

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій і технічного захисту інформації

Кафедра Комп'ютерної радіоінженерії та систем технічного захисту інформації

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Комплексна тема: Домашня сонячна електростанція.

Підтема 2. Скорочення непродуктивних енерговитрат

Виконав:

студент 2 курсу, групи ІРТм-22-1

Власов Юрій Андрійович

Спеціальність 172 «Телекомунікації
та радіотехніка»

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма «Інформаційні радіотехнології»

Керівник проф. Антіпов І. Є.

Допускається до захисту
зав. кафедри

(підпис)

проф. Антіпов І. Є.

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації

Кафедра Комп'ютерної радіоінженерії та систем технічного захисту інформації

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____

Освітня програма інформаційні радіотехнології
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« 20 » 10 _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Власову Юрію Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комплексна тема: Домашня сонячна електростанція. Підтема 2. Скорочення непродуктивних енерговитрат.

затверджена наказом університету від “20” _____ 10 _____ 2023 р. № **1220 Ст**

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії “10” _____ 01 _____ 2024 р.

3. Вихідні дані дороботи:

Для сонячної панелі з максимальною потужністю 25 Вт, яка встановлена в умовах міської квартири, що обмежує можливість її повороту, та контролера сонячної панелі АСМ 20D та навантаження з потужністю споживання не більше 25 Вт:

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі:

- проаналізувати умови роботи контролера спільно із сонячною панеллю в умовах частих та нерегулярних відключень електромережі;
- оцінити втрати електроенергії на роботу контролера поза світловим днем;
- розглянути способи зниження зазначених втрат, обрати найбільш раціональний;
- розробити функціональну схему, що реалізує обраний спосіб без втручання в схему основного контролера (за можливістю);
- синтезувати схему електричну принципову пристрої, що реалізує розроблену функціональну схему для зниження втрат електроенергії на роботу контролера поза світловим днем.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри)

1. Інформація про автора та керівника (титульний слайд).
2. Інформація про перспективи та особливості сонячної енергетики (загальна інформація, включаючи оцінку ККД і т. д.).
3. Особливості використання сонячних панелей у домашніх умовах.
4. Завдання.
5. Інформація про використовуване обладнання.
6. Оцінка очікуваного виробітку.
7. Структурна схема та алгоритм роботи контролера.
8. Структурна схема та алгоритм роботи пристрою.
9. Аналіз варіантів реалізації схеми.
10. ВАХ сонячної панелі.
11. Електрична принципова схема пристрою, що розробляється.
12. Висновки по роботі.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення із завданням, підбір літератури	20.10.23 – 31.10.23	
2	Аналіз принципу роботи та особливостей контролера та панелей, включаючи вимірювання	1.11.23 – 20.11.23	
3	Розробка функціональної схеми пристрою	21.11.23 – 23.11.23	
4	Розробка схеми електричної принципової	24.11.23 – 30.11.23	
5	Оформлення пояснювальної записки	1.12.23 – 20.11.23	
6	Оформлення графічного матеріалу	21.11.23 – 10.11.24	
7	Підготовка до захисту	11.01.24 – 17.01.24	
8	Захист	18.01.24	

Дата видачі завдання ___20___ ___10___ 2023 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Антіпов І.Є.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи магістра 60 стор, 19 рис., 2 табл., 1 додаток, 20 джерел.

Розглянуто особливості роботи сонячної панелі малої потужності (до 25 Вт) в умовах, коли вона є не допоміжним, не резервним, а основним джерелом електропостачання домогосподарства, що може мати місце при тривалих вимкненнях електромережі. Показано, що однією з задач у цьому випадку є зменшення втрат енергії на роботу схеми керування (контролера) сонячної панелі. Запропоновано функціональну та електричну принципову схему пристрою, який дозволяє суттєво зменшити ці втрати.

СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ НЕВЕЛИКОЇ ПОТУЖНОСТІ, КОНТРОЛЕР, ЕКОНОМІЧНІСТЬ, ВТРАТИ ЕНЕРГІЇ НА КОЛА УПРАВЛІННЯ.

Abstract

The explanatory note of the master's qualification work 46 pages, 19 figures, 2 tables, 1 app., 20 references.

The features of the operation of a low-power solar panel (up to 25 W) are considered in conditions where it is not an auxiliary, not a backup, but the main source of power supply for a household, which can occur during long-term power outages. It is shown that one of the tasks in this case is to reduce energy losses on the operation of the control circuit (controller) of the solar panel. A functional and electrical circuit diagram of the device is proposed, which makes it possible to significantly reduce these losses.

SMALL POWER SOLAR PANEL, CONTROLLER, ECONOMY, ENERGY LOSS ON CONTROL CIRCUITS.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	7
Вступ	8
1 Сонячна енергетика: принципи роботи, переваги та недоліки	9
1.1 Фізичні принципи роботи сонячних електростанцій	9
1.2 Переваги та прогрес сонячної енергетики	14
1.3 Недоліки та небезпека сонячної енергетики	15
1.4 Небезпека сонячної енергетики	17
2 Використання сонячних панелей в умовах відсутності електромережі	20
2.1 Особливості роботи малопотужних сонячних панелей	20
2.2 Контролер сонячної панелі	21
2.3 Особливості роботи контролера, виявлені під час експлуатації	25
3 Заходи щодо зниження втрат електроенергії, що виробляється сонячною панеллю малої потужності енергопостачання	27
3.1 Аналіз причин втрат та пошук способів їх усунення.....	27
3.2 Синтез функціональної схеми пристрою	28
3.3 Аналіз варіантів побудови електричної принципової схеми пристрою	30
3.4 Уточнення параметрів СП та контролера	33
3.5 Синтез схеми електричної принципової	37
3.6 Кінцевий варіант схеми	41
Висновки	43
Перелік джерел посилань.....	44
Додаток А. Комплект графічних матеріалів	47

Перелік скорочень

АКБ – акумуляторна батарея

ВАХ – вольт-амперна характеристика

РК-дисплей – рідкокристалічний дисплей

ЕЕ – електроенергія

ЛЕП – лінія електропередачі

СП – сонячна панель

СЕС - сонячна електростанція

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція

ВСТУП

Робота присвячена оптимізації використання малопотужних сонячних панелей в умовах коли вироблення невелике і зрівнянне з втратами в пристрої управління і індикації.

У ході кваліфікаційної роботи було розглянуто те, на яких фізичних засадах працюють сонячні електростанції, їх переваги та недоліки. Зазначається, що в останні роки під впливом ідеології так званої «зеленої повістки», не тільки засоби масової інформації, але навіть вчені та фахівці свідомо бачать лише переваги і «заплющують очі» на недоліки сонячної енергетики та проблеми, які вона може створювати для енергосистем.

Основну увагу в ході практики приділено малопотужним сонячним панелям, які не претендують на те, щоб стати альтернативою традиційним джерелам отримання енергії на постійній основі. Але вони можуть стати додатковим або резервним джерелом живлення в ситуаціях, коли мають місце перебої з енергопостачанням.

Таке використання сонячних панелей стало особливо актуально в останній рік, коли ситуація з енергопостачанням в країні різко погіршилася, стали виникати тривалі і часом безсистемні відключення електромережі.

В роботі розглянуто особливості експлуатації сонячних панелей невеликої потужності спільно з контролером та акумулятором і саме в таких умовах.

1 СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА: ПРИНЦИПИ РОБОТИ, ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

Щодня з року в рік Земля освітлюється Сонцем, яке знаходиться від неї на відстані 150 млн. км. Потужність, що утворюється під час термоядерної реакції на Сонці, величезна – вона становить $3,8 \cdot 10^{26}$ Вт. Її мала частина (приблизно $180 \cdot 10^{15}$ Вт) досягає Землі, створюючи умови для життя на нашій планеті. Енергія, одержувана планетою за рахунок сонячного випромінювання, приблизно у 20 тис. разів перевищує всю сумарну споживану енергію у світі. У середньому на один квадратний метр земної поверхні за межами атмосфери припадає 1350 Вт сонячної потужності [1, 2, 3, 4].

Лише погляд на ці цифри змусить задуматися про те, як використовувати хоча б малу частину цієї енергії для виробництва електроенергії.

1.1 Фізичні принципи роботи сонячних електростанцій

Біля поверхні Землі можна прийняти середню величину інтенсивності сонячного випромінювання 635 Вт/м^2 . У дуже ясний сонячний день ця величина коливається від 950 Вт/м^2 до 1220 Вт/м^2 . Середнє значення – приблизно 1000 Вт/м^2 [1]. Енергія нерівномірно розподілена за спектром, що показано на рис. 1.1 [1].

В даний час існує три різні фізичні принципи, що дозволяють перетворити сонячну енергію в електричну:

- перетворення у теплову енергію через проміжний теплоносій, а потім у електричну;

- перетворення сонячного світла як електромагнітної хвилі у електричні коливання високої частоти з наступним випрямленням за допомогою ректен («енергетичних антен»);

- безпосереднє перетворення сонячного світла у постійний електричний струм за рахунок фотоефекту, що виникає у ряді напівпровідникових матеріалів.

Коротко розглянемо усі вищезгадані методи.

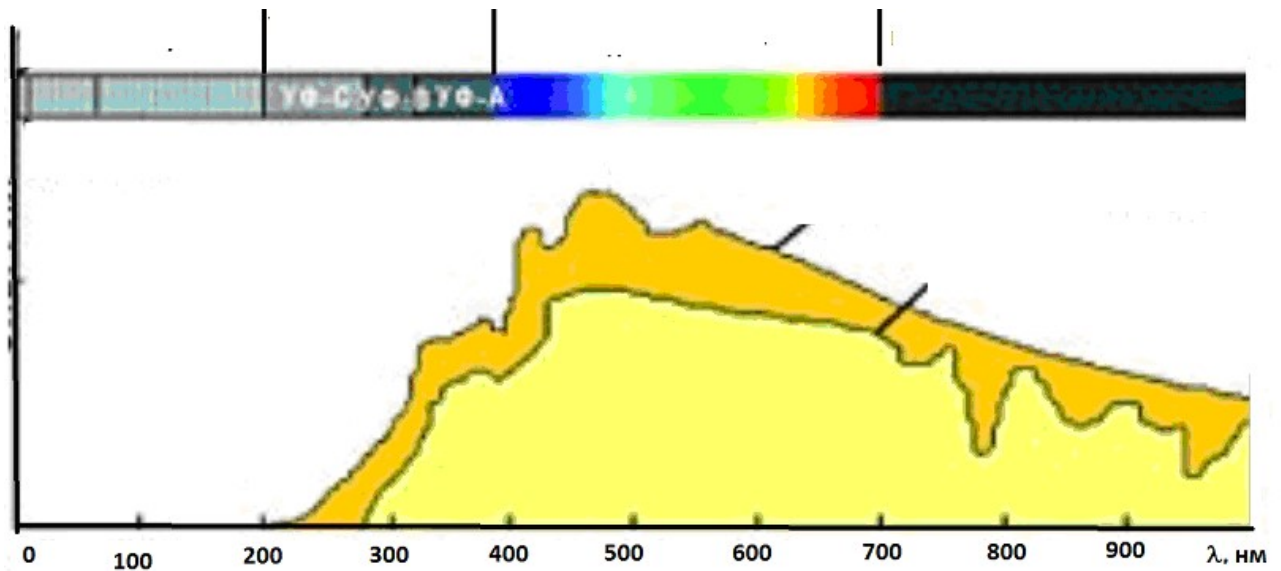


Рисунок 1.1 – Розподіл сонячної енергії за спектром

1.1.1 Перетворення через тепло

Для реалізації цього способу перетворення будуються сонячні електростанції (СЕС) концентраторного типу (Concentrated Solar Power, CSP), або сонячно-теплові електростанції. Вони являють собою систему дзеркал, які направляють (концентрують) сонячне світло на теплоприймач, або поверхню, що нагрівається, яка охолоджується за допомогою проміжного теплоносія (як правило, звичайної води). В іншому принцип роботи такої споруди мало чим відрізняється від звичайної теплової електростанції. Тиск рідини, що закипає, обертає турбіни, які виробляють електрику. Зовнішній вигляд такої СЕС показано на рис. 1.2. Переваги такого типу СЕС:

- висока ефективність (ККД до 30-40%);
- здатність акумулювати тепло, що дозволяє працювати станції майже цілодобово.

Недоліки:

- вища собівартість;
- складні процеси експлуатації, які знижують надійність обладнання.

Докладніше даний тип СЕС описаний [2, 3, 4].



Рисунок 1.2 – Сонячна електростанція концентраторного типу

1.1.2 Перетворення за допомогою ректен

У пристроях, представлених у [5, 6], вуглецеві нанотрубки працюють як антени, що «захоплюють» випромінювання Сонця або інших джерел. Коли світлова хвиля потрапляє на антени з нанотрубок, вони створюють заряд, що коливається, та рухається через мініатюрні випрямлячі, вбудовані в стінки трубок, які вмикаються і вимикаються на петагерцовій частоті або 10^{15} Гц. Результатом є невеликий постійний струм, створений безпосередньо, а не за допомогою ступінчастого процесу, подібного до того, як працюють більшість сонячних панелей.

Представники наукової групи розташували на кремнієвій підложці мільярди вертикальних вуглецевих нанотрубок, ізольованих одна від одної тонким шаром оксиду алюмінію. Конструкцію завершили прозорі пластини з алюмінію та кальцію, що схематично показано на рис.1.3. При потраплянні

світла нанотрубки починають коливатися. Генерується заряд, який потім проходить через випрямлячі. Вони перетворюють змінний струм на постійний завдяки своїй здатності вмикатися і вимикатися з величезною частотою - до квадрильйону разів на секунду.

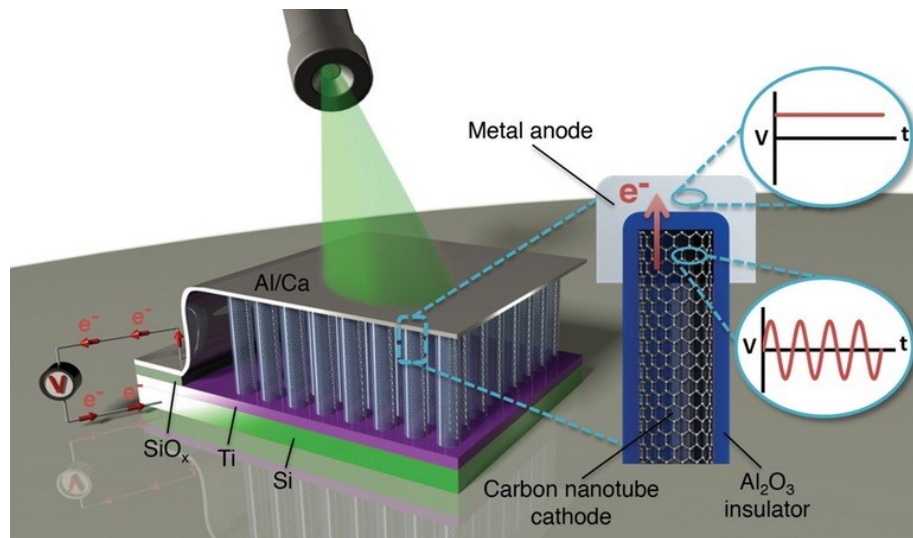


Рисунок 1.3 – Сонячна ректена

Мільярди ректен, об'єднані в масив, зможуть давати струм значної величини, хоча ефективність продемонстрованих пристроїв поки що залишається нижчою за 1%. Дослідники сподіваються різко підвищити параметри своєї розробки за допомогою оптимізації, і впевнені, що ректена, яка має комерційний потенціал, може з'явитися протягом року.

1.1.3. Безпосереднє перетворення за рахунок фотогальванічного ефекту

Найбільшого поширення набули перетворювачі на фотоелектричних елементах.

Фотоелектричний елемент або фотоелектричний модуль здійснює перетворення сонячної світлової енергії на електричну за рахунок хімічної реакції в кремнійорганічній структурі фотоелемента, де під дією сонячного світла генерується електричний струм. Такий принцип отримання електроенергії і реалізується в сучасних кремнійорганічних фотоелементах, які

для отримання більшої потужності електричних батарей конструктивно з'єднуються в спеціальні панелі, які називаються сонячними панелями (СП) або модулями. Типовий вид СЕС на СП показано на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Сонячна електростанція на фотоелектричних панелях

Коефіцієнт корисної дії сонячних панелей сьогодні знаходиться в межах 15-30%, а в найсучасніших моделях може бути і більше.

Залежно від структури сполук кремнію у фотомодулях, всі модулі поділять на:

- сонячні монокристалічні модулі;
- полікристалічні модулі;
- сонячні модулі аморфні.

Кремнійорганічні сонячні панелі є головними складовими будь-якої електростанції, заснованої на використанні сонячної енергії. Кремній фотомодулів сонячних батарей, разом із різними добавками – утворює так званий «р-п» перехід у фотоелементі, за допомогою якого сонячна енергія перетворюється на електричну.

Підрозділ складено з огляду [7, 8, 9].

1.2. Переваги та прогрес сонячної енергетики

До переваг електростанцій, заснованих на застосуванні сонячних батарей, слід віднести:

- тривалий термін роботи сонячних батарей, що досягає навіть 25 років;
- мінімалізм в обслуговуванні сонячних модулів, який полягає лише у профілактичному чищенні поверхні фотоелементів від забруднювачів для кращого «прийому» ними сонячної енергії;
- вироблення електроенергії за допомогою використання сонячних батарей не супроводжується жодними шумовими ефектами;
- сонячні панельні модулі можуть застосовуватися в найбільш важкодоступних, віддалених місцевостях, де прокладання ЛЕП економічно недоцільне;
- сонячна енергія з її перетворенням на електричну є одним з найбільш екологічно чистих видів енергії, які не завдають шкоди навколишньому середовищу.

Видима екологічна чистота сонячної енергетики стала ключовою у справі її розвитку та просування останніми роками. Зміна клімату, що відбувається (або передбачувана), яка може бути обумовлена, в тому числі, викидом надлишкової кількості парникових газів, стимулювала стрімке зростання встановленої потужності СЕС до 7% і, відповідно, зростання виробітку. З 2000 до 2021 року частка СЕС у загальносвітовому виробленні зросла з частки відсотка до 4% [14].

Удосконалення технологій виробництва СП дозволило суттєво знизити їхню вартість.

Перспективи сонячної енергетики видаються райдужними. Дійсно, якщо вдасться перетворювати на електрику хоча б 1/20 000 частину енергії Сонця, яка абсолютно безкоштовно падає на Землю, то можна буде відмовитися від теплових електростанцій, які спалюють вугілля та забруднюють атмосферу; від атомних електростанцій, робота яких пов'язана із небезпекою ядерного

зараження; від гідроелектростанцій, до роботи яких потрібно затоплювати великі території.

Але, як показала практика, робота СЕС пов'язана із низкою особливостей, про які наступний підрозділ.

1.3 Недоліки сонячної енергетики

Основний недолік сонячної енергетики - уривчастість виробітку. Електроенергія (ЕЕ) виробляється не тоді, коли вона потрібна споживачам, а коли світить сонце.

З уривчастості виробництва ЕЕ впливає перша неприємна обставина. Для того, щоб забезпечити стабільність енергосистеми, до складу якої входять СЕС, у ній повинні бути присутніми так звані «замінні потужності», які постійно перебувають у «гарячому резерві». Це означає, що десь поблизу СЕС має бути встановлена теплова електростанція, яка перебуває у постійній готовності до включення до мережі. Там має горіти вугілля, кипіти вода, але електроенергія не виробляється, поки є сонце. А як тільки сонце сховається за хмари, електростанція має негайно розпочинати вироблення. Тому витрати на підтримку гарячого резерву повинні враховуватися у вартості ЕЕ, виробленої СЕС.

Проблема частково могла б бути вирішена, якби існували способи передачі енергії без втрат на великі відстані. (Не в межах однієї країни, а між різними часовими поясами, а краще навіть між різними півкулями Землі.) На жаль, передача ЕЕ на такі великі відстані пов'язана з більшими втратами. Так загалом втрачається близько 10 % енергії, 2/3 цих втрат посідає втрати у ЛЕП. При збільшенні їхньої протяжності втрати зростатимуть [12].

Іншим можливим вирішенням проблеми могло стати накопичення ЕЕ. Але єдина можливість накопичення великих обсягів енергії в даний час - це спорудження гідроакумуючих електростанцій (ГАЕС), для чого потрібно

затоплювати великі території, що не скрізь і не завжди можливо. Втрати ЕЕ під час роботи ГАЕС досягають 30%.

Друга неприємна обставина.

Неможливість кудись подіти надмірну енергію, що генерується сонячними (і вітряними) електростанціями, часто призводить до таких ексцесів, як «негативна вартість ЕЕ». Так, за даними [11] від 20 квітня 2023 року «Ціни на електроенергію в Нідерландах опускалися до негативного рівня на торгах у середу через надлишок пропозиції, що генерується відновлюваними джерелами енергії. Вартість електроенергії опускалася до мінус 739,96 євро за мегават-годину під час торгів на біржі Erex Spot SE в Амстердамі 19 квітня, повідомляє агентство Bloomberg. Середньозважені ціни на електрику залишалися негативними протягом кожної години з 10.00 до 17.00. Зростання пропозиції «зеленої» електроенергії суттєво перевищує попит.»

