювати при будь-якій комбінації напруги і струму, розташованим на його вольт-амперній характеристиці (ВАХ). Однак, в реальності модуль працює в одній точці в даний час. Ця точка вибирається не модулем, а електричними характеристиками ланцюга, до якої даний модуль (або сонячна батарея) підключений.

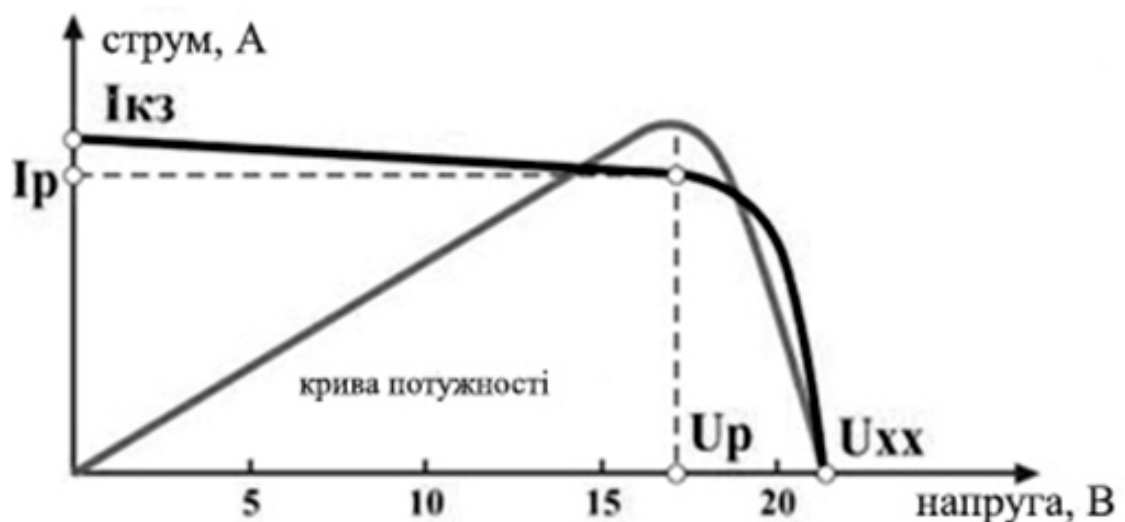


Рисунок 3.9 - Важливі точки вольт-амперної характеристики, які характеризують сонячний модуль

В крайніх точках (U_{xx} , I_{k3}) ВАХ потужність модуля дорівнює 0. На практиці, система працює при комбінації струму і напруги, коли виробляється

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	35

достатня потужність. Краще поєднання називається точкою максимальної потужності (ТМП, або MPP). Відповідні напруга і струм позначаються як V_p (номінальна напруга) і I_p (номінальний струм). Саме для цієї точки визначаються номінальна потужність і ККД сонячного модуля.

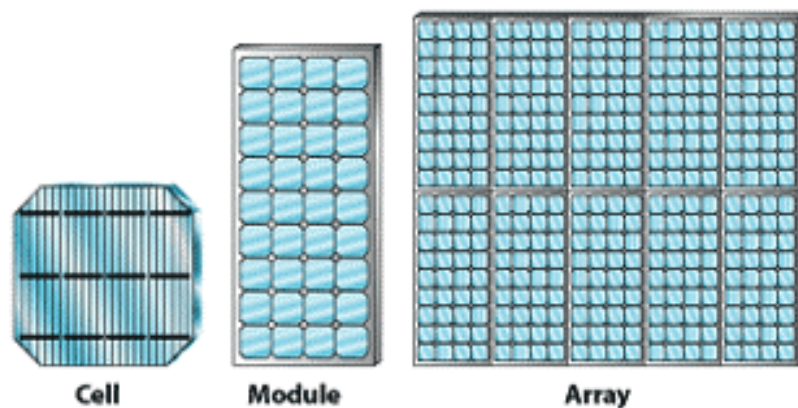
При прямому підключенні сонячного модуля до акумуляторної батареї, модуль працює при напрузі, рівній напрузі акумуляторної батареї в даний момент. У міру заряду АБ її напруга зростає, тому модуль може працювати в діапазоні напруги від 10 до 14,5В для модуля номінальною напругою 12В. Для модулів з номінальною напругою 24В значення напруги потрібно помножити на 2

Як видно з ВАХ сонячного модуля (рисунок 3.9), виробники намагаються зробити номінальної напругу в максимальній точці рівній 17В. Це зроблено для того, щоб компенсувати втрати напруги в фотоелектричній системі і зберегти можливість повного заряду акумуляторної батареї.

Для того щоб зарядити АБ напругою 12В потрібно довести її напругу до 14,5В, а в реальних умовах напруга сонячних панелей виявиться нижче 17В, по-перше, через нагрів модуля, при нагріванні напруга може знижуватися приблизно на 0,5В, по-друге, існують втрати в з'єднувальних проводах, також, рідко коли рівень освітленості дорівнює 1000 Вт/м^2 . Все це призводить до зниження напруги на модулі і в дійсності ця напруга виявиться близькою до 14,5В.

Найбільш типові сонячні панелі - це кремнієві фотоелектричні модулі потужністю 15-360 Wp (піковий ват, тобто потужністю максимум в 15-360 Вт при яскравому сонці). Такий сонячний модуль має розмір до 2 м^2 . Сонячні панелі (PV modules) можуть з'єднуватися між собою у сонячні батареї (arrays) для того, щоб отримати більшу потужність (наприклад, 2 модуля по 50 Wp, з'єднаних разом, еквівалентні модулю потужністю 100 Wp).

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36



Cell – фотоелектричний елемент; Module – сонячна панель (модуль); Array – сонячна батарея (сбірка з декількох сонячних панелей (модулів))

Рисунок 3.10 - Елементи сонячної батареї

3.2 Типи сонячних елементів

Сонячні елементи (фотоелементи) можуть бути наступних типів: монокристалічні, полікристалічні і аморфні (тонкоплівкові). Різниця між цими типами в тому, як організовані атоми кремнію в кристалі. Різні сонячні елементи мають різний ККД перетворення енергії світла. Моно- і полікристалічні елементи мають майже однаковий ККД, який вище, ніж у сонячних елементів, виготовлених з аморфного кремнію.

В останні роки розроблені нові типи матеріалів для сонячних елементів. Наприклад, тонкоплівкові фотоелектричні елементи з мідь-індій-діселеніда і з CdTe (телурид кадмію). Ці сонячні елементи останнім часом також комерційно використовуються. Технології їх виробництва постійно розвиваються, за останнє десятиліття ККД тонкоплівкових елементів виріс приблизно в 2 рази. Однією з останніх технологій сонячних модулів з аморфного кремнію є тандемні сонячні модулі, які мають підвищених ККД.

Таблиця 3.1 - Зрівняння різних типів сонячних елементів по їх електричним властивостям

Тип елемента	Розмір елемента, мм	Ефективність, %	Потужність, P_{max} , Вт	Напруга холостого ходу, V_{oc} , В	Струм короткого замикання I_{sc} , А
Полікристалічні	156x156	16,40	3,99	0,618	8,27
		16,20	3,94	0,616	8,21
		⋮	⋮	⋮	⋮
		15,00	3,65	0,607	7,77
Монокристалічні	156x156	17,60	4,21	0,624	8,63
		17,40	4,16	0,623	8,57
		⋮	⋮	⋮	⋮
		16,00	3,82	0,613	8,08
Монокристалічні	125x125	17,40	2,59	0,621	5,35
		17,20	2,56	0,619	5,31
		⋮	⋮	⋮	⋮
		16,00	2,38	0,609	5,08

Порівняння тонкоплівкових і кристалічних сонячних фотоелектричних модулів:

а) тонкоплівкові модулі з аморфного кремнію. На відміну від кристалічного матеріалу, тут немає структурованого положення атомів. Тому у аморфного кремнію гірше напівпровідникові властивості і, отже, менше ККД перетворення світла. Однак для виробництва елементів необхідно набагато

менше кремнію і він може бути нанесений практично на будь-яку поверхню - скло, метал або інший матеріал. ККД елементів з аморфного кремнію з одним шаром - близько 6%. Частка модулів з аморфного кремнію на ринку незначна.

б) CSG (Crystalline Silicon on Glass) виглядають як модулі з аморфного кремнію, але насправді є кристалічними. Спеціальний технологічний процес дозволяє наносити тонкий шар кристалічного кремнію (близько 2мкм) прямо на скло (тоді як товщина «звичайного» ФЕП становить 200-300мкм). Контакти впроваджують з використанням лазера і трафаретного друку. Перші фотоелектричні модулі, вироблені за такою технологією, мали ККД близько 7%.

в) CdTe модулі (кадмій-телуrowoї). Ця спеціальна тонкоплівкова технологія має великий потенціал для зниження вартості фотоелектричних модулів. ККД модулів досягає 18%. Зміст кадмію в модулі менше, ніж у звичайній пальчикової батарейці, і виробники обіцяють приймати на переробку всі вироблені ними «відпрацьовані» модулі.

г) CIS модулі. Основні інгредієнти CIS модулів - мідь, індій, селен, і іноді галій (тоді елементи позначаються як CIGS). CIS мають найбільший ККД в групі тонкоплівкових ФЕП (до 16-18% в модулі).

У Південній Кореї була розроблена принципово нова технологія тонкоплівкових модулів, що може значно сприяти масовому їх поширенню за рахунок здешевлення і збільшення енергоємності. У нових сонячних елементах присутні 3 кольорових шару на базі наногранул з діоксиду титану. Завдяки кількості шарів нові сонячні елементи можуть збирати видиме світло в трьох найбільш активних довжинах - червоній, синій і зеленій. В результаті, сонячний елемент виробляє електроенергії майже в 3 рази більше, ніж звичайні фотоелектричні панелі.

Для створення цих елементів використовувався метод хроматографії і зовсім не використовувався кремній, що робить виробництво недорогим і не

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

залежних від вичерпних природних ресурсів. Товщина готової плівки складає всього 20 нанометрів, вона здатна виробляти до 30 міліампер електрики з кожного квадратного сантиметра. Її ККД становить близько 17-18%.

Таблиця 3.2 - Порівняння кристалічних та тонкоплівкових сонячних модулів

Технологія	Кристалічний кремній	Тонкоплівкові модулі
1	2	3
Різновиди технології	Монокристалічний кремній (с-Si) Полікристалічний кремній (pc-Si / mc-Si)	Аморфний кремній (a-Si) Телурид кадмію (CdTe) Copper Indium Gallium Selenide (CIG / CIGS) Органічні фотоелементи (OPV / DSC / DYSC)
Відношення напруги в робочій точці до напруги холостого ходу (V_{mp} / V_{oc})	80% -85%	72% -78%
Температурні коефіцієнти (низький температурний коефіцієнт краще при роботі з високими температурами навколишнього середовища)	вище (-0,4-0,5% / градус)	нижче(-0,1-0,2% / градус)

Продовження таблиці 3.2

Заповнення вольт- амперної характеристики	73% -82%	60% -68%
Конструкція модуля	В рамі з анодованого алюмінію	Без рами, між 2 склами - ціна нижче, вага більше на гнучкій основі - легше, дешевше
ККД модуля	13% -20,2%	4% - 12%
Сумісність з інверторами	Чим менше температурний коефіцієнт, тим краще. Можна використовувати безтрансформаторні інвертори	Повинні враховуватися такі фактори, як температурний коефіцієнт, відношення V_{oc} / V_{mp} , опір ізоляції і т.п. Зазвичай для тонкоплівкових модулів потрібно використовувати інвертор з гальванічною розв'язкою
З'єднання постійного струму	Типові	Типові, іноді може знадобитися більше разгалужувачів і запобіжників
Необхідна площа	Приблизно 150 Вт/м ²	Може знадобитися до 50% більше площі для тієї ж потужності

В останній час, у науково-дослідних роботах в фотоелектричній індустрії та виготовленні сонячних елементів, з'явилася нова технологія фаворит. Це PERC – що означає Passivated Emitter Rear Contact (пасивований емітер задній контакт), більш зрозуміло, діелектричний шар на задній частині PERC сонячного елемента.

