

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Кафедра комп'ютерних наук
Секція комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ А. С. Довбиш

— “ _____ “ 2018 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

за спеціальністю 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

Автоматизована система керування сонячної електростанції малої потужності

Магістрант:

студентка гр. СУ.м-71

Колмикова Т.М.

Керівник роботи:

к.ф.-м.н, доцент

Журба В.О.

Суми – 2018

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Кафедра комп'ютерних наук
Секція комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ А. С. Довбиш

— “ _____ “ 2018 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську роботу студенту

Колмиковій Тетяні Миколаївні

1. Тема роботи: Автоматизована система керування сонячної електростанції малої потужності. Затверджено наказом ректора університету від 19 жовтня 2018 р. № 2246 – III.
2. Термін здавання студентом завершеної роботи "11" грудня 2018р.
3. Вихідні дані до проекту: технічна документація та перелік літературних джерел з матеріалами опису і автоматизації технологічного процесу відповідної установки.
4. Зміст матеріалів роботи: аналіз загальних відомостей про роботу сонячної електростанції малої потужності; опис системи автоматизації; розроблення відповідних схем автоматизації; проектування програмного забезпечення та людино-машинного інтерфейсу; моделювання роботи фотоелектричної панелі та системи балансування заряду акумуляторних батарей в середовищі Matlab.
5. Перелік графічних матеріалів: функціональна схема автоматизації, структурна схема керування сонячної електростанції малої потужності, електрична розрахункова схема, конструкція для установки акумуляторних батарей.

6. Календарний план

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання (початок - кінець)
1	Аналіз проблем. Складання задач. Підбір та аналіз літератури.	18.09.2018 – 20.09.2018
2	Розгляд загальних технологічних питань.	21.09.2018– 1.10.2018
3	Підбір необхідного обладнання.	2.10.2018 – 25.10.2018
4	Розроблення основних схем автоматизації.	26.10.2018 – 29.10.2018
5	Моделювання системи балансування заряду акумуляторів.	30.10.2018 – 16.11.2018
6	Моделювання характеристик фотоелектричних модулів.	17.11.2018 – 27.11.2018
7	Створення програмного забезпечення та людино-машинного інтерфейсу.	28.11.2018 – 06.12.2018
8	Технічне оформлення роботи. Здача керівнику.	08.12.2018 – 11.12.2018

7. Дата видачі завдання "08" вересня 2018 р.

Керівник роботи:

к.ф.-м.н, доцент

Журба В.О.

До виконання прийняв:

студент-магістрант

групи СУ.м-71

Колмикова Т.М.

РЕФЕРАТ

Колмикова Тетяна Миколаївна. Автоматизована система керування сонячної електростанції малої потужності. Магістерська робота. Сумський Державний Університет, Суми, 2018 р.

Робота містить 84 сторінки, 59 рисунків, 16 таблиць; конструкторську документацію, що містить 5 креслень. При виконанні магістерської роботи було використано 18 літературних джерел.

Робота присвячена дослідженню сучасних методів альтернативної енергетики. Запропоновано рішення щодо автоматизації керування сонячною електростанцією малої потужності. Результати дослідження, що представлені в магістерській роботі, були подані для участі у всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт у 2018 р.

Об'єктом детального вивчення є сонячна електростанція малої потужності та її елементи. Була вивчена технічна документація по даному об'єкту: загальні відомості; основні робочі показники відповідної установки; структурна взаємодія сонячної електростанції з її основними підсистемами. Також було підібрано та розраховано елементи сонячної електростанції, які здатні забезпечити добове споживання електроенергії 5кВт, розроблено функціональну та структурну схеми автоматизації та створено людино-машинний інтерфейс для забезпечення візуалізації управління сонячною електростанцією. За допомогою середовища Matlab побудована імітаційна модель роботи фотоелектричної панелі та системи балансування заряду акумуляторних батарей.

Ключові слова: сонячна електростанція, інвертор, контролер, акумулятор, сонячні панелі, схема керування.

ABSTRACT

Kolmykova Tetiana Mikolaevna. Automated control system for a solar power plant. Master thesis. Sumy State University, Sumy, 2018.

The degree project comprises 84 pages, 59 figures, 16 tables; design documentation containing 5 drawings. During the master's work 18 literary sources were used.

The work is devoted to the research of modern methods of alternative energy. The decision on automation of control of a solar power plant of low power is proposed. The results of the research, presented in the master's work, were sent to student research.

The object of a detailed study solar power plant of low power and its elements. Studied the technical documentation for this facility: general information; main operating parameters of the installation; block the interaction of solar power to its main subsystems. There have been chosen and designed elements of solar power that can provide daily electricity consumption 5kW developed functional and structural scheme of automation and man-machine interface software for visualization control of solar power. Using the Matlab environment, a simulation model for the photovoltaic panel and battery charging system is built.

Keywords: solar power, inverter, controller, battery, solar panel, circuit control.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

САУ	– система автоматичного управління;
СЕС	– сонячна електростанція;
ДБЖ	– джерело безперервного живлення;
АКБ	– акумуляторна батарея;
СП	– сонячна панель;
ВАХ	– вольт-амперна характеристика;
ФЕП	– фотоелектрична панель;
СМ	– сонячний модуль;
СЕ	– сонячний елемент;
РТ	– робоча точка;
ТМП	– точка максимальної потужності;
НМІ	– Human Machine Interface (людино-машинний інтерфейс);
SCADA	– Supervisory Control and Data Acquisition (система диспетчерського керування та збору даних).

ВСТУП

Одним з найбільш перспективних видів в промисловому та господарському секторі є геліоенергетика. Наразі безперервно розвиваються технології, які вживають сонячне світло і його тепло. До них відносяться вироблення фотоелектрики та впровадження сонячної теплової енергії. Геліоенергетика є важливим джерелом відновлюваної сонячної енергії, а одним з видів її впровадження є отримання сонячної енергії. Для цього створені спеціальні станції, які перетворюють енергію сонячних променів в електроенергію.

Сонячна енергія являється відновлювальною. Запаси нафти, вугілля та газу можуть вичерпатися в найближчі сторіччя, на відміну від використання Сонця для отримання електроенергії, яка не може вичерпатися. А при правильній організації використання сонячної енергетики, людство зможе забезпечити свої потреби всього з одного джерела, та не привести до нестачі ресурсів.

Отримання сонячної енергії за нинішньою технологією (за допомогою сонячних панелей), абсолютно не шкодить навколишньому середовищу, а ті забруднення, що виникають при виробництві сонячних систем, мізерно малі в порівнянні з видобутком традиційних корисних копалин.

Фотоелектрика – це спосіб перетворення сонячної енергії в електрику постійного струму з впровадженням напівпровідникових матеріалів, які проявляють фотоелектричний результат, явище традиційно досліджуються в галузі фізики, фотохімії та електрохімії. Цей результат пояснюється дією фотонів (часток світла), які володіють потрібною енергією (довжиною хвилі), на електрони напівпровідникової речовини (традиційно, кремнію), в результаті відбувається їх «виривання» і видання, що призводить до виникнення фотоструму (або електричного струму). Зокрема, це називається зовнішнім фотоелефектом. Для того щоб наростити ємність установки, що використовує явище зовнішнього фотоелефекту, пластинки кремнію (сонячні складових), як правило, з'єднують в модулі, іменовані сонячними панелями.

Сонячні батареї виробляють гальванічний струм під дією сонячного світла. Електроенергія в свою чергу може бути орієнтована на живлення обладнання, або для підзарядки акумуляторів. Існують спеціальні способи, які можуть допомогти збільшити продуктивність сонячних панелей і отримати більше сонячної енергії.

Перший спосіб – це простежувати точку максимальної потужності, а другий - простежувати розташування Сонця. Пошук точки максимальної потужності (ПТМП, англ. maximum power point tracking, MPPT) виконуються з підтримкою особливих контролерів, які вбудовуються в більшість сучасних сонячних інверторів. Сутність цього методу полягає в

тому, що контролер досліджує вольт-амперну характеристику (ВАХ) сонячної батареї для знаходження оптимального режиму роботи, при якому даній освітленості буде відповідати найбільше число енергії. А спостерігати за положенням Сонця дозволяє сонячні трекери, при яких вироблення енергії зростає в рази, оскільки збільшується чисельність сонячної енергії, що потрапляє на модуль.

У даній дипломній роботі розробляється сонячна електростанція малої потужності. Для перетворення сонячної енергії в електричну використовується сонячна панель. Сонячна панель забезпечує харчуванням контролер заряду, який в свою чергу накопичує енергію в акумуляторних батареях. Оскільки, найбільш ефективно використання сонячної енергії досягається, коли промені направлені перпендикулярно до сонячної панелі, необхідно обертати її в відповідному напрямку, в залежності від часу доби. Саме для цього використовується сонячний трекер.

На сьогодні, внаслідок глобального поширення комп'ютерних систем в галузі автоматизації промислових процесів все частіше застосовуються SCADA системи – системи збору даних і оперативного диспетчерського управління.

Мета дипломної роботи:

1. Проаналізувати існуючі сонячні електростанції.
2. Виконати підбір засобів автоматизації для вищезгаданої системи.
3. Розробити необхідні схеми автоматизації.
4. Отримати імітаційну модель сонячного модуля та системи балансування заряду акумуляторних батарей.
5. Створити людино-машинний інтерфейс та відповідне програмне забезпечення, що являє собою важливу підсистему SCADA системи.

Для досягнення мети було виконано наступні завдання:

1. Аналіз та підбір основних компонентів сонячної електростанції малої потужності.
2. Розробка функціональної та структурної схеми автоматизації для АСУ сонячною електростанцією.
3. Розроблення імітаційної моделі системи балансування заряду акумуляторних батарей в середовищі Matlab Simulink, на основі якої було показано, що застосування таких систем підвищує продуктивність масиву та значно продовжує термін служби акумуляторів.
4. Отримання імітаційної моделі сонячного модуля. В ході роботи отримано результати, які підтверджують адекватність запропонованої моделі, яка дозволяє більш точно зрозуміти, скільки буде виробляти сонячна панель Вт.
5. За допомогою програмного забезпечення створено людино-машинний інтерфейс для забезпечення візуалізації управління сонячною електростанцією.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Сонячна енергія, можливо, найчистіша, і найнадійніша форма відновлюваної енергії доступна людству на сьогоднішній день. Перевагою є те, що така енергія по суті доступна кожному жителю планети, і держава ніяк не впливає на її вартість, особливо в Україні. Таку енергію можна використовувати для забезпечення електрикою вашого житла.

Домашні сонячні станції практично не вимагають технічного обслуговування, окрім очищення модулів декілька разів на рік. Ваша станція, в середньому, буде стабільно слугувати понад 25 років. Оскільки мова йде про довгострокову економію, в Україні діє «зелений тариф». Це спеціальна програма, спрямована на заохочення громадян до використання альтернативних джерел енергії, при якій держава може купувати електроенергію, отриману екологічним способом за завищеною ціною. А нинішня технологія отримання сонячної енергії абсолютно не шкодить навколишньому середовищу.

Електроенергія, отримана даним способом є чистою альтернативою електроенергії з палива, видобуток якої відбувається без забруднення навколишнього середовища та без загроз нашому здоров'ю. Всього 18 сонячних днів на Землі містить таку ж кількість енергії, яка зберігається у всіх запасах планети вугілля, нафти і природного газу. За межами атмосфери, сонячна енергія становить близько 1300 ват на квадратний метр. Після того, як вона досягне атмосфери, близько однієї третини цього світла відбивається назад в космос, в той час як інша частина продовжує слідувати до поверхні Землі. Наприклад, на широті України інтенсивність сонячного випромінювання становить близько 1000 кВт/м² на рік.

1.1 Способи отримання електрики і тепла із сонячного випромінювання

Сонячну енергетику найчастіше поділяють за напрямками [1]:

1) Геотермальна енергетика – вид отримання енергії, при якій за допомогою прямого перетворення сонячного випромінювання в теплову енергію відбувається нагрів теплоносія для опалення, гарячого водопостачання та інших потреб.

2) Термоповітряні електростанції – отримання електроенергії за допомогою теплових машин, нагрівання робочого тіла в яких, відбувається за рахунок сонячної енергії.

3) Сонячні аеростатні електростанції – при нагрівання сонячним випромінюванням поверхні аеростата, генерується водяна пара усередині балону. Її запасу достатньо для роботи станції навіть при хмарності та вночі.

4) Отримання електроенергії за допомогою фотоелементів – перетворення сонячної енергії в електроенергію за допомогою сонячних панелей.

Як бачимо, сонячна енергія використовується не тільки для виробництва електроенергії, а й для нагрівання води. Сонячні колектори виготовляють без застосування дефіцитного і дорогого кремнію, з доступних матеріалів (сталі, міді, алюмінію). Це дає змогу значно скоротити вартість і устаткування, і отриманої на ньому енергії. За офіційними даними, добре спроектований дім із сонячною опалювальною системою дозволяє економити до 75 % витрат на паливо майже у будь-яких кліматичних умовах. Та сама ситуація із гарячим водопостачанням (традиційно у домашньому господарстві на нагрівання води витрачається від третини до половини всієї споживаної енергії).

1.2 Будова та принцип роботи сонячної установки

Існує безліч методів для отримання електроенергії, але найперспективніший з них – метод безпосереднього перетворення сонячного випромінювання за допомогою сонячних батарей (СБ) [2]. Як правило, будь-яка сонячна електростанція, будь то для будинку або велика промислова, складається з наступних елементів (рис. 1.1):

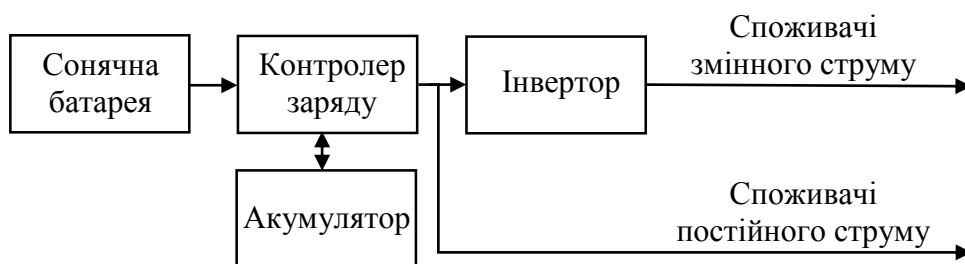


Рисунок 1.1 – Принцип роботи сонячної установки

Отже, звичайна сонячна система енергопостачання складається з таких елементів:

- сонячної батареї (фотоелектричного сонячного модуля);
- контролера заряду;
- акумуляторів;
- балансиру заряду акумуляторів;
- інвертора;
- лічильника електроенергії.

Розглянемо детальніше, як працює дана система.

Найголовнішим елементом сонячної електростанції являється сонячний модуль, що представляє собою сукупність сонячних елементів (напівпровідникових пристроїв), які з'єднані між собою. Сонячні фотоелектричні панелі працюють за рахунок перетворення сонячних променів в електрику. Процес запускається після порушення електронів в кремнієвих осередках. Для цього використовуються фотони світла від сонця. Дані модулі, до

складу яких входять монокремнієві пластини, вкриті спеціальною сполукою, що витримує будь-які несприятливі погодні умови (високі перепади температур та град), розміщуються на дахах будинків або інших поверхнях.

Контролер заряду - служить для ефективного заряду акумуляторних батарей або розподілу між використовуваними джерелами електричного струму. Саме контролер приймає рішення від чого працювати системі – від електромережі або від сонця. Також, він регулює заряд акумуляторів (що сприяє збільшенню терміну експлуатації об'єкта).

Акумуляторні батареї (АКБ) – застосовують для накопичення електроенергії. Вона може споживатися не в повному обсязі та зберігатися для темного часу доби, коли сонячні батареї не працюють. Всілякі електричні акумулятори розглядаються як джерела постійного струму багаторазового застосування з можливостями виконання оборотних хімічних дій шляхом проведення багаторазових циклів заряду з пропусканням електричних струмів в напрямку, протилежному зворотного руху елементарних частинок при розряді. До головних експлуатаційних характеристик акумуляторів відносять: ємність, щільність енергії, саморозряд, температурні і атмосферні режими та тип. Місткість акумулятора визначається величиною заряду, який замірюється при віддачі енергії споживачам від досконалого зарядженого стану до мінімально допустимої величини вихідної напруги.

Інвертор AC/DC 220В - служить для перетворення постійного струму батареї (сонячної або акумуляторної) в змінний струм, який використовується більшістю побутових приладів. Саме він живить електроенергією всі види електронної апаратури та прилади освітлення.

Балансир – пристрій, призначений для вирівнювання напруги акумуляторів напругою 12 вольт, об'єднаних в масив. Можливе підключення гелевих, свинцево-кислотних та акумуляторів AGM. В процесі роботи (заряд/розряд/простій), напруга акумуляторів в масиві може відрізнятись - один акумулятор може показати більш низьку напругу, ніж інший. Балансир починає вирівнювати напруги, коли різниця в напрузі між акумуляторами досягає 100 мВ. Пристрій знижує струм заряду, що подається на акумулятор з більш високою напругою, перенаправляючи його на акумулятор зі зниженою напругою, поки напругу не вирівняється. Це підвищує продуктивність масиву, і продовжує термін служби акумуляторів. Балансир можна використовувати з масивами напругою 24, 36, 48 і вище, кратно 12 вольт.

Зазвичай в будь-якій системі, що складається з декількох послідовно включених батарей, виникає проблема розбалансування заряду окремої батареї. Вирівнювання заряду – це метод проектування, що дозволяє збільшити безпеку експлуатації батареї, час роботи без підзарядки і термін служби.

Коректне балансування напруги батареї – один із шляхів збільшення безпеки експлуатації батареї і збільшення терміну їх служби. Нові технології балансування відстежують стан кожної батареї, що дозволяє збільшити термін їх служби і підвищити безпеку експлуатації. Технологія швидкої активної балансування PowerPump збільшує час роботи без підзарядки, а також дозволяє максимально і з високою ефективністю збалансувати батареї в кінці циклу розряду.

Дуже важливо правильне поєднання всіх цих елементів, в залежності від завдання. Так як правильна конфігурація дозволяє підвищити потужність системи і значно заощадити на її вартості.

Крім того, в окремих випадках можна взагалі обійтися без використання контролера, інвертора або акумуляторів. Так наприклад при виробленні сонячної енергії в більших масштабах - для заводу або невеликого селища, вся вироблена електрика подається безпосередньо в загальну мережу, і її накопичення не доцільно, тому і акумулятори не потрібні. Це саме можна сказати і до інверторів.

1.3 Експлуатація гелевих акумуляторів

Гелевий акумулятор прийнято відносити до категорії необслуговуваних, так як в ньому замість традиційного електроліту використовується особливий гель, який не випливає, навіть якщо АКБ використовувати «догори ногами». Такі акумулятори мають вищий термін служби. Виробники відзначають, що він становить до 14 років. Тим не менш, цей показник базується на роботі пристрою в ідеальних умовах, які практично не зустрічаються в реальному житті.

Довговічність і стан акумулятора залежить від ряду факторів [3]: температури, якості струму, яким здійснюється підзарядка, вологості повітря. Саме тому дійсний термін служби варто зменшити років на 3, хоча, визнаємо, термін експлуатації в 11 років дуже істотний (традиційні акумулятори, як правило, служать значно менше).

Особливості зарядки гелевих акумуляторів:

Обслуговування гелевого акумулятора дещо відрізняється від звичайних. Головним правилом при зарядці виступає дотримання величини напруги, що подається – вона не повинна перевищувати граничну, як зображено на рисунку 1.3.1. Як правило, в інструкціях до таких батарей зазначають порогову напругу (знаходиться в діапазоні 14,3-14,5 вольт). Перевищувати його не можна, інакше батарея просто вийде з ладу.

Правильний заряд – основа успішної роботи АКБ. Гелеві акумулятори можуть довгий час зберігатися, будучи розрядженими. Також їх можна зберігати навіть при мінусових температурах. Проте, при заряді, коли подається висока зарядна напруга, гелевий електроліт

починає інтенсивно виділяти газ в таких обсягах, які не можуть бути адсорбовані.

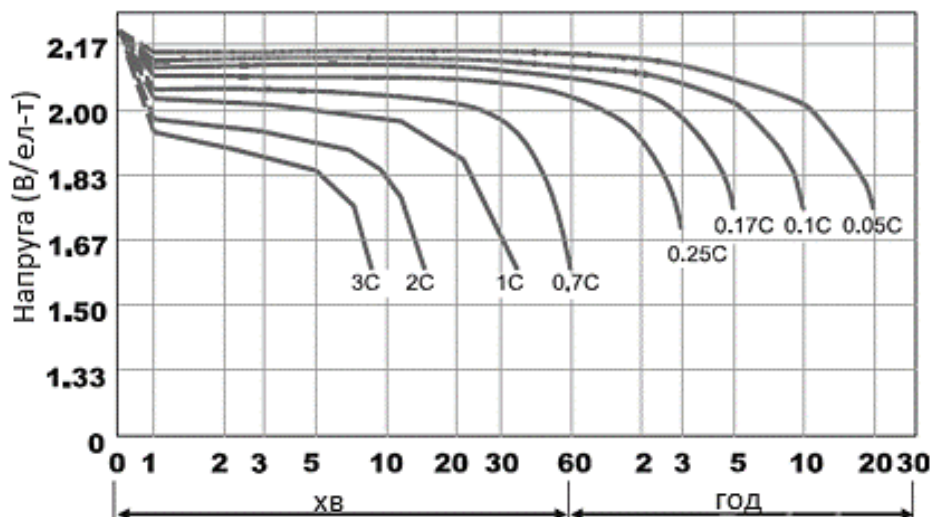


Рисунок 1.3.1 – Криві розряду гелевих акумуляторів постійним струмом

Найбільш підходящий метод – заряд постійною напругою. Характеристики гелевого акумулятора при такому заряді можна побачити на рисунку 1.3.2.

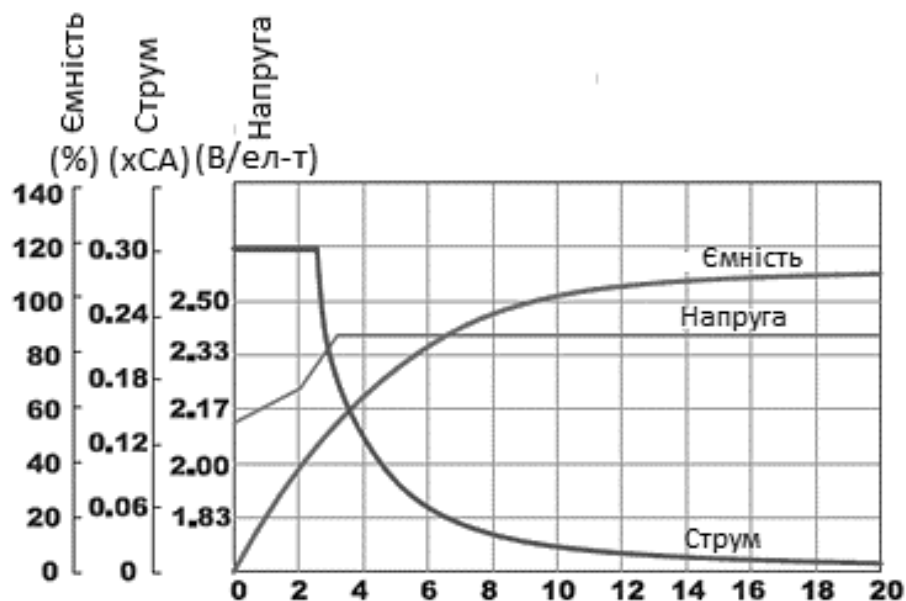


Рисунок 1.3.2 – Графік заряду постійною напругою (при 25°C).

Буферної напруги для гелевих акумуляторів досить, щоб підтримувати моноблоки в зарядженому стані, вони не вимагають зрівняльного заряду. Найбільш ефективним методом для швидкого заряду з автоматичним регулюванням внутрішнього тиску та підтримки в буферному режимі є двохстадійний заряд при постійній напрузі (рис. 1.3.3). На стадії «А» струм обмежений величиною 0,3А, а напруга на клеммах батареї зростає. На стадії «В» зарядний струм починає падати, а напруга стабілізується на рівні 2,40 В/ел-т. На цій стадії рівень заряду акумулятора досягає 80%. При досягненні зарядним струмом рівня «точки перемикання Y» зарядний ланцюг перемикається на стадію «С», де зарядна напруга

зменшується до 2,25 В/ел-т, а струм плавно знижується практично до нуля. Зарядний пристрій переходить в буферний режим.

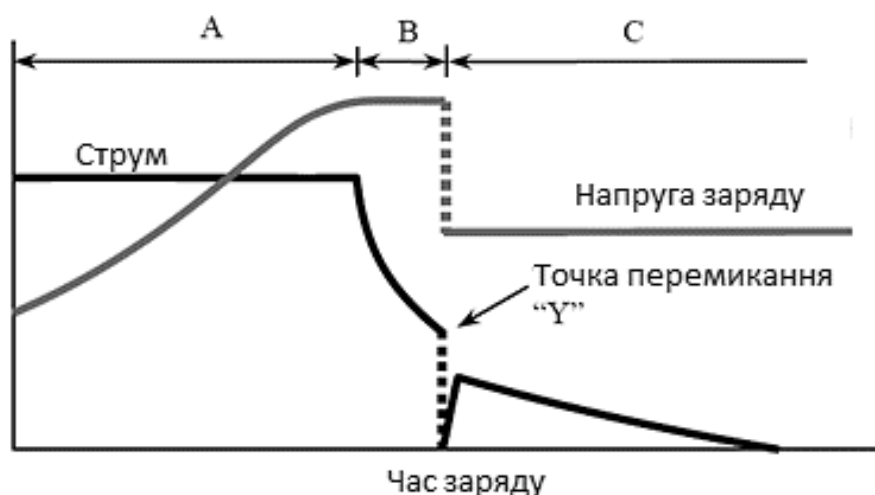


Рисунок 1.3.3 – Зарядні характеристики двохстадійного зарядного пристрою

На малюнку нижче зображено графік залежності напруги заряду від температури навколишнього середовища.