Негативна ціна означає, що не споживач повинен платити за ЕЕ, а виробник готовий платити споживачеві, щоб той знайшов, куди витратити надмірну потужність. (Це зовсім не означає, що ЕЕ постійно у надлишку, в інші години і дні її вартість, навпаки, різко збільшувалася.) Такий режим роботи не можна вважати сприятливим для промислового виробництва і транспорту, де потрібна прогнозованість і стабільність. Не надто зручно це й для побутових споживачів.

Третя неприємна обставина.

Для розвитку сонячної енергетики, залучення додаткових інвестицій та заохочення наукових розробок у цьому напрямі багато держав запроваджували так звані «зелені тарифи». Це означало, що електроенергія, вироблена на СЕС, оцінюється дорожче, ніж вироблена традиційними способами, іноді у кілька разів. Це стимулювало встановлення нових потужностей СЕС та збільшення виробітку. Компенсація витрат покладалася на «традиційних» виробників ЕЕ. Поки частка СЕС в енергобалансі була дуже малою, цими втратами також можна було знехтувати. Але зростання частки СЕС у загальному виробленні за різних тарифів для «традиційних» виробників означає недоотриманий прибуток

та відсутність можливості модернізувати обладнання, а для споживачів – додаткові витрати. Крім того, маніпуляції із «зеленими» тарифами та субсидіями часом доходили до абсурду.

Так, наприклад, в Іспанії, за даними [10] «...розслідування Національної комісії з енергетики виявило, що іспанці виявилися вельми заповзятливими громадянами. Щоб отримати більше державних субсидій, вони вночі підключали дизельні генератори до електричних підстанцій, які спрямовують енергію сонячних ферм до мережі. Субсидії були настільки щедрими, що з надлишком покривали витрати на пальне.»

1.4 Небезпека сонячної енергетики

Окремо слід сказати про небезпеку СП. До загроз, які потенційно можуть походити від них, можна віднести забруднення навколишнього середовища:

- при виробництві;
- при експлуатації;
- при утилізації сонячних панелей.

Розглянемо їх докладніше.

1.4.1 Небезпека при виробництві

На сьогоднішній день існує кілька типів сонячних батарей, у яких відрізняється продуктивність, ККД та ціна. Хоча принцип виробітку електрики від сонячних променів у всіх панелей однаковий, для цього використовують різні матеріали. Переважна більшість СП для домашніх електростанцій зроблені з кремнію, оскільки це найдешевший з усіх можливих матеріалів. Кремній, який перетворює сонячну енергію на електричну – один із найпоширеніших хімічних елементів на Землі, його отримують з піску, він небезпеки не становить.

Однак для виділення кремнію використовують трихлорсилан – отруйну вибухонебезпечну суміш. Маленька крапелька цієї речовини, що потрапила на шкіру людини, викликає найстрашніший хімічний опік. Побічним продуктом

при виробництві кремнію стає соляна кислота – одна з найнебезпечніших та найагресивніших. Тож безпечним виробництво сонячних панелей назвати не можна. Отримання всіх матеріалів, що використовуються при виготовленні сонячних панелей: скла, алюмінію, сталі, свинцю, міді, кремнію та інших потребує чимало енергії. Електроживлення виробничі підприємства одержують далеко не від сонячних станцій, а від атомних чи теплових.

Таким чином, для виробництва джерел “чистої енергії” спочатку витрачають чимало “брудної”.

1.4.1 Небезпека при експлуатації

На перший погляд, ніякої шкоди від СП природі немає і бути не може. Однак тут не все так просто. Одна маленька сонячна станція, яка розміщена на даху чи на балконі будинку, звичайно, шкоди не завдасть. Але з великими електростанціями, що розкинулися на жодному гектарі, все вже не так однозначно.

По-перше, СП формують стійку тінь, яка перешкоджає зростанню рослин. Коли йдеться про гектари, це може стати критичним. Знижується вироблення кисню, зменшується кормова база диких тварин.

Якщо сонячна станція займає місце полів, на яких раніше вирощували корисні культури або пасли худобу, може йтися й про шкоду сільському господарству, харчовій промисловості та економіці. Наприклад, у Каліфорнії розташована електростанція, яка виробляє 550 МВт електроенергії та займає площу, рівну 25,6 км².

По-друге, у виробництві панелей великих СЕС для підвищення їх продуктивності використовується не лише кремній, а й більш небезпечні речовини, такі як, телурид кадмію, що становить загрозу при взаємодії навіть із дуже слабкими кислотами, утворюючи отруйні сполуки. Крім того, кадмій, який може виділятися під впливом певних умов, наприклад, під впливом опадів, небезпечний для докільця, ґрунту, ґрунтових вод.

По-третє, промені сонця сильно нагрівають поверхню панелі, що призводить до розігріву повітря над нею. Великі обсяги гарячого повітря можуть

спричинити зміну мікроклімату на місцевості, знизити вологість, підвищити температуру, спровокувати рух повітряних потоків, завдають шкоди комахам та птахам.

1.4.1 Небезпека при утилізації

Утилізація СП також є витратним заходом. Викидати зламані або ті які відпрацювали панелі на звичайне звалище не можна. Хоча відсоток вмісту шкідливих для екології елементів у кремнієвих сонячних батареях невеликий, він таки є. З накопиченням на сміттєзвалищах старих панелей загроза екології може стати дуже суттєвою. Крім того, практично всі матеріали, що використовуються у виробництві панелей, можуть бути використані вдруге, тому переробка повністю обґрунтована. На жаль, технологія утилізації є досить складною. Навіть для розбирання сонячної панелі на комплектуючі потрібне спеціальне обладнання та навчений персонал.

Також слід зазначити, що вартість робіт з переробки панелей дорожча, ніж вартість вторинної сировини.

Все сказане вище не означає, що сонячна енергетика не має перспектив і подальші дослідження в цьому напрямку недоцільні. Якщо будуть знайдені способи ефективного перетворення, зберігання та передачі на великі відстані електричної енергії, а також буде ще суттєво знижена собівартість СП, то перспективи у даного напрямку, безумовно, є.

2 ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ В УМОВАХ ВІДСУТНОСТІ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ

Останнім часом (2022 – 2023 рр.) жителі багатьох областей України зіткнулися з масовими, тривалими і часом непрогнозованими відключеннями електропостачання. У зв'язку з цим користувачі почали масово закуповувати дизельні та бензинові генератори, акумулятори, перетворювачі та інше подібне електричне обладнання. Зріс попит на сонячні панелі. У цих умовах питання стояло вже не про те, як заощадити або заробити на сонячній енергії, а як отримати хоча б невелику кількість електроенергії, щоб була можливість зарядити ноутбук, мобільний телефон чи ліхтарик.

У випадках відключення електромережі застосування СП є цілком виправданим, а всі економічні розрахунки, так само як і зауваження про недоліки та небезпеки СЕС (п. 1.3), відсунуті на другий план. Зрозуміло, йдеться не про повну заміну електромережі, оскільки в екстремальних умовах реалізувати таке вкрай складно. У нашій роботі мова піде про невеликі СП площею кілька квадратних дециметрів і потужністю 10...50 Вт.

2.1. Особливості роботи «домашніх електростанцій»

«Домашні електростанції» мають низку особливостей, які зазвичай не враховуються під час проектування повноцінних СЕС.

Перша особливість – наявність можливих кутів закриття. Так, при проектуванні СЕС великої потужності, насамперед, вибирається підходящий майданчик, де протягом усього світлового дня забезпечувалося б освітлення Сонцем, а також є простір для реалізації повороту панелей для стеження за ним. Але при встановленні СП у дворі чи на даху приватного будинку реалізувати це не завжди можливо. Ще складніше це зробити в квартирі багатоповерхового будинку, де СП доводиться розміщувати на балконі або за вікном, де частина

небосхилу може бути закрита сусідніми будинками, деревами і т. д. Поворот панелі встановленої в таких умовах якщо й можливий, то не на повний кут [16]. В результаті реальні значення виробітку можуть бути помітно гіршими, ніж розрахункові.

Друга особливість – витрати на пристрої керування. У даному випадку йдеться не про фінансові витрати, а лише про витрату енергії, тому що в умовах відсутності ЕЕ в мережі питання ціни, наприклад, однієї кіловат-години набуває зовсім іншого змісту. Слід враховувати, що при невеликій потужності СП, витрати енергії на роботу поворотних механізмів, контролерів заряду і навіть світлодіодних індикаторів можуть бути порівняні з обсягами, що виробляються [16].

Для зберігання енергії, що виробляється такою «домашньою міні-електростанцією», необхідний акумулятор, а для керування зарядом спеціалізований контролер.

2.2 Контролер сонячної панелі

Прикладом такого контролера може бути пристрій АСМ 20D фірми Altec, який ми розглянемо докладніше.

Як сказано в документації [15], це інтелектуальний багатофункціональний контролер заряду та розряду сонячного зарядного пристрою, з вбудованим РК-дисплеєм зі зручним інтерфейсом. Він забезпечує гнучке завдання різних керуючих параметрів у повній відповідності з експлуатаційними вимогами замовника. Він має такі особливості:

- інтуїтивно зрозуміла графічна індикація на РК-дисплеї;
- автоматична ідентифікація рівня напруги системи;
- автоматична температурна компенсація;
- робочий режим навантаження задається;
- вимкнення акумулятора низької напруги (LVD);
- захист від перевантаження струмом;

- просте кнопочве керування;
- інтелектуальний режим заряджання з ШІМ;
- регульовані параметри керування зарядом-розрядом;
- захист від зворотного струму під час розряджання акумулятора;
- захист від зворотного підключення акумулятора.