Цей шар на задній частині сонячного елемента допомагає відбивати світло, що проходить через сонячний елемент, назад всередину елемента, тому він може генерувати більше вільних електронів. Цей ефект також відомий як backside passivation (пасивування задньої сторони).

Сонячні елементи, виготовлені за технологією PERC мають ефективність понад 20,5%. Це забезпечує їм перевагу в порівнянні зі звичайними кремнієвими сонячними елементами р-типу, які мають ККД близько 17-20%.

Ця різниця в ефективності додає 3-5 Вт номінальної потужності для PERC модуля з 60 сонячними елементами в порівнянні зі звичайним сонячним модулем.

Крім більш високої ефективності, сонячні елементи PERC потенційно мають і економічну перевагу. Однак, для того, щоб PERC модулі стали дешевше звичайних, потрібно істотне збільшення виробничих потужностей.

Так як PERC сумісний з існуючим обладнанням для виробництва, перехід на нову технологію для виробників буде нескладним.

PERC збільшує ККД сонячного елемента за рахунок додаткового перетворення довгохвильового спектра світла. Такого світла зазвичай більше вранці і ввечері (коли світло проходить через атмосферу під кутом) або під час хмарних днів. В цей час короткохвильовий світло поглинається атмосферою, а довгохвильовий досягає поверхні Землі.

						Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тому основна причина, чому PERC генерує більше енергії - це відображення частини світла від діелектричного шару в задній частині сонячного елемента. Це веде до корисного використання додаткової порції червоного світла, особливо вранці, ввечері і в хмарну погоду.

Сонячні елементи PERC мають додатковий шар на задній стороні елемента. Цей додатковий шар називається dielectric passivation layer (DPL).

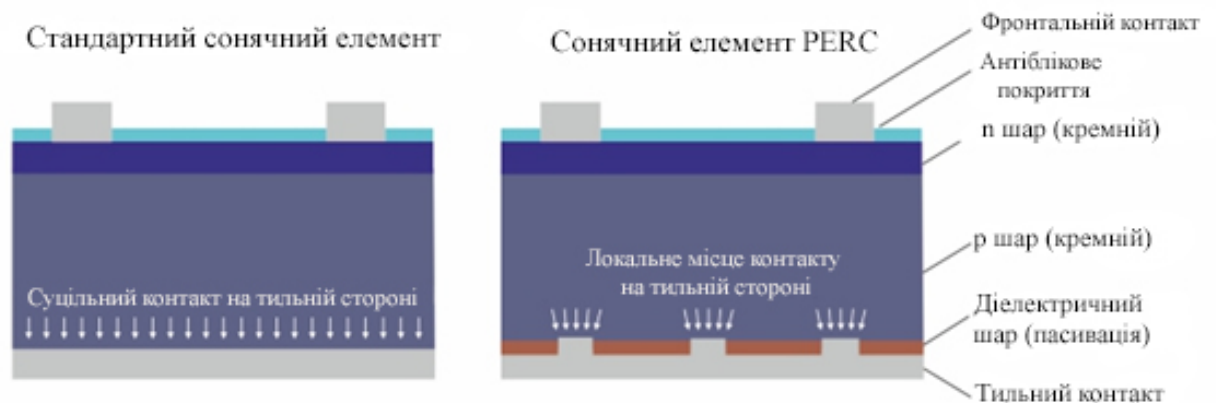


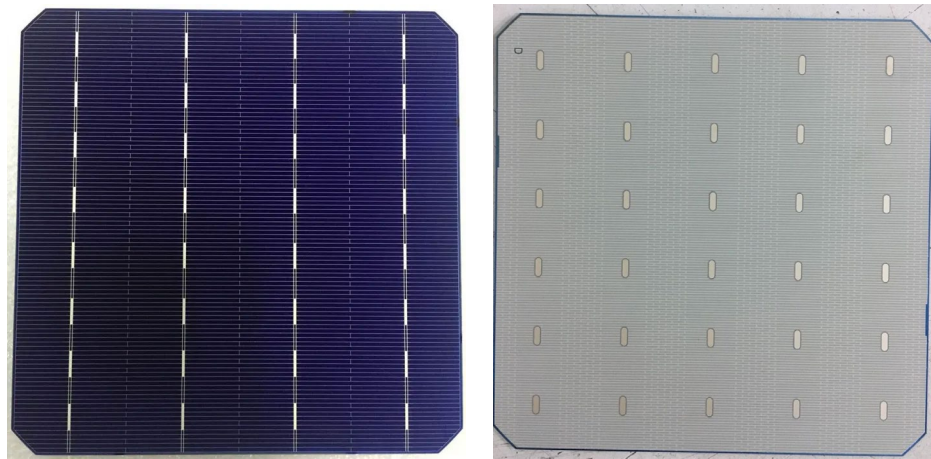
Рисунок 3.11 - Різниця звичайного і PERC сонячного елементів

Є 3 основні причини, чому діелектричний пасивований шар збільшує ефективність сонячного елемента:

а) додатковий DPL зменшує рекомбінацію електронів: рекомбінація електронів в загальному випадку блокує вільне переміщення електронів в сонячному елементі, що означає, що він не може досягти максимальної ефективності. У PERC електрони, що генеруються біля заднього контакту можуть вільно рухатися до емітера і збільшувати генерований струм.

б) додатковий діелектричний пасивуючий шар збільшує здатність сонячного елемента "ловити" сонячне світло: діелектричний шар відбиває світло, що пройшло крізь сонячний елемент. Це відбите світло генерує додатковий струм в сонячному елементі.

в) додатковий діелектричний пасивуючий шар відбиває світло з довжиною хвилі більше 1180 нм за межі сонячного елемента. У звичайному елементі ця частина сонячного світла призводить до нагрівання елемента: кремнієві сонячні елементи не поглинають світло з довжиною хвилі більше 1180 нанометрів. У звичайних сонячних елементах цей світ абсорбується заднім металізованим шаром і перетворюється в тепло. PERC елемент відображає частину сонячного світла від діелектричного шару. Як відомо, нагрів знижує ефективність сонячних елементів. Цей шар відбиває світло з довжиною хвилі більше 1180 нм за межі сонячного елемента і допомагає сонячному елементу працювати більш ефективно за рахунок меншого нагріву.



а)

б)

а) спереду; б) ззаду

Рисунок 3.12 - PERC елемент

Для використання сонячної енергії в широкому діапазоні, як і використанні постійного струму так і використання змінного струму. Для використання змінного струму потрібно перетворювати постійний струм у змінний. Цим займаються інвертори.

Інвертор - пристрій для перетворення постійного струму в змінний зі зміною величини напруги. Зазвичай являє собою генератор періодичного напруги, за формою наближеного до синусоїди, або дискретного сигналу.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
					44

В сучасних сонячних мережевих електростанціях використовують потужні стрингові інвертори, діапазон потужності знаходиться від 30 кВт до 136 кВт, і з ККД 98,6 % є ще інвертори з 99% ККД.

На сьогоднішній час існує три типи інверторів:

а) автономний (off grid) - системи електропостачання, не пов'язані з мережами централізованого електропостачання. Такі інвертори здатні забезпечити електроенергією навантаження в денний час від сонця, а в нічний час або в похмуру погоду електроенергією забезпечують акумуляторні батареї.

б) мережевий, синхронний (on grid) - даний тип інверторів не використовує акумуляторні батареї і для автономних систем не призначений. Мережеві інвертори працюють виключно в зв'язці з зовнішніми мережами. Простіше кажучи, якщо міська мережа ліній електропередач працює - значить мережевий інвертор передає електроенергію, якщо в міській мережі пропала електрика, - інвертор перестає передавати в мережу струм. Основною причиною такої логіки роботи мережевого інвертора це безпека ремонтної команди, що усуває поломку на лінії електропередач. Інша причина - це захист самого інвертора яка в разі аварії призвело до знеструмлення зовнішніх мереж або призвела до стрибків напруги або частот за межі допустимих норм повинна відключити інвертор в рамках штатного режиму.

в) гібридний, багатофункціональний (hybrid) - інвертори цього класу одночасно виконують функції автономного електропостачання використовуючи в системі акумуляторні батареї і працюють як мережевий інвертор транслюючи електроенергію в мережу. Гібридні інвертори мають більш складний і широкий діапазон налаштувань.

Сучасні інвертори комплектуються системою контролю MPPT, контроль за точкою максимальної потужності. Такі інвертори можна використовувати без контролерів заряду, адже в них вже є така функція, і вони можуть заряджати акумулятори.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Інвертори можна перевантажувати по потужності до 20%, наприклад сонячна станція має потужність 770 кВт а потужність інверторів сумарна 720 кВт. Це робиться для того, щоб на протязі всього року, була максимальна потужність системи.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

4 РОЗРАХУНОК СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ НА ЕЛЕКТРОПОЇЗДІ

В цьому розділі будуть проведені розрахунки накопичувачів електроенергії, які будуть застосовуватися на електрорухомому складі, а також розрахунок системи генерування сонячної енергії. Всі розрахунки які будуть приведені в цьому розділі приводжу до застосування цієї системи у метрополітені для розгрузки енергосистеми міста і економії електроенергії. За результатами розрахунків буде складено висновок про доцільність застосування таких систем електропостачання.

Отже, як було сказано вище, в цій магістерській роботі розробляється система електропостачання до електрорухомого складу не тільки наземного використання, а ще й підземного (метрополітену). Так, метро може працювати і від сонячної електроенергії, сонячні панелі розміщуються на покрівлі входів до метро, та території електродепо. В нашому місті існує метрополітен (метро), кількість станцій, станом на 2020 рік, складає 6-ть станцій. Довжина лінії метро – 7,09 км. Загальна річна витрата електроенергії на тягу поїздів складає $A_{\text{заг}} = 2631441,98 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ [13]. Що місячні витрати на тягу поїздів метро складають:

$$A_{\text{міс}} = \frac{A_{\text{заг}}}{12}, \text{ кВт} \cdot \text{год/міс} \quad (4.1)$$

$$A_{\text{міс}} = \frac{2631441,98}{12} = 219286,83 \text{ кВт} \cdot \text{год/міс}$$

В середньому, площа покрівлі одного входу до метро становить 103,8 м². В місті розташовано 26 входів, тому їх загальна площа дорівнює $S_{\text{покр.}} = 2595 \text{ м}^2$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

4.1 Розрахунок сонячної батареї

Розрахунок сонячної батареї буду проводити для трьох різних сонячних панелей. Характеристики сонячних панелей представлені у вигляді таблиці 4.1.

По результатам розрахунку, за техніко-економічною оцінкою, обереться найраціональніша панель з якої буде зроблена сонячна батарея.