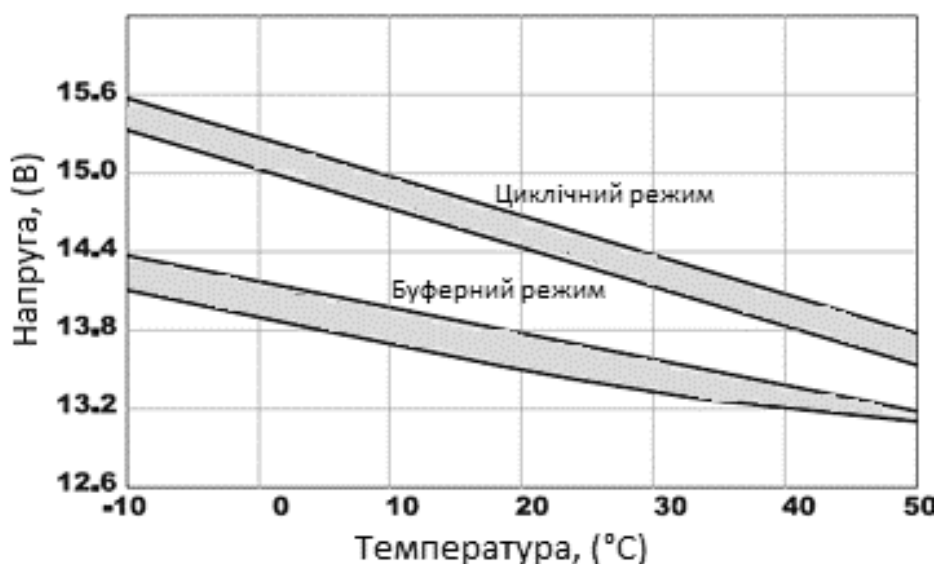


Рисунок 1.3.4 – Залежність напруги заряду від температури навколишнього середовища

Зберігання та термін служби:

При стандартному режимі експлуатації гелева батарея майже не виділяє газу. Завдяки цьому її можна використовувати в закритому приміщенні, транспортному засобі та будинку, не побоюючись виділення токсичних речовин. Гелева АКБ не боїться механічних впливів. При пошкодженні корпусу, вас не залє електролітом. Навіть при наявності отвору або тріщини акумулятор може продовжувати функціонування.

Однак якщо подати напругу помітно вище порогової, гель почне відшаровуватися від пластин під дією газу, що виділяється. Після чого акумулятор не віддаватиме струм в

колишньому обсязі. Виною тому буде зменшення площі контакту пластин і електроліту. Відновлення такого гелевого акумулятора неможливо. Не варто також забувати, що різне виділення газу, що відбувається в компактній герметичній посудині це вибухонебезпечний процес.

Загалом, гелеві акумулятори розраховані на стабільну роботу в буферному режимі протягом 5 років (рис. 1.3.5). Через поступову корозію електродів відбувається втрата ємності та зменшення служби АКБ.

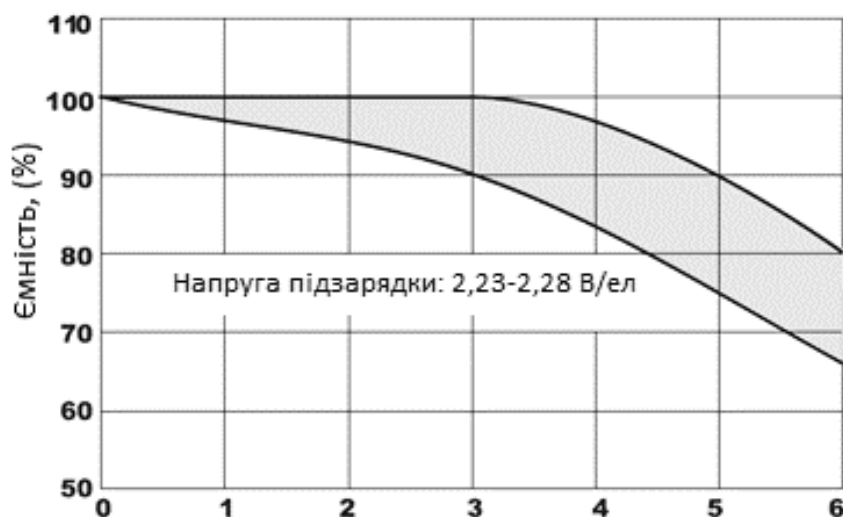


Рисунок 1.3.5 – Термін служби в буферному режимі роботи

В циклічному режимі роботи, термін служби акумуляторів залежить від впливу глибини розряду на кількість циклів роботи (рис.1.3.6), температури навколишнього середовища, швидкості та глибини розряду й способу заряду АКБ.

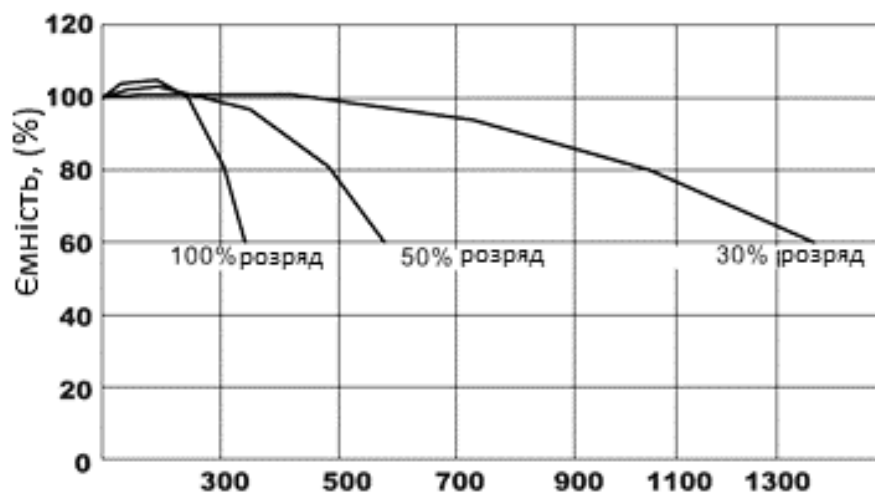


Рисунок 1.3.6 – Термін служби в циклічному режимі роботи

Залежність ємності від температури навколишнього середовища при різному струмі розряду зображена на малюнку 1.3.7. При підвищенні температури електрохімічна активність акумулятора зростає та збільшується його ємність, а при зниженні – зменшується.

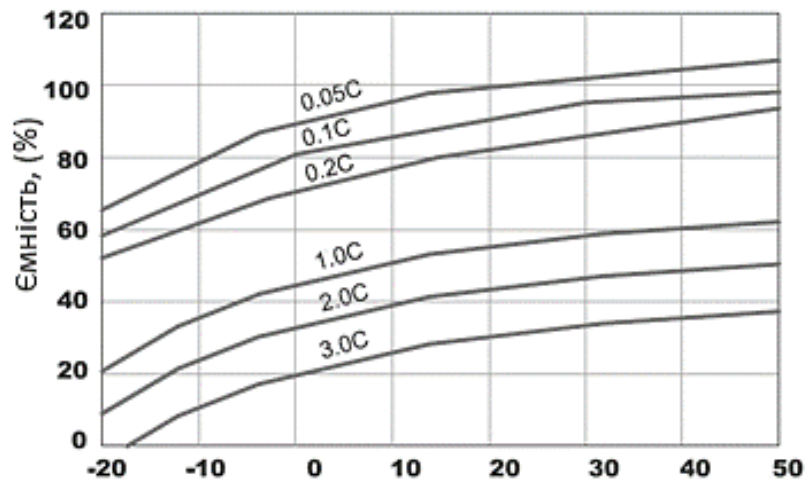


Рисунок 1.3.7 – Залежність ємності від температури навколишнього середовища

Також, при підвищенні температури навколишнього середовища збільшується швидкість корозії пластин, що значно зменшує термін служби АКБ (рис. 1.3.8).

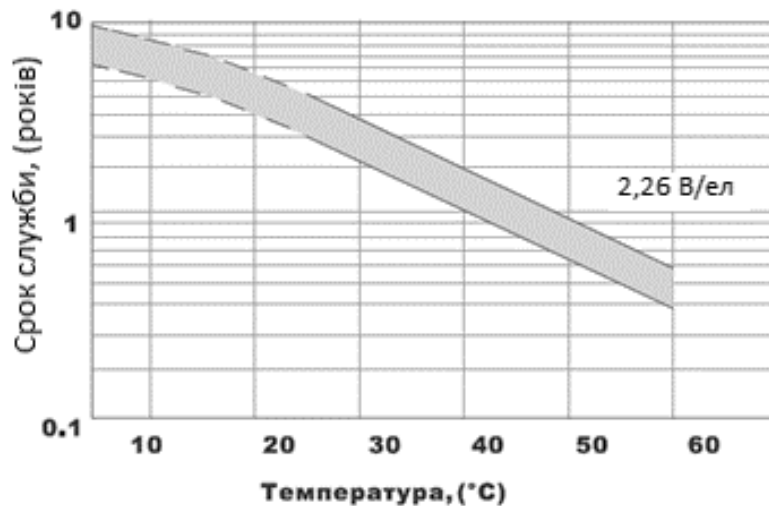


Рисунок 1.3.8 – Залежність терміну служби в буферному режимі від температури навколишнього середовища.

Іншою особливістю, яка відрізняє гелевий акумулятор, вважається невеликий струм саморозряду. На 100% заряджена батарея здатна зберігатися місяцями без підключення (через рік подібного простою заряд знижується лише на 15-20%). Гелеві акумулятори можуть віддавати енергію, поки її запас не знизиться до 25-30% від номінального значення. Ємність акумулятора після зарядки відновлюється майже до початкового значення, причому кількість циклів розряду-заряду, яке може витримати гелевий акумулятор без втрати ємності, досягає 600-650, а для нових моделей - 1000. Вони можуть працювати як в буферному, так і в циклічному режимах. Залежність ємності акумулятора від часу зберігання зображена на малюнку 1.3.9.

Якщо акумулятори зберігалися протягом тривалого періоду часу, необхідно перед пуском в експлуатацію провести їх підзарядку.

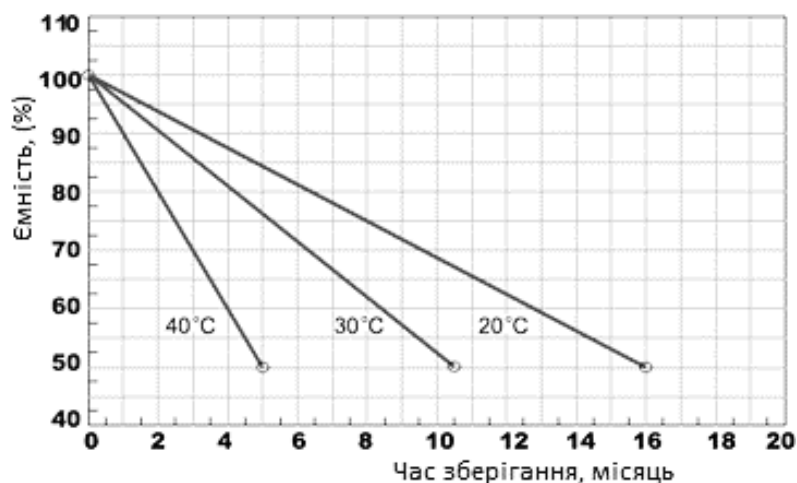


Рисунок 1.3.9 - Залежність ємності від часу зберігання

Подібні можливості стали реальними завдяки використанню сучасних технологій. Так, наприклад, у виробництві використовуються дуже товсті електроди зі свинцю підвищеної якості, очищена сірчана кислота та інші дорогі матеріали. Безумовно, через це вартість гелевих акумуляторів перевищує номінальну вартість свинцево-кислотних, але все одно в результаті виходить відмінна економія грошей і часу, що робить покупку гелевої АКБ вигідним вкладенням.

1.4 Типи сонячних електростанцій

Усі сонячні електростанції (СЕС) поділяють сталася на кілька типів [4]:

1) СЕС баштового типу – дані електростанції засновані на принципі отримання водяної пари з використанням сонячної радіації. У центрі станції стоїть вежа (в залежності від потужності і деяких інших параметрів висота може бути більше або менше), на вершині якої знаходиться резервуар з водою. Цей резервуар покритий чорним кольором для поглинання теплового випромінювання. Також в цій вежі знаходиться насосна група, що доставляє пар на турбогенератор, який знаходиться поза межами вежі. По колу від вежі на деякій відстані розташовуються геліостати. Геліостат – дзеркало площею в кілька квадратних метрів, закріплене на опорі і підключений до загальної системи позиціонування. Тобто, в залежності від положення сонця, дзеркало буде міняти свою орієнтацію в просторі. Основна і найбільш трудомістка задача – це позиціонування всіх дзеркал станції так, щоб в будь-який момент часу всі відбиті промені від них потрапили на резервуар. У ясну сонячну погоду температура в резервуарі може досягати 700 градусів. Такі температурні параметри використовуються на більшості традиційних теплових електростанцій, тому для отримання енергії використовуються стандартні турбіни. Фактично на станціях такого типу можна отримати порівняно великий ККД (близько 20%) і високі потужності.

2) СЕС тарельчатого типу – даний тип СЕС використовує принцип отримання електроенергії, схожий з таким у Баштових СЕС, але є відмінності в конструкції самої станції. Станція складається з окремих модулів. Модуль складається з опори, на яку кріпиться фермова конструкція приймача і відбивача. Приймач знаходиться на деякому віддаленні від відбивача, і в ньому концентруються відбиті промені сонця. Відбивач складається з дзеркал у формі тарілок (звідси назва), радіально розташованих на фермі. Діаметри цих дзеркал досягають 2 метрів, а кількість дзеркал – декількох десятків (в залежності від потужності модуля). Такі станції можуть складатися як з одного модуля (автономні), так і з декількох десятків (робота паралельно з мережею).

3) СЕС, які використовують фотобатарей. СЕС цього типу в даний час дуже поширені, так як в загальному випадку СЕС складається з великого числа окремих модулів (фотобатарей) різної потужності і вихідних параметрів. Дані СЕС широко застосовуються для енергозабезпечення як малих, так і великих об'єктів (приватні котеджі, пансіонати, санаторії, промислові будівлі і т.д.). Встановлюватися фотобатарей можуть практично скрізь, починаючи від покрівлі і фасаду будівлі і закінчуючи спеціально виділеними територіями. Встановлені потужності теж коливаються в широкому діапазоні, починаючи від постачання окремих насосів, закінчуючи електропостачанням невеликого селища.

4) СЕС, які використовують параболічні концентратори. Принцип роботи даних сонячних електростанцій полягає в нагріванні теплоносія до параметрів, придатних до використання в турбогенераторі.

5) Конструкція СЕС: на фермовій конструкції встановлюється параболічне дзеркало великої довжини, а в фокусі параболі встановлюється трубка, по якій тече теплоносій (найчастіше масло). Пройшовши весь шлях, теплоносій нагрівається і в теплообмінних апаратах віддає теплоту воді, яка перетворюється в пар і надходить на турбогенератор.

6) Комбіновані СЕС. Часто на станції різних типів додатково встановлюють теплообмінні апарати для отримання гарячої води, яка використовується як для технічних потреб, так і для гарячого водопостачання та опалення. В цьому і полягає суть комбінованих СЕС. Також на одній території можлива паралельна установка концентраторів і фотобатарей, що теж вважається комбінованою електростанцією.

Сонячні аеростатні електростанції самі енергоефективні електростанції, вони здатні зібрати до 97% сонячної енергії, при цьому цей тип споруд займає малі території поверхні, так як розташоване на поверхні землі обладнання займає надто мало місця, а громіздкий

балон аеростата з фотоелектричним шаром, розташований в повітрі і здатний поглинати сонячні промені практично повністю в будь-який час доби, незалежно від погодних умов за рахунок здатності підніматися і опускатися на необхідну висоту.

1.5 Недоліки та переваги використання сонячної енергії

Отже, головними перевагами використання сонячної енергії є: екологічна чистота, надійність та можливість довготривалої експлуатації, безпека (наявність автоматичного захисту від короткого замикання, перегріву, перевантажень приладів; розрядження акумуляторів), простота монтування і розбирання, стійкість до впливу природних факторів.

Проте слід сказати і про деякі її недоліки. По-перше, через відносно невелику величину для сонячної енергетики потрібне використання великих земельних площ під електростанції (наприклад, для СЕС потужністю 1 ГВт це може бути декілька десятків квадратних кілометрів). Але цей недолік не такий значний – наприклад, гідроенергетика виводить з користування значно більші ділянки землі. До того ж фотоелектричні елементи на великих СЕС встановлюються на висоті 1,8-2,5 м, що дозволяє використовувати землі під електростанціями для сільськогосподарських потреб, наприклад, для випасу худоби. Проблема пошуку великих площ землі під сонячні електростанції вирішується у разі застосування сонячних аеростатних електростанцій, придатних як для наземного, так і для морського та висотного базування.

По-друге, СЕС не працює вночі і недостатньо ефективно працює у ранкових і вечірніх сутінках. При цьому пік споживання електроенергії припадає саме на вечірні години. Крім того, потужність електростанції може стрімко і несподівано коливатися внаслідок змін погоди. Для подолання цих недоліків потрібно або використовувати ефективні електричні акумулятори (на сьогодні це поки що невирішена проблема), або будувати гідроакумуляуючі станції, які теж займають велику територію, або використовувати концепцію водневої енергетики, яка також поки далека від економічної ефективності. Проблема залежності потужності сонячної електростанції від часу доби і погодних умов може бути вирішена спорудженням сонячних аеростатних електростанцій. Ще один шлях вирішення проблеми - будівництво гібридних електростанцій, тобто вдень електроенергія виробляється параболічними концентраторами, а вночі - з природного газу.

По-третє, сонячні фотоелементи високовартісні. Ймовірно, з розвитком технології цей недолік буде подолано. Протягом 1990-2005 рр. ціни на фотоелементи знижувалися у середньому на 4 % щороку.

Ще одним недоліком є недостатній ККД сонячних елементів (ймовірно, незабаром цю проблему буде вирішено). Крім того, поверхню фотоелектричних панелей періодично

потрібно очищувати від пилу та інших забруднень. Зважаючи на те, що їх площа досягає декількох квадратних кілометрів, це також можна вважати серйозним недоліком.

Ефективність фотоелектричних елементів значно знижується при їх нагріванні, тому виникає необхідність в установці систем охолодження, зазвичай водяних. Знижується вона також і через 30 років експлуатації, що теж належить до проблемних питань.

Незважаючи на екологічну чистоту отримуваної енергії, самі фотоелементи містять отруйні речовини, наприклад, свинець, кадмій, галій, миш'як тощо, у їх виробництві використовуються також інші небезпечні речовини. Сучасні фотоелементи мають обмежений термін експлуатації (30-50 років), їх активне застосування передбачатиме виникнення проблеми їх утилізації. Тому останнім часом починає активно розвиватися виробництво тонкоплівкових фотоелементів, у складі яких міститься близько 1 % кремнію, завдяки чому вони дешевші у виробництві, але поки мають меншу ефективність.

Отже, сонячне випромінювання є загальнодоступним і невичерпним джерелом енергії. Теоретично сонячна енергетика вирізняється повною безпечністю для навколишнього середовища (якщо не брати до уваги наявність отруйних речовин у фотоелементах).

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ ОСНОВНИХ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Функціональні схеми автоматизації являються основним технічним документом [5], які визначають функціонально-блочну структуру окремих вузлів автоматичного контролю, керування і регулювання технологічного процесу та оснащення об'єкта управління приладами та засобами автоматизації. Такі схеми в порівнянні зі структурними схемами більш чітко розкривають функції окремих елементів та пристроїв.

2.1 Опис функціональної схеми автоматизації

Обрана система електропостачання складається з сонячних модулів, інвертора, контролера заряду, акумуляторних батарей, лічильника електроенергії та балансиру заряду акумуляторів. Джерелами енергії є система монокристалічних фотомодулів, які розташовані на даху будинку. Вироблена фотомодулями електроенергія через зарядні пристрої заряджає акумуляторну станцію, електрична енергія з блоку акумуляторних батарей надходить в інвертор, де постійний струм перетвориться в змінний (220В/50Гц). Балансир заряду акумуляторів відповідає за вирівнювання заряду – це метод проектування, що дозволяє збільшити безпеку експлуатації батареї, час роботи без підзарядки і термін служби.

Передбачено такі задачі:

- 1) Регулювання температурою акумуляторів;
- 2) Регулювання положенням сонячної панелі;
- 3) Регулювання правильним зарядом акумуляторних батарей;

Автоматизована система управління сонячною електростанцією малої потужності функціонує за рахунок програмного і інформаційного забезпечення. Запрограмований мікроконтролер повинен забезпечувати у відповідності з вимогами, автоматичне вирішення задач збору інформації, її первинну обробку та виробітки управляючих впливів.

Поточний стан параметрів даної системи відображається на панелі оператора, в нашому випадку на екрані монітора персонального комп'ютера.

Побудову функціональної схеми автоматизації будемо здійснювати поділивши дану систему на підсистеми, в залежності від параметра, який підлягає контролю:

1. Підсистема регулювання температури акумуляторів.
2. Підсистема балансування заряду акумуляторних батарей.
3. Трекінгова система.

Враховуючі всі вищезгадані підсистеми було розроблено функціональну схему

автоматизації системи сонячної електростанції малої потужності, що представлена на кресленні СУ.м-71 151. А2.

2.1.1 Підсистема регулювання температури акумуляторів

Акумулятори погано переносять різкі перепади температури, нагрівання вище $+40^{\circ}\text{C}$ і охолодження нижче ніж -25°C . Висока температура акумуляторної батареї веде до випаровуванням води: збільшується щільність електроліту і підвищується напруга на виході. Для підтримання необхідної температури 6 акумуляторів застосовуються датчики температури та систему вентиляції.

Датчики температури використовуються для безперервного вимірювання температури акумуляторів. Розміщуємо 6 датчиків температури до кожного акумулятора, щоб уникнути перегрів тієї чи іншої акумуляторної батареї. Опрацьований сигнал від датчиків передається до мікроконтролера по шині 1-Wire. За допомогою бібліотеки OneWire library данні будуть зчитуватись зі всіх датчиків одночасно. У кожного з датчиків є індивідуальний серійний номер, який можна використовувати для розпізнавання того чи іншого сенсора.

Якщо значення температури хоча б одного із акумуляторів буде більшим за 40°C , то буде автоматично ввімкнена вентиляція для охолодження АКБ.

Система вентиляції – це блок, який складається з двох вентиляторів, він використовується для установки в підлогових металевих шафах або стойках. Блок має кнопку включення і виключення, а також термостат. Наявність термостата дозволяє встановити значення температури, при перевищенні якої будуть включатися вентилятори. Виконано пристрій в металевому корпусі чорного кольору.

Управління вентилятором здійснюється через реле, яке під'єднане до мікроконтролера через цифровий вихід.

2.1.2 Підсистема балансування заряду АКБ

Найважливішою умовою для правильної роботи та високих показників віддачі і терміну служби акумулятора є його правильний заряд. Чим менша кількість разів акумуляторна батарея розряджається і чим нижче глибина розряду, тим більше термін її експлуатації. Ми використовуємо гелеві акумулятори Logic Power LP-GL 12-100.

Для контролювання цих параметрів використовуються датчики струму та напруги. Зазвичай в будь-якій системі, що складається з декількох послідовно включених батарей, виникає проблема розбалансування заряду окремої батареї. Для ослаблення негативних явищ застосовують "Електронні Нівеліри розбалансу" (ЕЛНІ) елементів АБ.

ЕЛНІ - 2/12 - 05 призначений для вирівнювання напруги на 12 В свинцево-кислотних,

гелевих, літій-іонних та інших типах акумуляторних батарей, з'єднаних послідовно в батареї з номінальною напругою 24В, 36В, 48В, 60В 1000 В і вище, у всіх режимах експлуатації, включаючи режими заряду, режими розряду, буферні режими, режим холостого ходу акумуляторної батареї з метою створення високоефективного високовольтного накопичувача електроенергії з тривалим ресурсом.

Принцип роботи заснований на активному перерозподілі (вирівнюванні) заряду елементів АБ, при якому на всіх елементах АБ встановлюються практично однакові напруги. Енергетична ефективність запропонованого рішення принципово вище аналогічних пристроїв, робота яких заснована або на селективному шунтуванні надлишкової зарядної потужності (виникають прямі втрати енергії джерела), або на селективній підзарядці елементів, при якому вирівнювання відбувається тільки в режимі заряду.

Вирівнювання заряду - це метод проектування, що дозволяє збільшити безпеку експлуатації батареї, час роботи без підзарядки і термін служби. Балансир починає вирівнювати напруги, коли різниця в напрузі між акумуляторами досягає 100 мВ. Пристрій знижує струм заряду, що подається на акумулятор з більш високою напругою, перенаправляючи його на акумулятор зі зниженою напругою, поки напруга не вирівнюється. Це підвищує продуктивність масиву, і продовжує термін служби акумуляторів.

Коректне балансування напруги батареї - один із шляхів збільшення безпеки експлуатації батареї і збільшення терміну їх служби. Технологія швидкої активної балансування PowerPump збільшує час роботи без підзарядки, а також дозволяє максимально і з високою ефективністю збалансувати батареї в кінці циклу розряду.

2.1.3 Трекінгова система

Сонячний трекер – система, призначена для стеження за переміщенням сонця. Точна орієнтація робочих поверхонь систем на Сонце необхідна для досягнення їх максимальної продуктивності.

Концепція трекера гранично проста – за двома датчикам контролер змушує серводвигун повертати платформу з сонячною батареєю в ту сторону, де більше світла.

У проекті використовується два датчика-фоторезистора, які розділені перегородкою. Завдання трекера - встановити кути нахилу робочої поверхні навантаження, зорієнтувавши, її строго на сонці. Простіше кажучи, сонячні промені повинні падати перпендикулярно площині сонячної батареї. Якщо положення сонця відрізняється від нормалі, тень від перегородки закриває один із фотодавачів і панель змінює кут нахилу.

У проекті використовується контролер Arduino. Контролер періодично зчитує значення з двох датчиків і порівнює їх. Якщо значення з датчиків однакові, значить панель

наведена на сонце. У разі, якщо значення одного з датчиків відрізняється від іншого, контролер дає команду на серводвигун для повороту платформи. Команда на серводвигун працює до тих пір, поки значення з датчиків не зрівняються. За кут нахилу сонячної панелі відповідає акселерометр.

Сонячний трекер в повній комплектації складається з:

1. Несучої конструкції, що складається з фіксованої і рухомої частин, рухома частина має одну вісь обертання.
2. Система орієнтації (позиціонування) рухомої частини трекера, що складається з сервопивоуду та акселерометра.
3. Системи віддаленого доступу – для віддаленого моніторингу та управління системою.

2.2 Опис структурної схеми автоматизації

Структурна схема є одним з основних технічних документів, яка визначає основні функціональні частини виробу, їх взаємозв'язки та призначення.

Сонячна електростанція малої потужності призначена для часткового енергоспоживання та економії витрат на електроенергію.

Пропонована система не зможе повністю забезпечити вас, але в випадку аварійного відключення електроенергії вона тривалий час зможе забезпечити енергією ваш дім.

Одними з найдорожчих елементів сонячної електростанції є саме акумуляторні батареї. Тому вони потребують особливої уваги. Головними задачами для підтримання їх в працюючому стані є їх правильна температура, щоб не допустити перегріву та виходу з ладу акумуляторів. Іншою задачею є правильний заряд АКБ. Це дозволяє зробити спеціальний пристрій – балансир заряду.

Ще один процес – це управління положенням сонячної батареї. Продуктивність роботи сонячних панелей безпосередньо залежить від кількості одержуваної сонячної енергії. Максимального значення генерації електрики досягається в момент, коли робоча поверхня сонячних модулів (пластин) розташовується перпендикулярно потоку сонячного випромінювання.

Управління такими процесами вимагає використання більш складних алгоритмів, багаторівневих систем керування сонячною електростанцією малої потужності.