Зовнішній вигляд пристрою представлено на рис. 2.2 схема підключення на рис. 2.3. На рис. 2.4 показано індикаторний дисплей контролера, а нижче наведено призначення елементів цієї панелі.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд контролера сонячної панелі

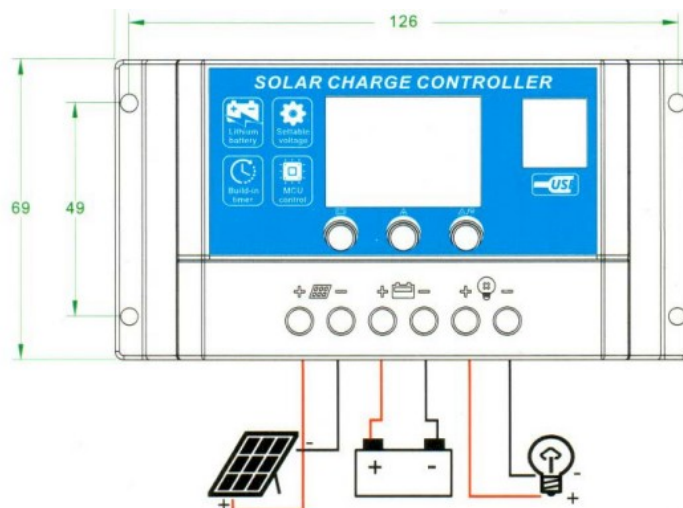


Рисунок 2.3 – Схема підключення контролера сонячної панелі

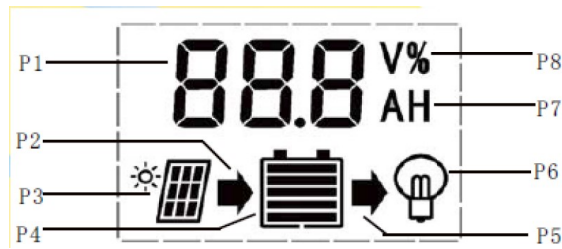


Рисунок 2.4 – Індикаторний дисплей контролера сонячної панелі

P1: Цифрові параметри.

P2: Індикація зарядки. Цей символ показує, що акумулятор заряджає сонячна панель; відсутність цього символу означає, що сонячна панель не може зарядити акумулятор через низьку напругу. Миготливий символ означає, що акумулятор повністю заряджений, і перейшов у режим заряджання на холостому ходу.

P3: Індикація для сонячної панелі. Цей символ показує, що контролер виявив підключення сонячної панелі; відсутність цього символу означає, що підключення сонячної панелі не виявлено, або на сонячну панель не потрапляє сонячне світло.

P4: 5-смуговий індикатор заряду акумулятора.

P5: Індикація розряджання. Цей символ показує, що контролер перебуває у розрядному режимі, відсутність означає, що він у розрядному режимі. Миготливий символ вказує на пошкодження внутрішніх пристроїв керування.

P6: Індикація навантаження. Цей символ показує, що контролер перебуває у розрядному режимі; відсутність означає, що він не у розрядному режимі. Миготливий символ вказує на перевантаження або пошкодження навантаження.

P7: А – одиниці сили струму; Н – годинник.

P8: V – одиниці напруги.

На рисунку 2.5 представлений порядок відображення інформації на дисплеї сонячної панелі, що дозволяє зрозуміти порядок його роботи. Технічні характеристики контролера представлені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики контролера ACM 20D

Номінальний струм, А		20	
Напруга в системі, В		12	24
Напруга у розімкненому колі СП, В		< 50	
Напруга холостого ходу, В		13,8	27,6
Відключення по низькій напрузі, В		10,7	21,4
Підключення по низькій напрузі, В,		12,6	25,2
Добавочна напруга при використанні акумуляторів	Герметичний (b01)	14,8	28,8
	Гелевий (b02)	14,2	28,4
	Кислотний (b03)	14,6	29,2
Відключення по перенапрузі, В		15,5	31
Підключення по перенапрузі, В		15	30
Втрати у розімкненому колі, мА		15	
Падіння напруги заряду / розряду, В		< 0,2 / <0,1	



Рисунок 2.5 – Порядок відображення інформації на дисплеї

2.3 Особливості роботи контролера, виявлені під час експлуатації

В цілому пристрій відповідає заявленим характеристикам і може експлуатуватися спільно з сонячною панеллю та свинцево-кислотними, гелевими та іншими типами акумуляторів. Але в процесі експлуатації було виявлено дві особливості. На жаль, вони дуже невиразно зазначені в технічній документації – виробник через якісь причини не акцентує на них уваги.

По-перше, для роботи контролера та індикаторів постійно потрібен струм близько 15 мА по колу 12 В, тобто близько 180 мВт. Очевидно, що ця потужність потрібна для живлення контролера, вимірювальних пристроїв, індикаторів та перетворювачів ШІМ. Якщо СП видає достатню потужність, струм споживається від неї, якщо потужності СП недостатньо, струм споживається від акумулятора. Споживання відбувається безперервно, цілодобово, незалежно від підключення навантаження та СП. У таблиці з технічними характеристиками досить туманно названо «Втрати в розімкненому колі».

По-друге, контролер не може працювати, коли від нього відключається акумулятор, але залишається підключеною СП. Такий режим неприпустимий, що було з'ясовано після ознайомлення з матеріалами на інтернет-форумах з використання пристрою. Також було експериментально встановлено, що при відключенні акумулятора контролер просто замикає входи СП, що може призвести до короткого замикання в колі СП, перегріву проводів і пожежі. У документації про це явно не йдеться, тільки в розділі «Демонтаж пристрою» є застереження: «Щоб уникнути нещасних випадків з'єднання демонтуються в наступному порядку: від'єднати сонячні панелі, потім від'єднати акумулятор, потім від'єднати навантаження від контролера».

Практичне поєднання першої та другої особливостей означає, що акумулятор заряджається від сонячної панелі у світлу частину доби і розряджається на контролер протягом решти доби. Для СП з великою потужністю, з добовим виробленням більше 1 кВт·год, витратами живлення

контролера обсягом 4,3 Вт·год можна знехтувати. Але якщо панель малопотужна і добовий виробіток становить кілька десятків ватгодин, ці втрати можуть виявитися суттєвими. У похмурі зимові дні, коли заряд триває лише 3...4 години струмом 50..100 мА, а розряд струмом 15 мА протягом решти 20 годин, ефективність такого контролера стає сумнівною (рис. 2.6).

У зв'язку з вищевикладеним необхідно знайти спосіб удосконалити контролер, або доповнити його таким пристроєм, який зробив би його більш економічним. Вирішенню цього завдання буде присвячено третій розділ кваліфікаційної роботи магістра.

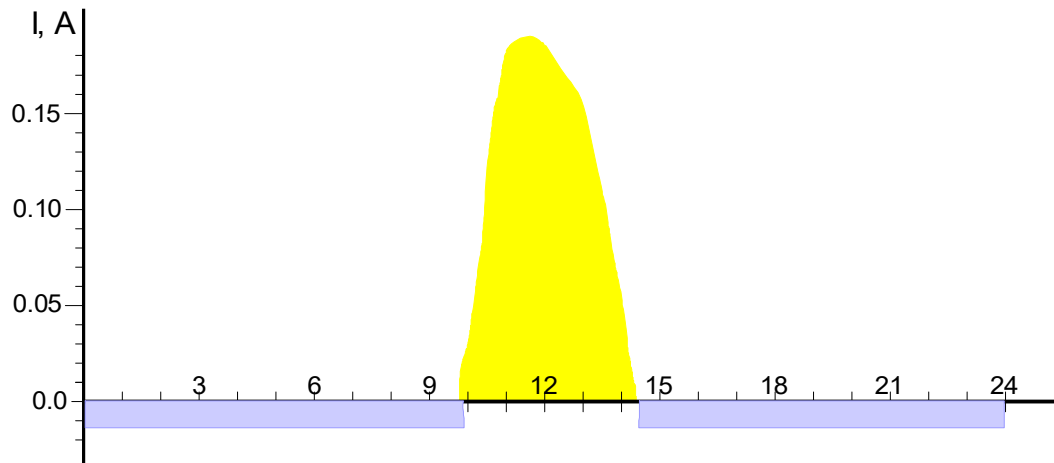
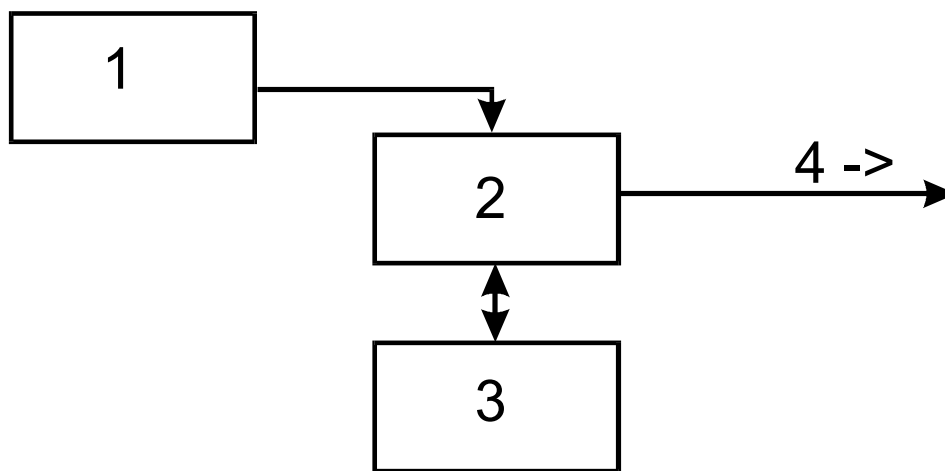


Рисунок 2.6 – Заряд та розряд акумулятора

3 ЗАХОДИ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ЩО ВИРОБЛЯЄТЬСЯ СОНЯЧНОЮ ПАНЕЛЛЮ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

3.1 Аналіз причин втрат та пошук способів їх усунення

Вихідна (рекомендована) схема підключень СП, контролера СП та споживача показано на рис. 3.1.



1 – Сонячна панель 2 – Контролер сонячної панелі 3 – Акумуляторна батарея
4 – до навантаження

Рисунок 3.1 – Вихідна схема підключення СП до контролера

Контролер здійснює комутацію СП та акумуляторної батареї (АКБ) відповідно до такого алгоритму:

- якщо потужності, виробленої СП, достатньо для постачання споживача, то постачання виконується від СП;
- якщо потужність, вироблена СП, надмірна для споживача, її надлишок витрачається на заряд АКБ;
- якщо потужності СП недостатньо, вона компенсується рахунок АКБ.

Але, як зазначено в (2.3), робота контролера СП вимагає струму 15 мА, який споживається або від СП, або від АКБ. Це призводить до непродуктивних втрат енергії обсягом близько 4 Вт·год на добу. Найпростіший спосіб запобігти

цим втратам - вручну відключати контролер від СП і від АКБ у вечірній час, коли зайшло сонце. Але такий спосіб позбавляє пристрій автономності. Крім того, якщо пристрій вимкнено на ніч, треба не забути ввімкнути його вранці, щоб АКБ почала заряджатися при сході сонця.

Спробуємо автоматизувати ці процедури, доповнивши контролер окремим пристроєм.

3.2 Синтез функціональної схеми пристрою

Для реалізації функцій пристрою необхідно, по-перше, визначити поріг потужності, що виробляється СП, при якій контролер припиняє споживати струм від АКБ. Позначимо напругу, що створюється СП, яка відповідає цій потужності U_1 .