Таблиця 4.1 – Характеристики сонячних панелей

Тип кристалу	Моно (PERC)	Моно	Полі
1	2	3	4
Розміри, мм			
-висота, а	2148	2015	2018
-ширина, b	1060	996	1048
Площа м ²	2,28	2,14	2,14
Потужність, Вт	445	405	430
Напруга холостого ходу, Voc В	49,45	48,75	48,4
Максимальна напруга, Vmp В	40,91	40,55	39,9
Максимальна напруга по постійному струму, Vdc В	1500	1500	1500
Максимальний струм, Imp А	10,88	10	10,78
Струм короткого замикання, Isc А	11,38	10,60	11,32
ККД модуля, %	20,8	20,2	19,5
Ціна, С грн/шт	4090	3120	4200

Визначимо потужність однієї панелі протягом року. Для цього потрібно знати рівень сонячної інсоляції в регіоні. Значення сонячної інсоляції (радіації) у регіоні міста Дніпро наведені у таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Рівень інсоляції в Дніпрі, кВт·год/м² в день (за даними НАСА)

Місяць	Інсоляція $E_{\text{інсол.сон}}$, кВт·год/м ² в день	Середня $E_{\text{інсол.сон}}$ за рік, кВт·год/м ² в день
1	2	3
Січень	1,21	3,35
Лютий	1,99	
Березень	2,98	
Травень	4,05	
Червень	5,55	
Липень	5,57	
Серпень	5,70	
Вересень	5,08	
Жовтень	3,66	
Листопад	2,27	
Грудень	1,20	

Розрахуємо значення виробленої енергії однією сонячною панеллю в залежності від сонячної інсоляції за формулою:

$$E_{\text{вир.сп}} = \frac{E_{\text{інсол.сон}} \cdot P_{\text{сп}}}{P_{\text{інсол}} \cdot k}, \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (4.1)$$

де - $E_{\text{інсол}}$ – значення інсоляції із таблиці 4.2, у кВт·год/м² в день;

$P_{\text{інсол}}$ – потужність інсоляції на земній поверхні на одному метру квадратному, $P_{\text{інсол}} = 1 \text{ кВт/м}^2$;

$P_{\text{спн}}$ – номінальна потужність сонячної панелі (при $t^\circ = 25^\circ\text{C}$ і $P_{\text{інсол}} = 1 \text{ кВт/м}^2$) у кВт;

k – коефіцієнт втрат на заряд/розряд акумуляторів, перетворення постійної напруги у змінну $k = 1,2 \dots 1,4$. Для розрахунків приймаємо $k = 1,2$.

Для прикладу, розрахую значення енергії яка буде виробляти одна сонячна панель у січні. Сонячну панель для розрахунку обираю із таблиці 4.1.1, це панель із Монокристалу (PERC), другий стовпчик. Підставляю значення у формулу 4.1.1:

$$E_{\text{вир.сп.січень}} = \frac{1,21 \cdot 0,445}{1 \cdot 1,2} = 0,449 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

У січні, ця панель буде виробляти енергію $E_{\text{вир.сп.січень}} = 0,449 \text{ кВт} \cdot \text{год}$

Подальші розрахунки для останніх місяців і з іншими типами модулів робляться аналогічно, результати розрахунків виробленої енергії по місяцям заносяться до таблиці 4.3

Таблиця 4.3 – Результати розрахунків формули (4.1)

Місяць	Монокристал (PERC)	Монокристал	Полікристал
1	Вироблена енергія $E_{\text{вир.сп}}$, кВт·год		
	2	3	4
Січень	0,449	0,408	0,434
Лютий	0,738	0,672	0,713
Березень	1,105	1,006	1,068
Квітень	1,502	1,367	1,451
Травень	2,058	1,873	1,989
Червень	2,066	1,880	1,996
Липень	2,114	1,924	2,043
Серпень	1,884	1,715	1,820
Вересень	1,357	1,235	1,312
Жовтень	0,842	0,766	0,813
Листопад	0,445	0,405	0,430

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4
Грудень	0,356	0,324	0,344
Загалом	14,915	13,574	14,412

Як видно із таблиці 4.3, протягом року, одна сонячна панель потужністю 445 Вт, зможе виробити 14,915 кВт·год енергії, 405 Вт – виробляє 13,574 кВт·год, 430 Вт – виробляє 14,412 кВт·год.

Далі, розрахуємо потужність сонячної панелі враховуючи споживану енергія електропоїздом та з поправкою на інсоляцію за формулою:

$$P_{\text{сп}} = \frac{E_{\text{с}} \cdot k \cdot E_{\text{вир.сп}}}{P_{\text{інсол}}}, \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (4.2)$$

де - $E_{\text{с}}$ – споживана енергія за місяць, у кВт·год. $E_{\text{с}} = 219286,83 \text{ кВт} \cdot \text{год}$.

Розрахунок буде таким же як і попередній, для прикладу розрахую $P_{\text{сп}}$ для січня:

$$P_{\text{сп.січень}} = \frac{219286,83 \cdot 1,2 \cdot 0,449}{1} = 81996,52 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Подальший розрахунок інших місяців з використанням інших сонячних модулів буде таким же самим, тому результати заносяться до таблиці 4.4

Таблиця 4.4 – Результати розрахунку потужності панелей

Місяць	Монокристал (PERC)	Монокристал	Полікристал
1	Потужність $P_{\text{сп}}$, кВт		
	2	3	4
Січень	118074,99	107461,51	114094,94
Лютий	194189,45	176734,22	187643,74

Продовження таблиці 4.4

Березень	290796,27	264657,28	280994,15
Квітень	395209,69	359685,23	381888,02
Травень	541583,65	492901,98	523328,02
Червень	543535,31	494678,20	525213,89
Липень	556221,05	506223,65	537472,02
Серпень	495719,81	451160,73	479010,16
Вересень	357152,46	325048,87	345113,62
Жовтень	221512,59	201601,35	214045,88
Листопад	117099,17	106573,40	113152,01
Грудень	93679,33	85258,72	90521,60
Загалом	3924773,78	3571985,13	3792478,04

З таблиці 4.4 видно, протягом року, різні панелі виробляють різну кількість електроенергії. Сонячні панелі на основі: монокристалу (PERC) виробляють 3924773,78 кВт·год на рік; монокристалу - 3571985,13 кВт·год на рік; полікристалу - 3792478,04 кВт·год на рік.

Для визначення кількості сонячних панелей, використовується формула:

$$N_{\text{сп}} = \frac{P_{\text{сп.заг}}}{E_{\text{вир.сп.заг}}}, \text{ шт} \quad (4.3)$$

На приклад, розрахуємо кількість сонячних панелей типу монокристалу (PERC):

$$N_{\text{сп1}} = \frac{3924773,78}{14,915} = 263144 \text{ шт}$$

Для інших сонячних панелей, їх кількість буде однаковою.

Зміни відбуваються у площині панелей, зміна геометричних розмірів призводить до подорожчання чи здешевлення.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Наступним етапом розрахунку, буде розрахунок площини, яку займають сонячні панелі. Площа розраховується за формулою:

$$S_{\text{заг.пл.сп}} = S_{\text{сп}n} \cdot N_{\text{сп}}, \text{ м}^2 \quad (4.4)$$

де – $S_{\text{сп}}$ – площа однієї сонячної панелі, м^2 :

$$S_{\text{сп}n} = a \cdot b, \text{ м}^2 \quad (4.5)$$

де – a і b геометричні розміри сонячної панелі, a - висота, мм ; b – ширина, мм .

$$S_{\text{сп}1} = 21480 \cdot 1060 = 2276880 \text{ мм}^2 = 2,277 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{сп}2} = 2015 \cdot 996 = 2006940 \text{ мм}^2 = 2,007 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{сп}3} = 2018 \cdot 1048 = 2114864 \text{ мм}^2 = 2,115 \text{ м}^2$$

Розрахуємо загальну площу, яку займають сонячні панелі за формулою (4.4):

$$S_{\text{заг.пл.сп}1} = 2,277 \cdot 263144 = 599148 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{заг.пл.сп}2} = 2,007 \cdot 263144 = 528115 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{заг.пл.сп}3} = 2,115 \cdot 263144 = 556514 \text{ м}^2$$

Отже, враховуючи загальну площину та ціну однієї панелі, можна визначити яка з трьох типів панелей буде доцільнішою для використання.

Приблизний розрахунок потрібної кількості грошей проводиться за формулою:

$$C_{\text{сб}} = C_{\text{сп}n} \cdot N_{\text{сп}}, \text{ грн} \quad (4.6)$$

де – $C_{\text{сп}}$ - ціна сонячної панелі (див. таблицю 4.1), грн ;

$C_{\text{сб}}$ – приблизна ціна сонячної батареї, грн .

$$C_{\text{сб}1} = 4090 \cdot 263144 = 1076259769,82 \text{ грн} = 1,076 \text{ млрд. грн}$$

						Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{сб1} = 3120 \cdot 263144 = 821009897,76 \text{ грн} = 0,821 \text{ млрд. грн}$$

$$C_{сб1} = 4200 \cdot 263144 = 1105205631,60 \text{ грн} = 1,11 \text{ млрд. грн}$$

Зробимо порівняльну таблицю сонячних панелей за вартістю, виробленою енергією та різницею виробленої потужності до споживаної. Споживана потужність $P_{спож}$ дорівнює 219286,83 кВт·год на місяць.

Таблиця 4.5 – Порівняння сонячних панелей

Місяць	Монокристал (PERC)	Монокристал	Полікристал	Різниця між виробленою та споживаною потужністю, ΔP кВт		
1	Потужність $P_{сп}$, кВт·год			$\Delta P = P_{сп} - P_{спож}$, кВт·год		
	2	3	4	5	6	7
Січень	118074,99	107461,51	114094,94	-101211,84	-111825,32	-105191,89
Лютий	194189,45	176734,22	187643,74	-25097,38	-42552,61	-42552,61
Березень	290796,27	264657,28	280994,15	71509,44	45370,45	45370,45
Квітень	395209,69	359685,23	381888,02	175922,86	140398,39	140398,39
Травень	541583,65	492901,98	523328,02	322296,82	273615,14	273615,14
Червень	543535,31	494678,20	525213,89	324248,47	275391,37	275391,37
Липень	556221,05	506223,65	537472,02	336934,22	286936,82	286936,82
Серпень	495719,81	451160,73	479010,16	276432,98	231873,90	231873,90
Вересень	357152,46	325048,87	345113,62	137865,63	105762,04	105762,04
Жовтень	221512,59	201601,35	214045,88	2225,76	-17685,48	-17685,48
Листопад	117099,17	106573,40	113152,01	-102187,66	-112713,43	-112713,43
Грудень	93679,33	85258,72	90521,60	-125607,50	-134028,11	-134028,11
Загалом, $\Sigma P_{сп}$ кВт·год	3924773,78	3571985,13	3792478,04	3705486,95	3352698,30	3352698,30
Ціна, $C_{сб}$ млрд.грн	1,076	0,821	1,11	-	-	-

Як видно з таблиці 4.3, у стовпцях 5,6,7, спостерігаються числа зі знаком «-». Це свідчить про те, що в конкретний місяць, панелі не можуть виробляти достатньо потужності для покривання споживаної енергії. Однак, навіть коли енергія повністю не покривається сонячною батареєю, вона продовжує віддавати вироблену потужність, тому, можна сказати, що в такі місяці навантаження на енергосистему міста не дуже велике.

В ті місяці, де значення різниці без знаку «-», сонячна батарея перекидає споживану потужність з лихвою, а зверх потужність віддається місту по тарифу 5,06 грн/кВт.

Найбільш оптимальним вибором сонячної батареї є вибір батареї на звичайному монокристалі, загальна потужність за рік якої буде складати $\Sigma P_{сп} = 3571985,13$ кВт·год, з вартістю у 821 млн.грн. Інвертори які будуть застосовуватись на цій сонячній батареї мають номінальну потужність у 136 кВт, а також максимальну у 150 кВт. Кількість цих інверторів складає 3722 шт., якщо ще будуть додаватись сонячні панелі. Якщо кількість сонячних панелей не буде змінюватись, то можливо зменшити кількість інверторів, що призведе до їх довантаження. Це буде більш доцільно, адже вони будуть працювати з більш повним використанням ресурсів.