Як правило, використовуються дворівневі чи тривірневі системи. Специфіка кожного з рівнів визначається програмно-апаратною платформою.

Отже, нижчий рівень (польовий) складається з первинних давачів (вимірюваних перетворювачів), що здійснюють збір інформації про стан технологічного процесу, привод

та виконавчий механізм, який реалізує регулюючий та керуючий вплив, кабельних з'єднань і нормуючих перетворювачів.

Середній рівень (контролерний) складається із контролерів, аналого-цифрових та цифро-аналогових пристроїв, дискретних та імпульсних перетворювачів і пристроїв для з'єднання з верхнім рівнем (шлюзи). Окремі контролери можуть бути об'єднані між собою з допомогою контролерних мереж, які складаються з інтерфейсів RS-232, RS-485 чи інших OPC- і SCADA-систем.

Верхній рівень (інформаційно-обчислювальний) складається з комп'ютерів, об'єднаних в локальну мережу Fast Ethernet (Ethernet) з використанням в якості середовища для передачі даних мідну скручену пару чи ВОК (на великі відстані). Також верхній рівень – диспетчерський пункт включає одну чи декілька станцій керування, що представляє собою автоматизоване робоче місце оператора з встановленим сервером бази даних.

Всі апаратні засоби системи керування з'єднані між собою каналами зв'язку. На нижньому рівні контролери взаємодіють з датчиками і виконавчими механізмами, а також блоками віддаленого і розподіленого вводу (виводу).

Структурна схема автоматизованої системи представлена на кресленні СУ.м-71 151.С1 і становить такі основні елементи як: акумуляторні батареї, сонячні панелі, контролер заряду акумуляторів, інвертор, лічильник електроенергії, панель датчиків, шафа керування, блок вентиляторів та трекінгова система. Об'єктами керування з яких становлять: акумуляторні батареї, вентиляторний блок та серводвигун.

Для цих об'єктів характерним є контроль параметрів, сигналізація відхилень від заданих значень і підтримка їх на заданому рівні.

Нижній рівень підсистем контролю температури та заряду акумуляторів реалізується на базі датчиків температури, напруги та струму та які збирають інформацію. Далі датчі передають значення дискретних сигналів про стан температури та заряду кожного з акумуляторів і передають їх по шині 1-Wire до мікроконтролера. Проаналізувавши отриману інформацію з допомогою відповідних алгоритмічних операцій, контролер видає керуючі сигнали виконавчим пристроям, а саме: модулю реле для управління вентилятором, нівеліру для балансування заряду акумуляторів.

Нижній рівень трекінгової підсистеми реалізується на базі фотодатчиків та акселерометру та які збирають інформацію про освітленість панелі та про її положення. Далі датчі передають значення дискретних сигналів по шині 1-Wire до мікроконтролера. Проаналізувавши отриману інформацію з допомогою відповідних алгоритмічних операцій, контролер видає керуючі сигнали виконавчим пристроям, а саме: серводвигуну для повороту панелі на заданий кут.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ТА ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Засоби автоматизації – це сукупність програмних, технічних і програмно-технічних засобів, призначенні для створення керуючих систем. До засобів автоматизації відносять: давачі, виконавчі пристрої та мікроконтролер.

3.1 Підбір основних елементів сонячної електростанції

Розрахунок та підбір елементів будемо здійснювати для сонячної електростанції, яка забезпечує добове споживання енергії 5 кВт, використовуючи функціональну схему автоматизації.

Енергетична система, яку слід побудувати, повинна мати можливість віддавати нам 5000 Вт електричної енергії на добу. Перш за все, ця енергія повинна десь зберігатися і запасатися. Таким сховищем є акумулятор.

3.1.1 Вибір акумуляторів

Слід зазначити, що акумулятор, який використовується в подібній системі, повинен мати «запас міцності», резерви. Ці резерви повинні бути не менше 30%. Тобто 30% від 5000 Вт споживання електричної енергії на добу, складе 1500 Вт. Сумарна потужність акумуляторів повинна становити $5000 \text{ Вт} + 1500 \text{ Вт} = 6500 \text{ Вт}$.

Проведемо розрахунок для акумуляторів на 12 В, так як їх простіше всього дістати. Отже, акумулятор повинен запасати 6500 Вт електричної енергії на добу. Тоді його ємність повинна скласти $6500 \text{ Вт} / 12 \text{ В}$ (напруга акумулятора) = 541,6 А*год. Округляємо і отримуємо 600 А*год.

Для отримання такої ємності, візьмемо 6 гелевих акумуляторів Logic Power LP-GL 12-100 АН (рис. 3.1.1).



Рисунок 3.1.1 – Гелевий акумулятор Logic Power LP-GL 12-100

LP-GL 12V 100AH - це гелева акумуляторна батарея з високим ступенем надійності та безпеки. Перевага гелевої акумуляторної батареї над мультигелевою полягає в

подовженому терміні служби і жорсткості експлуатації внаслідок зміненої технології виготовлення. Батареї ТМ Lodgic Power вважаються одними з кращих на ринку України оскільки вони витримують приблизно 1200 циклів заряду / розряду що приблизно становить 15 років роботи в режимі підзарядки. Характеристика вибраного акумулятора приведена в табл. 3.1.1.

Таблиця 3.1.1 – Характеристики Logic Power LP-GL 12-100

Технологія	GEL
Ємність	100 А*год
Робоча напруга	12 V
Зарядна напруга (буферний режим)	13,4 - 13,8 V
Зарядна напруга (циклічний режим)	14,2 - 14,4 V
Робоча температура	-20° ~ 60°
Кількість циклів заряду/розряду	1200
Строк служби	до 15 років
Габарити	330 x 172 x 214 мм
Вага	32 кг
Гарантія	24 міс

Варто зазначити що акумуляторна батарея повністю герметична і безшумна, стійка до вібрацій, її можна використовувати вдома або ж в інших приміщеннях так як вона не виділяє шкідливих газів, положення батареї на термін і якість роботи не впливає. Для зручності транспортування передбачені дві ручки. LP-GL 12V 100AH має відмінні показники, при розряді великим струмом також батарея швидко відновлює свою ємність. Використовується в основному в джерелах безперебійного живлення, системах безпеки, медицині, системах зв'язку, в альтернативній енергетиці (сонячні панелі, вітрогенератори).

Щоб зарядити акумулятор, ємністю 600 А*год, потрібен контролер заряду акумулятора, з струмом, в 10 разів меншим, ніж ємність акумулятора.

3.1.2 Вибір сонячних панелей

Тепер залишається тільки розрахувати потужність самої сонячної батареї. Очевидно, що сонячна батарея повинна забезпечити струм заряду акумулятора, і більший струм. У моєму випадку, сонячна батарея повинна видавати 60 А і більше.

Множимо 60 А на 12 В – напруга, що видається сонячною батареєю під навантаженням, і отримуємо 720 Ватт. – потужність сонячної батареї, якої мінімально вистачить. Отримуємо цілком реальний пристрій, що складається з 4 панелей сонячних батарей. Мною була вибрана сонячна батарея ZHM 185Вт 24В (рис.3.1.2).



Рисунок 3.1.2 – Сонячна батарея ZHM 185Вт 24В

Сонячна батарея ZHM 185 високопродуктивна, стійка і надійна. Дані модулі використовуються в основному для побудови автономних систем харчування дач, будинків, міні готелів. А також для побудови автономних більш потужних систем живлення готелів, ресторанів, автозаправок, виробничих об'єктів. Технічні характеристики представлені в таблиці 3.1.2.

Таблиця 3.1.2 – Характеристики сонячної батареї ZHM 185Вт 24В

Виробник	UE Solar
Тип кремнію	монокристал
Максимальна потужність	185 Вт
Напруга максимальної потужності	3620 В
Струм максимальної потужності	514 А
Струм короткого замикання	566 А
Довжина	1580 мм
Ширина	808 мм
Висота	35 мм

Наявність уніфікованих розмірів дає можливість створення паралельно і послідовно з'єднаних систем різних потужностей.

Надійний сонячний модуль розміром 1580x808x35 мм виготовлений на заводських потужностях Китайського виробника UE Solar. Якість підтверджується багатьма європейськими сертифікатами.

3.1.3 Вибір контролера

Контролер заряду сонячних батарей призначений для оптимізації режимів заряду / розряду АКБ з метою продовження їх терміну служби. Це дозволяє використовувати сонячну батарею по максимуму навіть в умовах низької освітленості. Контролер сонячних батарей допоможе вам знизити витрати і домогтися більшої ефективності роботи системи. Для нашої системи підходить контролер Juta (30А, 12/24В, PWM) CM3024Z (рис. 3.1.3).

Автоматичне визначення вольтажа - 12/24 В. Можливість підключення сонячних батарей максимальною потужністю до 360 Вт при 12 В, і 720 Вт при 24 В. Технічні характеристики представлені в таблиці 3.1.3.



Рисунок 3.1.3 – Контролер заряду Juta (30А, 12/24В, PWM) CM3024Z

Таблиця 3.1.3 – Характеристики вибраного контролеру заряду Juta

Номінальна напруга (автоматично)	12/24 В
Номінальний струм	30 А
Максимальна вхідна напруга	≤ 48 В
Максимальна потужність СБ	360 (АБ 12В); 720 (АБ 24 В)
Верхнє значення напруги заряду	12.5В /25.0В
Допустима вологість	< 90%
Робоча температура	-10 ° С ... + 60° С
Температура збереження	-30 ° С ... + 70° С
Монтажні розміри	90 x 188 x 48 мм
Вага	360 г

Контролер серії СМ має такі переваги:

- Простота в експлуатації контролера
- Графічне зображення режимів роботи на РК-дисплеї
- Автоматична система визначення рівня заряду акумуляторів
- Інтелектуальний контролер ШІМ - заряду акумулятора
- Автоматична температурна компенсація струму заряду акумулятора
- Регульований контроль параметрів заряду-розряду
- Програмовані режими роботи навантаження

- Індикація кількості енергії заряду і розряду в Ач
- Відключення навантаження при низькому заряді акумулятора
- Захист контролера від перевантаження
- Захист контролера від короткого замикання

3.1.4 Вибір інвертора

Тут слід згадати ще інвертор – прилад, який перетворює 12 В постійного струму, які видаються сонячними батареями і запасється акумулятором, в 220 В змінного струму, яким будуть житися всі побутові прилади.

У моєму випадку буде цілком достатньо інвертора потужністю 2000 Вт (рис. 3.1.4).

Зазвичай, беруть енергоспоживання за 24 години (в моєму випадку – 5000 Вт і ділять цю цифру на 3-4 – коефіцієнт надійності з запасом).



Рисунок 3.1.4 – Інвертор Форт FX35 (24 В)

Джерела безперебійного живлення (інвертора) ФОРТ дозволяють перемикає Ваше навантаження на АКБ за час, при якому виключається вихід апаратури з ладу або збоєм в її роботі.

Відмінні риси ДБЖ серії ФОРТ:

- Форма вихідного сигналу - правильна синусоїда;
- Потужні автоматичні зарядні пристрої;
- Великий коефіцієнт максимальної короткочасної потужності;
- Повний автомат;
- Висока надійність;
- Вбудований модуль захисту від кидків напруги;
- Наявність наскрізного "0" - для забезпечення підтримки всіх типів побутових газових котлів.

Важливою особливістю ДБЖ серії ФОРТ є необмежений час роботи. Час роботи системи від акумулятора буде залежати тільки від того, акумулятор якої ємності Ви придбаєте. Технічні характеристики представлені в таблиці 3.1.4.

Таблиця 3.1.4 – Характеристики інвертора Форт FX35 (24 В)

Напруга живлення від акумуляторів	24 В
Номінальна потужність інвертора	2000 Вт
Короткочасна максимальна потужність	3500 Вт
Тип синусоїди	чиста
Вихідна напруга	220 В
Зарядний пристрій	15 А
Споживання холостого ходу	25 Вт
ККД	90-92 %
Вага	7 кг
Розміри (Д x Ш x В)	435 x 140 x 360 мм

ДБЖ ФОРТ ефективно застосовувати для аварійного живлення різного роду апаратури, критичною до форми живлячої напруги (синусоїда).

Більшість побутових приладів (за винятком приладів з імпульсними джерелами живлення, таких, як телевізори, комп'ютери) краще працюють, коли на вхід подається напруга синусоїдальної форми. Прилади, що мають в своєму складі мережевий трансформатор теж краще живити синусоїдальною напругою, тому що якщо вони живляться напругою форми меандру, дуже висока ймовірність виходу трансформаторів з ладу.

3.1.5 Вибір лічильника електроенергії

Лічильники призначені для вимірювання активної електричної енергії прямого напрямку за диференційованими у часі тарифами в однофазних мережах змінного струму промислової частоти. Лічильники забезпечують також формування бази даних, що містить вимірювальну інформацію; передачу інтерфейсними каналами вимірювальної інформації, що зберігається в базі даних, пристроїв обліку електричної енергії вищого рівня.

Область застосування лічильників - облік електричної енергії на промислових підприємствах і в комунально-побутовій сфері в умовах застосування диференційованих у часі тарифів на електричну енергію. Лічильники розраховані для застосування в автоматизованих системах обліку та контролю електричної енергії, мають послідовний інтерфейс, оптопорт і телеметричний імпульсний вихід. Мною було вибрано лічильник СТК1-10К5ХІ4Zt (рис. 3.1.5). Технічні характеристики представлені в таблиці 3.1.5.



Рисунок 3.1.5 – Лічильник СТК1-10К5Х14Zt

Таблиця 3.1.5 – Технічні характеристики лічильника СТК1-10К5Х14Zt

Клас точності	1,0
Номінальне значення напруги	220 В
Номінальна частота мережі	50 Гц
Номінальна сила струму	5 А, 10 А
Максимальна сила струму	60 А, 100 А
Габарити	188 x 130 x 85 мм
Вага	< 1,5 кг

Програмним забезпеченням (ПЗ) лічильників передбачено наступне:

1) Параметри ідентифікації:

- ідентифікатор лічильника;
- дата ініціалізації лічильника;
- ідентифікатор користувача;
- ключ системи;

2) Основні параметри лічильника:

- період інтегрування (15, 30, 60 хв);
- число секунд корекції часу (раз на день), в межах 10 с;
- перехід на літній / зимовий час (Так / Ні);
- параметри переходу на літній / зимовий час (дата, час);
- розбивка місяців по сезонам (до 12 сезонів);
- можливість програмування до 8 тимчасових тарифних зон для кожного сезону;
- можливість програмування тимчасових зон суботніх, недільних і святкових днів привласнюючи їм окремі тарифи.

3) Дані, що накопичуються і зберігаються:

- кількість врахованої енергії по кожному тарифу у форматі «Всього», «За місяць» (поточний і попередній);

- число виключень харчування (провали напруги мережі);
- число доступів до лічильника, дата і час останнього доступу;
- графік навантаження 660 точок;
- історія зміни дати і часу 16 значень;
- історія неправильних підключень 15 значень;
- спожита енергія на програмований число розрахункового періоду, за кожним тарифом, за 12 останніх місяці.

4) Моніторинг:

- струм;
- напруга;
- потужність;
- енергія спожита за тарифами;
- загальна спожита енергія.

3.2 Підсистема регулювання температури акумуляторів

Акумулятори погано переносять різкі перепади температури, нагрівання вище $+40^{\circ}\text{C}$ і охолодження нижче ніж -25°C . Висока температура акумуляторної батареї веде до випаровуванням води: збільшується щільність електроліту і підвищується напруга на виході. Для підтримання необхідної температури 6 акумуляторів застосовуються давачі температури та систему вентиляції.

3.2.1 Давач температури

Цифровий температурний датчик DS18B20 – ідеальне рішення для інтеграції в системи з мікроконтролерами. Давач дозволяє визначити температуру навколишнього середовища в діапазоні від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ і отримувати дані в вигляді цифрового сигналу з 12-бітовим дозволом по 1-Wire протоколу. Цей протокол дозволить підключити величезна кількість таких датчиків, використовуючи всього 1 цифровий порт контролера, і всього 2 дроти для всіх датчиків: землі і сигналу. У цьому випадку застосовується так зване «паразитне живлення», при якому датчик отримує енергію прямо з лінії сигналу. Кожен датчик має унікальний прошитий на виробництві 64-бітний код, який може використовуватись мікроконтролером для «спілкування» з конкретним датчиком на загальній шині.

В постійній пам'яті DS18B20 можна зберегти граничні значення температури, при виході з яких датчик буде переходить в режим тривоги.

Отже, датчик дуже простий у використанні. По-перше, він цифровий, а по-друге – у

нього всього лише один контакт, з якого ми отримуємо корисний сигнал. Тобто, ми можемо підключити до одного мікроконтролера одночасно величезну кількість цих сенсорів. Вбудований АЦП дозволяє уникнути проблем з точністю, якщо датчик знаходиться на далекій відстані. Технічні характеристики представлені в таблиці 3.2.1

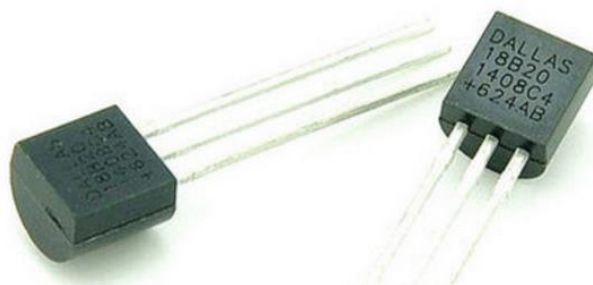


Рисунок 3.2.1.1 – Давач температури DS18B20

Таблиця 3.2.1 – Технічні характеристики давача

Інтерфейс	one-wire
Робоча напруга	3-5 В
Робочий струм	1 мА
Діапазон температур	>-55 °С до +125 °С
Робоча температура	Від 0°С до +60°С
Точність вимірювань	0.5 °С
Крок показань	0.0625 °С

Давач температури DS18B20 підключається в наступній послідовності:

1. Контакт GND з DS18B20 підключається до GND на мікроконтролері.
2. Контакт Vdd з DS18B20 підключається до +5V на мікроконтролері.
3. Контакт Data з DS18B20 підключається до будь-якого цифрового контакту на мікроконтролері.

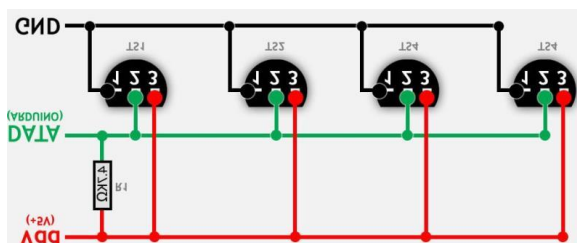


Рисунок 3.2.1.2 – Схема паралельного підключення декількох датчиків температури DS18B20

Обов'язково необхідно додати до зовнішньої додаткової обв'язки підтягуючий резистор на 4.7 КОм. Інтерфейс 1-Wire дозволить підключити декілька цифрових датчиків температури DS18B20 до мікроконтролера паралельно (рис. 3.2.1.2), використовуючи

тільки три контакти. За допомогою бібліотеки OneWire library дані будуть зчитуватись зі всіх датчиків одночасно. У кожного з датчиків є індивідуальний серійний номер, який можна використовувати для розпізнавання того чи іншого сенсора.

3.2.2 Вентиляторний блок для шафи

Система вентиляції – це блок, який складається з двох вентиляторів, він використовується для установки в підлогових металевих шафах або стійках. Блок має кнопку включення і виключення, а також термостат. Наявність термостата дозволяє встановити значення температури, при перевищенні якої будуть включатися вентилятори. Виконано пристрій в металевому корпусі чорного кольору (рис. 3.2.2).



Рисунок 3.2.2 – Блок із двох вентиляторів Mersan FAN2C-BK

Управління вентилятором здійснюється через реле, яке під'єднане до мікроконтролера через цифровий вихід.

3.2.3 Реле KY-019

KY-019 – одно-канальний модуль реле має один нормально-замкнутий і один нормально-розімкнутий контакти. Використовується для включення або вимикання будь-якого пристрою.



Рисунок 3.2.3 – Реле KY-019

Пристрій може працювати з різними платами мікроконтролерів. Реле KY-019 підключається в наступній послідовності:

1. Контакт «-» з KY-019 підключається до GND на мікроконтролері.
2. Контакт «+» з KY-019 підключається до + 5V на мікроконтролері.

3. Контакт «S» з КУ-019 підключається до будь-якого цифрового контакту на мікроконтролері.

4. Контакт NC – нормально-замкнутий контакт реле КУ-019.

5. Контакт NO – нормально-розімкнутий контакт реле КУ-019.

6. Контакт COMMON – загальний контакт реле КУ-019.

3.3 Підсистема балансування заряду акумуляторів

Для ослаблення негативних явищ застосовують "Електронні Нівеліри розбалансу" (ЕЛНІ) елементів АБ.

Активний балансер для АКБ ЕЛНІ - 2/12 – 05 (рис. 3.3.1).



Рисунок 3.3.1 - Активний балансер для АКБ ЕЛНІ - 2/12 - 05

ЕЛНІ - 2/12 - 05 призначений для вирівнювання напруги на 12 В свинцево-кислотних, гелевих, літій-іонних та інших типах акумуляторних батарей, з'єднаних послідовно в батареї з номінальною напругою 24В, 36В, 48В, 60В 1000 В і вище, у всіх режимах експлуатації, включаючи режими заряду, режими розряду, буферні режими, режим холостого ходу акумуляторної батареї з метою створення високоефективного високовольтного накопичувача електроенергії з тривалим ресурсом, що входить до складу систем електропостачання, призначених для електроживлення бортової і стаціонарної апаратури різного призначення.

Ми вибираємо один нівелір на декілька ланцюгів АКБ 24В (рис 3.3.2).

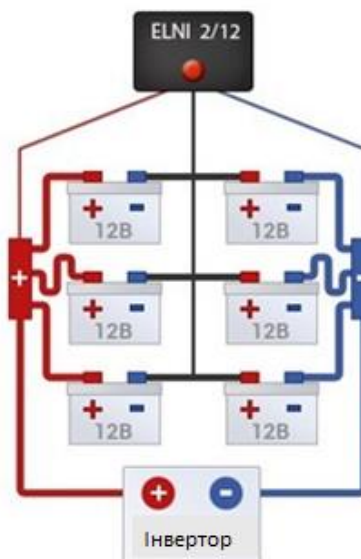


Рисунок 3.3.2 – Нівелір на декілька ланцюгів АКБ 24В

Техніко-економічна ефективність: підвищення надійності та збільшення терміну служби батареї, збільшення енерговіддачі, при активному способі балансування для передачі енергії від більш зарядженого елемента АКБ до менш зарядженого використовуються реактивні накопичувачі, втрати енергії в яких незначні і складають 96-98%.

Принцип роботи заснований на активному перерозподілі (вирівнюванні) заряду елементів АБ, при якому на всіх елементах АБ встановлюються практично однакові напруги. Енергетична ефективність пропонованого рішення принципово вище аналогічних пристроїв, робота яких заснована або на селективному шунтуванні надлишкової зарядної потужності (виникають прямі втрати енергії джерела), або на селективній підзарядці елементів, при якому вирівнювання відбувається тільки в режимі заряду. Технічні характеристики представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Основні технічні параметри балансиру для АКБ ЕЛНІ – 2/12 – 05

Кількість вирівнюючих осередків ЕЛНІ	2
Максимальна напруга осередку (батареї)	18 В
Мінімальна напруга осередку (батареї)	9 В
Вихідний опір вирівнюють осередків	<0,1 Ом
Власне енергоспоживання в режимі х.х.	6 мА
Температура зберігання	-50 + 60 °С
Температура експлуатації	-10 + 50 °С
Габарити	50 x 30 x 30 мм
Вага	0,04 кг

3.4 Трекінгова підсистема

Сонячний трекер – система, призначена для стеження за переміщенням сонця. Точна орієнтація робочих поверхонь систем на Сонце необхідна для досягнення їх максимальної продуктивності.

3.4.1 Давач освітленості

Давач освітленості КУ-018 дозволяє електричному приладу визначити рівень яскравості світла в контрольованій точці [7]. Модуль дає можливість закріпити фоторезистор в конструкції приладу. Наявний з'єднувач дозволяє швидко змінювати датчик при необхідності. Застосовується в автоматичі управління освітленням – фотореле. Можливе застосування в відповідальному освітленні для контролю роботи світильників. Модуль фоторезистора застосовується в світлочувливих роботах.

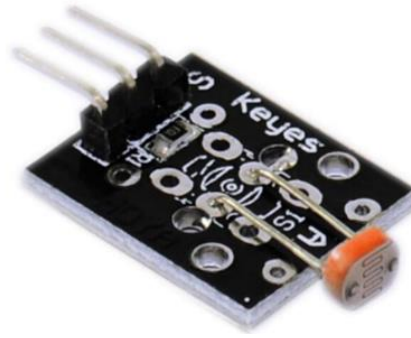


Рисунок 3.4.1 – Давач освітлення

Принцип роботи датчика KY-018 полягає в тому, що чим яскравіше освітлений фоторезистор, тим нижче його опір. Опір фоторезистора при зміні освітленості змінюється в широких межах від одиниць кілоом і до сотень кіло або мегаомах.. Контакти та схема модуля KY-018 дозволяють використовувати тільки фоторезистор або фоторезистор в складі подільника напруги. Для цього на платі встановлений резистор 10 кОм.

Живлення модуля подають на контакт +5 В. Зі збільшенням освітленості на виході модуля фоторезистора напруга буде падати, при яскравому світлі напруга виходу буде близько половини напруги живлення. Величина напруги на виході залежить від типу фоторезистора. У темряві напруга виходу буде близько до напруги контакту +5 В.

Технічні характеристики представлені в таблиці 3.4.1.

Таблиця 3.4.1 – Технічні характеристики давача

Робоча напруга	3-5 В
Мережевий опір	500 кОм
Опір при 10 люкс	24 ± 12 кОм
Габаритні розміри (мм)	15x19

Давач підключається до мікроконтролера в наступній послідовності:

1. Контакт GND з KY-018 підключається до GND на мікроконтролері.
2. Контакт Vdd з KY-018 підключається до +5V на мікроконтролері.
3. Контакт Signal з KY-018 підключається до будь-якого аналогового контакту на мікроконтролері.

3.4.2 Вибір акселерометра

Акселерометр – це прилад, що дозволяє вимірювати прискорення тіла під дією зовнішніх сил. Для трекінгової системи було підібрано давач визначення положення в просторі – MPU-6050 GY-521 – компактний і легкий модуль трьохосьового акселерометра і трьохосьовий гіроскоп керований по протоколу I2C (TWI) (рис. 3.4.2.1).

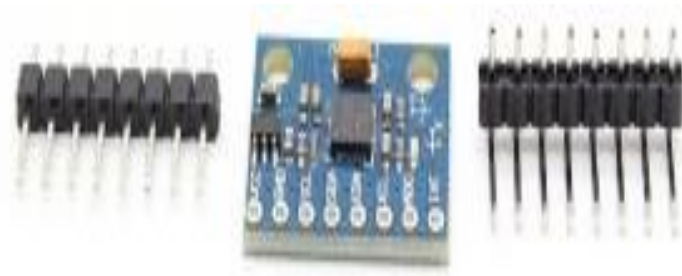


Рисунок 3.4.2.1 – Акселерометр і гіроскоп MPU-6050

Технічні характеристики представлені в таблиці 3.4.2.