Тоді алгоритм роботи додаткового пристрою має бути наступним:

- якщо напруга СП перевищує U_1 , то до основного контролера підключається СП, споживач і АКБ, після чого схема набуває вигляду, показаного на рис. 3.1;

- якщо напруга СП опускається нижче U_1 , від контролера спочатку відключається СП, потім споживач переключається на живлення безпосередньо від АКБ, після чого АКБ відключається від контролера.

Цей алгоритм схематично показано на рис. 3.2.

Таким чином, забезпечується і захист контролера, і безперервність живлення споживача, і економія енергії.

Функціональна схема, що реалізує цей алгоритм, представлена на рис. 3.3.

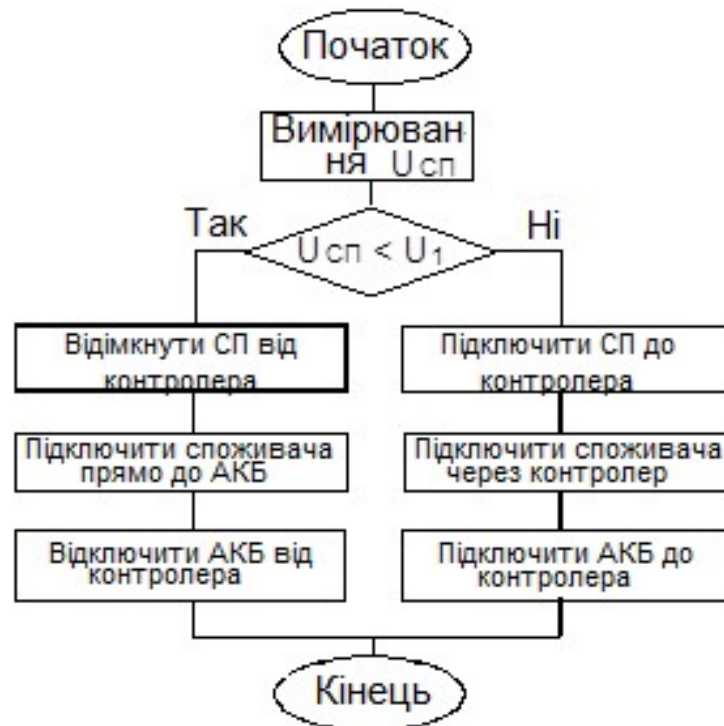
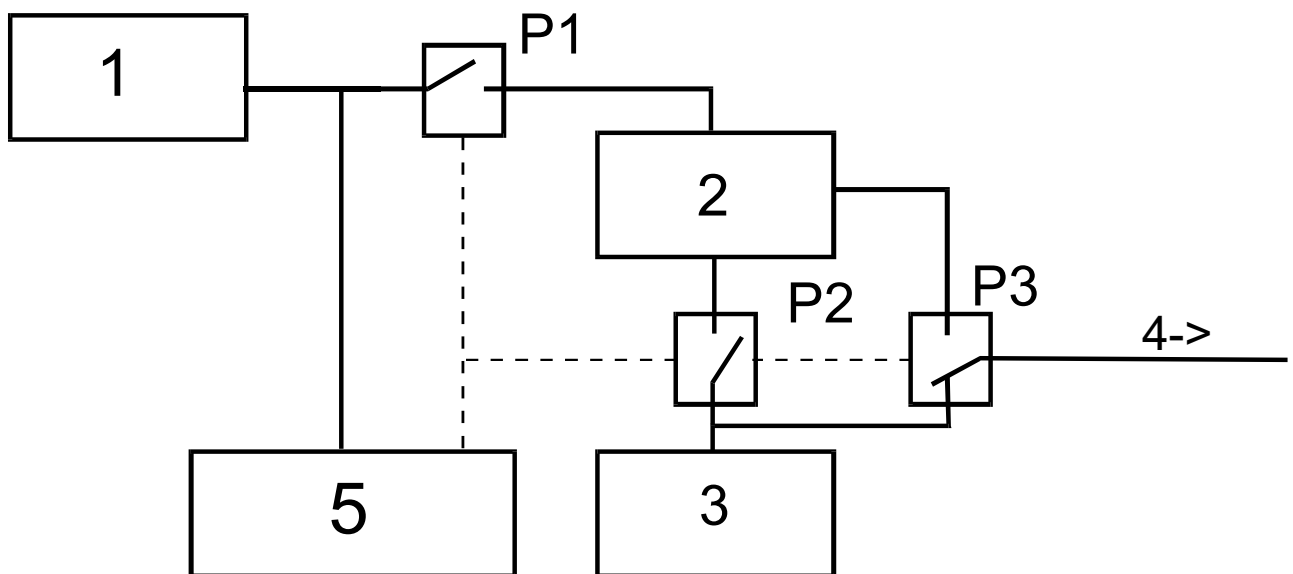


Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи додаткового пристрою керування СП



1- сонячна панель, 2 – контролер сонячної панелі,

3- акумуляторна батарея, 4 – до споживача, 5 – додатковий контролер,

Рисунок 3.3 – Структурна схема підключення малопотужної сонячної панелі з додатковим контролером

Якщо увімкнення та відключення виконувати за допомогою реле, то P1 підключає СП до контролера, P2 підключає до нього АКБ, а P3 підключає

споживача до АКБ або через контролер, або безпосередньо. На рис. 3.3 контакти реле показані в положенні, коли $U_{СП} < U_1$.

3.3 Аналіз варіантів побудови електричної принципової схеми пристрою

Завданням не передбачено втручання у схему контролера АСМ 20D. Отже, необхідно створювати окремий пристрій. Основна вимога щодо нього – він має споживати значно менше, ніж основний контролер СП, тобто, менше 15 мА.

При аналізі цих вимог проглядаються три можливі варіанти побудови схеми:

- на електронних вимикачах;
- на слабкострумовому електромеханічному реле;
- на бістабільному (імпульсному) реле.

Розглянемо ці варіанти докладніше.

3.3.1 Електронні вимикачі

Електронні вимикачі виконуються на MOSFET транзисторах які мають малий (долі ома) опір каналу у включеному стані і дуже малий (до сотні мікроампер) струм витоку у вимкненому стані. Керуються вони, як правило, невеликою напругою, наприклад, логічними рівнями 0/5 В. Таке рішення, на перший погляд, ідеально підійшло б для нашого завдання, але є кілька складностей.

По-перше, на MOSFET транзисторах непросто реалізувати вимикач Р2 (рис. 3.3), який у ввімкненому стані повинен мати можливість пропускати струм як в одному, так і в іншому напрямку. Тому він має складатись з двох транзисторів різної структури.

По-друге, перемикач Р3 також реалізувати непросто, тому що він буде складатися з двох окремих транзисторів, один з яких має бути нормально замкнутим (тобто замкнутим при відсутності живлення) .

По третє, для управління таким перемикачем буде потрібна вимірювальна схема, яка повинна включати компаратор ($U_{СП} < U_1$). Вона повинна працювати постійно, а отже, постійно споживати.

Ще одна складність – необхідність керування частин схем з різними джерелами живлення, що потрібно здійснювати через оптрони.

3.3.2 Електромеханічне реле

Варіант на електромеханічному реле може бути реалізований при досить малому струмі, що споживається - існують реле, у яких струм утримання контактів становить менше 3 мА. Задача вимірювання та порівняння напруги може бути вирішена за рахунок властивості реле замикати і розмикати контакти при певному струмі. Це означає, що спеціальної вимірювальної схеми не потрібно. При механічному способі перемикання контактів «знімається» проблема комутації струмів у різних напрямках. Схема при цьому буде досить простою, основна складність - вибір типу реле, розрахунок та підбір струмозадаючих елементів.

3.3.2. Бістабільне реле

Бістабільне або імпульсне реле – порівняно маловідомий на практиці пристрій. Це майже таке ж електромагнітне реле, але зі спеціальним механізмом, завдяки якому воно може як завгодно довго перебувати в будь-якому з двох своїх станів, не вимагаючи струму в котушці, яка ним управляє. Струм необхідний лише для зміни стану, тобто, для перемикання. Зазвичай такі реле використовуються для дистанційного керування освітленням у «розумних будинках» та інших подібних задачах, коли витратити енергію на утримання контактів реле тривалий час нераціонально. Для нашого випадку використання бістабільного реле вирішує задачу перемикача РЗ (для механічного контакту все одно, в яку сторону через нього протікає струм), але задача порівняння вхідної напруги та формування імпульсу вимикання, залишається такою ж, як у варіанті з електронним вимикачем.

Усі переваги та недоліки зазначених варіантів побудови схеми узагальнені у табл. 3.1.

Як видно з таблиці, реально нульового споживання домогтися не виходить з жодним з варіантів.

Тому у заключній частині роботи розглянемо більш детально 2-й варіант, тобто схему на електромагнітних реле. Як зазначено вище, основні складнощі першого для варіанту побудови схеми – складнощі з реалізацією функції перемикача, а для другого – вибір типу реле, а також розрахунок та підбір струмозадавальних елементів.

Таблиця 3.1 Порівняльна характеристика різних варіантів побудови схеми

Варіант схеми	Переваги	Недоліки
на електронних вимикачах (MOSFET)	- відсутні механічні контакти, надійність, довговічність	- потрібна постійно включена вимірювальна схема (ненульове споживання); - складність комутації двонаправленого струму (від і до АКБ); - складність схемної реалізації
на електромагнітних реле	- простота схемної реалізації; - повна відсутність споживаного струму в одному з режимів; - простота комутації двонаправленого струму	- є механічні контакти; - ненульове споживання у одному з режимів;
на бістабільних реле	- повна відсутність струму споживання у реле в обох режимах; - простота комутації двонаправленого струму	- потрібна постійно відкнута вимірювальна схема і схема формування імпульсу вимикання (ненульове споживання)

3.4 Уточнення параметрів СП та контролера

Для пошуку необхідних реле та розрахунку елементів обмеження струму, задаємося такими параметрами, що впливають із Завдання та вищенаведеної інформації про контролер та СП:

- робоча напруга 12...14 В;
- максимальний комутований струм від СП 2 А;
- струм власного споживання контролера 15 мА;
- максимальний струм навантаження до 1 А.

Залишаються нез'ясованими:

- напруга U_1 (напруга СП у якому припиняється заряд АКБ);
- можлива зміна U_1 залежно від напруги АКБ;
- діапазон зміни $U_{СП}$ при різній освітленості;
- діапазон зміни $U_{СП}$ при зміні навантаження;
- допустима затримка між підключенням АКБ та СП до контролера.

На жаль, не всі параметри, необхідні для роботи схеми, можна знайти в технічній документації виробника. Деякі довелося вимірювати самостійно під час роботи.

3.4.1 Параметри СП.

Для розрахунку елементів схеми необхідно знати також параметри СП, а саме її вольт-амперну характеристику (ВАХ).