4.2 Аналіз суперконденсаторів

Якщо суперконденсатори будуть використовуватись в якості основного джерела електричної енергії у поїздах метрополітену, то потужність одного електропоїзда складає:

$$P_{\text{ел.поїзда}} = P_{\text{ел.двиг.}} \cdot n_{\text{вісей}} \cdot n_{\text{ваг}}, \text{ кВт} \quad (4.7)$$

де $P_{\text{ел.двиг.}}$ – потужність одного тягового двигуна, 114 кВт;

$n_{\text{вісей}}$ – кількість моторних вісей на один вагон;

$n_{\text{ваг}}$ – кількість вагонів у складі.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$P_{\text{ел.поїзда}} = 114 \cdot 4 \cdot 3 = 1368 \text{ кВт}$$

Під час розрахунків буде використовуватись суперконденстор з: такими параметрами, які представлені у таблиці 4.2.1

Таблиця 4.6 – технічні характеристики системи суперконденсатора

Найменування параметрів	Значення параметрів
1	2
Номінальна ємність, Ф	950
Діапазон номінальних робочих напруг, В	404...620
Імпульсна напруга, В	700
Номінальний зарядний струм, А	300
Максимальний зарядний струм (20с), А	600 (20с)
Номінальний розрядний струм, А	<300
Максимальний розрядний струм (20с), А	600 (20с)
Зовнішні габарити (довжина x ширина x висота), мм	1800x860x800
Термін служби	8 років або 500 тис. циклів заряду-розряду
Система управління суперконденсатором	Автоматичне вирівнювання, напруги комірок, температура в модулі
Електричні властивості	попереджувально захисна функція від надмірного розряду, перевищення напруги, струму, температури і короткого замикання

Кількість запасеної енергії в такому конденсаторі визначається за формулою:

$$E = \frac{C \cdot U^2}{2}, \text{ Дж} \quad (4.8)$$

$$E = \frac{950 \cdot 620^2}{2} = 182590000 \text{ Дж} = 182590 \text{ кДж} = 182,59 \text{ МДж}$$

Визначимо затрати енергії, яка витрачається електродвигунами. Для цього припустимо, що ТЕД витрачають 1368 кВт протягом хвилини:

$$E_{\text{двиг}} = P_{\text{ел.поїзда}} \cdot t, \text{ Дж} \quad (4.9)$$

де – t – час протягом якого працюють ТЕД від навантаженням, приймаємо 60 с.

$$E_{\text{двиг}} = 1368000 \cdot 60 = 82080000 \text{ Дж} = 82080 \text{ кДж} = 82,08 \text{ МДж}$$

Отже, якщо порівняти формули (4.8) і (4.9) то спостерігається те, що енергія яка накопичується у іоністорі більша ніж енергія яка витрачається ТЕД протягом однієї хвилини.

Однак, в нашому метрополітені, найдовший час руху електропоїзда на лінії під струмом становить 47с. Тому, хвилина при якій розраховувалися затрати енергії буда прийнята для непередбачених умов.

Якщо перерахувати формулу (4.9), то отримане значення буде складати $E_{\text{двиг}} = 64,30 \text{ МДж}$. Це свідчить про те, що коли заряд іоністора вичерпається, електропоїзд вже буде на станції і на ній зможе його підзарядити, однак для повного розряду іоністора потрібно, щоб електропоїзд рухався досить довго під струмом, що при відстанях між станціями буде не здійсненою задачею. Ситуація в якій можливий варіант розряду іоністора можу бути тільки при виїзді з депо і слідування до точки початку маршруту, або при слідуванні у депо. Однак і в цій ситуації є винятки, більшу частину слідування, електропоїзд проходить з відносно малими швидкостями і, відповідно, малими струмами,

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

тому споживана енергії двигунами буде меншою за ту, яка витрачається при русі по маршрутному часі.

4.3 Аналіз акумуляторної батареї

На електропоїзді метро, можна застосувати комбіновану схему живлення. Комбінована схема – це схема в якій ТЕД живляться від суперконденсатора, а допоміжні машини та ланцюги від акумуляторної батареї.

Для того, щоб від акумуляторної батареї жили всі допоміжні машини та ланцюги, потрібно знати величину ємності акумуляторної батареї. Та якщо використовувати на електропоїзді акумуляторні батареї номіналом $U=48V$ та ємністю $Q_{ном}=150 \text{ А} \cdot \text{год.}$, потрібна ємність буде:

$$Q = \frac{A_{вп} \cdot t}{U \cdot k}, \text{ А} \cdot \text{год} \quad (4.10)$$

де $A_{вп}$ - енергія втрат власних потреб, $A_{вп} = 45004 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$;

t – час резервування, тобто час який електропоїзд знаходиться на лінії,
 $t = 6 \text{ год.}$

U - напруга акумуляторної батареї, В

k - коефіцієнт використання ємності акумуляторної батареї, приймається рівним 0,7.

$$Q = \frac{45004 \cdot 6}{48 \cdot 0.7} = 8036 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Кількість акумуляторів для накопичення $8036 \text{ А} \cdot \text{год}$ обчислюється за формулою:

$$N_{акум} = \frac{Q}{Q_{ном}}, \text{ шт} \quad (4.11)$$

$$N_{акум} = \frac{8036}{150} = 54 \text{ шт}$$

						Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Уточнимо загальну ємність з врахуванням кількості батарей:

$$Q_{\text{уточ}} = N_{\text{акум}} \cdot Q_{\text{ном, А}} \cdot \text{год} \quad (4.12)$$

$$Q_{\text{уточ}} = 54 \cdot 150 = 8100, \text{А} \cdot \text{год}$$

Як видно з формули (4.11), це кількість акумуляторів які підключено паралельно. Для знаходження кількості акумуляторів які підключено послідовно, потрібно задатись напругою, яка буде номінальною для всіх споживачів. Ця напруга буде $U_{\text{ном.спож}} = 750 \text{ В}$.

Отже, кількість послідовно підключених акумуляторів:

$$N_{\text{посл.під}} = \frac{U_{\text{ном.спож}}}{U_{\text{ном.бат}}}, \text{шт} \quad (4.13)$$

$$N_{\text{посл.під}} = \frac{750}{48} = 15,63 = 16 \text{ шт}$$

Уточнимо яка буде напруга при послідовному з'єднанні:

$$U_{\text{посл}} = N_{\text{посл.під}} \cdot U_{\text{ном.бат}}, \text{В} \quad (4.14)$$

$$U_{\text{посл}} = 16 \cdot 48 = 768 \text{ В}$$

Потужність цієї батареї буде складати:

$$P_{\text{акум}} = U_{\text{посл}} \cdot Q_{\text{уточ}}, \text{Вт} \cdot \text{год} \quad (4.15)$$

$$\begin{aligned} P_{\text{акум}} &= 768 \cdot 8100 = 6220800 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 22394880000 \text{ Дж} = \\ &= 22394.88 \text{ МДж} \end{aligned}$$

						Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СИЛОВОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

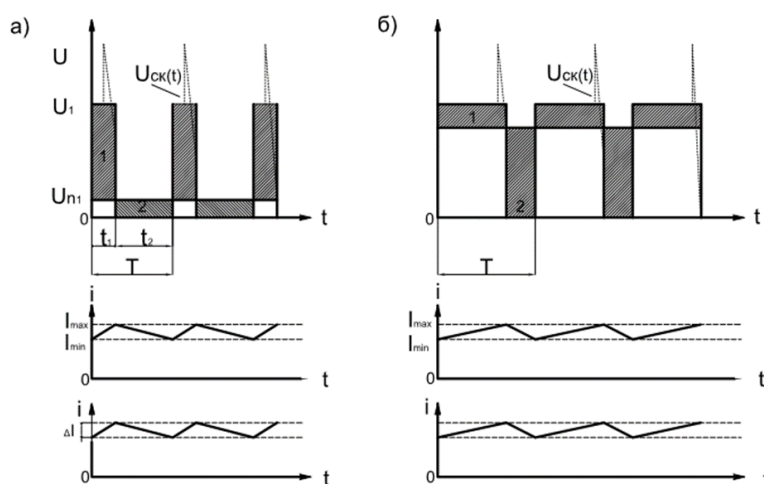
5.1 Регулювання напруги на ТЕД в режимі тяги

Для регулювання напруги на ТЕД, застосовуються імпульсні схеми керування.

Імпульсне управління тяговими двигунами здійснюється перетворенням безперервного вхідного сигналу в дискретний, при цьому послідовність імпульсів і пауз відбувається з закономірністю, що визначається діями системи управління. Існують три основні різновиди систем імпульсного управління: амплітудно-імпульсна, широтно-імпульсна, частотно-імпульсна. На електрорухомому складі застосовуються дві останні системи.

При частотно-імпульсній схемі регулювання - напруга змінюється від зміни часу паузи між імпульсами при постійній величині часу імпульсу

При широтно-імпульсному регулюванні – формується середнє значення напруги на навантаженні за рахунок зміни часу тривалості вихідних імпульсів при постійній величині паузи між цими імпульсами, при цьому збільшення ширини імпульсу відповідає збільшенню вихідної напруги.



а) при малому коефіцієнті заповнення, б) великому коефіцієнті заповнення

Рисунок 5.1. – Широтно-імпульсне регулювання напруги

					Арк.
					60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

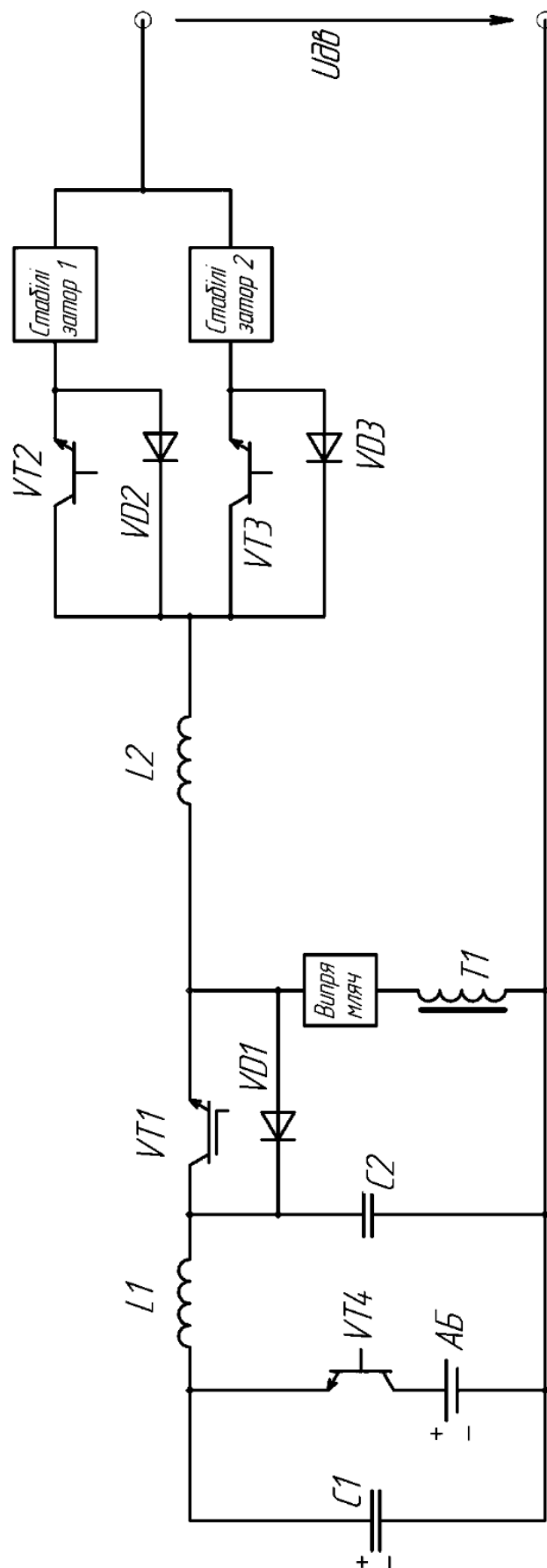


Рисунок 5.2 – Принципова силова схема електрорухомого складу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Арк.

61

Схема складається зі згладжуючих реакторів L1 і L2; польового транзистора з ізольованим затвором (IGBT) VT1; звичайних силових транзисторів VT2-4; чотирьох діодів VD 1-4; фільтруючого конденсатора C2; блоку суперконденсаторів C1, суперконденсатори являються основним джерелом живлення при розгоні; блоку акумуляторних батарей, для забезпечення аварійного (додаткового) живлення при тязі, а також є основним джерелом живлення на власні потреби; двох універсальних стабілізаторів; блоку випрямляча об'єднаного з контролером заряду/розряду; двох імпульсних стабілізаторів (підвищувально-понижаючого - стабілізатор 1, понижаючопідвищувального – стабілізатор 2), коли потрібно, включаються в інвертований режим роботи; напівтрансформатор T1, він призначений для підзарядки блоку іоністорів та блоку акумуляторів на станційних зупинках у зоні повітряного обміну енергії, блок випрямляча суміщений з контролером заряду накопичувачів. На станціях, у спеціальних зонах встановлена друга частина напівтрансформатора. І також блок випрямляючої установки, для заряду накопичувачів. Стабілізатори мають керування з ШІМ модуляцією.