Таблиця 3.4.2 – Технічні характеристики акселерометра.

Живлення	3 - 5В
Чіп	MPU-6050
Діапазон гіроскопа	+ 250 500 1000 2000 °/с
Діапазон акселерометра	± 2 ± 4 ± 8 ± 16 g
Протокол	I2C
Розмір плати	2x 1.6 см

MPU-6050 GY-521 - компактний і легкий модуль 3х осьового акселерометра і 3х осьовий гіроскоп керований по протоколу I2C (TWI).

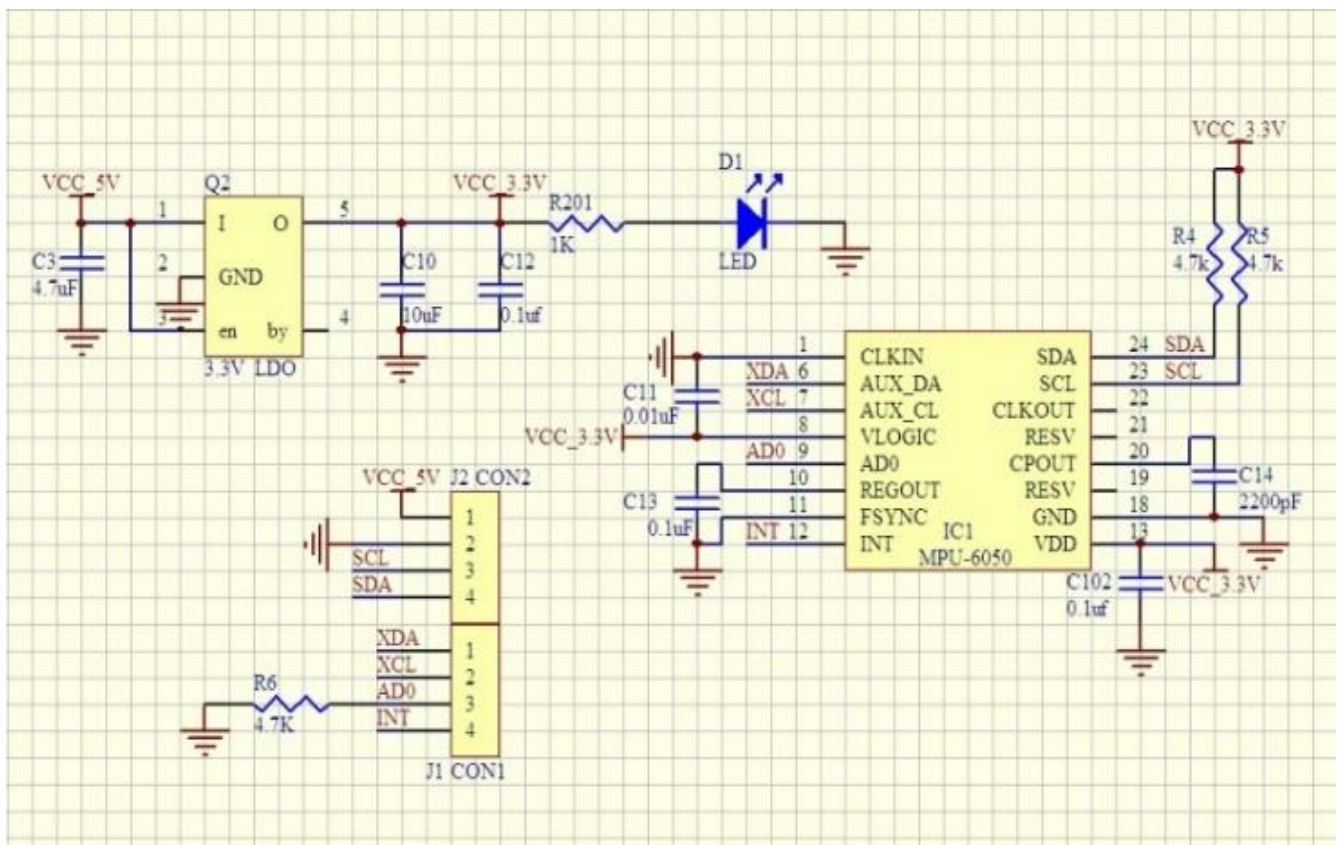


Рисунок 3.4.2.2 – Схема підключення

3.4.3 Вибір серводвигуна

Під сервоприводом найчастіше розуміють механізм з електромотором, який можна попросити повернутися в заданий кут і утримувати це положення. Однак, це не зовсім повне визначення. Якщо сказати повніше, сервопривід – це привід з управлінням через негативний зворотний зв'язок, що дозволяє точно керувати параметрами руху. Сервоприводом є будь-який тип механічного приводу, що має в складі датчик (положення, швидкості, зусилля і т.п.) і блок управління приводом, автоматично підтримує необхідні параметри на датчику і пристрої відповідно до заданого зовнішнього значення.

Для повороту панелей, сумарна маса яких с конструкцією складе 60кг нам буде достатньо такого: Сервопривод цифровий Savox 13-16 кг/см 4,8-6 В 0,20-0,18 сек/60° 61 г (SC-0251MG) (рис. 3.4.3). Технічні характеристики представлені в таблиці 3.4.3.



Рисунок 3.4.3 – Сервопривод цифровий SC-0251MG

Таблиця 3.4.3 – Технічні характеристики сервопривода

Розміри	40,7 x 20 x 42,4 мм
Вага виробу	61 г
Швидкість	0,20-0,18 сек / 60 °
Тип двигуна	Електричний, колекторний
Матеріал рами / корпусу	Пластик
Зусилля	13-16 кг / см
Робоча напруга	4,8-6 В
Довжина проводів	150 ± 5 мм
Тип контролера	Цифровий
Опора вала	Кулькові підшипники 2 шт
Робочий струм	300-350 мА
Струм холостого ходу	5-6 мА
Робоча частота:	200-250 Гц
Тип управління:	ШІМ
Граничний кут:	180 ° ± 10 °

Іншими словами, сервопривод отримує на вхід значення керуючого параметра. Наприклад, кут повороту. Блок управління порівнює це значення зі значенням на своєму датчику. На основі результату порівняння привід виробляє деяку дію, наприклад: поворот, прискорення або уповільнення так, щоб значення з внутрішнього датчика стало якомога ближче до значення параметра.

Найбільш поширені сервоприводи, які утримують заданий кут і сервоприводи, що підтримують задану швидкість обертання.

Більшість сервоприводів можуть бути підключені до Arduino безпосередньо. Для цього від них йде шлейф з трьох проводів:

- червоний – харчування, підключається до контакту 5V або безпосередньо до джерела живлення;
- коричневий або чорний - земля;
- жовтий або білий – сигнал, підключається до цифрового виходу Arduino.

Для підключення до Arduino буде зручно скористатися платою-розширником портів, такий як Troyka Shield. Хоча з декількома додатковими проводами можна підключити серв і через breadboard або безпосередньо до контактів Arduino.

Можна генерувати імпульси самостійно, але це настільки поширене завдання, що для її спрощення існує стандартна бібліотека Servo.

3.5 Вибір мікроконтролера

Основні функції керування та контролю реалізуються на основі вибору необхідних технічних засобів. Головною задачею вибору технічних засобів є перевірка сполучення каналів управління контролеру з вхідними та вихідними сигналами.

Для реалізації задачі управління системи сонячної електростанції малої потужності обираємо мікроконтролер Maple Mini (рис. 3.5), вільні контакти будуть слугувати для подальшої модернізації системи управління.

Maple – це 32-бітна ARM-плата виробництва LeafLabs. Разом з Maple IDE, лінія макетних плат LeafLabs Maple має UX типу Arduino, з'єднану з потужністю 32-бітових процесорів ARM.

Maple Mini – це плата з невеликим 48-піновим STM32, з тією ж швидкістю і пам'яттю, що і стандартний Maple. На борту - 120 Кб флеш-пам'яті, 34 GPIO і 20 Кб RAM.

Maple Mini може отримувати живлення через підключення USB або від зовнішнього джерела живлення. Джерело живлення вибирається автоматично. Зовнішнє живлення (не USB) може подаватися через перетворювач напруги AC/DC (блок живлення) або акумуляторною батареєю.

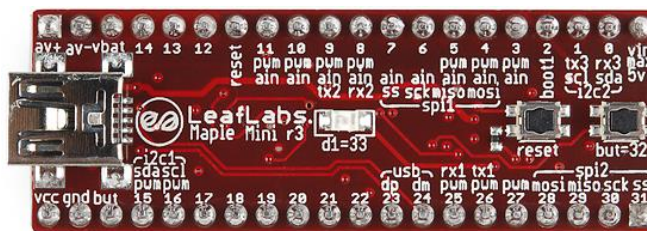


Рисунок 3.5 – Мікроконтролер Maple Mini

Мікроконтролер має наступні характеристики (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики

Процесор	32-бітний ARM Cortex M3
Тактова частота	72 МГц
Напруга живлення	3-12В
Цифрові входи / виходи	34 (з них 12 ШІМ-виходи)
Аналогові входи	9
Постійний струм через вхід/вихід	40 мА
Постійний струм для виводу 3.3 В	500 мА
Flash-пам'ять	128 КБ
ОЗУ	20 КБ

Платформа може працювати при зовнішньому живленні від 6 В до 20 В. При напрузі живлення нижче 7 В, вихід 5V може видавати менше 5 В, при цьому платформа може працювати нестабільно. Рекомендований діапазон від 7 В до 12 В.

Детальніша інформація про мікроконтролер Maple Mini та технічний опис представлені в Додатку Б.

3.6 Спосіб автоматизованого очищення сонячної панелі

В ході підбору обладнання та роботи над патентами було знайдено цікаву ідею очищення сонячної панелі (СП) від забруднень, щоб забезпечити своєчасне виявлення та очищення панелей і забезпечення їх ефективної роботи. Дана установка включає джерело живлення, датчики контролю забруднення та дроти (рис. 3.6).

Дроти розташовані на поверхні сонячної панелі та виконані з можливістю коливання і переплетені один з одним у вигляді решітки. При цьому в якості джерела живлення використовують джерело змінного струму, а датчі контролю забруднення виконані у вигляді датчиків натягу проводів, розташованих по всій зовнішній межі решітки. Винахід забезпечує ефективну очистку поверхні сонячної панелі від снігу, льоду, сміття та інших об'єктів, що заважають перетворенню сонячної енергії.

Спосіб очищення сонячної панелі полягає в виявленні забруднення за рахунок збільшення сили натягу проводів, при цьому активується очищення, при якому на дроти подають змінний струм, забезпечуючи однакові значення власної частоти коливання проводів. Дроти при максимальному значенні амплітуди коливання стикаються один з одним, досягаючи механічного резонансу, за рахунок якого забезпечують вібрацію, необхідну для дроблення льоду і нагрівання, необхідне для танення снігу і очищення панелі.

На малюнку 3.6.1 зображена система очищення сонячної панелі. На малюнку 3.6.2 зображено загальний вигляд сонячної панелі з встановленою системою очищення.

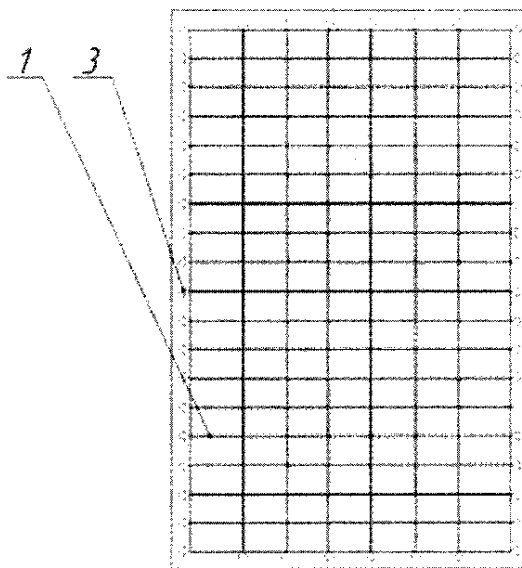


Рисунок 3.6.1 – Система очищення сонячної панелі

Пристрій автоматизованої очищення сонячної панелі (рис. 3.6.1) містить дроти 1, переплетені між собою і встановлені на сонячну панель 2 (рис. 3.6.2), на якій встановлені датчики натягу проводів 3. Джерело змінного струму 4 встановлено в корпусі і розташовано під панеллю (рис. 3.6.2).

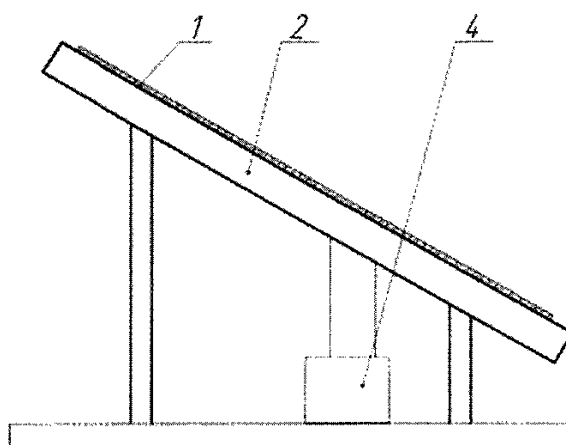


Рисунок 3.6.2 – Загальний вигляд сонячної панелі з встановленою системою очищення

Наприклад, для очищення сонячної панелі «ZHM 185 Вт» на неї монтується решітка з проводів, при замерзанні поверхні сонячної панелі датчики фіксують натяг проводів і активують систему очищення. Змінний струм силою в 0,3 А, що протікає по дротах, створює вібрацію в них, за рахунок того, що дроти мають однакову власну частоту коливань. При коливанні дроти стикаються один з одним при максимальному значенні амплітуди коливання, таким чином, виникає явище механічного резонансу, при якому вібрація проводів розколює лід і за рахунок цього осколки льоду скочуються з панелі і очищають її, також за рахунок нагріву проводів, розтанувши, сніг стікає вниз по схилу сонячної панелі

Отже, заявлений винахід автоматизує процес очищення сонячних панелей незалежно від температурних і погодних умов і при відсутності обслуговуючого персоналу, також дозволяє встановлювати і використовувати дану систему на вже існуючих сонячних панелях.

Переваги: збільшення строку служби сонячних панелей за рахунок їх чистого стану, збільшення їх продуктивності.

Недоліками є витрати на монтування цієї системи та на придбання необхідного обладнання.

Даний винахід дозволить прослужити вашій сонячній станції більше часу за рахунок належного догляду за сонячними панелями, які являються одними з найважливіших компонентів сонячної установки.

РОЗДІЛ 4

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ БАЛАНСУВАННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ТА ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ПАНЕЛІ

4.1 Модель АКБ в середовищі Matlab

Акумуляторні батареї використовуються в автономних джерелах енергії в самих різних областях. Вимоги, що пред'являються до цих пристроїв, теж різняться досить значно. При виборі конкретного типу акумулятора з споживчої точки зору до уваги беруться наступні характеристики:

- робоча напруга;
- режим розряду (постійний або імпульсний);
- максимальний струм розряду;
- температурний режим при розрядці;
- допустимий режим зарядки (стандартний, прискорений, швидкий або режим постійної підзарядки, званий також буферним);
- маса і габаритні характеристики;
- термін служби.

До того ж у разі, якщо заряджені батареї деякий час зберігаються без використання, необхідно звертати увагу на швидкість їх саморозряду.

Залежно від електрохімічної технології можна виділити наступні основні типи сучасних джерел струму для мобільних пристроїв:

Герметизовані свинцево-кислотні акумулятори (SLA) – це найстаріші акумуляторні батареї, призначені для комерційного використання, причому вони до сих пір залишаються найбільш дешевими автономними джерелами енергії. Мабуть, найістотнішим недоліком, властивим свинцево-кислотних елементів, є виділення газів – кисню і водню. Запобігти його можна тільки шляхом зменшення напруги під час заряджання, однак при підзарядці це призводить до того, що акумулятор більше не заряджається повністю до номінальної напруги. Разом з тим здатність утримувати номінальну силу струму при низькій напрузі, невелика ціна в порівнянні з витратами на обслуговування батарей цього типу і відсутність збоїв харчування при їх використанні цілком виправдовують установку свинцево-кислотних акумуляторів великої ємності [8].

Сьогодні SLA-акумулятори застосовуються в основному там, де потрібна велика потужність при низькій вартості пристроїв, а їх вага і габаритні характеристики несуттєві (наприклад, в блоках безперебійного живлення, охоронних системах, системах резервного

освітлення). У портативних приладах використовуються герметичні (обслуговувані) акумулятори або акумулятори з регулюючим клапаном тиску. З особливостей сучасних свинцево-кислотних акумуляторів слід зазначити такі властивості:

- зарядка від найпростіших зарядних пристроїв;
- поліпшення роботи в буферному режимі, тобто в режимі постійної підзарядки - термін служби доведений вже до 25 років;
- значне збільшення ресурсу – кількість циклів заряду-розряду складає вже 600-800, а не 200-300, як раніше;
- зведення до мінімуму величини саморозряду - 0,1% в день;
- поява безлічі типорозмірів і введення їх єдиної стандартизації.

На відміну від звичайних свинцево-кислотних акумуляторів, SLA-акумулятори для електроніки розробляються з низьким потенціалом перезарядки з метою запобігання виділенню газу. Тому він має тривалий термін зберігання, але ніколи не заряджається до своєї повної ємності, а отже, в порівнянні з іншими типами батарей для зарядки має найнижчу щільність енергії (питому енергоємність), яка виражається в кількості збереженої енергії до одиниці ваги або обсягу.

Внаслідок низького саморозряду, відсутності ефекту пам'яті і мінімальних вимог по обслуговуванню такі батареї в деяких областях досі залишаються дуже вигідним рішенням.

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

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

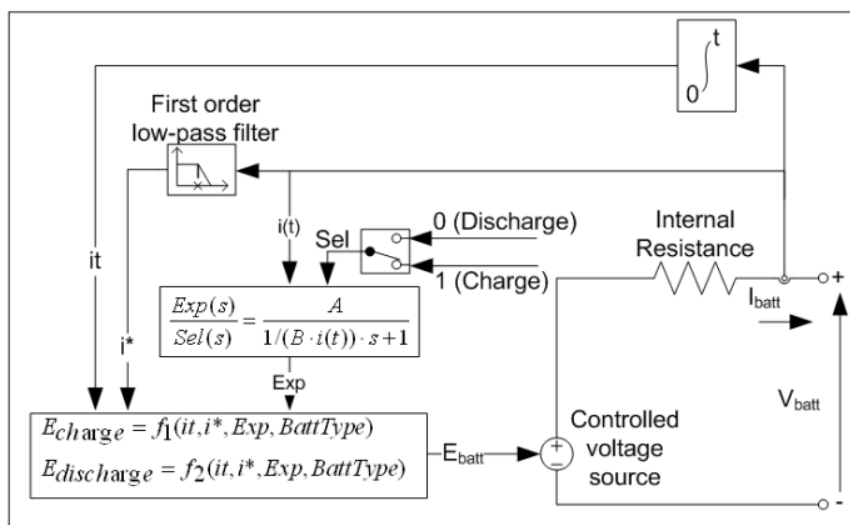


Рисунок 4.1.1 – Еквівалентна схема АКБ в середовищі Matlab

На малюнку 4.1.1 представлена структурна схема акумулятора, яка допомагає створити і зрозуміти її математичну модель. Схема включає джерело управління напруги, внутрішній резистор, ключ (який управляється зарядом і розрядом при умовах 1 і 0), фільтр втрати струму першого порядку, блок заряду і блок розряду, блок експоненційної динаміки зони [9].

Для того щоб моделювати її необхідно дізнатися математичну модель свинцево-кислотного акумулятора. Нижче представлені формули 4.1 та 4.2, які розраховують моделі розряду і заряду акумуляторних батарей в батарейному блоці.

Модель розряду ($i^* > 0$)

$$f_1(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \frac{Q}{Q-it} i^* - K \frac{Q}{Q-it} it + Laplace^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)} 0 \right). \quad (4.1)$$

Модель заряду ($i^* < 0$)

$$f_2(it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \frac{Q}{it+0.1Q} i^* - K \frac{Q}{Q-it} it + Laplace^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)} \frac{1}{s} \right). \quad (4.2)$$

Елементи математичних моделей представляють собою наступні значення:

E_0 – експоненційна динаміка зони (В);

$Sel(s)$ – представляє режим роботи від акумулятора (0 – під час розряду, 1 – під час заряду акумуляторної батареї;

K – постійна поляризації ($A * год^{-1}$);

i^* – низькочастотна поточна динаміка (А);

i – струм АКБ (А);

it – вилучена ємність (А*год);

B – експоненційна ємність ($A * год^{-1}$);

Q – максимальна ємність батареї (А*год);

A – експоненційна напруга (А).

Параметри еквівалентної схеми можуть бути змінені, для того щоб представляти певний тип батареї, заснований на його розрядних характеристиках. Типова розрядна крива складається з трьох областей (рис. 4.1.2).

Перша область показує експоненціальне падіння напруги, коли акумулятор заряджений. Залежно від типу акумулятора, дана область більш-менш широка.

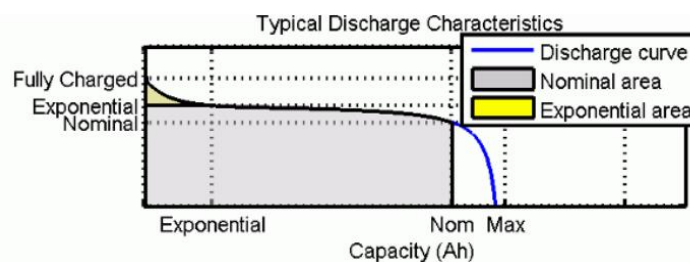


Рисунок 4.1.2 – Типова розрядна крива

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

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

На малюнку 4.1.3 зображена модель заряду акумуляторної батареї, від ідеального джерела напруги. Блок Controlled Voltage Source виступає у вигляді ідеального зарядного пристрою постійної напруги. У нашому випадку для заряду комірки АКБ досить подати константу 14, на виході зарядного пристрою з'явиться напруга амплітудою 14 В.

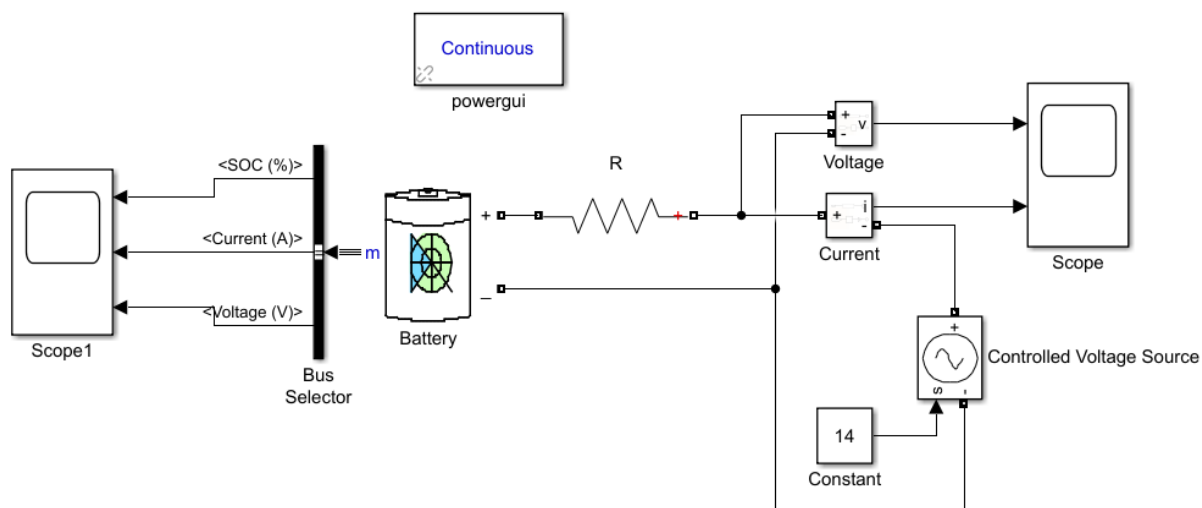


Рисунок 4.1.3 – Модель заряду акумуляторної батареї

Резистор R - заміщає модель опору проводів між зарядним пристроєм і акумуляторною коміркою.

Елемент Scope1 показує напругу джерела через датчик напруги, і струм заряду батареї, через датчик струму.

На осцилографі Scope1 можна побачити: ємність акумулятора SOC% (рис. 4.1.4); струм заряду (Current A); напругу (Voltage V) (рис. 4.1.5).

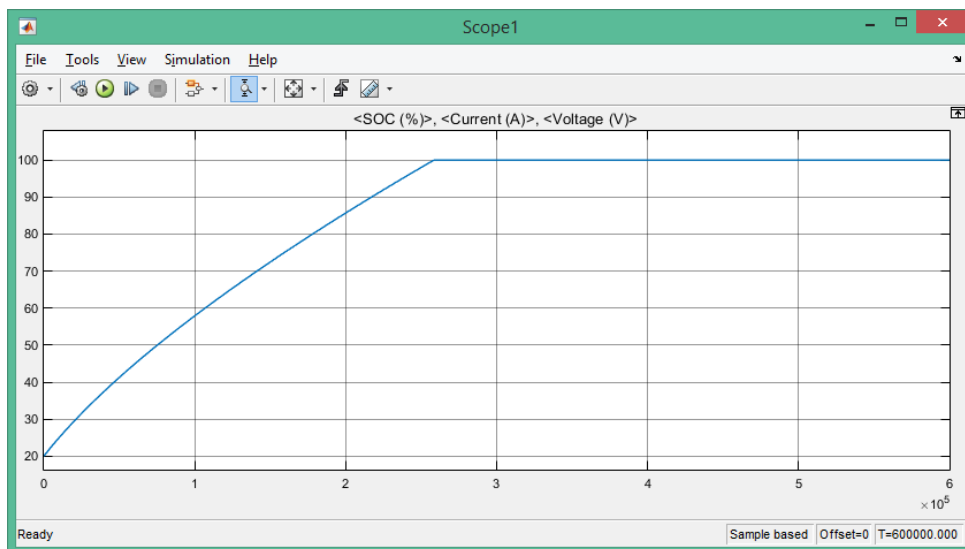


Рисунок 4.1.4 – Моделювання процесу заряду акумулятора

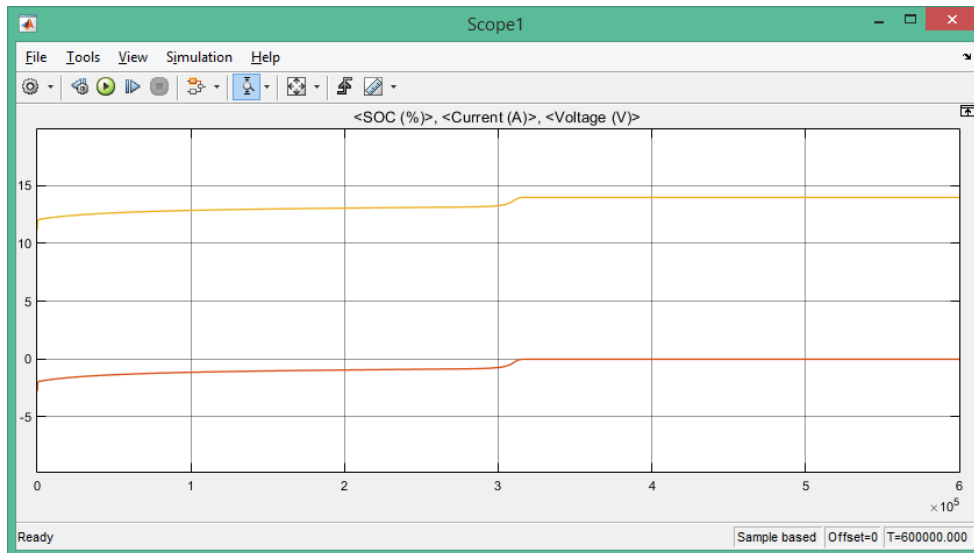


Рисунок 4.1.5 – Моделювання струму та напруги заряду АКБ

Побудова моделі дозволила отримати результат процесу заряду акумуляторної батареї. Її заряд проходить струмом, близьким до 20 А при напрузі 14 В. Як видно з малюнку, час, витрачений на повний процес заряду осередки, ємністю 100 А*год складає 25000 секунд або 6,9 годин, що й заявлено в технічній документації нашої АКБ.