Типова ВАХ СП наведена на рис. 3.4. Чим вище проходить крива, тим більша освітленість. Точка максимальної потужності досягається поблизу вигину ВАХ. Саме цю точку має вибирати контролер СП для оптимізації її роботи.

На жаль, виробник наявної СП не наводить ВАХ в описі свого виробу. Їх довелося отримувати експериментальним шляхом, проводячи вимірювання струму та напруги при різних навантаженнях. У якості навантаження використовувалися постійні опори, вимірювання проводилися цифровим

мультиметром DT-838. Експериментально отримане сімейство ВАХ показано на рис. 3.5.

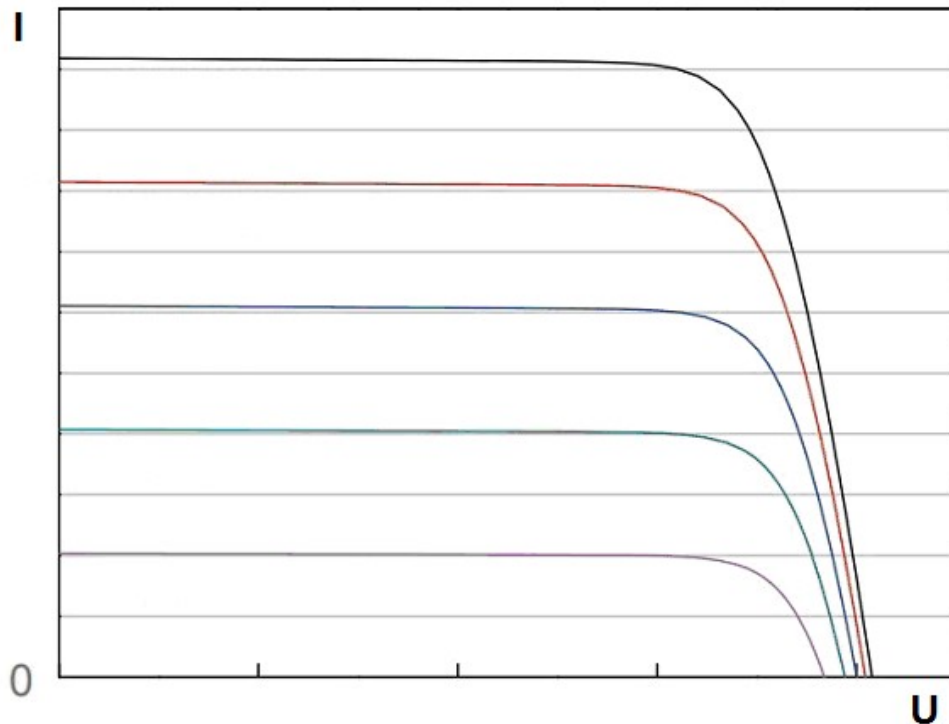


Рисунок 3.4 – Типові ВАХ сонячної панелі

Усі чотири залежності отримані за різної освітленості. Верхня (червона) за найбільшої, нижня (блакитна) за найменшої. Максимальна потужність 25 Вт, заявлена виробником, в ході вимірювань не була досягнута.

3.4.2 Параметри контролера

В ході вимірювань було встановлено:

1. Усі «позитивні» контакти всіх трьох контактних груп контролера (рис. 2.3) взаємно замкнені і не комутуються внутрішніми електронними ключами (рис.3.6). Це означає, що у зовнішніх колах їх можна не розмикати.

2. Умову про необхідну черговість підключення та відключення АКБ та СП (п. 2.3) можна дотриматися, якщо їх підключати та відключати строго одночасно (взаємна затримка менше 30 мс не має значення.)

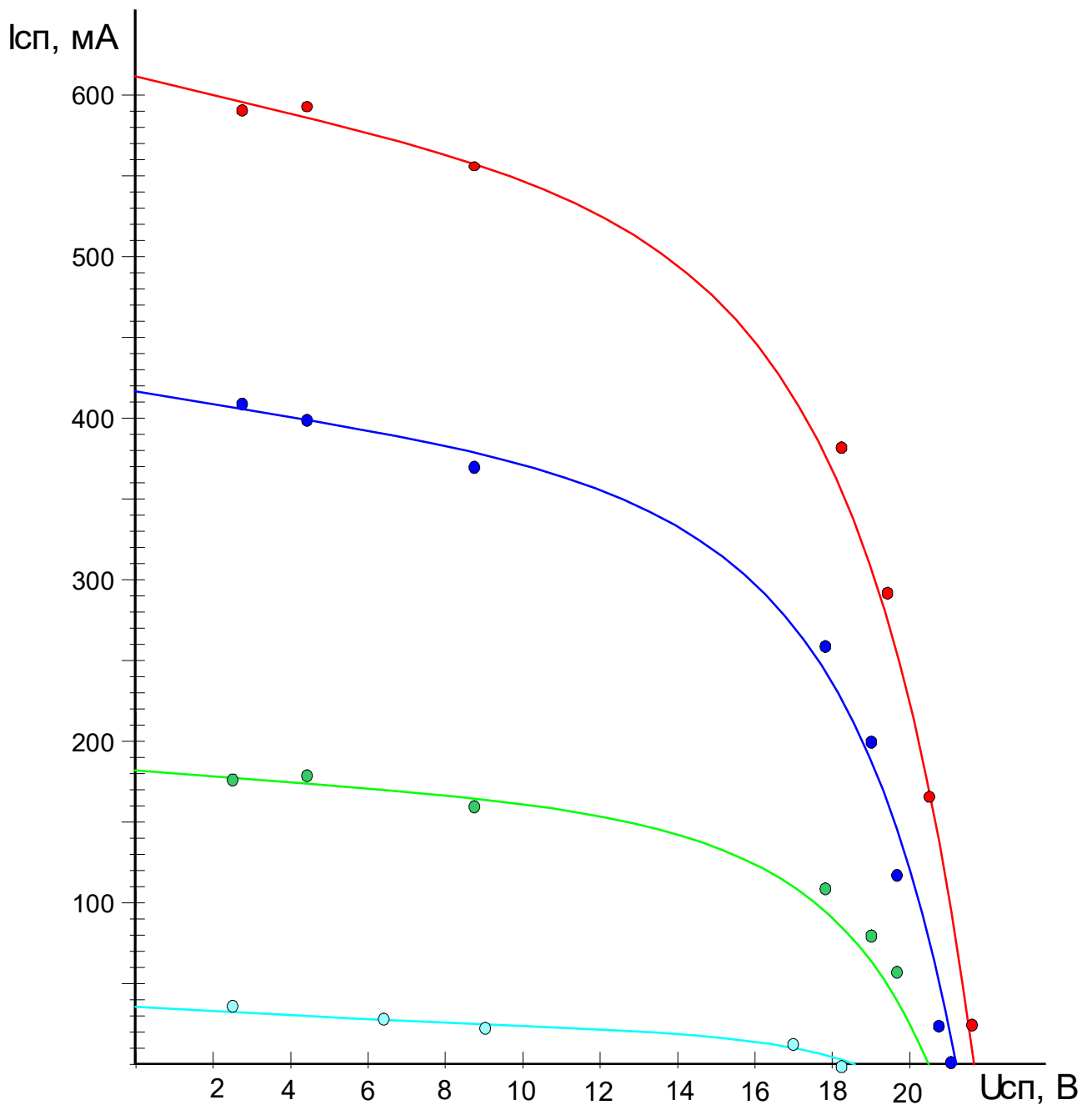


Рисунок 3.5 – Експериментальні ВАХ сонячної панелі

3. Експериментально встановлено, що заряд АКБ припиняється і контролер перемикається в режим живлення від неї при зниженні напруги СП нижче 14,6 В. Ця напруга практично не залежить від ступеня заряду АКБ і визначається, можливо, можливістю отримання струму від СП самим контролером. Струм, що віддається СП при цьому знаходиться в межах 16...20 мА.

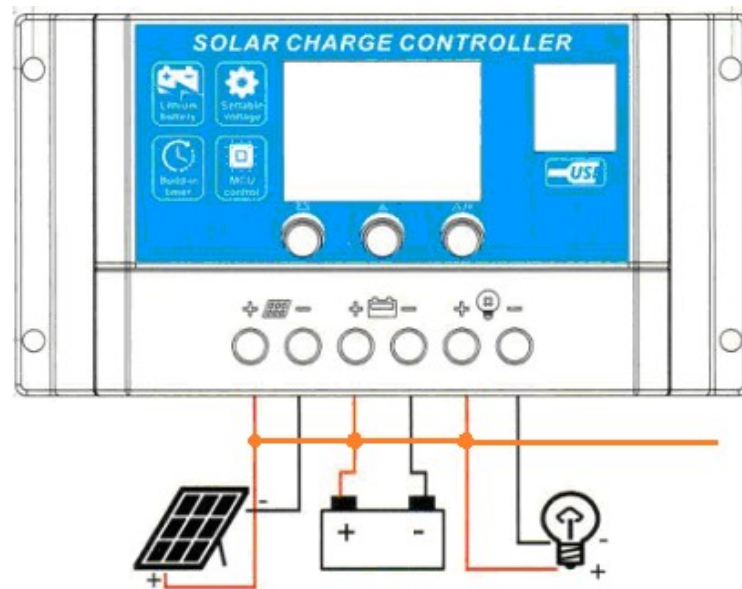


Рисунок 3.6 – Особливість контактів контролера

3.4.3 Параметри реле

У якості перемикача можна розглянути електромеханічне реле РЭК 37 (сучасний аналог відомого реле РЭС 60). Згідно з паспортними даними [19, 20] воно забезпечує комутацію струму до 1 А при активному навантаженні. Час перемикання контактів менше 30 мс, струм спрацьовування трохи більше 8,4 мА, струм відпускання щонайменше 2,6 мА. Що стосується опору обмотки, то в [20] допускається досить істотний розкид цього параметра від 1520 до 2020 Ом.

У ході роботи було проведено вимірювання характеристик конкретного екземпляра такого реле. Опір обмотки дорівнював 1780 Ом і мало змінювалося від температури. У ході багаторазових включень/відключень було встановлено, що струм спрацьовування знаходиться в межах 6...7 мА, струм відпускання в межах 2,5...3 мА, що показано на рис. 3.7.