Отже, розглянемо роботу цієї схеми в тяговому режимі при імпульсному регулюванні напруги тягово двигуна.

Для вдалого імпульсного управління, необхідно виконувати швидкі перемикання, швидка комутація, з такою цілю впораються IGBT транзистори.

В тяговому режимі схема буде виглядати як на рисунку 5.3

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

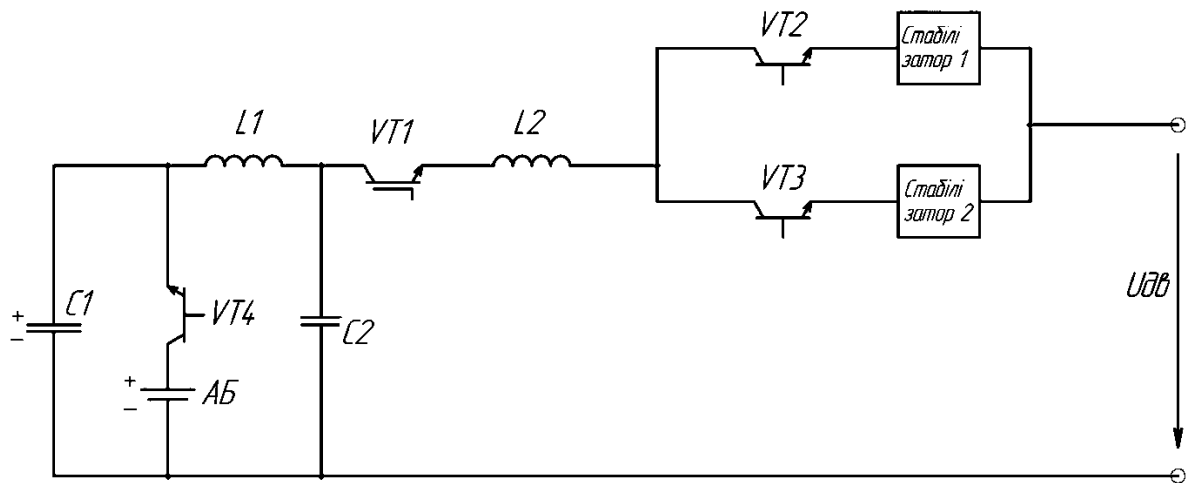


Рисунок 5.3 – Принципова силова схема регулювання живлення від іоністора та резервної батареї на затискачах тягового двигуна в режимі тяги

В режимі тяги коли контролером виконують набір, збирається така схема (рисунок 5.3): на вході транзистора VT1 включено LC фільтр, який у момент спрацювання транзистора VT1 згладжує пульсації, іоністор C1 починає розряджатися, струм починає протікати через згладжуючий фільтр L2, транзистор VT2 (VT3), стабілізатор 1 (2), навантаження.

Автоматика відстежує скільки енергії залишилося на іоністорі C1. Розгін електропоїзду здійснюється за методом максимально швидко вийти на режим вибігу, тобто на режим по швидкодії. Якщо заряду конденсатору C1 не вистачає для виконання цього режиму то, до процесу розгону підключається резервний акумуляторний блок, він підключається до схеми транзистором VT4, це звичайний транзистор, який слугує вимикачем для включення блоку акумуляторів. Після того як акумулятори підключаються до схеми, все що було описано при роботі від іоністора збігається. Швидкого розряду AB не буде відбуватися, так як потрібна енергія для доведення швидкості до виходу на режим вибігу або утримання швидкості.

Однак є проблема, при наборі швидкості напруга на накопичувачі зменшується, а на двигуні зростає і потрібно щоб вона змінювалася в часі плавно, і на накопичувачі буде таке значення напруги, що його не буде

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	63

вистачати для подальшого підвищення на двигуні, процес подальшого розгону буде скасовано.

Тому, для вирішення цієї проблеми використовуються два керовані стабілізатори (див. рисунки 5.4 і 5.5). Коли іоністор заряджений, його напруга складає сотні вольт, а на двигуні напруга значно відрізняється. Тож, щоб забезпечити плавне наростання напруги на двигуні, через транзистор VT2 підключається керований стабілізатор 1 (рисунок 5.4), це стабілізатор підвищувально-понижаючий, як було зазначено вище у цьому розділі.

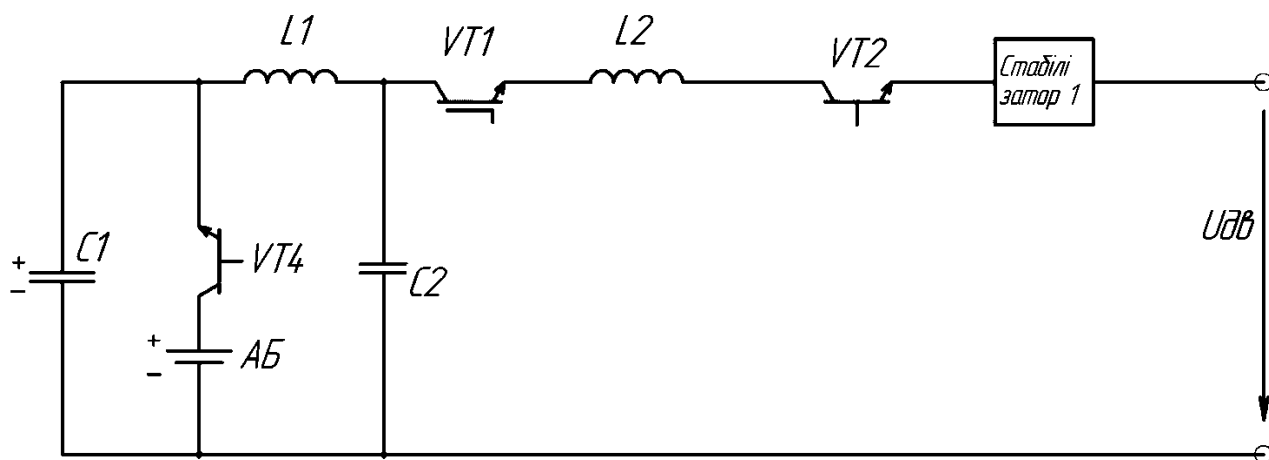


Рисунок 5.4 - Схема з використанням підвищувально-понижаючого стабілізатора

То при великому значенні напруги $U_{\text{накопич}} > U_{\text{дв}}$, він забезпечує плавне регулювання напруги до моменту коли $U_{\text{накопич}}$ не буде вистачати для подальшого розгону.

Отже, коли $U_{\text{накопич}} < U_{\text{дв}}$, тоді стабілізатор 1 і транзистор VT2 вимикаються і вмикаються транзистор VT3 і стабілізатор 2 (рисунок 5.5), стабілізатор 2 є понижаючо-підвищувальним, низька напруга на іносторі підвищується для потрібного рівня, на двигуні напруга продовжує зростати, зростає і подальша швидкість.

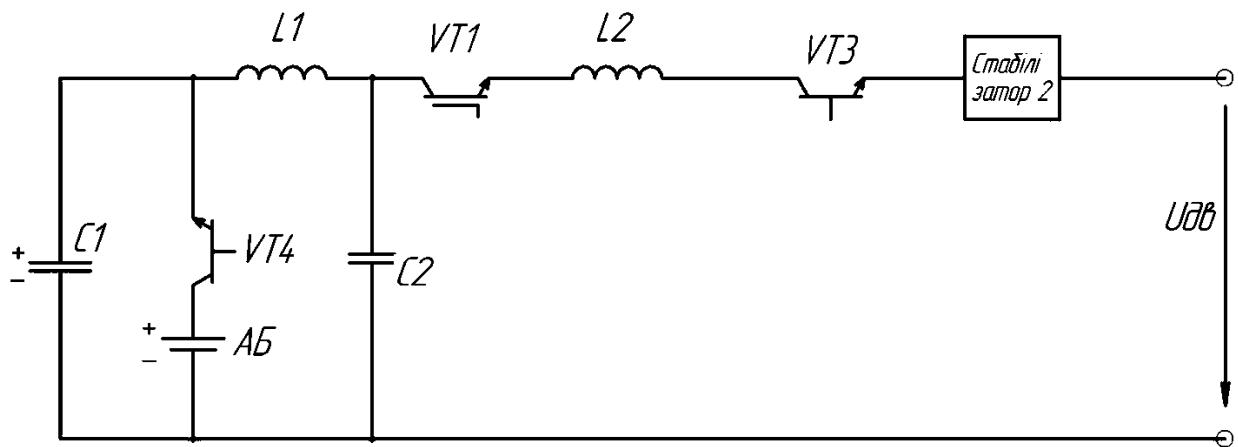


Рисунок 5.6 - Схема використання понижаючо-підвищувального стабілізатора

Транзистор VT4 призначений для підключення акумуляторної батареї при вичерпанні запасу енергії з іоністора. Процес передачі енергії буде такий самий як і при розгоні від іоністора, але він буде по-перше- трохи повільніше, по-друге- найчастіше буде використовуватися схема з використанням ланцюга транзистор VT3, стабілізатор 2.

5.2 Регулювання напруги на ТЕД в режимі рекуперативного гальмування.

При рекуперативному гальмуванні кінетична енергія електропоїзда перетворюється в електричну. Її можна використовувати для підзарядки іоністора да акумуляторної батареї. Що в свою чергу позитивно вплине на час та дальність автономного ходу без критичного вичерпання енергії.

Рекуперативне гальмування буде також використовувати ШІМ модуляцію для управління напругою

Принципова силова схема при рекуперативному гальмуванні має наступний вигляд

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
					65



Працює вона наступним чином: система керування відстежує значення напруги на накопичувачах та тяговому двигуні. Тоді, при задіянні рекуперації в початковий момент часу на досить великій швидкості, потрібно підтримувати ЕРС в тяговому двигуні на високому рівні, тобто, на двигуні повинна бути номінальна напруга. це здійснюється за рахунок живлення обмотки збудження тягового двигуна на незалежну схему через блок контролера розряду, і тоді живлення буде через транзистор VT1 поступати на контролер а звідти на обмотку збудження.

Тоді, від значення ЕРС рекуперації на двигуні, будуть працювати стабілізатори 1 чи 2, аналогічно процесу у тяговому режимі але навпаки, і через блок заряду контролера, буде проводитися зарядка іоністора з АБ. ШІМ стабілізаторів і контролера з транзистором VT1 працюють таким чином, щоб при паузі VT1, включалися транзистори у стабілізаторах та контролері. При

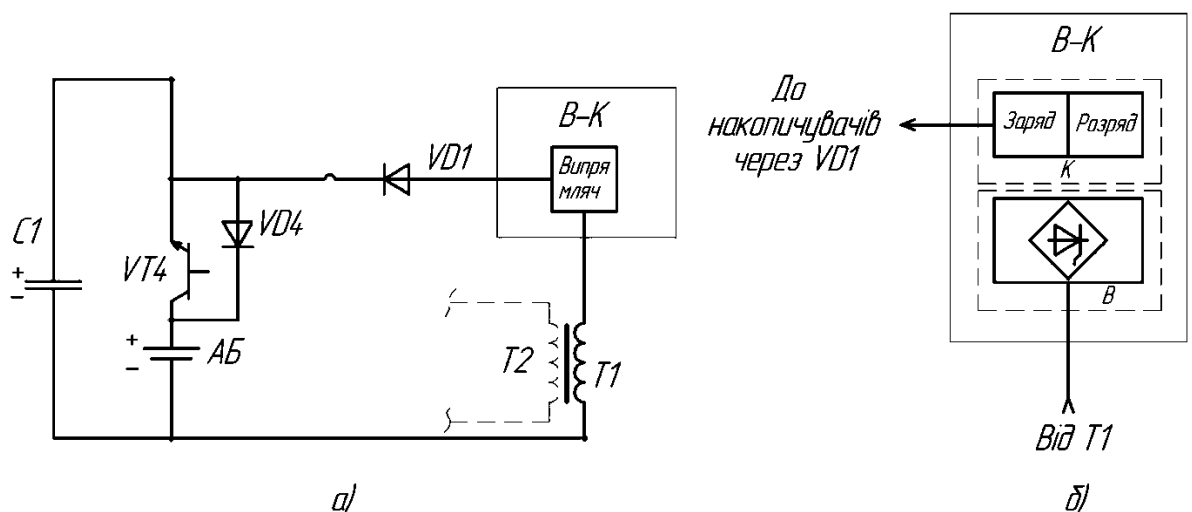
						Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

таких перемиканнях, стабільність ЕРС рекуперації буде досить великою за рахунок швидкості перемикання та «інерційності» системи, струм швидко в обмотці зникнути не може і завдяки запасеній енергії в обмотці, на час перемикання транзисторів, буде підтримуватися ЕРС.