Якщо процес заряду не зупинити, напруга продовжить зростати до напруги джерела. Але це показала нам модель, на практиці АКБ вийде з ладу, це в кращому випадку, в гіршому, самозапалиться і приведе до пожежі. Для таких випадків необхідний контроль за напругою акумуляторної батареї.

Графік розряду АКБ зображений на малюнку 4.1.6. На ньому ми можемо бачити, що осідання навіть при дуже високому струмі розряду в межах допустимого, заявленого виробником і потужність буде постійною аж до 90% розряду акумулятора.

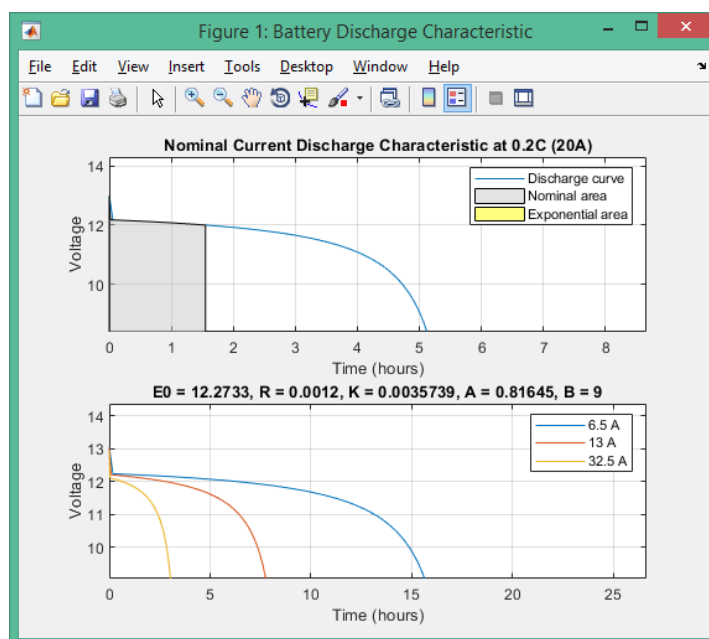


Рисунок 4.1.6 – Розрядна характеристика при струмі розряду 20 А

4.2 Алгоритм роботи балансуючого пристрою

Розглянемо принцип роботи і спосіб побудови схеми моделювання пристрою балансування з комутованим конденсатором для акумуляторної батареї в програмі Matlab Simulink та зробимо висновки про можливість застосування даного пристрою для нашої електростанції.

На малюнку 4.2.1 представлено алгоритм роботи акумуляторів, який може допомогти добре зрозуміти і дослідити характеристики заряду і розряду акумуляторної батареї. В схемі позначають U_{ab} – це напруга акумулятора, ΔU – різниця акумуляторів, SOC – стан заряду (state of charge).

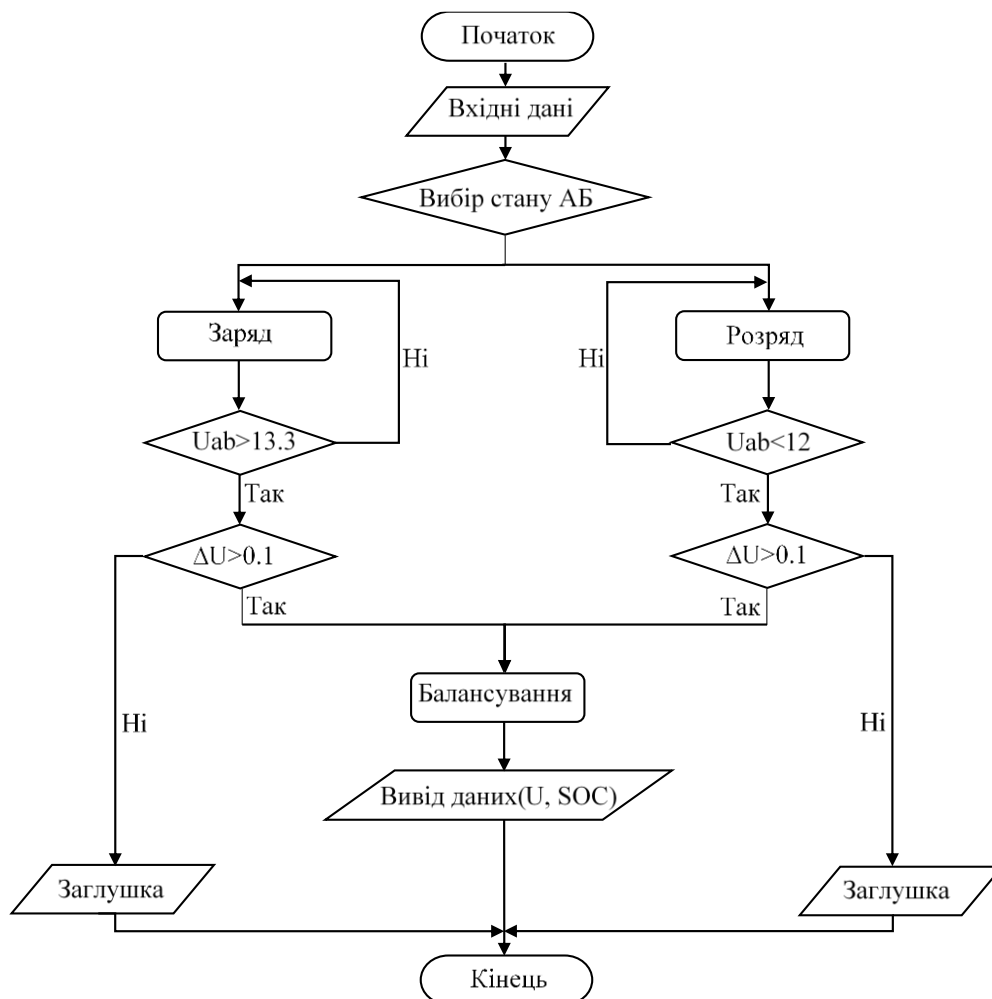


Рисунок 4.2.1 – Алгоритм роботи акумуляторів з балансуванням

Акумуляторні батареї (АКБ) складаються з безлічі послідовно з'єднаних акумуляторів, при масовому виробництві яких неможливо домогтися ідентичності їх характеристик. ємність, внутрішній опір, швидкість саморозряду і деградації однотипних акумуляторів завжди незначно, але відрізняються [10]. Велика частина зарядних пристроїв забезпечує заряд тільки постійним струмом з невисоким рівнем його стабілізації. Струм практично завжди не регулюється, а час заряду визначається самим користувачем. За останні

5-7 років швидкий прогрес промисловості привів до випуску таких акумуляторів однакових габаритів, які відрізняються за ємністю в 3 рази. Дорозряд акумуляторів (до 1 В/ак) проводиться з метою зняття залишкової ємності. Але після тривалої експлуатації акумулятори можуть дуже сильно відрізнятися за ємністю, і контроль за середньою напругою для всього ланцюжка може привести до перерозряду або переполюсовці найбільш слабких і їх псування.

При використанні таких гелевих акумуляторів слід пам'ятати, що не рекомендується часто і надовго залишати їх в режимі компенсаційної підзарядки, так як це скорочує термін їх служби.

Розглянемо схему і принцип роботи конденсаторного пристрою балансування напруг, структурна схема якого представлена на малюнку 4.2.2. На кожен пару послідовно з'єднаних акумуляторів в АБ підключаються блоки "переносу заряду", що включають в себе два комутаційних ключа і комутований конденсатор.

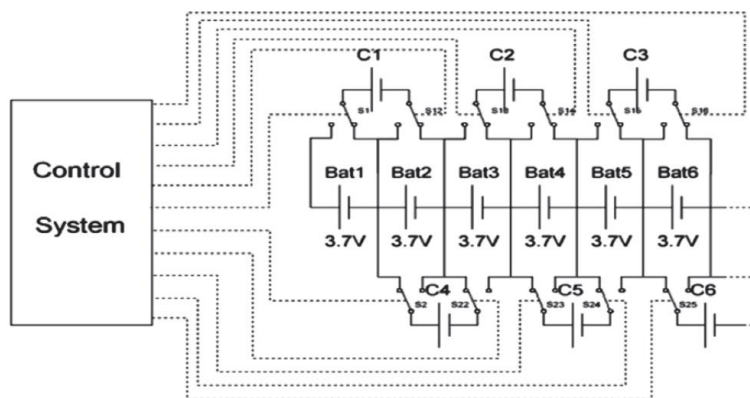


Рисунок 4.2.2 – Структурна схема пристрою балансування АКБ

Конденсатор постійно перемикається між двох акумуляторів, доставляючи, таким чином, заряд від акумуляторів з великим зарядом до акумуляторів з меншим зарядом, поступово вирівнюючи на них заряд. При цьому кожен такий блок має потребу в простому управлінні комутацією силових ключів. Кілька блоків "переносу заряду" можуть бути використані для послідовного ланцюга акумуляторів високовольтної АБ. Оскільки акумулятори $B_2 \dots B_{n-1}$ ділять свій блок "переносу заряду" з двома сусідніми акумуляторами, то заряд може подорожувати від одного кінця послідовного ланцюга до іншого.

В АКБ для нашої сонячної електростанції малої потужності, акумулятори працюють в різних температурних режимах роботи, що також впливає на їх характеристики. Найбільш характерно це проявляється при розбитті АКБ на кілька модулів послідовно з'єднаних акумуляторів. Для того щоб мінімізувати розкид характеристик акумуляторів, необхідно намагатися комплектувати АБ з акумуляторів однієї виробничої партії, а для рівномірного

температурного розподілу на акумуляторах ми оптимізували конструкцію блоку АКБ і систему вентиляції.

Незважаючи на зусилля, що докладаються, при тривалій експлуатації АКБ виникає проблема розбалансування акумуляторів, яка знижує ефективність їх використання. Якщо напруга на окремих акумуляторах буде вище заданого нижнього допустимого рівня, то це буде свідчити про наявність невикористаного заряду в окремих акумуляторах.

Наявність залишкового невикористаного заряду в акумуляторах говорить про неефективне використання АКБ. Для вирівнювання ступеня заряду і напруги на окремих акумуляторах використовуються спеціальні пристрої балансування.

4.3 Математична модель балансування АКБ

Розглянемо модель пристрою балансування з комутованим конденсатором в програмі Matlab Simulink. Схема моделі пристрою представлена на малюнку 4.3.

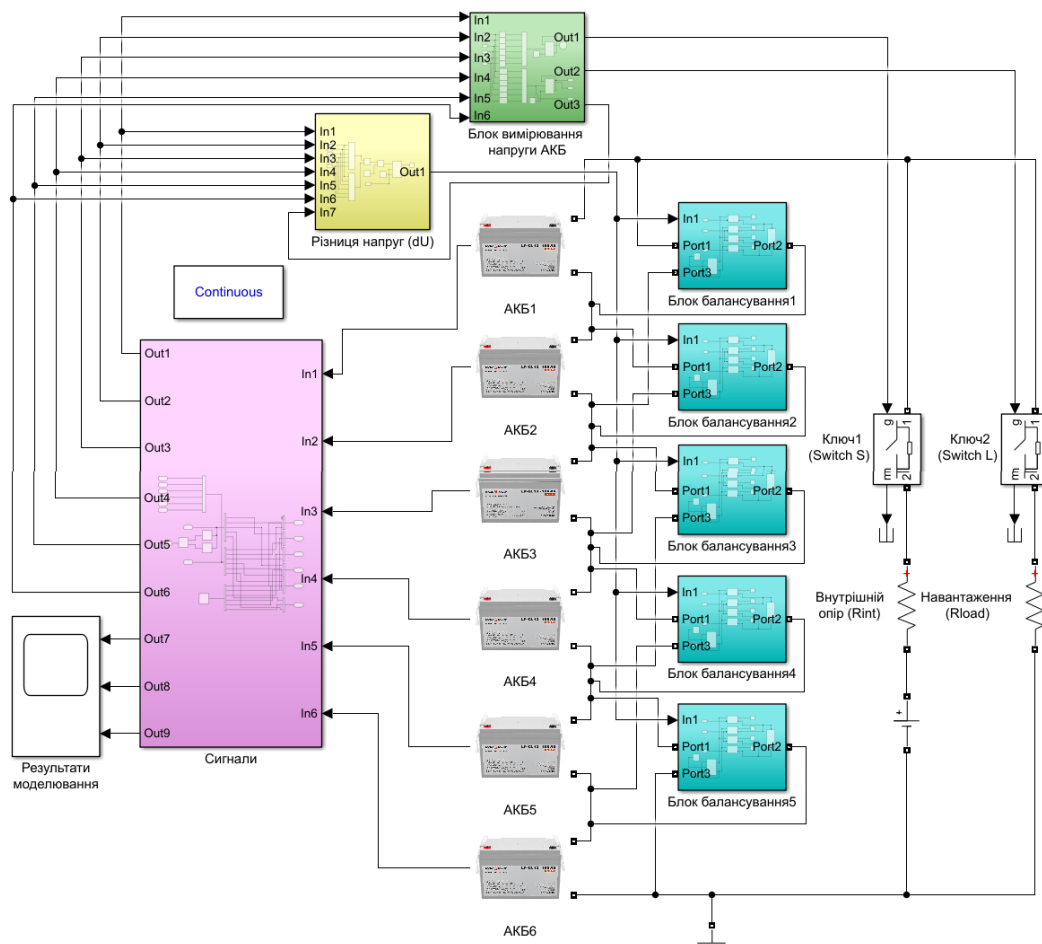


Рисунок 4.3 – Математична модель пристрою балансування в Matlab Simulink

Акумуляторна батарея складається з 6-ти секцій акумуляторів (АКБ1-АКБ6), тип акумуляторів – SLA, $U_{ном} = 13.3 \text{ V}$, а ємність становить 100 Ah.

Встановимо наступні значення ступенів заряду для акумуляторів: АКБ1 = 90%, АКБ2 = 85%, АКБ3 = 75%, АКБ4 = 70%, АКБ5 = 75%, АКБ6 = 85% (розбалансування 20%).

Заряд АКБ здійснюється від джерела постійної напруги, його внутрішній опір задається резистором R_{int} при відкритті ключа Switch S. Розряд АКБ здійснюється при підключенні до неї навантаження R_{load} за допомогою відкриття ключа Switch L. Невикористані виходи блоків ключів (та інших блоків, виходи яких не використовуються) подаються на спеціальні заглушки – Terminator. Заряд нашої акумуляторної батареї повинен проводитися струмом 25 А, до тих пір поки напруга на якомусь із акумуляторів не досягне 13,3 В. Розряд АБ повинен здійснюватися струмом 50 А, поки напруга на будь-якому з акумуляторів не опуститься до 12 В, після чого моделювання повинно бути припинено.

На схемі моделі пристрою балансування також знаходиться блок Powergui. Він являє собою графічний інтерфейс користувача пакета моделювання енергетичних систем та необхідний для завдання типу і параметрів моделювання (крок інтегрування).

Недоліком цієї схеми є потреба у великому періоді часу на транспортування заряду, в тому випадку якщо акумулятор з найбільшим зарядом і акумулятор з найменшим зарядом знаходяться з різних сторін послідовного ланцюга акумуляторів. В цьому випадку заряд буде "подорожувати" через кожен акумулятор з витратою часу та ефективності.

Однак, не дивлячись на недоліки, схема дуже компактна. Для кожної пари АБ система управління, комутаційні ключі та конденсатор можуть бути об'єднані в окремому модулі напроти акумуляторів, заряд яких вони вирівнюють. Якщо необхідно додати ще декілька АБ, можуть бути застосовані додаткові резервні накопичувачі, які будуть перемикатися парою комутаційних ключів.

4.3.1 Модель підсистеми «Розподілювач сигналів»

Дана підсистема направляє сигнали від акумуляторів (з інформацією про напругу і ступень заряду з мультимплексованих входів In1–In4 на осцилограф (виходи Out5–Out7).

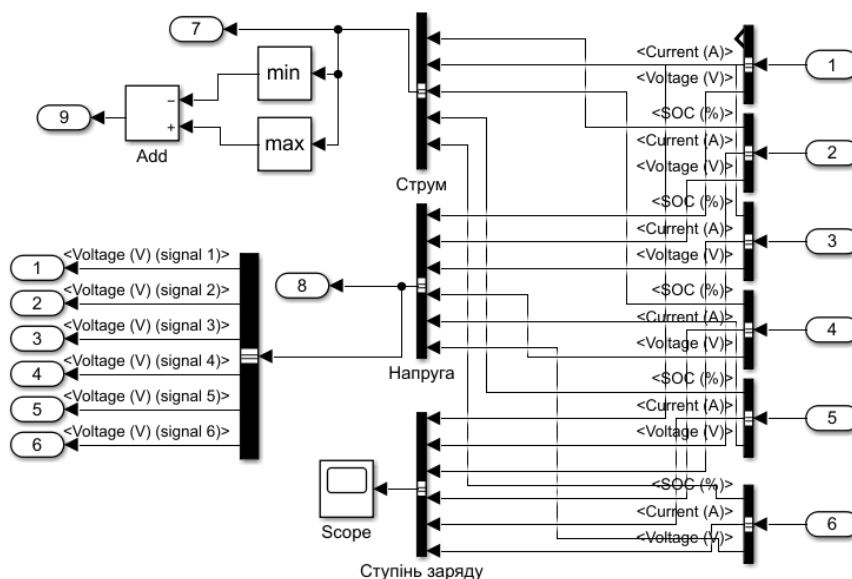


Рисунок 4.2.1 – Модель підсистеми «Розподілювач сигналів»

На підсистемі «Блок вимірювання напруги АКБ» та «Різниця напруг» подаються сигнали через виходи Out1-Out6 з інформацією про напругу на акумуляторах. На виходи Out7 і Out8 подається інформація відповідно про ступінь заряду (SOC, %) і напругу (V, B) акумуляторів. На вихід Out9 подається значення розбалансу (максимальна різниця між ступенями заряду окремих акумуляторів). Дана підсистема представлена на малюнку 4.3.1.

4.3.2 Модель підсистеми «Блок вимірювання напруги АКБ»

Підсистема контролю напруг (рис. 4.3.2) через виходи Out1 і Out2 управляє зарядом і розрядом АКБ шляхом комутації ключів S і L (заряд АКБ – S відкритий, L закритий, при розряді - навпаки). При подачі на керуючий вхід ключа S (L) сигналу логічного "0" – він закривається, а при подачі сигналу логічна "1" – відкривається .

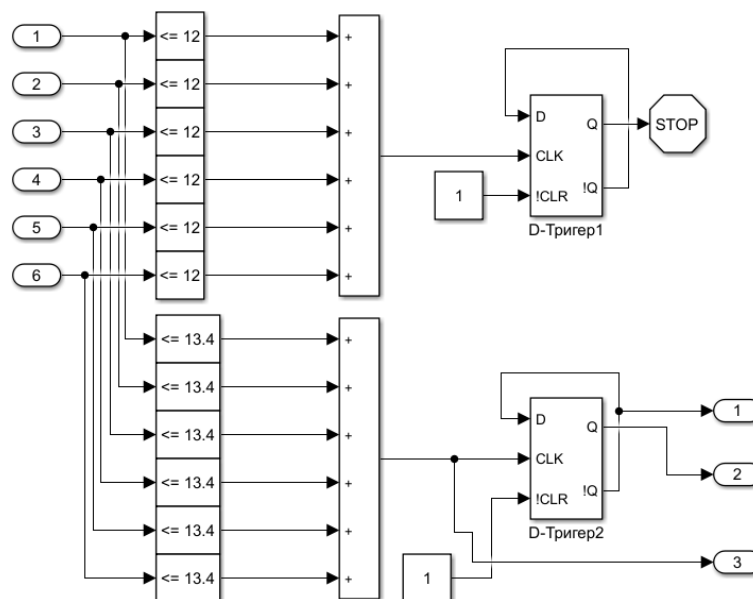


Рисунок 4.3.2 – Модель підсистеми «Блок вимірювання напруги АКБ»

Алгоритм роботи цієї підсистеми заснований на вимірюванні напруг акумуляторів АКБ1–АКБ6 і встановлений відповідно до умов моделювання. Спочатку необхідно дотримуватися умови: на виходах Out1 і Out2 підсистеми повинні бути відповідно сигнали рівня логічних "1" і "0". При заряді, коли напруга на будь-якому акумуляторі перевищить допустимий рівень (13,6 В), підсистема відключить АКБ від джерела напруги і підключить навантаження, посылаючи сигнали логічні "0" і "1" відповідно з виходів Out1 і Out2.

Якщо при розряді напруга на будь-якому акумуляторі опуститься нижче допустимого рівня (12 В), підсистема примусово зупинить моделювання.

4.3.3 Модель підсистеми «Блок балансування»

Для балансування АБ використовується 5 однакових підсистем. Розглянемо «Блок балансування1», модель якого зображена на малюнку 4.3.3. В ній конденсатор С1 через порти Port1-Port3 по черзі підключається до акумуляторів АКБ1-АКБ2 (до першого через Port1 і Port2, до другого через Port2 і Port3). За підключення конденсатора до відповідних портів

відповідають ключі Switch1-Switch4, керовані D-Тригером, охопленого зворотним зв'язком. Частота комутації ключів задається генератором імпульсів.

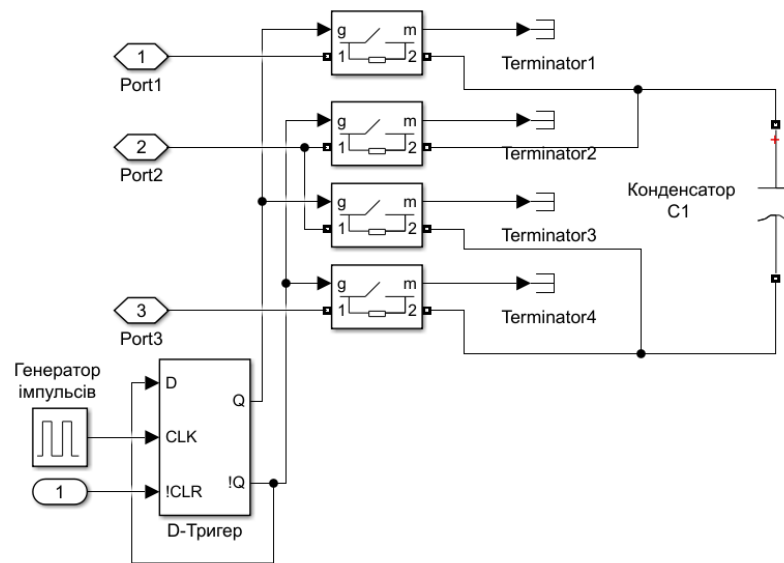


Рисунок 4.3.3 – Модель підсистеми «Блок балансування1»

4.3.4 Модель підсистеми «Різниця напруг»

У підсистемі «Різниця напруг» (рис. 4.3.4) знаходиться логічна схема, яка на основі вхідних сигналів In1–In6 знаходить різницю між максимальною і мінімальною напругою на акумуляторах. Значення порівнюється з заданим. Якщо воно менше заданої межі (0,1), то через свій вихід вимикають підсистеми «Блок балансування1» – «Блок балансування5».

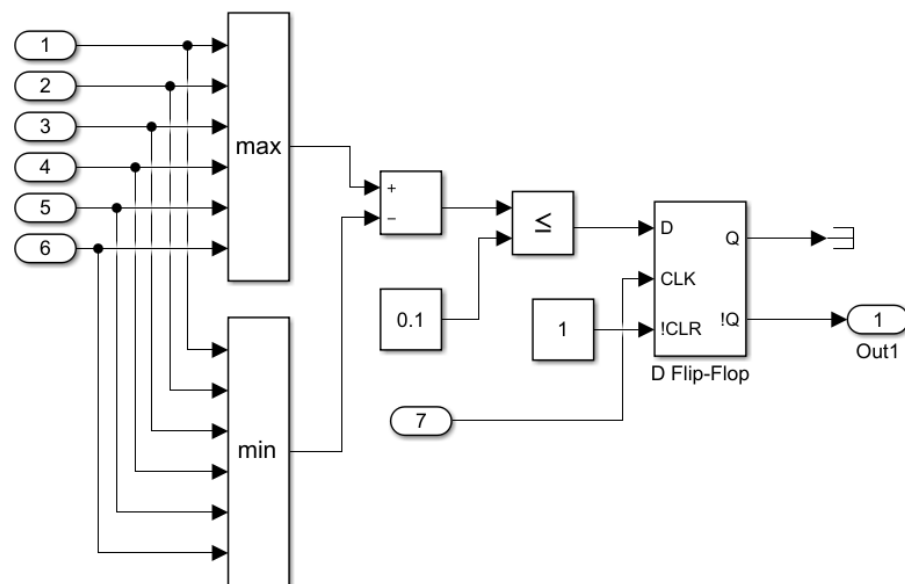


Рисунок 4.3.4 – Модель підсистеми «Різниця напруг»

Робота схеми здійснюється тільки за сигналами на вхід In7 від підсистеми «Розподільвач сигналів». Ці сигнали вона посилає в моменти закінчення заряду і розряду АКБ. Через нелінійну залежність напруги акумулятора від його ступеня заряду в такі моменти спостерігається максимальне значення величини. Таким чином, ця підсистема

приймає рішення про включення або виключенні підсистем балансування тільки в моменти досягнення максимальних значень.

4.4 Результати моделювання

На підставі моделі отримані результати, які якісно відображають ступень заряду, напруги і величини розбалансу по мірі заряду при працюючому пристрої балансування (рис.4.4). Як видно з осцилограми, час заряду АКБ до моменту, коли напруга на одному з акумуляторів (АКБ1) досягла 13,6 В, склало 6.94 годин. За цей час величина розбалансу знизилася з 20% до 2%. Час розряду АКБ склав 7.2 години. За час розряду величина розбалансу знизилася до 0,5%.