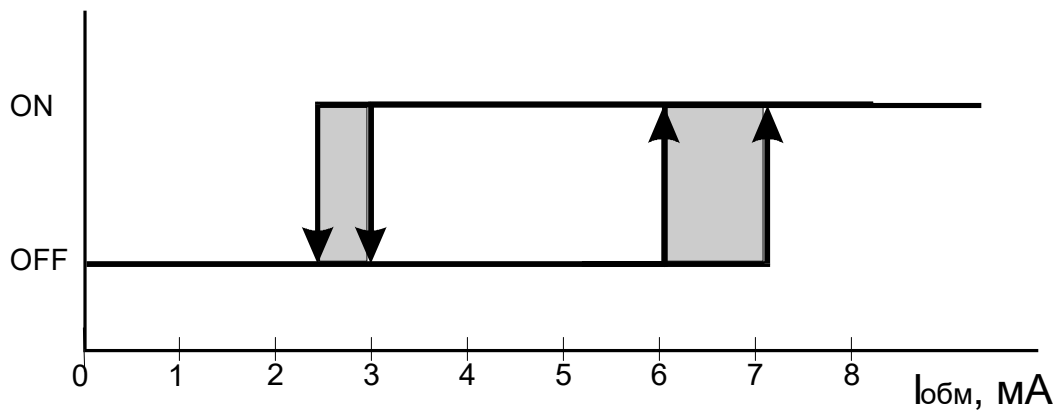


Рисунок 3.7 – Струми перемикання реле

Слід зазначити, що використання даного типу реле припустимо і для випадку протікання через контакти його струмів до 2 А, оскільки, згідно з алгоритмом (рис. 3.2) комутація при такому струмі не відбувається.

Отже, всі необхідні параметри знайдено, і можна переходити до розрахунку схеми.

3.5 Синтез схеми електричної принципової

На підставі вищевикладеного синтезуємо схему електричну принципову. Попередній варіант схеми показано на рис. 3.8.

До її складу входить реле К1, два опори R1 та R2, конденсатор С1 та діод VD1. Незважаючи на простоту даної схеми, вона здатна виконувати передбачене завдання - зменшувати струми втрат при роботі контролера СП з панеллю малої потужності.

Розглянемо, як працює схема та розрахуємо необхідні елементи.

Якщо напруги СП недостатньо для початку заряду АКБ та живлення контролера ($U_{СП} < U_1$), то контакти реле К1.1 та К1.2 знаходяться у нижньому по схемі положенні. Через К1.1 акумулятор підключений безпосередньо до навантаження, минаючи контролер. Контролер відключений від АКБ і, отже, не споживає. Діод VD2 запобігає попаданню зворотної напруги на вхід «Навантаження» контролера.

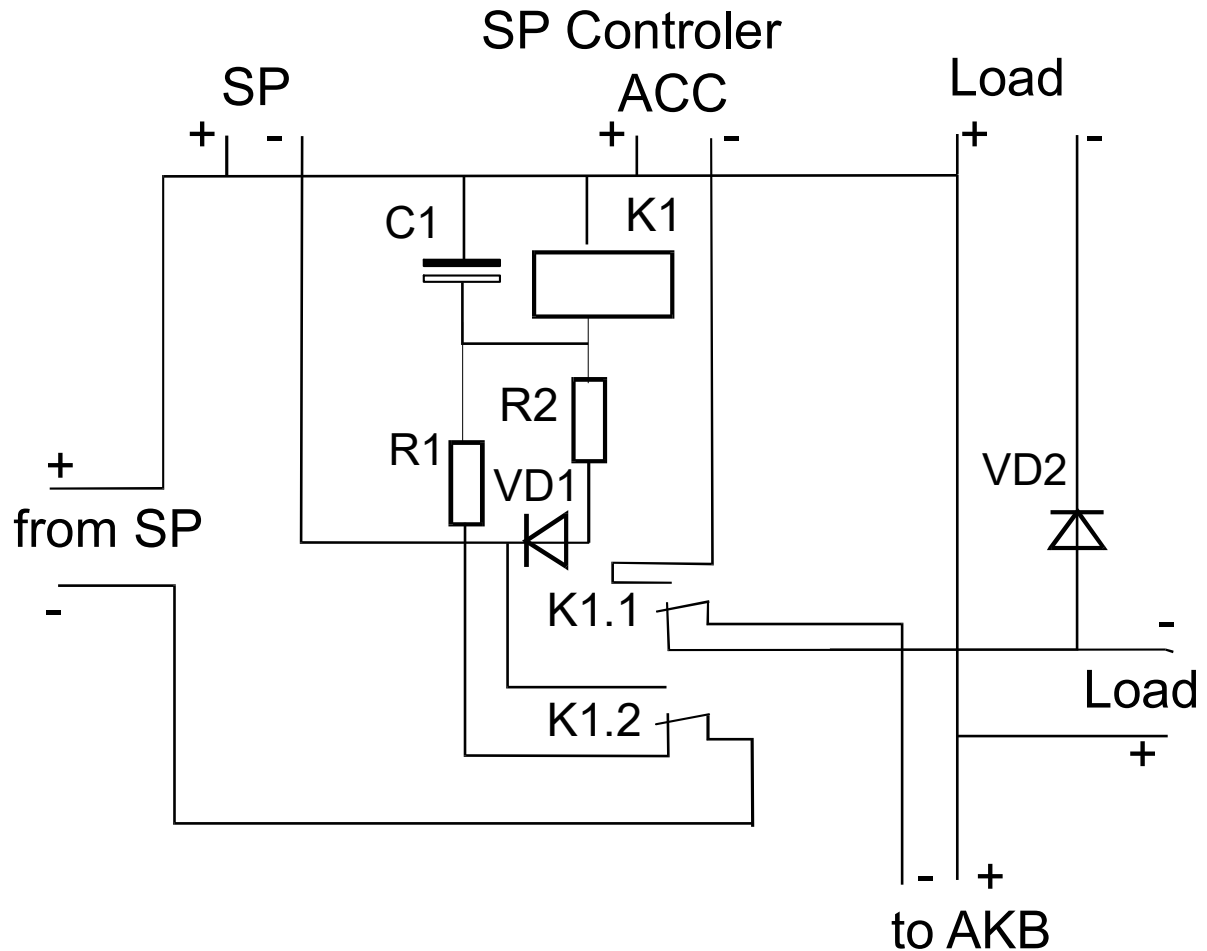


Рисунок 3.8 – Попередній варіант схеми електричної принципової

Негативний вихід СП відключений від входу «СП» контролера розімкненим контактом K1.2. Протікання струму через резистори R1 та R2 заблоковано діодом VD1. До сонячної панелі залишається підключеною лише обмотка реле K1 через резистор R1 та контакти K1.2.

Але через те, що СП поки що видає дуже низьку напругу, струму для включення реле недостатньо.

Оцінімо, якої величини має бути опір R1 для забезпечення включення реле за досягнення рівня U_1 . Як видно із схеми, струм обмотки

$$I_{зам} = \frac{U_1}{R_{обм} + R_1}, \quad (3.1)$$

де $U_1 = 14,6$ В (встановлено експериментально, см. 3.4.2);

$R_{обм} = 1780$ Ом – опір обмотки реле;

$I_{зам}$ – струм замикання реле (приблизно 7 мА, див. 3.4.3).

Звідси

$$R_1 = \frac{U_1}{I_{зам1}} - R_{обм}. \quad (3.2)$$

Підставивши числові значення, знайдемо

$$R_1 = \frac{14.6}{0.007} - 1780 = 305 \text{ Ом.}$$

Отже, якщо напруга СП перевищить 14,6 В, то через обмотку піде струм більше 7 мА і реле перемкнеться. При цьому відбудеться розмикання кола живлення обмотки реле через нижні контакти К1.2 і протягом 30 мс, доки триває перемикання, реле виявиться без живлення. Для забезпечення живлення обмотки протягом цього часу у схемі передбачено конденсатор С1. Знайдемо його значення виходячи з таких міркувань.

Постійна часу кола, утворена опором обмотки $R_{обм}$ і ємності С1 повинна бути такою, щоб за час перемикання реле струм у колі не впав нижче струму відпускання контактів. Знайдемо допустиме зниження струму;

$$K = \frac{I_{зам}}{I_{разм}}. \quad (3.3)$$

Виходячи з даних рис. 3.7,

$$K = \frac{7}{2.8} = 2.5,$$

що незначно відрізняється від величини $e = 2.71$ – основа натурального логарифма, що і характеризує сталу часу кола.

Таким образом, стала часу

$$\tau = R_{обм} C_1, \quad (3.4)$$

повинна бути не менше 30 мс.

Звідси знаходимо

$$C_1 = \frac{\tau}{R_{обм}} = \frac{30 \cdot 10^{-3}}{1780} = 16,9 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.}$$

Після перемикування контактів реле живлення його обмотки здійснюється через діод VD1 і резистор R2. Отже, вираз для струму утримання матиме вигляд:

$$I_{удерж} = \frac{U_1' - U_{VD1}}{R_{обм} + R_2}, \quad (3.5)$$

де U_{VD1} - падіння напруги на діоді VD1, який у цьому випадку включений у прямому напрямку. Прийmemo його рівним 0,6 В;

U_1' - напруга, яка опиниться на виході СП після підключення контролера та навантаження.

Насправді, після підключення навантаження напруга на виході СП дещо зменшується. Для її визначення розглянемо докладніше нижню частину сімейства ВАХ, яка показана на рис. 3.9.

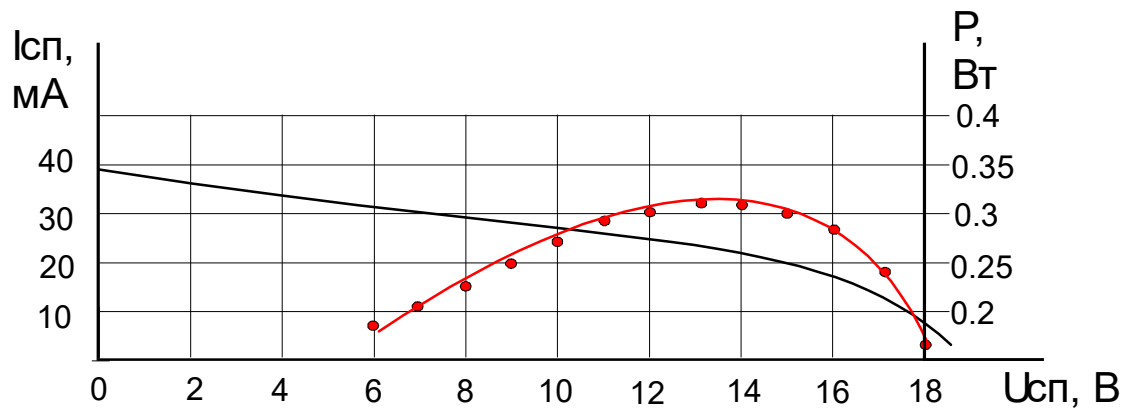


Рисунок 3.9 – ВАХ СП при низькій освітленості

Доповнимо експериментальний графік (рис. 3.9) даними про потужність, які показані у вигляді червоної кривої. Як видно з графіка, максимальна віддача від СП досягається при $U_I = 14$ В. Виходимо з того, що контролер СП вибирає саме цю точку як робочу.