По мірі зарядки, напруга на іоністорі, АБ пуде підійматися, а на двигуні знижуватись, інтенсивність гальмування теж буде знижуватись. Контролер це відстежить і знов буде намагатися підвищити ЕРС на двигуні за рахунок збудження, все почнеться спочатку. І так буде продовжуватися токи швидкості не спаде до такої, на якій рекуперація буде не доцільна і зупинка буде за рахунок пневматичного гальма.

5.3 Принципова силова схема при підзарядці від зарядного пристрою на станції

Коли електропоїзд зупиняється на станції для посадки/висадки пасажирів, це займає якийсь час. Цей час можна використовувати для підзарядки накопичувачів електроенергії.



а) силова схема, б) схема блоку В-К (В-К – випрямно – контролерний блок)

Рисунок 5.8 – Принципова силова схема при зарядці на станції

Коли електропоїзд зупиняється в спеціальній зоні бездротової передачі енергії, в цій зоні встановлено трансформатор з однією котушкою Т2, інша на

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	67

електропоїзді Т1. Тоді автоматика підключає Т2 до мережі станції, а Т1 до випрямляча на електропоїзді (В) рисунок 5.8, б). починається передача енергії від станційної мережі через повітряні трансформатори Т2,Т1 до тиристорного керованого випрямляча (В), з випрямляча струм (напруга) поступає до контролеру заряду/розряду (К) рисунок 5.8, б), з блоку заряду контролера, струм (напруга) через діод VD1 заряджає іоністор, і через діод VD4 акумуляторну батарею. Процес заряду контролюється автоматично контролером. Коли заряду буде достатньо, або коли починається рух він відключає випрямляч, одночасно з цим і вимикається трансформатор Т2 на станції, контроль здійснюється спеціальними датчиками.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

6 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СИЛОВОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Мережева сонячна електростанція - це комплексне інженерне рішення, що дозволяє значно заощадити на споживанні електроенергії, а також дозволяє продавати вироблений її надлишок.

Сонячна електростанція на сьогодні дуже дорога річ, якщо не правильно підібрати потужність такої електростанції то це погано вплине на окупність всієї системи генерування, перетворення, запасання та передачі такої енергії.

Принципова силова схема - фундамент електротехнічного проекту, і від правильного її виконання залежить подальше виконання монтажних схем, схем з'єднань і всієї супровідної документації. Вона є основною схемою проекту електроустаткування і дає загальне уявлення про електрообладнання системи, відображає роботу системи автоматичного управління, служить джерелом для складання схем з'єднань і підключень, розробки конструктивних вузлів і оформлення переліку елементів. За принципіальною схемою здійснюється перевірка правильності електричних з'єднань при монтажі та налагодження електрообладнання. Від якості розробки принципіальної схеми залежить чіткість роботи системи, її надійність в експлуатації.

Складання принципової силової схеми системи сонячного електропостачання проводиться на підставі вимог технічного завдання. В процесі складання принципової схеми уточнюються також типи, виконання і технічні дані сонячних панелей, сонячних контролерів, інверторів, вимикачів і т.п.

При всьому різноманітті принципів електричних схем в різних системах будь-яка схема, незалежно від ступеня її складності, є певним чином складеним поєднанням окремих, досить елементарних електричних ланцюгів і типових функціональних вузлів, в заданій послідовності виконують ряд стандартних операцій: передачу командних сигналів від органів управління або

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

вимірювання до виконавчих органів, посилення або розмноження командних сигналів, їх порівняння, перетворення короткочасних сигналів в тривалі і, навпаки, блокування сигналів і т.п. До елементарних ланцюгів можуть бути віднесені типові схеми включення вимірювальних приладів різного призначення.

Розробка принципів силових електричних схем завжди містить певні елементи творчості і вимагає вмілого застосування елементарних електричних ланцюгів і типових функціональних вузлів, оптимальної компоновки їх в єдину схему з урахуванням задоволення пропонованих до схем вимог, а також можливого спрощення і мінімізації схем. У практиці проектування принципів електричних схем на базі досвіду проектування монтажу, налагодження та експлуатації різного роду систем склалися деякі загальні принципи побудови електричних схем. Питання про методи розробки принципів електричних схем в процесі проектування систем автоматизації технологічних процесів слід розглядати в загальному комплексі питань, пов'язаних з контролем, управлінням і регулюванням даного об'єкта. У всіх випадках крім повного задоволення вимог, що пред'являються до системи, кожна схема повинна забезпечувати високу надійність, простоту і економічність, чіткість дій при аварійних режимах, зручність оперативної роботи, експлуатації, чіткість оформлення. Ці схеми дають детальне уявлення про роботу системи і служать також для вивчення принципу дії системи, вони необхідні при виробництві налагоджувальних робіт і в експлуатації.

Схеми виконуються без дотримання масштабу; дійсне просторове розташування складових частин системи, як правило, не враховується або, при необхідності, враховується наближено.

Графічне позначення елементів і з'єднують їх лінії зв'язку необхідно прагнути розташовувати на схемі таким чином, щоб забезпечити найкраще уявлення про взаємодію її складових частин. Лінії зв'язку повинні складатися з

						Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

горизонтальних і вертикальних відрізків і мати найменше число зламів і взаємних перетинів.

Принципова силова електрична схеми електропостачання від сонячної електростанції яка розробляється в цій роботі, складається з шести основних елементів (рисунок 6.6). Перший елемент (1) – це набір сонячних модулів, вони можуть збиратися у великі групи, кількісно їх може буди до декілька сотень в одній групі, в групі можуть з'єднуватися послідовно, паралельно чи за змішаною схемою з'єднання, представлений на рисунку 6.1.

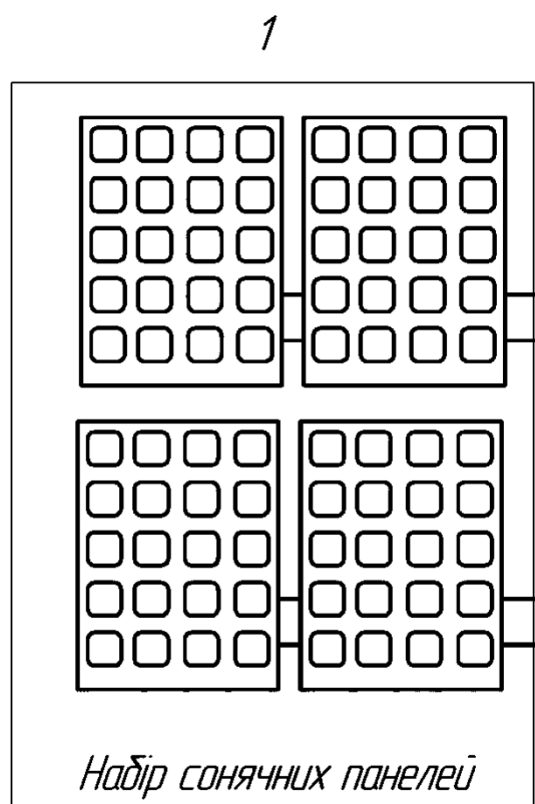


Рисунок 6.1 – Набір сонячних модулів, перший основний елемент в системі

Як було зазначено вище, в цьому наборі сонячних елементів можуть бути сотні й сотні панелей. Всі ці панелі під час дії сонячного світла, генерують фото ЕДС, тобто звичайну напругу. В залежності від способу з'єднання панелей, змінюють значення напруги та струму, які генеруються в них.

						Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для подальшого використання цієї системи, потрібно якимось чином ці напруги та струми передавати далі й використовувати їх, щоб було раціональне використання таких систем. Тому, для цієї мети використовують акумуляторні батареї або інші накопичувачі електричної енергії. Але на пряму під'єднувати такий набір сонячних панелей до акумуляторів небезпечно, так як не має якої системи контролю за зарядом. За для цієї мети використовують сонячні контролери заряду/розряду, це є другим (2) основним елементом принципової схеми (рисунок 6.2).

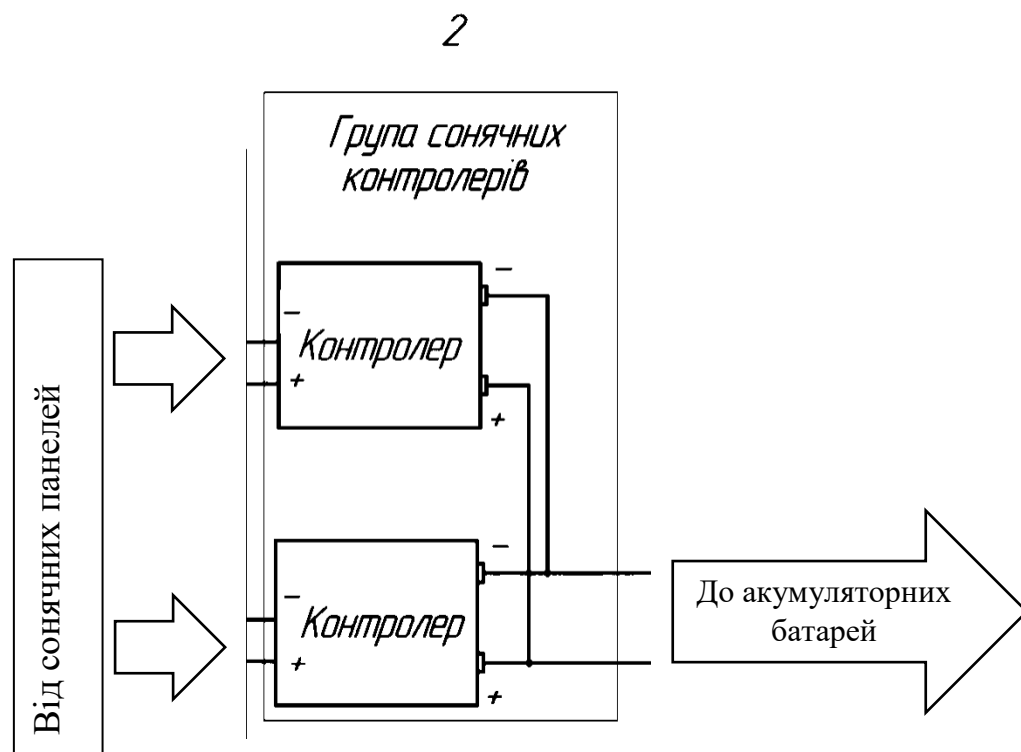


Рисунок 6.2 – Група сонячних контролерів (2)

Сонячні контролери можуть бути встановлені на кожен сонячну панель окремо, це більш дорогий варіант, другий варіант – об'єднання сонячних панелей у групи, ці групи підключаються до свого контролера, це дає змогу підключати велику кількість панелей до одного контролера, що дає змогу зекономити. Однак потрібно враховувати потужність контролера та його максимальні електричні параметри для безпечного управління панелями. Контролери також набираються у групи.

						Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Усі контролери по виходам з'єднуються в один загальний елемент системи для подальшого під'єднання до групи акумуляторів (3) для зберігання енергії.

Контролери після під'єднання до акумуляторів, відстежують їх значення напруги і за допомогою ШІМ регулювання, здійснюється заряд батарей (рисунок 6.3).

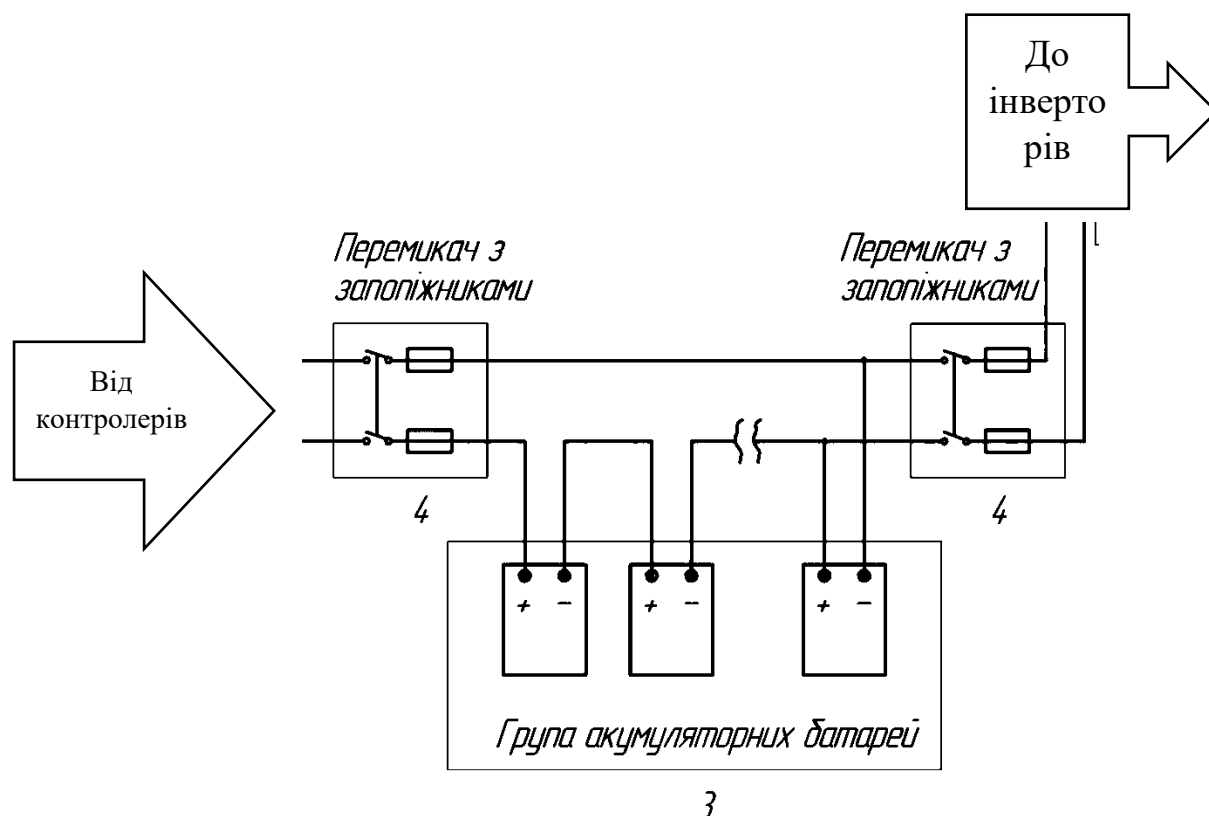


Рисунок 6.3 – Група акумуляторних батарей із групою перемикачів з запобіжниками (4)

Акумуляторні батареї служать для резервного накопичення енергії від сонячних панелей. Вони об'єднуються у групи з послідовно, паралельно з'єднаних акумуляторів. На рисунку 6.3 разом з групою акумуляторів, зображено групу захисту (4). Ця група складається з перемикачів і запобіжників. На вході групи АБ та на виході встановлені такі групи захисту (4) (див. рисунок 6.3).

Перемикачі від'єднують групу АБ від ланцюга контролерів або від ланцюга інверторів, чи навіть одночасно від тих та інших при аварійній ситуації. Запобіжники захищають від короткого замикання та від перевантаження.

Як і групи з сонячних панелей, контролерів, група з АБ може складатися з сотень акумуляторів для запасання великої кількості електроенергії. Далі, після групи АБ та вихідної захисної групи (4) (рисунок 6.3), АБ під'єднуються до групи мережевих інверторів (5) рисунок 6.4.

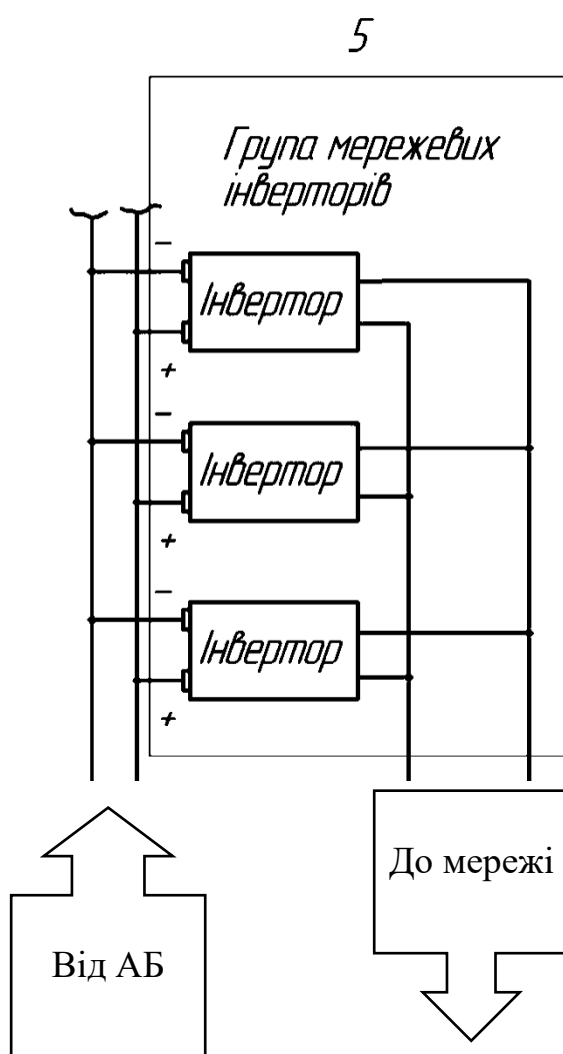


Рисунок 6.4 – Група мережевих інверторів (5)

Інвертори потрібні для передачі сонячної енергії у мережу, так як панелі виробляють постійний струм, та від АБ теж надходить постійний струм,

					Арк.
					74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

потрібно його перетворити на змінний. Для цього і застосовуються інвертори, вони перетворюють постійний струм від АБ і сонячних панелей у змінний і передають вже звичайний змінний струм до мережі.

Кількість інверторів у групі не визначається кількістю сонячних панелей, контролерів, акумуляторів, вона визначається сумарною потужністю системи на вході інвертора і потужністю самого інвертора. Тому їх може бути в десятки разів менше ніж інших елементів системи електропостачання.

Останній основний елемент принципової силової схеми, це мережа (6) рисунок 6.5

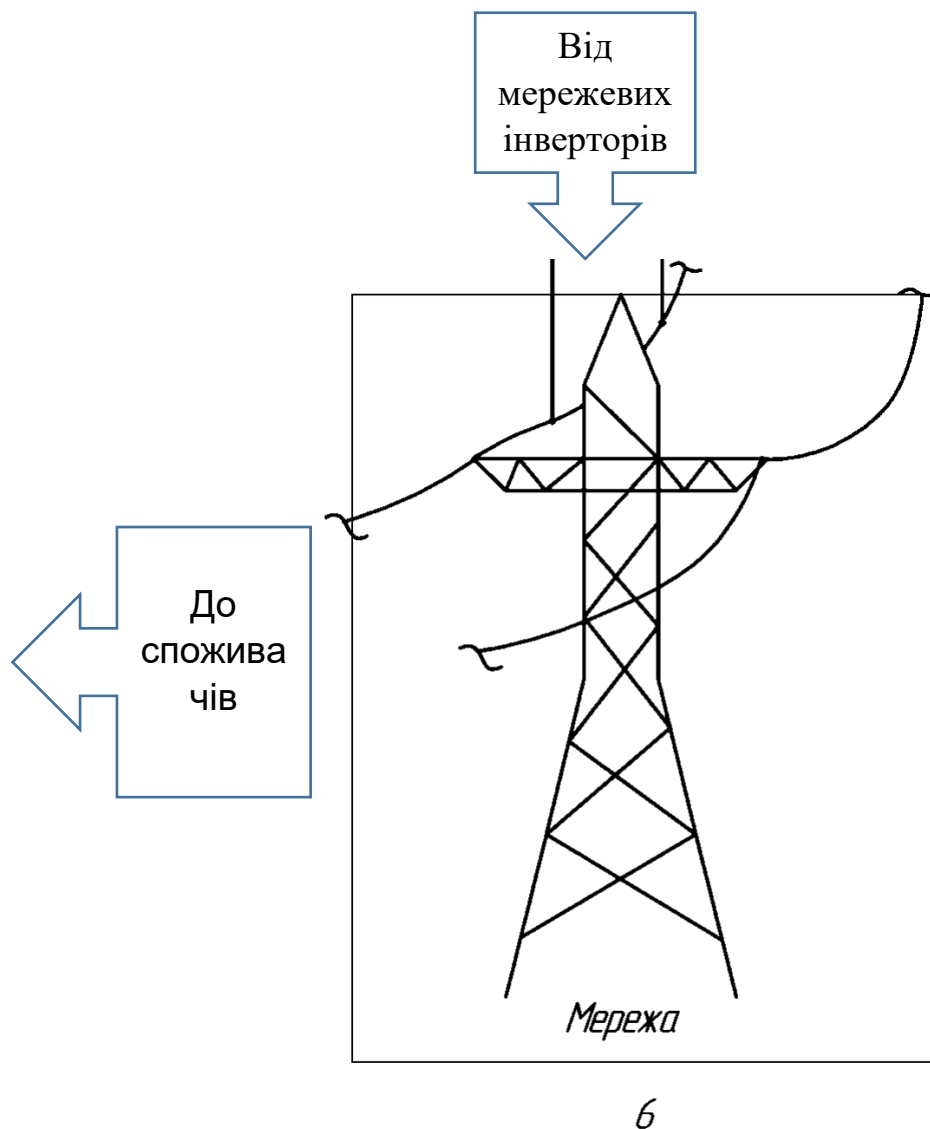


Рисунок 6.5 – Мережа (6)

						Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, після того як постійна напруга перетвориться у змінну, вона поступає до мережі. Ця мережа об'єднана з усією енергетичною системою країни. Надлишок енергії яку генерують сонячні панелі віддається у загальну мережу. Загальна картина принципової силової схеми представлена на рисунку 6.6