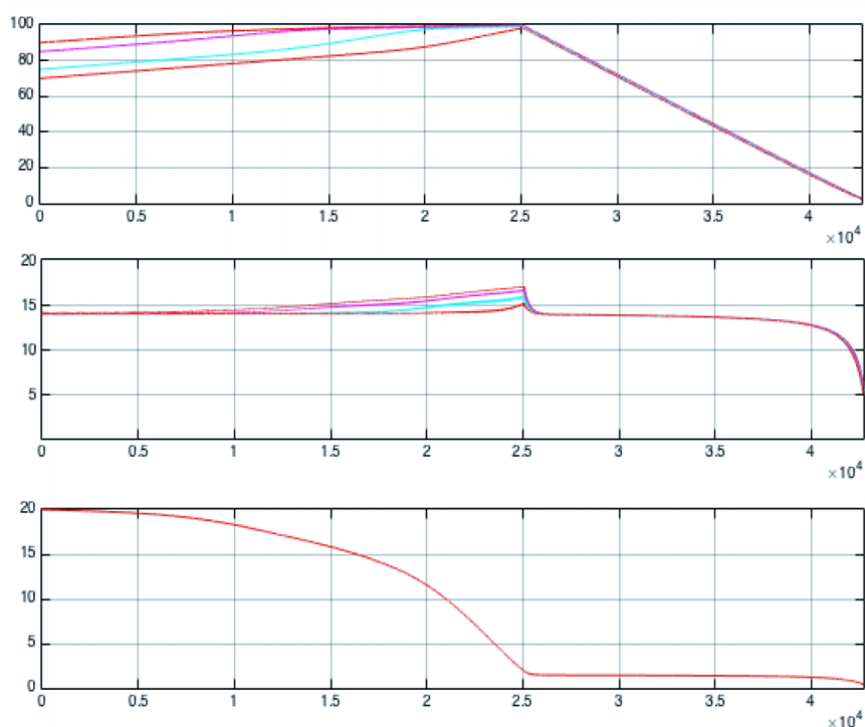


Рисунок 4.4 – Результати моделювання при включеному пристрої балансування

Побудова схеми найпростішого зарядного пристрою може залежати від принципів заряду (обмеження струму і напруги заряду), різниці заряду, та характеристик розряду акумуляторів. Показано, що використання системи балансування зменшує величину розбалансу, отже, дозволяє в повній мірі використовувати ємність акумуляторів (тривалість розряду збалансованої АБ завжди більше, ніж у незбалансованої).

Можно зробити висновки, що час заряду АКБ при використанні пристрою балансування значно зростає. З цієї причини балансування слід проводити не кожен цикл заряду і розряду, а в міру необхідності. Проводити балансування ефективніше на кінцевому етапі заряду і розряду АКБ, коли різниця між напругою на акумуляторах збільшується. При середньому ступені заряду, напруги на розбалансованих акумуляторах практично однакові.

4.5 Математичний опис фотоелектричної панелі

Сонячні фотоелектричні модулі (СМ) і сонячні фотоелектричні батареї (СБ) складаються з безлічі окремих сонячних фотоелектричних елементів (СЕ), які з'єднуються послідовно і паралельно з метою забезпечення необхідних вихідних значень струму і напруги [11].

СЕ може бути представлений у вигляді функціонального блоку, що має зовнішні, внутрішні і вихідні параметри (рисунок 4.5.1). До зовнішніх параметрів відносять освітленість СЕ (G) і температуру СЕ (T). До внутрішніх параметрів відносять напругу холостого ходу (U_{xx}) і струм короткого замикання ($I_{кз}$). Вихідні параметри – вихідна напруга (U), струм навантаження (I) і вихідна потужність (P) [12].

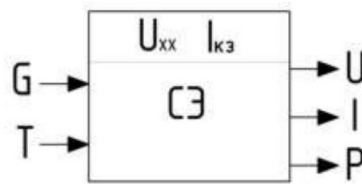


Рисунок 4.5.1 – Сонячний елемент в вигляді функціонального блоку

Основною характеристикою сонячного елемента (модуля) є ВАХ – залежність між струмом навантаження і напругою на клеммах ФЕП при постійних значеннях температури і інтенсивності сонячного випромінювання. У визначенні ВАХ важливими факторами є інтенсивність сонячного випромінювання і температура. Для вимірювання інтенсивності сонячного випромінювання ($Вт/м^2$) використовуються спеціальні прилади.

На малюнку 4.5.2 представлена схема зняття ВАХ фотоелектричної панелі.

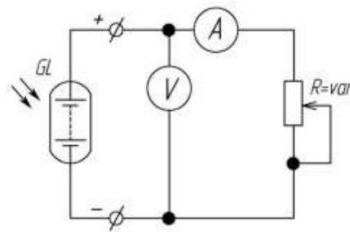


Рисунок 4.5.2 – Принципова схема зняття ВАХ

Напруга холостого ходу (U_{xx}) – напруга, при якому струм дорівнює нулю. З іншого боку, струм, при якому напруга дорівнює нулю, називається струмом короткого замикання ($I_{кз}$). Це крайні точки ВАХ, в яких потужність ФЕП дорівнює нулю. Максимальні значення струму і напруги (I_{min} , I_{max}) при постійних значеннях освітленості і температури визначають точку максимальної потужності (ТМП). На малюнку 4.5.3 показані типові ВАХ і часові характеристики фотоелектричних перетворювачів.

Максимальна потужність ФЕП – потужність в ТМП на вольт-амперній характеристиці, де значення струму на напруги максимальне [13]. Встановлено, що інтенсивність сонячного

випромінювання впливає на величину вихідного струму, а температура – на вихідну напругу сонячного елемента. Так, при зменшенні інтенсивності світлового потоку в 2 рази струм короткого замикання СЕ зменшується в 2 рази, в той час як напруга холостого ходу змінюється незначно. Існує температурний коефіцієнт, що враховує різницю температур і становить всього кілька міліампер на 1 С.

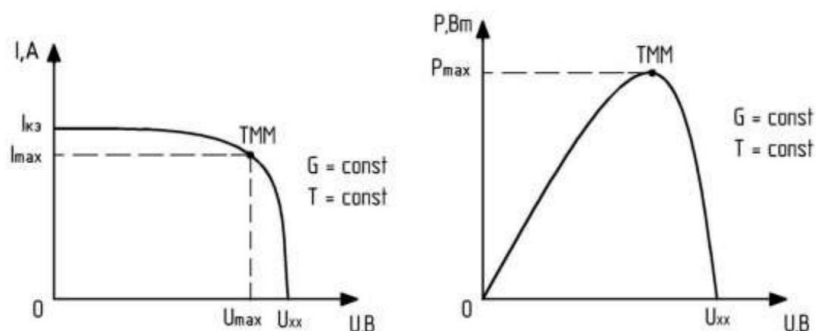


Рисунок 4.5.3 – Типові характеристики панелі

Математична модель фотоелектричного елемента будується на основі класичної еквівалентної схеми заміщення із зосередженими параметрами (рисунок 4.5.4). Дана еквівалентна схема включає в себе генератор фотоструму I_ϕ , діод, шунтуючий $R_{ш}$ і послідовний R_n опір.

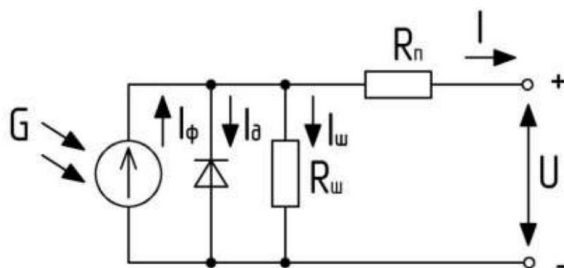


Рисунок 4.5.4 – Класична еквівалентна схема заміщення СЕ

Відповідно до еквівалентної схеми заміщення СЕ можна записати:

$$I = I_\phi - I_n - I_{ш}, \quad (4.5.1)$$

де I – струм навантаження;

I_ϕ – фотострум;

I_n – струм, який протікає через діод;

$I_{ш}$ – струм, що протікає через шунтуючий опір.

Висловивши величини струмів через фізичні параметри ФЕП, отримаємо аналітичний вираз ВАХ в наступному вигляді [14].

$$I = I_\phi - I_o \left[\exp\left(\frac{q(U+IR_n)}{AkT}\right) - 1 \right] - \frac{U+IR_n}{R_{ш}}, \quad (4.5.2)$$

де I_o – зворотний струм насичення;

U – вихідна напруга;

$R_{ш}$ – шунтуючий опір ФЕП;

R_n – послідовний опір ФЕП;

q – заряд електрона;

k – постійна Больцмана;

A – параметр ВАХ ФЕП, званий діодним фактором;

T – абсолютна температура СЕ, К.

В силу того, що ККД СЕ залежить від форми його ВАХ, параметри СЕ, що входять в рівняння ВАХ (4.5.2), визначають ефективність СЕ.

Ефективність фотоелектричного перетворення визначається світловою вольт-амперною характеристикою СЕ, форма якої залежить від ряду параметрів: послідовного і паралельного опорів СЕ, щільності струму насичення діода та діодного коефіцієнта.

Відповідно, потужність, що виробляється сонячним елементом дорівнює:

$$P = UI \quad (4.5.3)$$

Задовільна точність моделі може бути отримана за умови, що відомі значення внутрішніх опорів фотоелементів. Як правило, при моделюванні спостерігаються систематичні відхилення теоретичної кривої ВАХ від експериментальної, які є наслідком змінних величин щільності струмів і градієнтів напруги.

Розглянута модель часто використовується при первинному аналізі сонячного елемента і сонячної електростанції, але теоретичні і практичні значення найчастіше трохи відрізняються. Одна з таких причин, через яку можуть бути відхилення – труднощі точного підрахунку послідовного опору [15].

Моделювання характеристик ФЕП використовується при вирішенні таких завдань:

- оптимізація схеми ФЕП;
- визначення оптимальної РТ в умовах мінливої освітленості і температури;
- оцінка схемних втрат;
- визначення впливу затінення на вихідні характеристики і потужність ФЕП;
- розрахунок і моделювання фотоелектричних систем електропостачання;
- аналіз і прогнозування роботи фотоелектричної станції.

При моделюванні ВАХ необхідно знати базові параметри сонячного модуля: напруга холостого ходу (U_{xx}) і струм короткого замикання ($I_{кз}$). Ці параметри вказуються виробником в паспорті на сонячний елемент або модуль. Також на характеристики ФЕП може вплинути послідовний опір R_n , температура T і діодний параметр A . При меншій величині R_n , буде більше потужність, яку може виробляти СЕ, отже, і збільшення ККД. Зі збільшенням температури T зменшується величина U_{xx} , при цьому $I_{кз}$ практично не змінює свого значення [16].

4.6 Розробка імітаційної моделі сонячного модуля

Побудову імітаційної моделі сонячного фотоелектричного модуля виконано в програмному середовищі Matlab/Simulink. Розроблена модель дозволяє реєструвати основні характеристики сонячного фотоелектричного модуля (рис. 4.6.1).

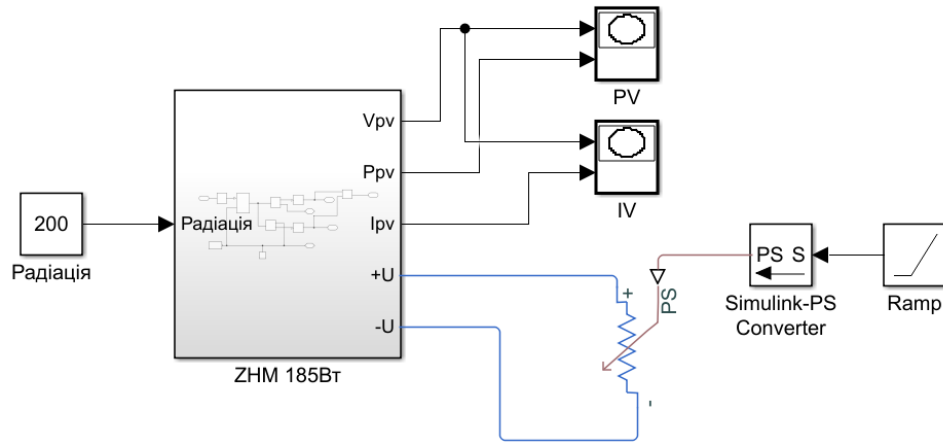


Рисунок 4.6.1 – Модель вимірювання характеристик сонячного модуля

Побудована модель включає в себе наступні підсистеми і блоки.

Блок «Радіація» (Constant) пов'язаний з вхідним портом підсистеми сонячного модуля та задає значення інтенсивності сонячного випромінювання G , Вт/м².

Підсистема «ZHM 185Вт» реалізує собою власне сонячний модуль. Розгорнута структура пропонованої підсистеми сонячного модуля представлена на малюнку 4.6.2.

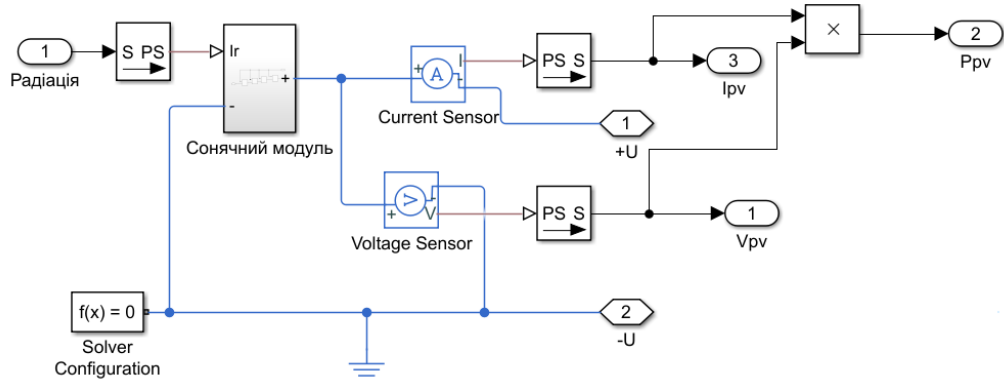


Рисунок 4.6.2 – Структура підсистеми сонячного модуля

Підсистема містить наступні блоки: «Simulink-PS Converter», «PS-Simulink Converter» – перетворювачі сигналів; «VoltageSensor», «CurrentSensor» – вимірювачі напруги і струму; «SolverConfiguration» – блок конфігурації; «Product» – блок множення [15].

Побудуємо в Simulink підсистему сонячного модуля, вихідні параметри якого будуть відповідати параметрам реального полікристалічного сонячного модуля ZHM 185Вт при освітленості 1000 Вт/м²: $P = 185$ Вт; $U = 24$ В; $I = 5,14$ А; $U_{xx} = 44,67$ В; $I_{кз} = 5,6$ А.

З бібліотеки Simscape програми вибираємо наявний універсальний блок «SolarCell»

(«Сонячний елемент»). Налаштування блоку проводиться в спеціальному вікні параметрів. Блоки сонячних елементів з'єднуються послідовно (рис. 4.6.3).

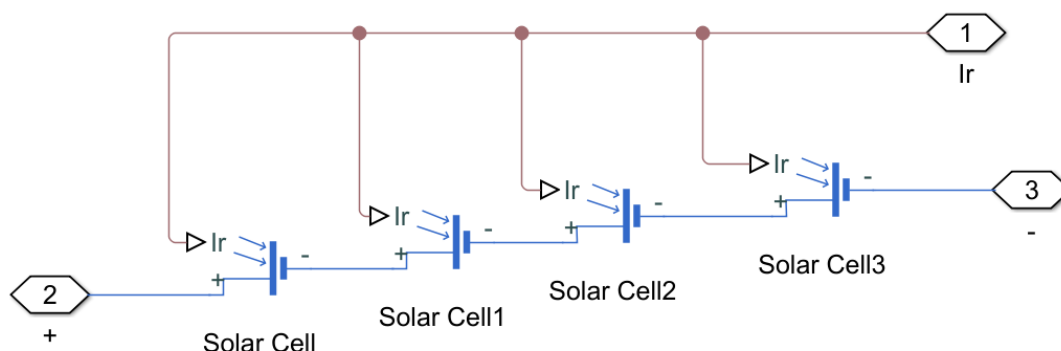


Рисунок 4.6.3 – Підсистема «Сонячний модуль»

Блок «Ramp» формує лінійний сигнал і перетворює блок «Simulink-PS Converter». Результати моделювання відображають блоки «PV», «IV», що виконують побудову графіків значень одного сигналу в функції іншого.

4.7 Результати моделювання

При моделюванні приймалися такі припущення: ВАХ моделювалася без урахування часткового затінення сприймаючої поверхні ФЕП і без можливого її пошкодження. Дані припущення дають можливість застосовувати класичні аналітичні вирази для моделювання характеристик ФЕП.

Приймаємо температуру сонячних елементів рівній 25°C. Слід також зазначити, що точність моделювання залежить від можливого технологічного розкиду для кожного елемента і модуля в цілому. Нижче представлені результати моделювання (рисунок 4.7.1) із зазначенням значень точок максимальної потужності (ТМП). Криві ВАХ отримані при наступних рівнях освітленості: 200; 400; 600; 800; 1000 Вт/м².

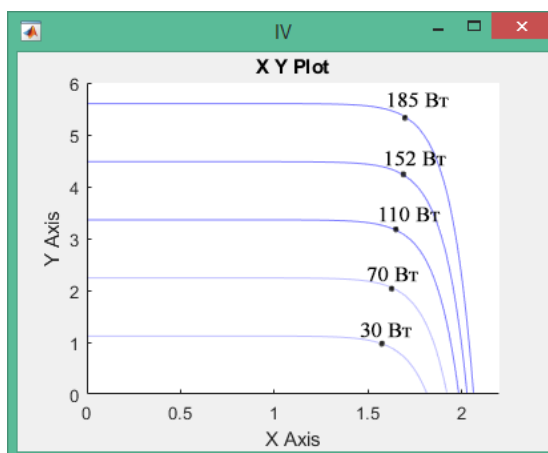


Рисунок 4.7.1 – Результати моделювання вольт-амперних характеристик сонячної панелі

На малюнку 4.7.2 показано сімейство вольт-амперних характеристик сонячного модуля ZHM 185Вт при різному рівні освітленості (200; 400; 600; 800, 1000 Вт/м²). І температурі 25°C.

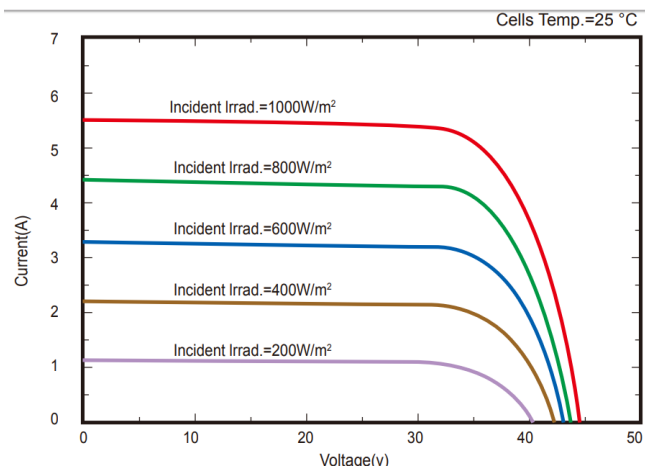


Рисунок 4.7.2 – ВАХ сонячного модуля ZHM 185Вт

Можемо зробити висновки, що отримано імітаційна модель, що дозволяє відобразити сімейство ВАХ сонячних модулів в залежності від рівня інтенсивності сонячного випромінювання і температури. Розроблена модель описує реальний сонячний модуль лише з деякою мірою наближення, з урахуванням прийнятих припущень. Спостерігаються відхилення отриманих при моделюванні вольт-амперних характеристик від експериментальних. Основною причиною відхилень є труднощі точного вимірювання послідовного і шунтуючого опорів сонячних елементів. Виявлено відповідність характеристик сонячного модуля, наданих виробником і характеристик, отриманих при моделюванні в середовищі Matlab/Simulink. Є невелика розбіжність результатів моделювання з паспортними характеристиками, що допустимо і є загальноприйнятим для інженерних розрахунків. Тим самим підтверджується адекватність запропонованої імітаційної моделі. Модель дозволяє більш точно зрозуміти, яку потужність буде виробляти сонячна панель, завдяки точному заданні сонячної радіації.

РОЗДІЛ 5

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

5.1 Загальні відомості про SCADA систему

SCADA (абр. від англ. Supervisory Control and Data Acquisition, диспетчерське управління і збір даних) – програмний пакет, призначений для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління [17].

Програмне забезпечення SCADA використовуються в промислових управліннях технологічними процесами для централізованого моніторингу насосів, рівня в резервуарах, вимикачів, температури та інше. Програма SCADA зазвичай працює на персональних комп'ютерах і має зв'язок із зовнішніми пристроями управління. Методи зв'язку здійснюються через пряме послідовне з'єднання, модем або Ethernet.

Сучасні програми систем диспетчерського управління та збору даних можуть забезпечити кращий доступ до виробничої інформації через веб-інтерфейс.

SCADA-система зазвичай містить такі підсистеми:

- 1) Людино-машинний інтерфейс (НМІ англ. Human Machine Interface) – інструмент, який подає дані про хід процесу операторові, що дозволяє контролювати і управляти ним;
- 2) Диспетчерська система (головний термінал) (MTU англ. Master Terminal Unit) – збирає дані про процес і відправляє команди процесору (керування);
- 3) Абонентський кінцевий блок (віддалений термінал) (RTU англ. Remote Terminal Unit), що під'єднується до датчиків процесу, перетворює сигнал з датчика в цифровий код і відправляє дані в диспетчерську систему;
- 4) Програмований логічний контролер (PLC англ. Programmable Logic Controller) використовується як польовий пристрій у зв'язку з вищою ніж у RTU спеціального призначення економічністю, універсальністю і гнучкістю;
- 5) Комунікаційна інфраструктура (CS англ. Communication System) призначена для реалізації промислової мережі.

Загальними для усіх функціями систем SCADA є збір поточної інформації про роботу устаткування з датчиків і контролерів; первинне перетворення зібраної інформації; збереження поточної інформації; представлення поточної інформації у вигляді гістограм, таблиць, графіків; друк звітів і протоколів про роботу; передача і введення в пристрої керування команд диспетчера; використання поточної інформації для вирішення завдань управління виробництвом; організація зв'язку з пристроями,

підключеними до інформаційної мережі.

Такі системи забезпечують: наочну інформацію про хід виробництва, відображення стану приводів і технологічного устаткування, деталізацію вибраних диспетчером частин процесу, розрахунок показників процесу в динаміці і виведення узагальненої інформації у вигляді графіків, таблиць або малюнків, розпізнавання передаварійних і аналіз аварійних ситуацій з рекомендаціями послідовності дій диспетчера, можливість управління виконавчими пристроями об'єкта з пульта диспетчера, створення архіву аварій, подій і поведінки процесу в часі, захист від недозволеного доступу до збору інформації і управління.

SCADA систем є надзвичайно ефективним способом моніторингу процесів . Вони ідеально підходять для невеликих систем, таких як клімат-контроль, але також можуть бути використані для моніторингу та контролю важливих об'єктів, наприклад атомних електростанцій.

5.2 Середовище програмування FLProg

Основною метою проекту є включення в коло користувачів плат Arduino людей незнайомих з програмуванням. Це можливо завдяки досвіду промислового програмування, який накопичувався роками виробниками промислових контролерів. Проект складається з двох частин. Перша частина це десктоп додаток FLProg - представляє собою графічне середовище програмування плат Arduino. По друге, це сайт FLProg.ru, за допомогою якого члени спільноти користувачів програми можуть спілкуватися між собою, дізнатися останні новини проекту, завантажити останню версію програми і знайти необхідну інформацію по роботі з додатком [18].

Програма FLProg дозволяє створювати прошивки для плат Arduino з допомогою графічних мов FBD і LAD, які є стандартом в області програмування промислових контролерів.

FBD (Function Block Diagram) — графічна мова програмування стандарту МЭК 61131-3. Програма утворюється зі списку ланцюгів, виконуваних послідовно зверху вниз. При програмуванні використовуються набори бібліотечних блоків. Блок (елемент) — це підпрограма, функція або функціональний блок (I, АБО, НЕ, тригери, таймери, лічильники, блоки обробки аналогового сигналу, математичні операції та ін). Кожний окремий ланцюг являє собою вираз, складений графічно з окремих елементів. До виходу блоку підключається наступний блок, утворюючи ланцюг. Усередині ланцюга блоки виконуються строго в порядку їх з'єднання. Результат обчислення ланцюга записується у внутрішню змінну або подається на вихід контролера.

Ladder Diagram (LD, LAD, PKC) — мова релейної (сходової) логіки. Синтаксис мови зручний для заміни логічних схем, виконаних на релейній техніці. Мова орієнтована на інженерів з автоматизації, які працюють на промислових підприємствах. Забезпечує наочний інтерфейс логіки роботи контролера, полегшує не тільки завдання власне програмування і введення в експлуатацію, але і швидкий пошук несправностей у підключаємого до контролера обладнанні. Програма на мові релейної логіки має наочний і інтуїтивно зрозумілий інженерам-електрикам графічний інтерфейс, який представляє логічні операції, як електричний ланцюг з замкнутими і розімкнутими контактами. Протікання або відсутність струму у цьому ланцюзі відповідає результату логічної операції (істина — якщо струм тече; false — якщо струм не тече). Основними елементами мови є контакти, які можна образно уподібнити парі контактів реле або кнопки. Пара контактів ототожнюється з логічною змінною, а стан цієї пари — зі значенням змінної. Розрізняються нормально замкнуті і нормально розімкнуті контактні елементи, які можна зіставити з нормально замкнутими і нормально розімкнутими кнопками в електричних ланцюгах.

Проект FLProg являє собою набір плат, на кожній з якої зібрано закінчений модуль загальної схеми. Для зручності роботи кожна плата має найменування і коментарі. Так само кожную плату можна згорнути (для економії місця на робочій зоні, коли робота над нею закінчена), і розгорнути. Червоний індикатор у найменуванні плати вказує на те, що в схемі плати є помилки. Приклад програми на мові FBD представлено на рис. 5.2.