Тоді з виразу (3.5) знаходимо опір R_2 :

$$R_2 = \frac{U_1' - U_{VD1}}{I_{удерж}} - R_{обм} . \quad (3.6)$$

Підставивши у (3.6) цифрові значення, знайдемо

$$R_2 = \frac{14 - 0,6}{3 \cdot 10^{-3}} - 1780 = 2687 \text{ Ом.}$$

3.6 Кінцевий варіант схеми

Отримані у розрахунках значення опорів та ємностей відсутні у стандартних рядах. Тому прийнято рішення встановити по два опори – постійний та підстроювальний: $R_1 = 270$ Ом, $R_2 = 51$ Ом, $R_3 = 2,4$ кОм, $R_4 = 390$ Ом.

Ємність $C1$ оберемо рівною 33 мкФ , що вдвічі більше за розрахункове значення. Конденсатор повинен бути електролітичним з напругою не менше 30 В . Діод $VD1$ може бути будь-який малопотужний кремнієвий, наприклад КД 303, $VD2$ - з допустимим прямим струмом не менше 1 А і зворотною напругою не менше 50 В .

Тоді кінцева схема пристрою буде мати вигляд, показаний на рис. 3.10.

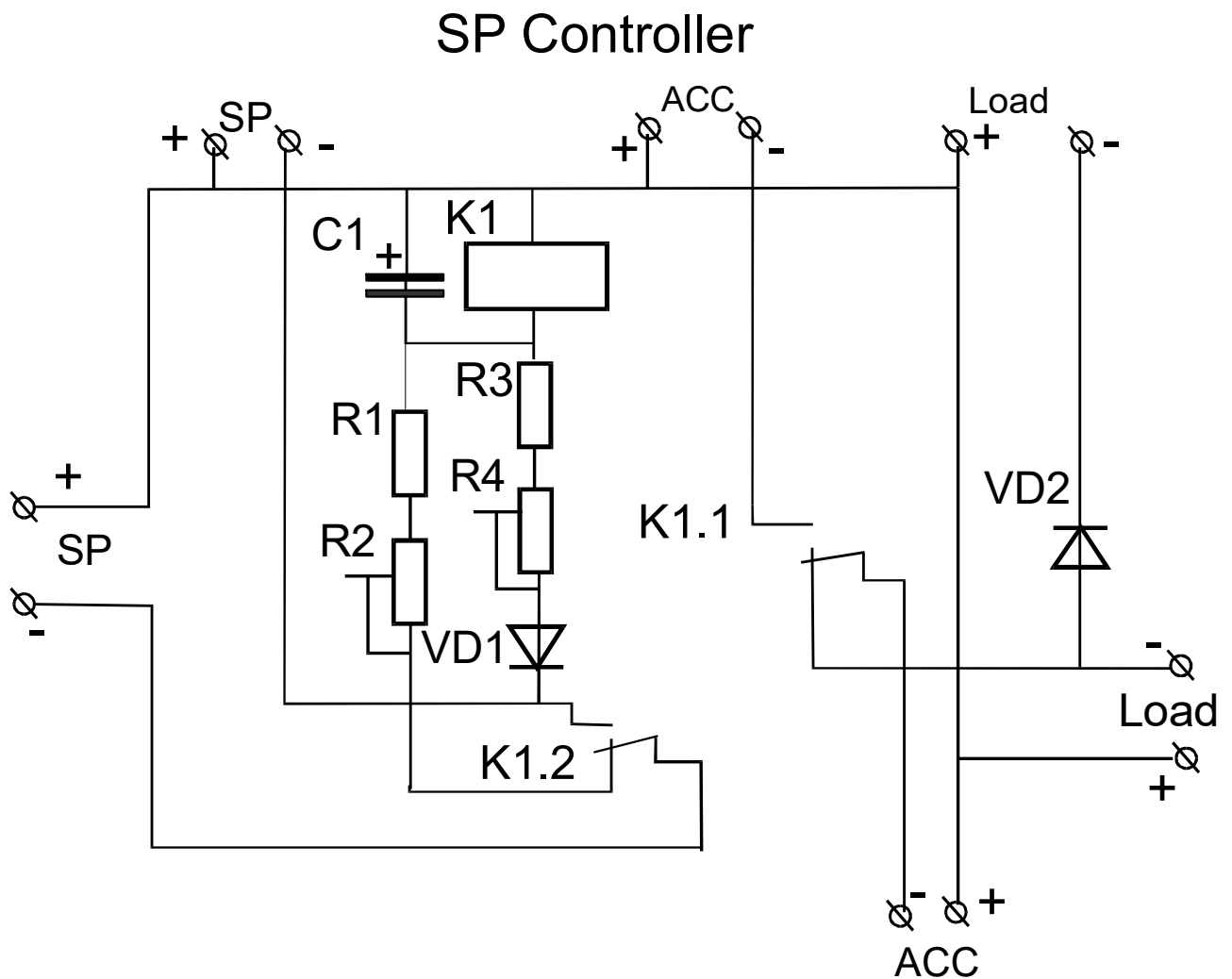


Рисунок 3.10 – Кінцева схема пристрою на реле

ВИСНОВКИ

Таким чином, розроблений у кваліфікаційній роботі магістра пристрій забезпечує підключення сонячної панелі та акумулятора до стандартного контролера сонячної панелі протягом часу, коли енергії, що виробляється СП, достатньо для заряду акумулятора. При цьому споживається струм, необхідний для утримання контактів реле у замкнутому стані, який не перевищує 3 мА.

Коли енергії, що виробляється СП недостатньо для заряду АКБ, пристрій відключає їх від контролера, запобігаючи непродуктивному розряду АКБ на контролер. Витрат енергії АКБ у цьому випадку не відбувається, оскільки струм через керуючу обмотку реле у цьому режимі не протікає.

Запропоновані схемні рішення дозволили синтезувати максимально просту схему, в якій використано лише одне реле та кілька додаткових елементів.

Використання даної схеми разом із СП невеликої потужності в умовах тривалих перерв в енергопостачанні дозволить підвищити ефективність роботи обладнання та знизити непродуктивні втрати ЕЕ.

Залежно від кількості сонячних годин, економія ЕЕ завдяки використанню даної схеми може становити до 4,3 Вт·год протягом дня. Це еквівалентно повному заряду звичайного мобільного телефону (не смартфона), ємність акумулятора якого близько 1100 мА год при напрузі 3,6 В.

У перспективі можна розглянути інтеграцію запропонованої схеми з контролером СП таким чином, щоб контролер СП був здатний сам переходити в режим сну, мінімізуючи споживання від акумулятора.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Оцінка потенціалу сонячного випромінювання. – URL: https://studref.com/458880/tehnika/otsenka_potentsiala_solnechnogo_izlucheniya (дата звернення: 15.12.2023).
2. Найбільша теплова сонячна електростанція США стала жертвою сучасних технологій. – URL: <https://ecotechnica.com.ua/energy/solntse/4580-krupnejshaya-teplovaya-solnechnaya-elektrostantsiya-ssha-stala-zhertvoj-sovremennykh-tehnologij.html> (дата звернення: 15.12.2023).
3. Теплові сонячні електростанції баштового типу, системи концентрації сонячної енергії. – URL: <https://tehna.net.ua/teplovyie-solnechnyie-elektrostantsii-bashennogo-tipa-sistemyi-kontsentratsii-solnechnoy-energii/> (дата звернення: 15.12.2023).
4. Сонячні теплові електростанції. – URL: <https://solarsoul.net/solnechnye-teplovyie-elektrostantsii> (дата звернення: 15.12.2023).
5. Космічна сонячна енергетика та перспективи розвитку альтернативної енергетики на орбіті. – URL: <https://maxpolyakov.com/ua/kosmichna-sonyachna-energetika-yak-vid-alternativnogo-dzherela-energii/> (дата звернення: 15.12.2023).
6. Оптична ректена - нова технологія для сонячних панелей. – URL: <https://сахара.ua/kompaniya-statti-vugletsevi-nanotrubki-optichna-rektenna> (дата звернення: 15.12.2023).
7. Передові технології виробництва сонячних фотом одулів. – URL: <https://sun-energy.com.ua/articles/peredovi-tehnologii-virobnitstva-sonyachnih-fotomoduliv> (дата звернення: 15.12.2023).
8. Перспективні технології фотоелектричної сонячної енергетики. – URL: <https://rozumkov.org.ua/statti/perspektyvni-tehnologii-fotoelektrychnoi-soniachnoi-energetyky> (дата звернення: 15.12.2023).
9. Фотоенергетика : навч. посібник / Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай, С. В. Котелевець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 160 с. – URL:

<https://eprints.kname.edu.ua/55310/1/2019%2028H%20печ%20ФЕ.%20Посібник%20О.pdf> (дата звернення: 15.12.2023).

11. У Нідерландах різко впали ціни на електроенергію через сплеск ВДЕ-генерації. – URL: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/u-niderlandah-rizko-vpali-cini-na-elektroenergiju-cherez-splesk-vde-generacii/> (дата звернення: 15.12.2023).

12. Герман Д.О. Заходи зниження втрат в системі електропостачання / Д.О. Герман, В.В. Луців, С.Б. Стасін. – URL: Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 25-26 листопада 2020 – с.98-99.

13. Виробництво сонячних батарей. – URL: <https://www.solargarden.com.ua/vyrobnytstvo-sonyachnyh-batarej/> (дата звернення: 15.12.2023).

14 Global Electricity Review 2022. – URL: <https://ember-climate.org/insights/research/global-electricity-review-2022/> (дата звернення: 15.12.2023).

15 Інтелектуальний контролер сонячного зарядного пристрою АСМ 20D. Інструкція користувача. – URL: https://solar-tech.com.ua/image/data/Instructions/charge-controllers/АСМ_20USB.pdf (дата звернення: 15.12.2023)

16. Верягін В.В. Оптимізація роботи малопотужних сонячних панелей в умовах нестабільного електропостачання // Матеріали 27-го міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті». С. 44 – 45.17.

17. Погода в Україні. – URL: <http://ukraine.pogoda360.ua/152004> (дата звернення: 25.12.2023)

18. Реальная производительность солнечных электростанций. – URL: <https://termoteh.in.ua/article/realnaya-proizvoditelnost-ses> (дата звернення: 25.12.2023)

19. Реле электромагнитное нейтральное РЭК37. – URL: <https://standart-pribor.com.ua/product/rek37-rf4-500-477-10-01-rele/> (дата звернення: 25.12.2023).

20. Реле РЭС60 - герметичное, двухпозиционное, одностабильное. –
URL: <https://e-goods.com.ua/shop/rele/rele-rjes/rele-rjes60-rs4-569-435-00-01/> (дата
звернення: 25.12.2023)