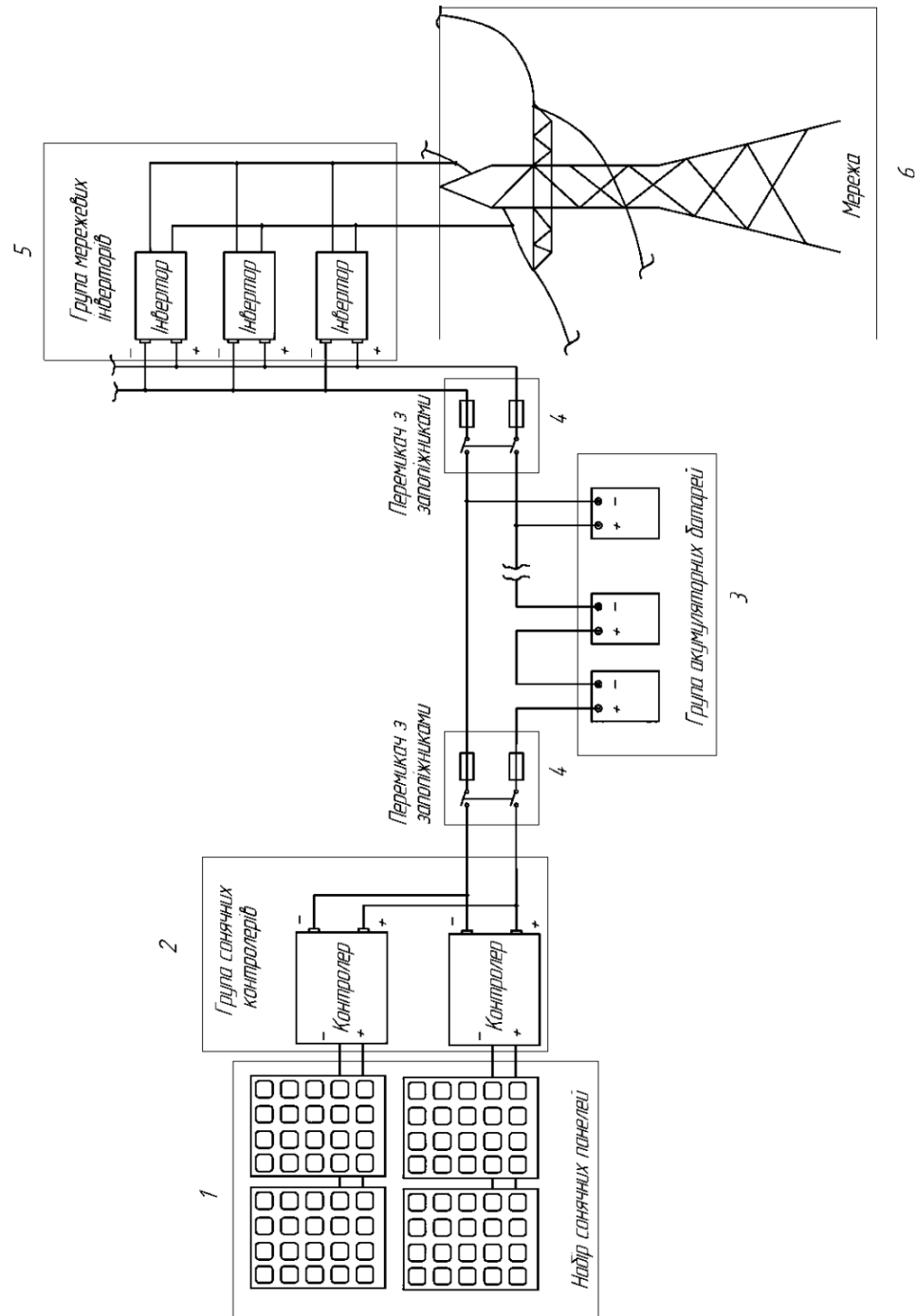


Рисунок 6.6 – Повна картина принципової силової схеми електропостачання

Тож, сонячна енергія генерує постійний електричний струм у сонячних панелях, в залежності від способу їх з'єднання підбираються оптимальні електричні значення, після цього; постійний струм надходить до сонячних контролерів, які в свою чергу з'єднанні за акумуляторними батареями; через контролери, вхідну групу захисту (4) рисунки 6.6, 6.3 струм надходить до акумуляторів; потім через вихідну групу захисту (4) рисунки 6.6, 6.3 спрямовується до мережевих інверторів. Після того, як постійний струм і напруга, перетворюються на змінні, вони підводяться до загальної мережі. Про проводах загальної мережі, ця енергія потрапляє до споживачів. Основними споживачами в моїй роботі є автономний електрорухомий склад, який здійснює підзарядку на станціях.

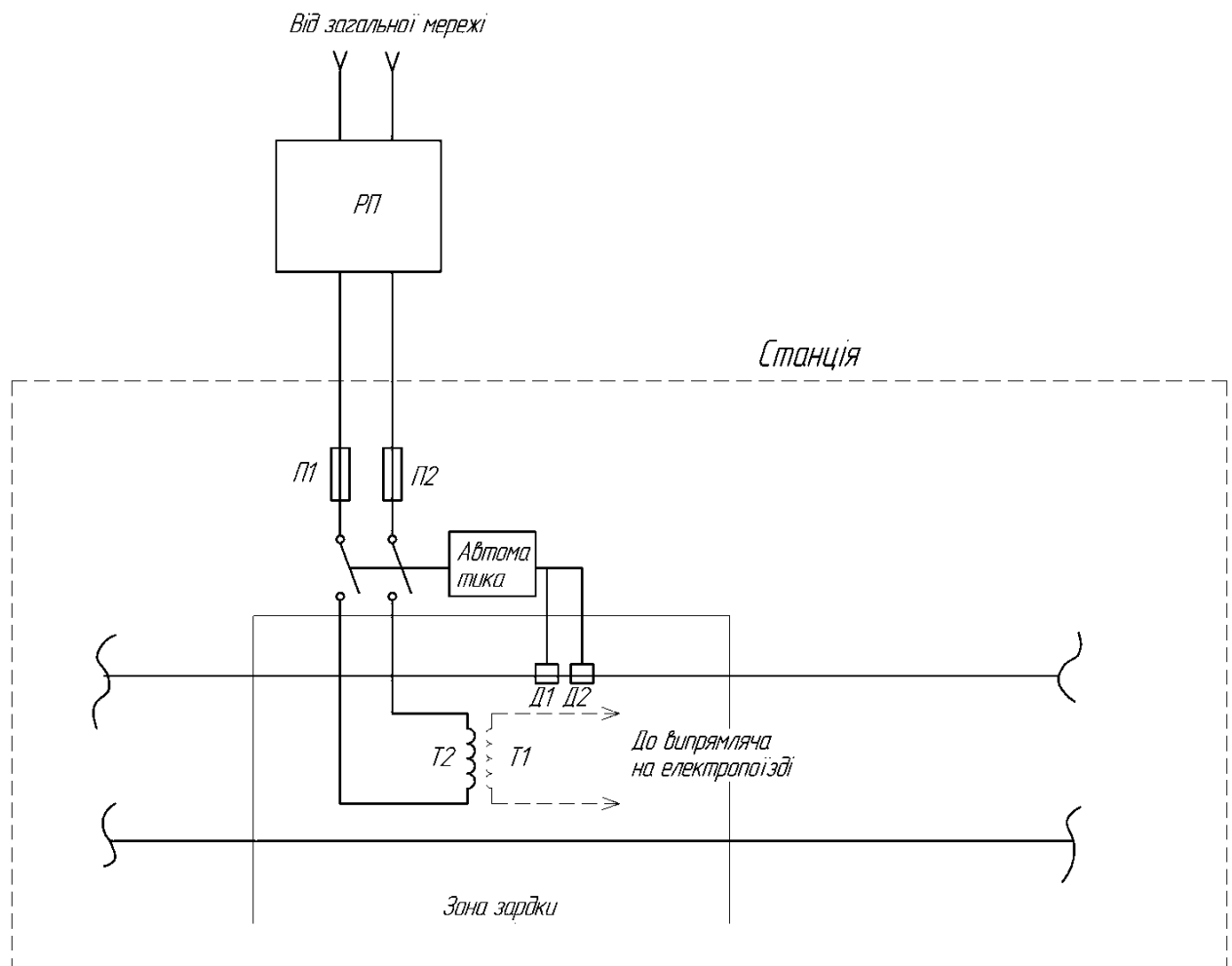


Рисунок 6.7 – Принципова схема системи електропостачання електроенергії на станції для автономного електропоїзда

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	77

Коли електропоїзд зупиняється у зоні зарядки, рисунок 6.7, автоматика через датчики Д1, Д2 замикає перемикач. Створюється коло живлення. Від загальної мережі, до РП – розподільчий станційний пункт електроенергії, як електроенергія потрапляє до РП, було розглянуто вище в цьому розділі, від РП через запобіжники П1, П2, автоматичний вимикач керований автоматикою, трансформатор Т2. З трансформатора Т2 енергія передається на трансформатор Т1, який розміщений на електропоїзді. Процес заряду на електропоїзді, було розглянуто у підрозділі 4.3.

Коли починається рух, датчики Д1, Д2 подають сигнал до автоматики, автоматика розмикає коло трансформатора Т2. Припиняється зарядка електропоїзда. Таким чином, трансформатор працює тільки тоді, коли електропоїзд знаходиться в зоні заряду. Це зроблено за ради безпеки оточуючих, пасажирів, обслуговуючого персоналу і т.п.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

ВИСНОВКИ

1. Аналіз досвіду використання бортових накопичувачів показав, що застосування суперконденсаторів та акумуляторних батарей досить перспективна галузь. Тому, що з кожним роком стає все більше електротранспорту. Розвиваються процеси виготовлення все більш енергоємних накопичувачів. Для розвитку в цьому напрямі посприяло ще те, що в багато населених містах багато викидів CO₂, тому створюють новий електрорухомий транспорт для якого не потрібна контактна мережа.

2. Аналіз використання сонячної енергії дав наочну оцінку, що сонячні батареї можуть бути досить потужними, щоб генерувати достатньо енергії для забезпечення потреб при використанні електричного транспорту, а також заробляти кошти на генеруванні електроенергії. За результатами розрахунку сонячної батареї було встановлено річну виробітку електроенергії на рівні 3571985,13 кВт·год. цього достатньо для живлення впродовж семи місяців електропоїздів метрополітену в нашому місті. Ціна такої батареї склала 821 мільйонів гривень.

3. В якості джерела живлення на електропоїздах метро, можуть застосовуватись суперконденсатори. Вони містять достатньо енергії для початку руху і розгону. Це дає змогу не використовувати контактний рельс на протязі всього маршруту між станціями. Це може здешевіти процес експлуатації а також підвищити рівень безпеки в тунелях для обслуговуючого персоналу.

4. Акумулятори поки залишаються най енергоємними й доступними ніж суперконденсатори, але вони розраховані лише на використання 60-70% своєї накопиченої енергії і мають малу кількість циклів заряд/розряд, натомість суперконденсатори майже не обмежені в цьому питанні.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Г.К. Теория электрической тяги: Монография [Текст]: в 2т. / Г. К. Гетьман – Дн-вск: Из-во Маковецкий, 2011. Т. 1 – 456 с. – ISBN 978-966-1507-64-6 (полное собрание)
2. В.И.Старосельский- Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники 2009г
3. В.И.Виссарионов, Г.В.Дерюгина, В.А.Кузнецова, Н.К.Малинин - Солнечная энергетика учебное пособие для вузов 2008г
4. Д. Ю. Паращук, А. И. Кокорин - Современные фотоэлектрические и фотохимические методы преобразования солнечной энергии 2008г
5. А. Амброзьяк Конструкция и технология полупроводниковых фотоэлектрических приборов; перевод с польского. Варшава 1970г
6. Г. Раушенбах Справочник по проектированию солнечных батарей. Перевод с английского 1983г
7. С. Зи – Физика полупроводниковых приборов в 2 книгах. Перевод с английского 1981г
8. А. Я. Глиberman, А. К. Зайцева – Кремниевые солнечные батареи 1961г.
9. Volker Quaschnig - Understanding Renewable Energy Systems 2005
10. А.М. Васильев, А. П. Ландсман – Полупроводниковые фотопреобразователи 1971г
11. С.В. Темашев, В. А. Грилихес – Фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии 1985
12. Ирвинг М., Готтлиб. Источники питания. Инверторы, конверторы, линейные и импульсные стабилизаторы.— 2-е изд. — М.: Постмаркет, 2002. — 544 с
13. 3 «Розрахунки питомої норми витрат електроенергії на тягу електропоїздів в дніпровському метрополітені»

						Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б

Демонстраційні матеріали до захисту магістерської роботи

«Розробка та дослідження систем електричної тяги з використанням сонячної енергії»

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81