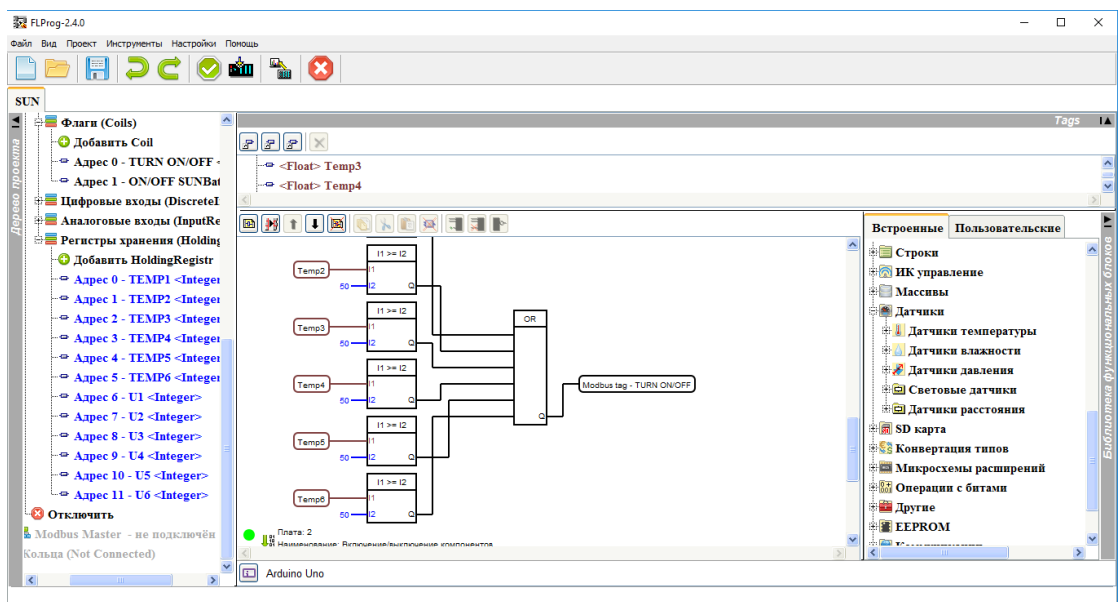


Рисунок 5.2 - Вигляд вікна програми у режимі мови FBD

Схема кожної плати збирається з функціональних блоків у відповідності з логікою роботи контролера. Більшість функціональних блоків мають можливість налаштування, за допомогою якої їх роботу можна налаштувати відповідно з необхідними в даному

конкретному випадку вимогами. Так само для кожного функціонального блоку є розгорнутий опис, який доступний в будь-який момент і допомагає розібратися в його роботі і налаштуваннях.

При роботі з програмою користувачеві немає необхідності займатися написанням коду, контролем за використанням входів — виходів, перевіркою унікальності імен і узгодженістю типів даних. За всім цим стежить програма. Так само вона перевіряє коректність проекту цілком і вказує на наявність помилок.

Для роботи з зовнішніми пристроями створено кілька допоміжних інструментів. Це інструмент ініціалізації та налаштування годинника реального часу, інструменти для читання адрес пристроїв на шинах OneWire і I2C а так само інструмент для читання і збереження кодів кнопок на ПЧ пульті. Всі певні дані можна зберегти у вигляді файлу і в подальшому використовувати в програмі.

5.3 OPC – сервер MasterOPC Universal Modbus Server

Компанія Інсат пропонує Modbus OPC сервери власної розробки для обміну з будь-яких модифікацій протоколу Modbus. Крім того, Інсат розробив надбудови над протоколом, що дозволяють обмінюватися з віддаленими пристроями по протоколу Modbus використовуючи радіо, GSM зв'язок або телефонну лінію.

Існують модифікації протоколу Modbus для послідовних інтерфейсів і для мережі Ethernet. Щоб реалізувати взаємодію Modbus-сумісних пристроїв (контролерів, систем збору даних, операторських інтерфейсів і комп'ютерів), що використовують різні фізичні інтерфейси застосовуються спеціальні апаратні рішення - конвертери RTU в TCP.

Modbus розроблений фірмою Modicon (в даний час належить Schneider Electric) для використання в контролерах з програмованою логікою. Вперше специфікація цього протоколу була опублікована в 1979 році. Це був відкритий стандарт, що описує формат повідомлень і способи їх передачі в мережі різних електронних пристроїв.

Спочатку контролери MODICON використовували послідовний інтерфейс RS-232. Пізніше почали застосовувати інтерфейс RS-485, так як він дозволяє використовувати більш довгі лінії зв'язку і підключати до однієї лінії кілька пристроїв.

Багато виробників електронного устаткування підтримали протокол Modbus, на ринку з'явилися сотні використовують його виробів. Зараз розвитком протоколу займається некомерційна організація Modbus-IDA. Вона заснована виробниками і користувачами електронних приладів.

Modbus відноситься до протоколів прикладного рівня мережевої моделі OSI. Відповідно до нього контролери взаємодіють, використовуючи клієнт-серверну модель,

засновану на транзакціях, що складаються з запиту і відповіді.

Зазвичай в мережі є тільки один клієнт - "головний" Зведення зі статусом master, і кілька серверів - «підлеглих» (статус slave) пристроїв. Головний пристрій ініціює транзакції (передає запити). Підлегли пристрої передають запитані у них дані або виробляють зазначені дії. Master може адресуватися індивідуально до slave або ініціювати передачу широкомовного повідомлення для всіх підлеглих пристроїв. Пристрій slave формує повідомлення і повертає його у відповідь на адресований саме йому запит.

Основа структури запитів і відповідей протоколу Modbus - елементарний пакет протоколу, так званий PDU (Protocol Data Unit). Структура PDU протоколу Modbus не залежить від типу лінії зв'язку і включає в себе код функції і поле даних. Код функції - це однобайтове поле. Воно може приймати значення в діапазоні 1 ... 127. Значення 128 ... 255 зарезервовані для кодів помилок. Поле даних може бути змінної довжини. Розмір пакета PDU обмежений 253 байтами. Програма має вигляд представлений на рис. 5.3.

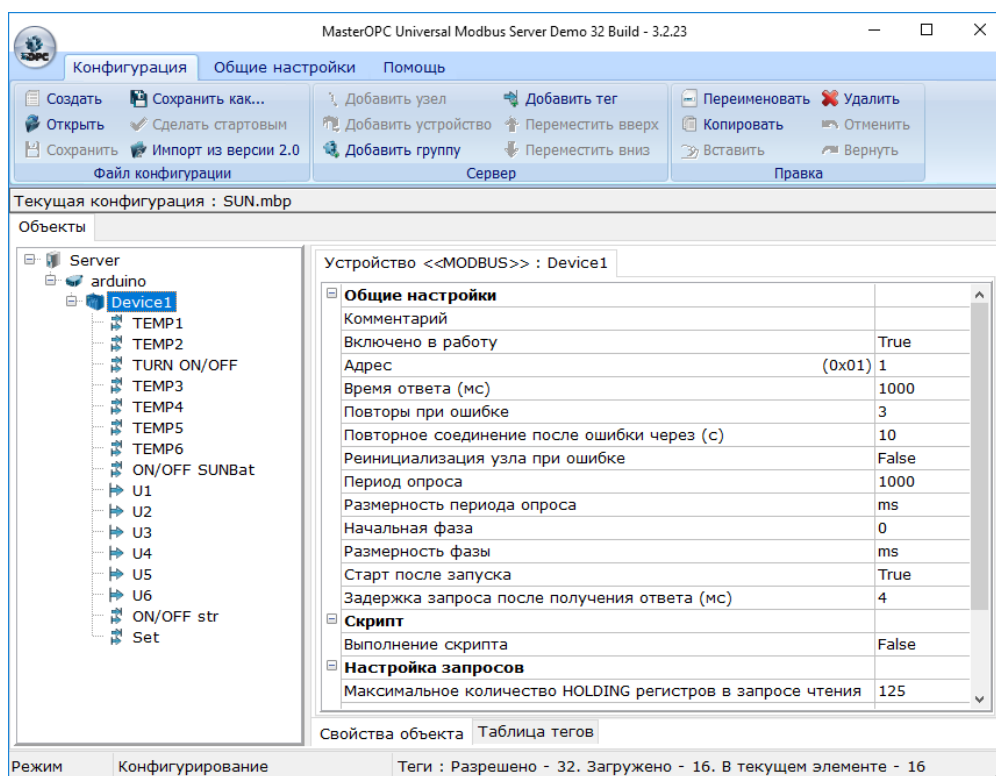


Рисунок 5.3 - Вигляд вікна програми

OPC-сервер має в своєму складі підтримку простої сценарної мови, що дозволяє проводити попередню обробку даних після їх зчитування з зовнішніх пристроїв, а також перед записом в них. Можливе використання сценаріїв для написання нових драйверів (як для протоколів, побудованих на транспорті Modbus, так і будь-яких інших), збереження архівів в SQL-сервері, написання імітаторів сигналів, обчислення непрямих параметрів, роботи з ознаками якості і т.п. Сценарії можуть використовуватися на рівні комунікаційних

вузлів, пристроїв і підпристроїв, окремих тегів. Вбудований редактор забезпечує стандартний сервіс - підсвічування ключових слів, зручну роботу з тегами і бібліотеками.

Сервер містить вбудовані засоби типових обробок: автоматичне перетворення типу значення, переклад в реальні одиниці виміру, перестановку байтів в будь-якому порядку (слова довжиною до 8 байтів), виділення бітів і т.п.

Для полегшення тиражування OPC також підтримує можливість експорту та імпорту конфігурацій пристроїв. В поставку OPC включені всі прилади фірм ОВЕН, ICP DAS і Delta Electronics працюють по протоколу Modbus (список готових конфігурацій різних пристроїв). Користувач може створювати, зберігати і поширювати власні бібліотеки пристроїв.

MasterOPC також підтримує роботу по каналах GSM або інший модемного зв'язку, що дозволить використовувати його в системах диспетчеризації та віддаленого збору даних. Для роботи в радіомережах і інших мережах, які потребують додаткової адресації пристрої передачі, можливе використання лідируючого префікса перед кадрами Modbus.

У режимі виконання сервер дозволяє вести діагностичне трасування обміну з пристроями, а також показує повідомлення від драйвера або від призначених для користувача сценаріїв.

OPC поширюється в 4 редакціях відрізняються кількістю доступних тегів - 32, 500, 2500, безлімітна. Версія на 32 точки поширюється безкоштовно. Її можна скачати за посиланням : <http://www.masteropc.ru/prices/info.php?pid=6944>.

Основні характеристики Modbus Universal MasterOPC сервера

- зв'язок з Modbus RTU / ASCII мережею по виділеній лінії, використовуючи послідовний інтерфейс RS-232C або RS-485;
- зв'язок через TCP / IP, в тому числі Modbus TCP;
- зв'язок в режимі "Modbus поверх TCP". Даний режим призначений для роботи через конвертери Ethernet в RS-232 / RS-422 / RS-485;
- режим TCP Server - OPC сервер очікує вхідних TCP підключень на певний порт і встановлює з'єднання. Працює з GPRS шлюзами без застосування статичних IP адрес;
- зв'язок з пристроями по протоколах Modbus RTU / ASCII / TCP в режимі Slave (ведений);
- опитування пристроїв через GSM модем. Відправка SMS повідомлень;
- конфігурація ієрархічного адресного простору доступних сервера змінних;
- моніторинг значень змінних;
- віддалений доступ до сервера через DCOM;
- підключення одночасно до декількох пристроїв;
- робота одночасно з декількома клієнтами;

5.4 Середовище візуалізації SCADA SimPLight

SimPLight - програмний продукт, створений для простого і доступного рішення для побудови АСУТП, збору даних і візуалізації технологічних процесів. Дане програмне забезпечення використовується для диспетчеризації різних автоматизованих об'єктів.

Пакет скада системи SIMPLight складається з декількох взаємодоповнюючих функціональних модулів: редактор каналів, монітор, редактор мнемосхем, менеджер проектів, редактор скриптів. Завантажити безкоштовну версію програми можна за посиланням: <https://simplight.ru>.

5.4.1 Редактор каналів

Редактор каналів (рис. 5.4.1) призначений для роботи з OPC серверами, каналами, призначеними для користувача проектами, а також із загальними настройками використання SIMPLight.

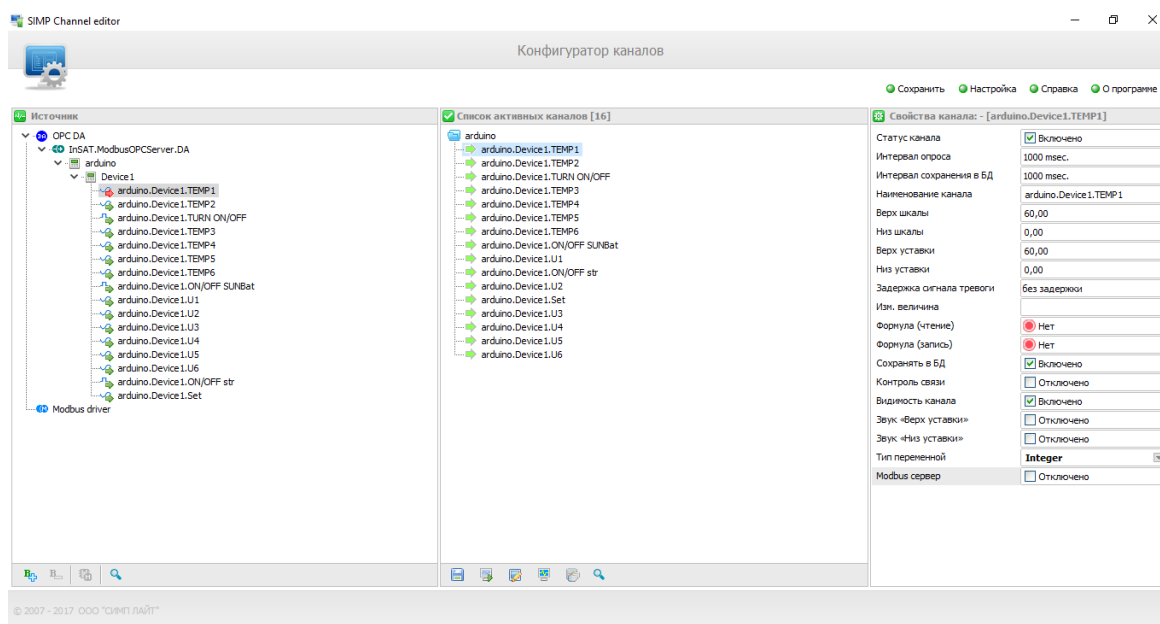


Рисунок 5.4.1 – Редактор каналів

1) Робота з OPC серверами

Редактор каналів відображає список наявних OPC серверів, пристроїв нижнього рівня, які називаються каналами або тегами, а також приладів або груп каналів. Користувач може вибрати режим видимості серверів і каналів, додавати або видаляти канали на робочому сервері, а також змінювати активність каналу, тобто його наявність в процесі моніторингу і збору даних. Безкоштовна версія SIMPLight володіє обмеженнями за кількістю відображуваних серверів і каналів.

2) Робота з каналами

Найбільш важлива частина функціональності Редактора каналів - це заповнення так званого паспорта каналу, в рамках якого задаються:

- допустима нижня і верхня межа значення каналу;
- тип змінної, яку читає з каналу;
- режим відображення в програмі моніторингу поточного стану;
- найменування каналу і т.д.

Редактор каналів підтримує два типи каналів: фізичний (для реальних пристроїв нижнього рівня) і віртуальний (для моделювання технологічних процесів). Значенням віртуального каналу можна маніпулювати за допомогою програмованого скрипту, який визначає процедуру обчислення значення каналу.

3) Робота з проектами

Редактор каналів дозволяє зберегти всі зміни в профілі проекту, а також забезпечує швидке перемикання між модулями для зміни і перегляду інформації про поточний проект.

4) Налаштування редактора каналів

Редактор каналів служить для налаштування загальних властивостей пакета SIMP Light. Найбільш важливою частиною функціональності в цьому розділі є можливість встановлення пароля для обмеження несанкціонованого доступу до додатків SIMP Light.

5.4.2 Монітор SIMP Light

Монітор SIMP Light призначений для перегляду оперативної інформації про стан каналів OPC сервера.

1) Робота з активними каналами

Список активних каналів OPC сервера і їх значень завжди відображається в головному вікні Монітора. Активність каналу встановлюється в редакторі каналів SIMP Light і визначає його наявність в процесі моніторингу і збору даних. Безкоштовна версія SIMP Light володіє обмеженнями за кількістю доданих каналів.

2) Робота з критичними значеннями

Найбільш важлива частина функціональності Монітору - це контроль і оповіщення користувача (диспетчера пристроїв) про те, що стан каналу наближається до нижньої чи верхньої допустимої межі значень. Сповіщення завжди заносяться в журнал тривоги. Також, критичні стани можуть квітіроваться (відслідковуватися користувачем).

3) Робота з мнемосхемою

Монітор можна перемкнути в режим спостереження за поточним станом мнемосхеми проекту. Мнемосхема відображає пристрої сервера у вигляді графічних компонент. Користувач може змінювати стан параметрів мнемосхеми і переглядати тренди (графіки значень) каналів.

4) Робота з журналом сповіщень

Журнал повідомлень служить для запису інформації про дату, час і відстеження

критичних станів каналу. Журнал ведеться автоматично.

5) Перехід до модуля перегляду графіків

6) Налаштування монітору

Головне меню Монітору служить для того, щоб перемикатися між різними видами подання поточної інформації про канал: мнемосхема, журнал тривоги і модуль перегляду графіків.

Було розроблено 3 екрани моніторингу. Екран трендів представлений на рис. 5.4.2.1 та екран подій представлений на рис. 5.4.2.2.

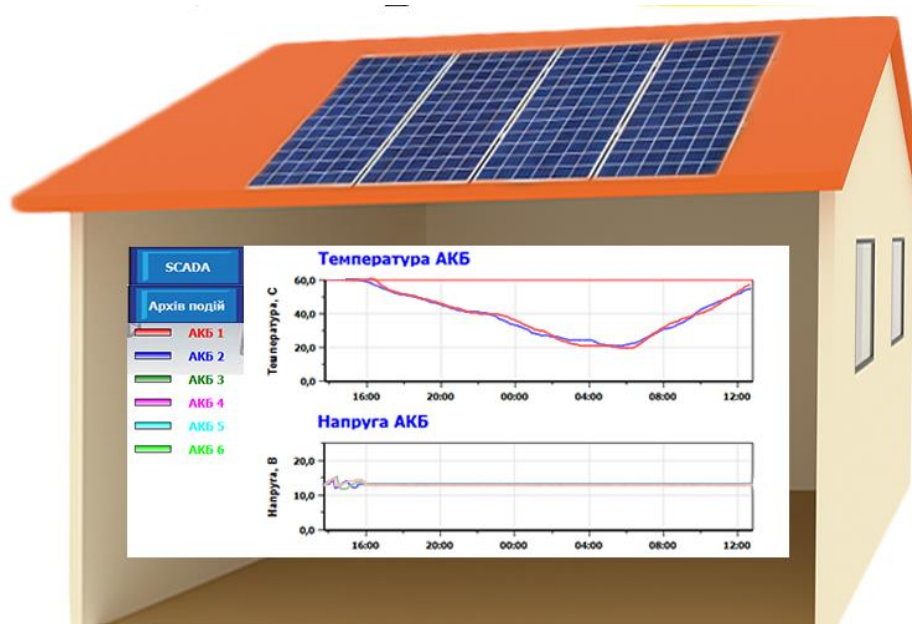


Рисунок 5.4.2.1 – Вигляд екрану трендів

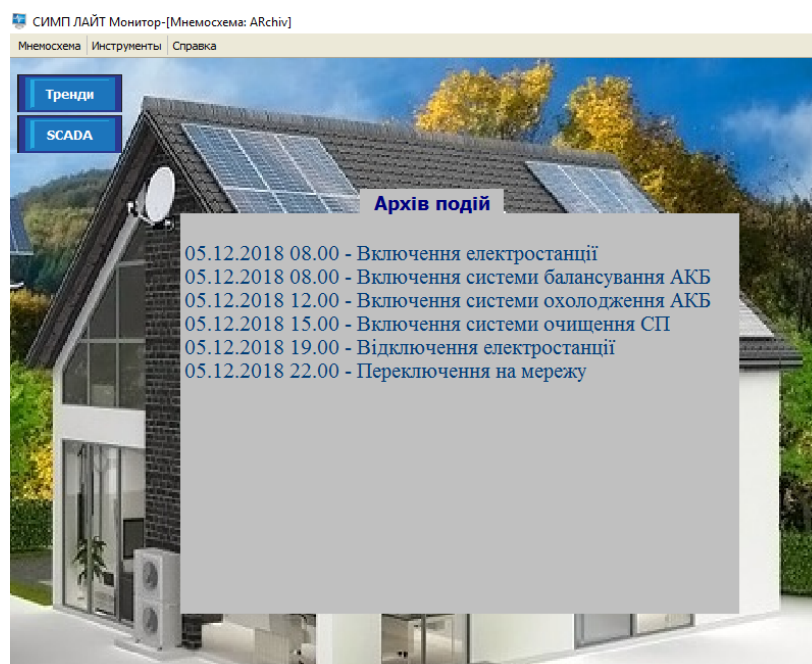


Рисунок 5.4.2.2 – Вигляд екрану подій

5.4.3 Редактор мнемосхем SIMP Light

Редактор мнемосхем призначений для створення і редагування графічного представлення зовнішніх пристроїв, підключених до OPC сервера (мнемосхем).

Всі мнемосхеми SIMP Light зберігаються у вигляді окремих файлів. Редактор мнемосхем дозволяє їх створювати, відкривати, редагувати і зберігати.

Редактор мнемосхем дозволяє використовувати такі графічні компоненти як: труби, фігури, індикатори, тренди, зображення, компоненти дати і часу, компоненти управління.

Режим установи мнемосхем служить для тестування функціональності мнемосхеми і зв'язку окремих компонент.

Режим емуляції служить для тестування працездатності і коректності налаштувань мнемосхеми. Режим емуляції дозволяє записати в канал фіксоване значення або включити генератор значень. У режимі генератора на всі канали, пов'язані з компонентами мнемосхеми, подається один і той же сигнал в заданих межах. Поточне значення збільшується з кроком 1, починаючи з зазначеного мінімуму, до тих пір поки значення в каналі не досягне зазначеного максимуму. Потім значення починає зменшуватися з кроком 1 і так далі. Такий сигнал називається пилкоподібним. Створений людино-машинний інтерфейс для системи диспетчеризації сонячної електростанції малої потужності представлений на рис. 5.4.3.

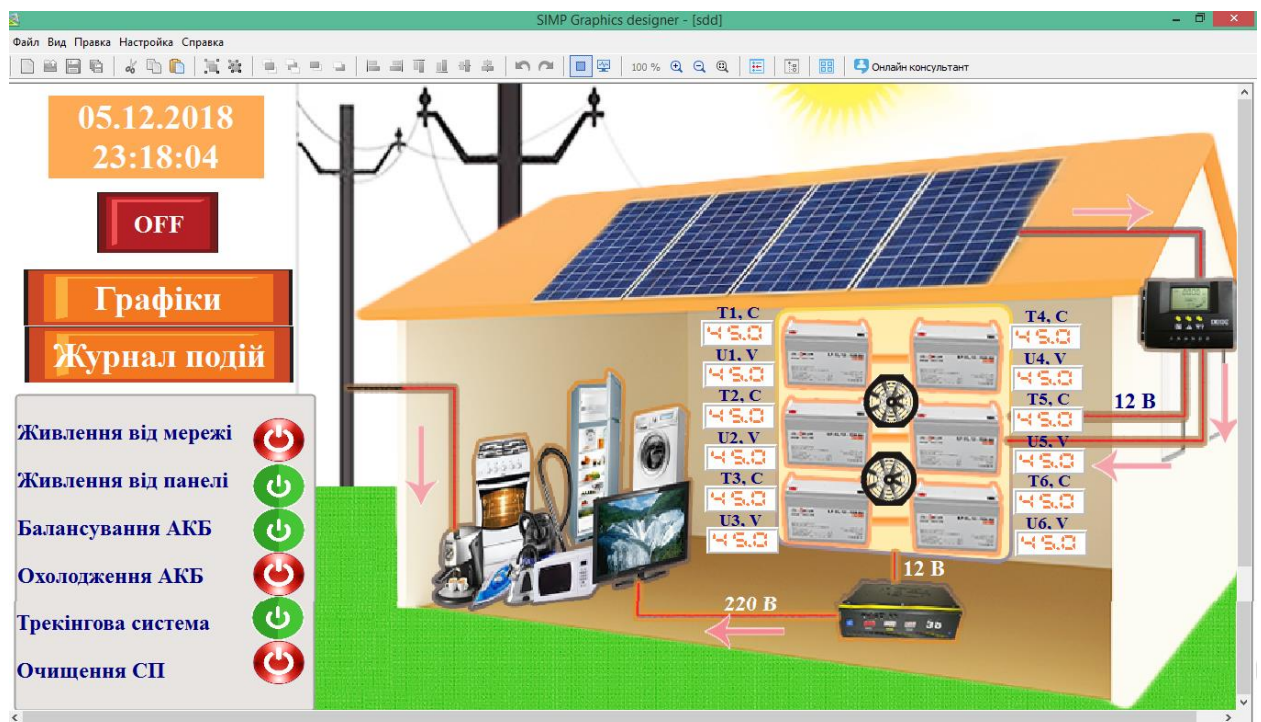


Рисунок 5.4.3 – Людино-машинний інтерфейс для системи диспетчеризації сонячної електростанції

ВИСНОВКИ

В першому розділі дипломної роботи особливу увагу було звернено на детальне вивчення альтернативної енергетики та принципу роботи сонячної електростанції. За даною проблемою було знайдено та проаналізовано декілька патентів, на основі яких було розроблено свою систему автоматичного керування.

В запропонованій системі енергія може використовуватися як безпосередньо різними навантаженнями постійного струму, так і запасатися в акумуляторних батареях для подальшого використання при необхідності. Разом з цим розглянута робота системи при піковому навантаженні, коли додаткове живлення забезпечується сумою струмів від сонячної батареї і від акумулятора. Для отримання 220В змінного струму використовуються перетворювачі постійного струму в змінний струм – модель інвертора. Запропоновані результати зменшують витрати на обслуговування, повністю виключають витрати на паливо і головне – зменшують викиди в атмосферу шкідливих речовин.

В результаті аналізу типів та характеристик сонячних електростанцій, в другому розділі було розроблено основні схеми автоматизації. Оскільки продуктивність роботи сонячних панелей безпосередньо залежить від кількості одержуваної сонячної енергії, тобто від часу доби, перша задача полягала в удосконаленні існуючих рішень позиціонування сонячних панелей відносно сонця. Дану проблему вирішено за допомогою трекінгової системи, при використанні якої максимального значення генерації електрики досягається в момент, коли робоча поверхня сонячних модулів (пластин) розташовується перпендикулярно потоку сонячного випромінювання.

Оскільки одними з найдорожчих елементів сонячної електростанції є саме акумуляторні батареї, вони потребують особливої уваги. Головними задачами для підтримання їх в працюючому стані є їх правильна температура, щоб не допустити перегріву та виходу з ладу акумуляторів. Саме для вирішення цієї проблеми було використано вентиляційну шафу, що має жорсткий корпус який утворює робочу камеру, два вентилятори, розміщені у верхній частині, для обдуву елементів охолодження та повітропровід для виводу нагрітого повітря з шафи. Розроблена програма симуляції дозволяє задати порогові значення температури акумуляторів, при яких автоматично буде ввімкнена вентиляція для охолодження АКБ.

Іншою задачею є правильний заряд АКБ, для вирішення якої в четвертому розділі кваліфікаційної роботи було розроблено математичну модель системи балансування заряду акумуляторів, в середовищі Matlab Simulink. На підставі моделі отримані результати, які якісно відображають роботу розробленої системи. Розроблена модель починає процес вирівнювання напруги, коли різниця в напрузі між акумуляторами досягає 100 мВ, шляхом

зменшення струму заряду, що подається на акумулятор з більш високою напругою, перенаправляючи його на акумулятор зі зниженою напругою, поки напруга не вирівняється. Показано, що застосування такої системи забезпечує стабільну вихідну потужність, підвищує продуктивність масиву, і продовжує термін служби акумуляторів.

Також, за допомогою інструментів моделювання, на основі відомих технічних характеристик сонячних модулів, було побудовано математичну імітаційну модель зняття вольт-амперних характеристик при різних рівнях освітленості. Показано, що результати моделювання сходяться з реальними характеристиками, наданими виробником. Тим самим підтверджується адекватність запропонованої імітаційної моделі, яка дозволяє більш точно зрозуміти, яку потужність буде виробляти сонячна панель.

В п'ятому розділі дипломної роботи було розроблено людино-машинний інтерфейс для системи диспетчеризації сонячної електростанції малої потужності. За допомогою SCADA-системи, відбувається збір інформації про технологічний процес, зберігається історія управління сонячною електростанцією, попереджається поява аварійних ситуацій.

Розроблена сонячна електростанція малої потужності призначена для часткового енергоспоживання та економії витрат. Пропонована система не зможе повністю забезпечити вас електроенергією, але в випадку аварійного відключення електроенергії, при умові повністю заряджених акумуляторів, зможе забезпечити енергією ваш дім протягом дня.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сонячна енергетика [Електронний ресурс]: Режим доступу до ресурсу: https://pidruchniki.com/1579122737970/ekologiya/sonyachna_energetika – Загол. з титул екрану. – Мова: укр.
2. Енергозбереження в Україні [Електронний ресурс]: Монографія / Д. В. Зеркалов. – Електрон. дані – Режим доступу до ресурсу: <http://zerkalov.org/files/ezu-mz.pdf#4> – Загол. з титул екрану. – Мова: укр.
3. Особливості гелевих акумуляторів [Електронний ресурс]: Режим доступу до ресурсу: <https://kgrant.ru/uk/how-to-fill-the-gel-battery-how-to-properly-charge-the-gel-battery/> – Загол. з титул екрану. – Мова: рос.
4. Типи сонячних електростанцій [Електронний ресурс]: Режим доступу до ресурсу: <http://nek-npo.ru/novaya-energetika/solnechnaya-energetika/typy-solnechnyh-elektrostantsii> – Загол. з титул екрану. – Мова: рос. – Перевірено: 14.12.2015.
5. Автоматика і автоматизація технологічних процесів: підручник / Т. Б. Головки, К. Г. Рего, Ю. О. Скрипник.– К. : Либідь, 1997.– 232 с.
6. Виконання електричних схем по ЕСКД: довідник / С. Т. Усатенко, Т. К. Каченюк, М. В. Терехова.– М. : Видавництво стандартів, 1989.– 325 с.
7. Клименко Б.В. Комутаційна апаратура, апаратура керування, запобіжники. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. – Харків: Талант, 2008. – 208 с.
8. Принципи роботи хімічних джерел струму [Електронний ресурс]: Режим доступу до ресурсу: <https://ukrbukva.net/page,6,122328-Principyu-raboty-himicheskikh-istochnikov-toka.html> – Загол. з титул екрану. – Мова: укр.
9. В.І.Іванчура, А.В. Чубарь, С.С. Пост. Енергетичні моделі елементів автономних систем електропостачання / Журнал СФУ. Техніка та технології. №2.2014.– С.179-190.
10. Develop battery management systems with Simulink [Electronic resource]: Available at: <https://www.mathworks.com/discovery/battery-management-system.html> (дата звернення 11.03.2018). Мова: англ.
11. Series and Parallel Battery Configurations [Electronic resource]: Available at: https://batteryuniversity.com/learn/article/serial_and_parallel_battery_configurations (accessed 26 May 2018). Мова: англ.
12. Морозько О.А. Matlab simulation and user satisfaction assessment of PHEV. / О.А.Морозько, Ю.Н.Петренко. [Електронний ресурс]. – 2015 – Режим доступу до ресурсу: <https://rep.bntu.by/handle/data/12043>. – 6. с.
13. Lijun Zhang, Hui Peng. Comparative Research on RC Equivalent Circuit Models for

- Batteries of Electric Vehicles. Applied sciences. Received: 18 August 2017. Мова: англ.
14. Васильєв А.М., Ландсман А.П. Напівпровідникові фотоперетворювачі. М., 1976.
 15. Основні характеристики сонячних модулів: метод. вказівки / Д.С. Фалєєв, 2013.
 16. Л.С. Лунін, А.С. Пашенко. Моделювання та дослідження характеристик фотоелектричних перетворювачів на основі GaAs та GaSb / Журнал технічної фізики, 2011, том 81, вип. 9. – С.71-76.
 17. Загальні відомості про системи диспетчерського управління та збору даних – системи SCADA [Електронний ресурс]: Режим доступу до ресурсу: <http://dss-bi.com.ua/sitelab9/blog/hello-world/> – Загол. з титул екрану. – Мова: укр.
 18. FLProg - альтернативне середовище програмування Arduino. Опис проекту. [Електронний ресурс]: Режим доступу до ресурсу: <http://it-ua.info/news/2014/11/05/flprog-alternativna-seredovische-programuvannya-arduino-opis-proektu.html#cut/> – Загол. з титул екрану. – Мова: укр.

ДОДАТОК А

Конструкторська документація

СУ.м-71 151.С1 – Сонячна електростанція малої потужності. Схема структурна.

СУ.м-71 151.С2 – Сонячна електростанція малої потужності. Схема функціональна.

СУ.м-71 151.С6.1 – Сонячна електростанція малої потужності. Схема електрична розрахункова.

СУ.м-71 151.С6.2 – Сонячна електростанція малої потужності. Схема електрична розрахункова.

СУ.м-71 151.СА – Сонячна електростанція малої потужності. Конструкція для установки акумуляторних батарей.

ДОДАТОК Б

(довідниковий)

Технічний опис мікроконтролера Maple Mini

Технічні характеристики

1. MCU: STM32F103RCBT6, 32-бітний ARM Cortex M3 мікропроцесор
2. Тактова частота: 72 МГц
3. 128 КБ Flash флеш і 20 КБ SRAM
4. 34 цифрових входів / виходів (GPIOs)
5. 12 PWM пінів на 16 біт
6. 9 аналогових входів (АЦП) на 12 біт
7. 2 SPI периферійних пристроїв
8. 2 I2C периферія
9. 7 каналів прямого доступу до пам'яті (DMA) (dma.h)
10. 3 USART (послідовний порт) периферійні пристрої
11. 1 розширених і 3 таймерів загального призначення
12. Виділений порт USB для програмування і зв'язку
13. JTAG
14. Ущільнений вектор переривань (NVIC)
15. Постійний струм до 500 мА при 3,3 В, зокрема 250 мА цифровими і аналоговими регуляторами для зниження рівня шуму аналогового виконання
16. Відкритий вихідний код, дизайн чотири шари
17. Підтримка малої потужності, сну і режиму очікування (<500 мкА)
18. Робоча напруга: 3,3 В
19. Вхідна напруга (рекомендується): 3 В - 12 В

PIN карта

В таблиці Б1 наведено зведення доступних функції на кожному GPIO контакту, за допомогою периферійного типу.

Таблиця Б1 - Доступні функції на кожному контакті мікроконтролера

Pin	GPIO	ADC	Timer	I2C	UART	SPI	5 V
D0	PB11	•	•	2_SDA	3_RX	•	Yes
D1	PB10	•	•	2_SCL	3_TX	•	Yes
D2	PB2	•	•	•	•	•	Yes

Продовження додатку Б

Pin	GPIO	ADC	Timer	I2C	UART	SPI	5 V
D3	PB0	CH8	3_CH3	•	•	•	•
D4	PA7	CH7	3_CH2	•	•	1_MOSI	•
D5	PA6	CH6	3_CH1	•	•	1_MISO	•
D6	PA5	CH5	•	•	•	1_SCK	•
D7	PA4	CH4	•	•	2_CK	1_NSS	•
D8	PA3	CH3	2_CH4	•	2_RX	•	•
D9	PA2	CH2	2_CH3	•	2_TX	•	•
D10	PA1	CH1	2_CH2	•	2_RTS	•	•
D11	PA0	CH0	2_CH1 _ETR	•	2_CTS	•	•
D12	PC15	•	•	•	•	•	•
D13	PC14	•	•	•	•	•	•
D14	PC13	•	•	•	•	•	•
D15	PB7	•	4_CH2	1_SDA	•	•	Yes
D16	PB6	•	4_CH1	2_SCL	•	•	Yes
D17	PB5	•	•	1_SMBA	•	•	•
D18	PB4	•	•	•	•	•	Yes
D19	PB3	•	•	•	•	•	Yes
D20	PA15	•	•	•	•	•	Yes
D21	PA14	•	•	•	•	•	Yes
D22	PA13	•	•	•	•	•	Yes
D23	PA12	•	1_ETR	•	1_RTS	•	Yes

Продовження додатку Б

Pin	GPIO	ADC	Timer	I2C	UART	SPI	5 V
D24	PA11	•	1_CH4	•	1_CTS	•	Yes
D25	PA10	•	1_CH3	•	1_RX	•	Yes
D26	PA9	•	1_CH2	•	1_TX	•	Yes
D27	PA8	•	1_CH1	•	1_CK	•	Yes
D28	PB15	•	•	•	•	2_MOSI	Yes
D29	PB14	•	•	•	3_RTS	2_MISO	Yes
D30	PB13	•	•	•	3_CTS	2_SCK	Yes
D31	PB12	•	1_BKIN	2_SMBA	3_CK	2_NSS	Yes
D32	PB8	•	4_CH3	•	•	•	Yes
D33	PB1	CH9	3_CH4	•	•	•	•

Карта інтерфейсу вводу/виводу загального призначення (GPIO)

В таблиці Б2 показано, як контакти мікроконтролера пов'язані з кожним портом GPIO.

Таблиця Б2 - Доступні функції на контактах мікроконтролера

GPIOA	GPIOB	GPIOC
PA0: D11	PB0: D3	PC0: -
PA1: D10	PB1: D33	PC1: -
PA2: D9	PB2: D2	PC2: -
PA3: D8	PB3: D19	PC3: -
PA4: D7	PB4: D18	PC4: -
PA5: D6	PB5: D17	PC5: -
PA6: D5	PB6: D16	PC6: -
PA7: D4	PB7: D15	PC7: -
PA8: D27	PB8: D32	PC8: -
PA9: D26	PB9: -	PC9: -
PA10: D25	PB10: D1	PC10: -
PA11: D24	PB11: D0	PC11: -

Продовження додатку Б

GPIOA	GPIOB	GPIOC
PA11: D24	PB11: D0	PC11: -
PA12: D23	PB12: D31	PC12: -
PA13: D22	PB13: D30	PC13: D14
PA14: D21	PB14: D29	PC14: D13

Карта контактів таймерів

В таблиці Б3 показано, які виходи пов'язані із захопленням конкретного таймера / порівняння каналів.

Таблиця Б3 - Доступні функції на контактах мікроконтролера

Timer	Ch. 1	Ch. 2	Ch. 3	Ch. 4
1	D27	D26	D25	D24
2	D11	D10	D9	D8
3	D5	D4	D3	<i>D33</i>
4	D16	D15	<i>D32</i>	

Карта контактів USART

Marple Mini має три послідовні порти (відомий як USARTs). Вони обмінюються інформацією за допомогою контактів, які наведені в таблиці Б4.

Таблиця Б4 - Доступні функції на контактах мікроконтролера

Serial Port	TX	RX	CK	CTS	RTS
Serial1	D26	D25	D27	D24	D23
Serial2	D9	D8	D7	D11	D10
Serial3	D1	D0	D31	D30	D29

Карта контактів зовнішньої лінії переривань (EXTI)

В таблиці Б5 показано, які контакти підключені до лінії переривань.

Таблиця Б5 - Доступні функції на контактах мікроконтролера

EXTI Line	Pins
EXTI0	D3, D11
EXTI1	D10, D33
EXTI2	D2, D9

Продовження додатку Б

EXTI Line	Pins
EXTI0	D3, D11
EXTI1	D10, D33
EXTI2	D2, D9
EXTI3	D8, D19
EXTI4	D7, D18
EXTI5	D6, D17
EXTI6	D5, D16
EXTI7	D4, D15
EXTI8	D27, D32
EXTI9	D26
EXTI10	D1, D25
EXTI11	D0, D24
EXTI12	D23, D31
EXTI13	D14, D22, D30
EXTI14	D13, D21, D29
EXTI15	D12, D20, D28

Продовження додатку Б

На рисунку Б1 зображено розміщення контактів на платі Maple Mini і їх функціональні можливості.

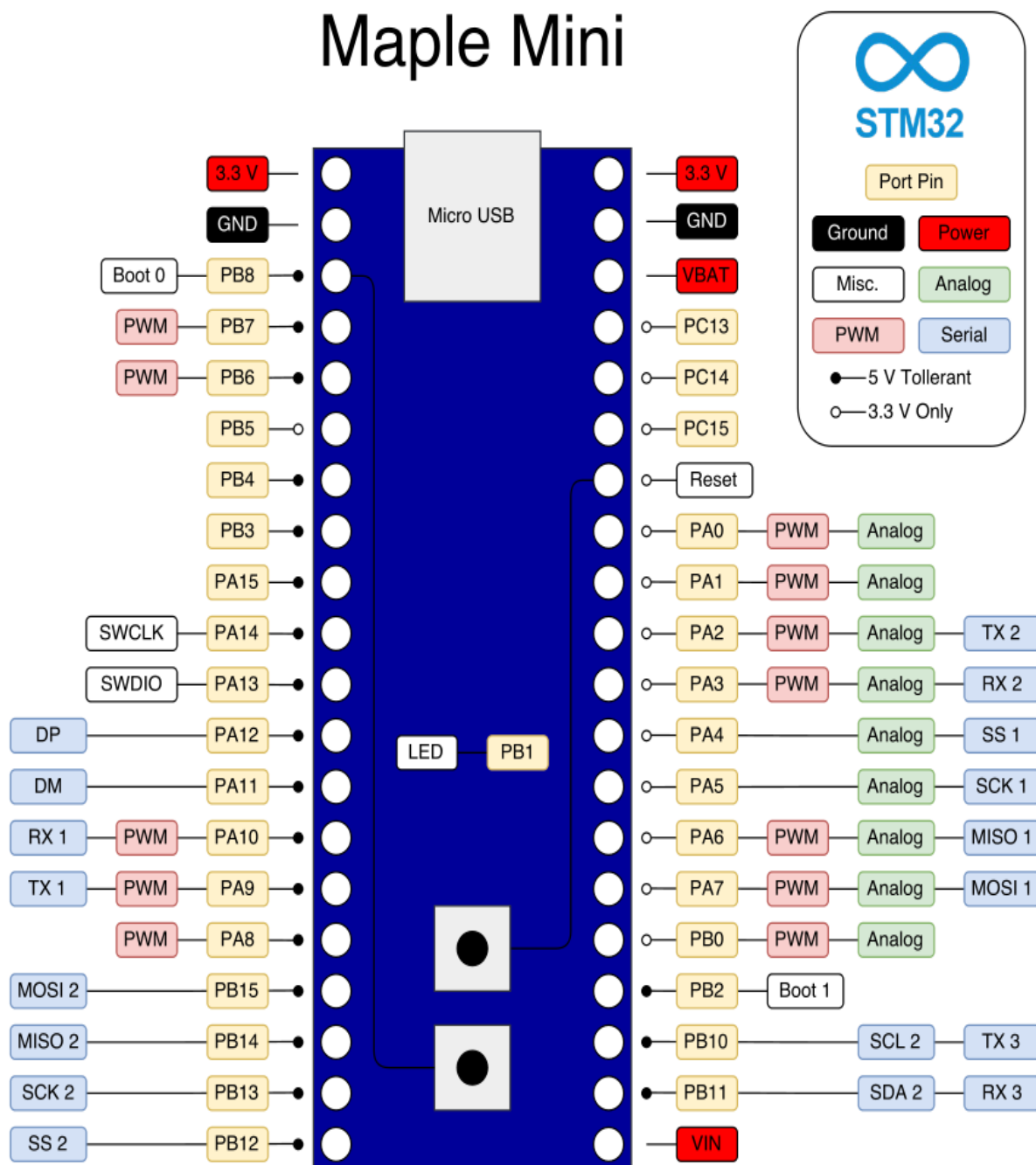
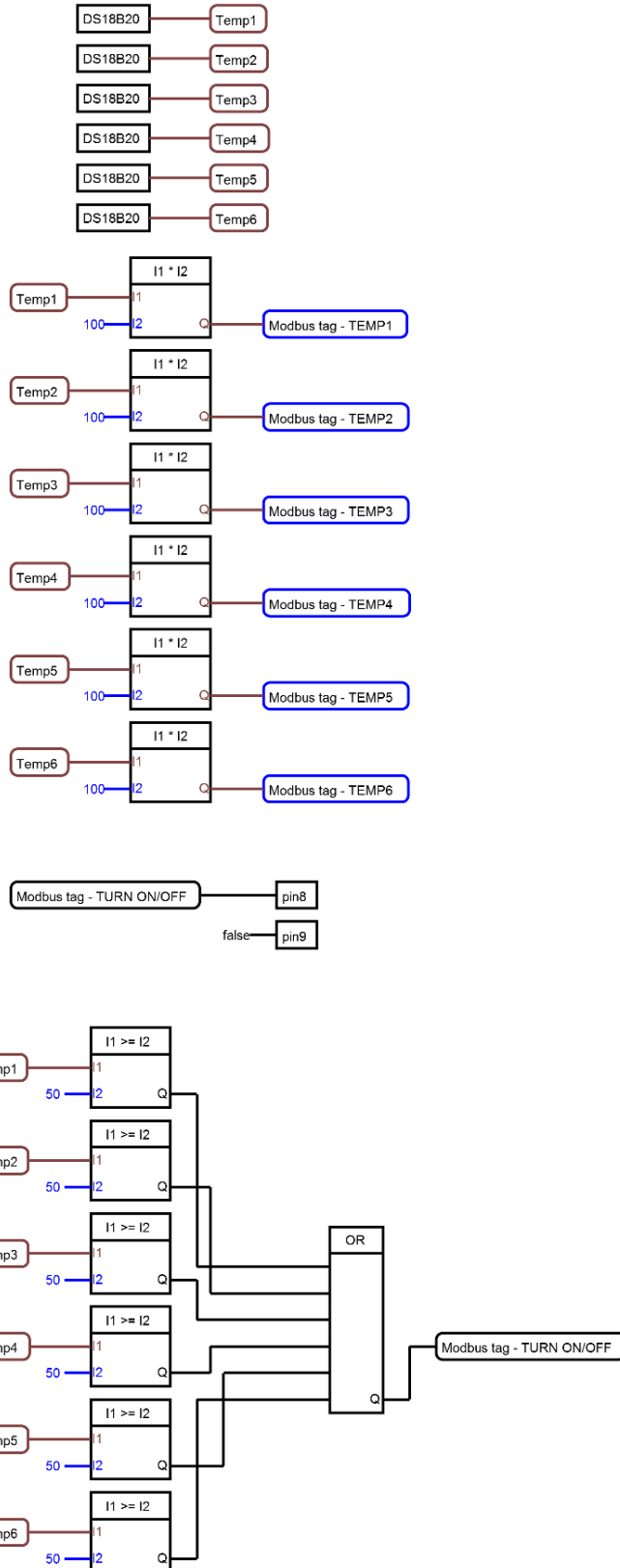


Рисунок Б.1 – Схема розміщення контактів мікроконтролера Maple Mini

ДОДАТОК В

Програма симуляції системи балансування заряду акумуляторів

Плата: 1
Найменування:
Коментарі:

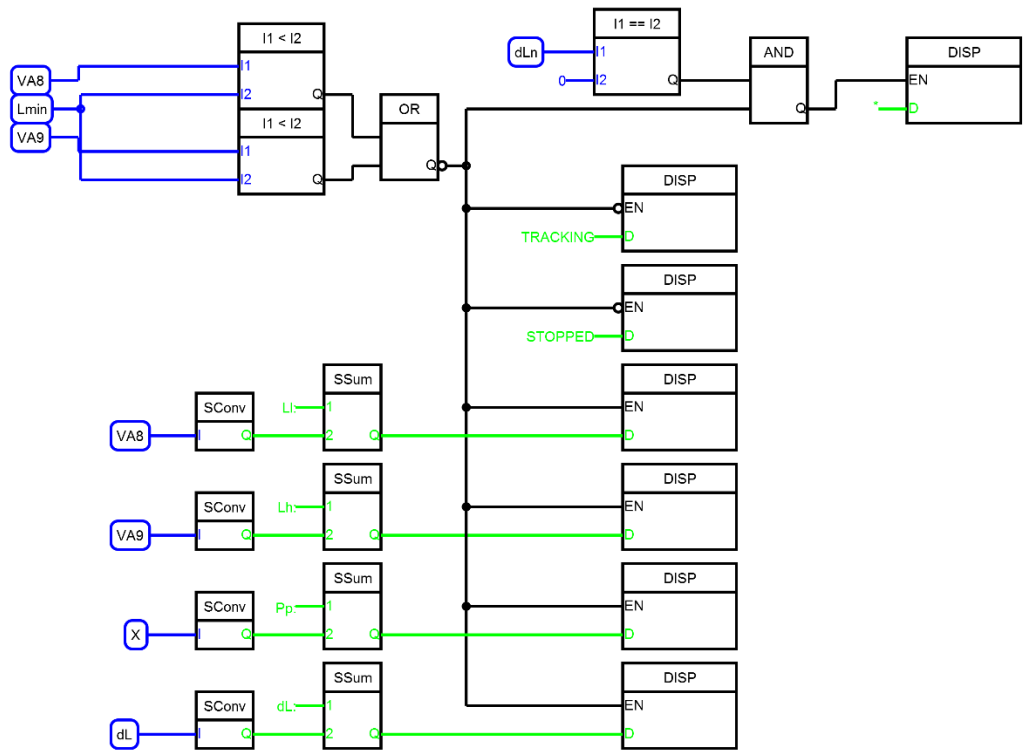


Продовження додатку В

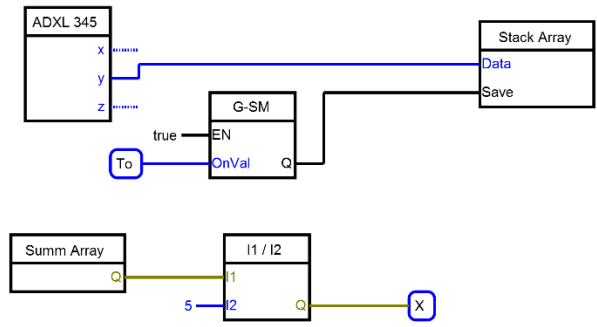
● Плата: 1
↓ Наименование:
➤ Коментарии:

input analog_stm32 input analog_stm32

● Плата: 2
↓ Наименование:
➤ Коментарии:



● Плата: 3
↓ Наименование:
➤ Коментарии:



Продовження додатку В

- Плата: 4
- ▼ Наименование:
- Комментарий:

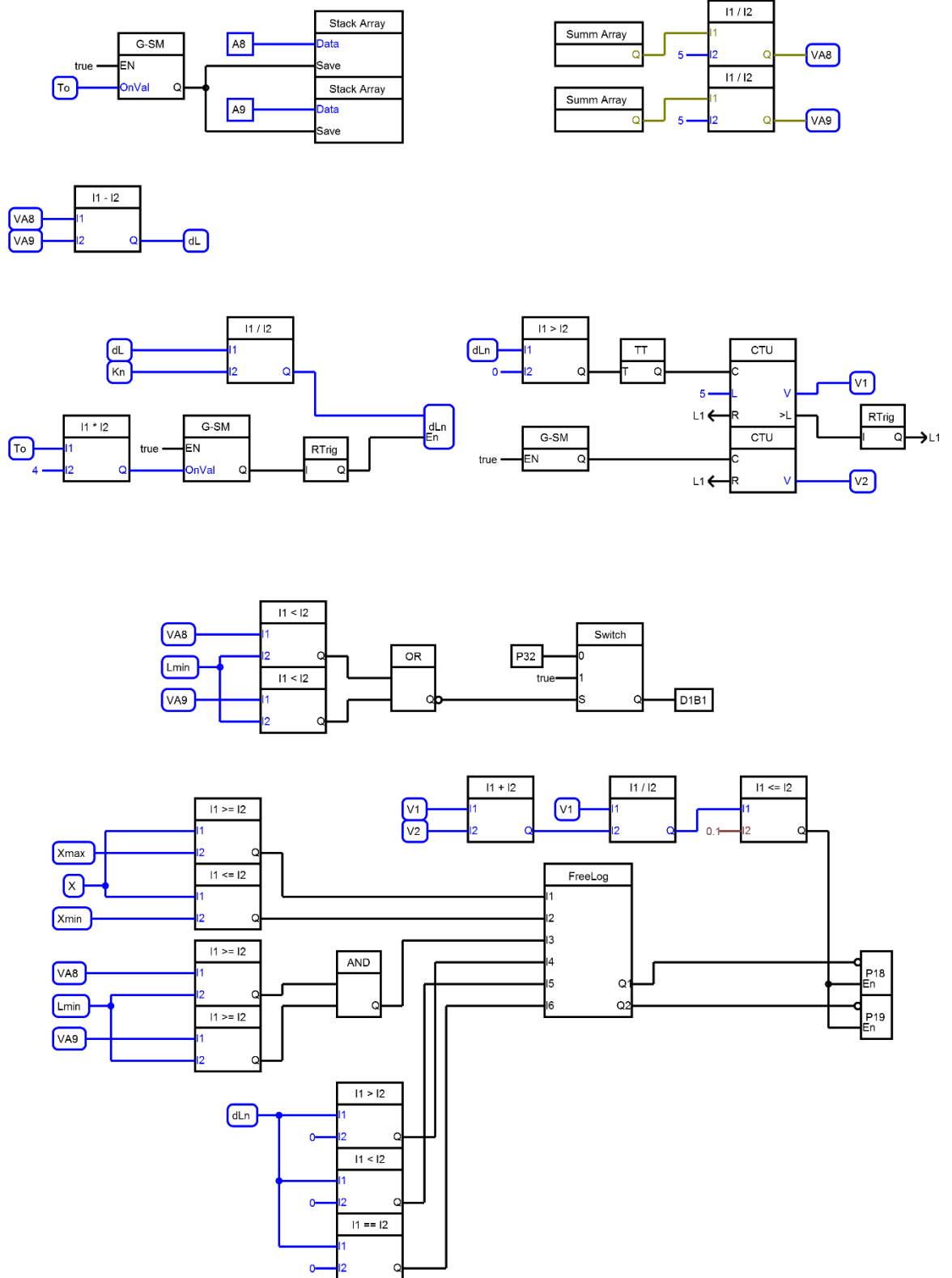
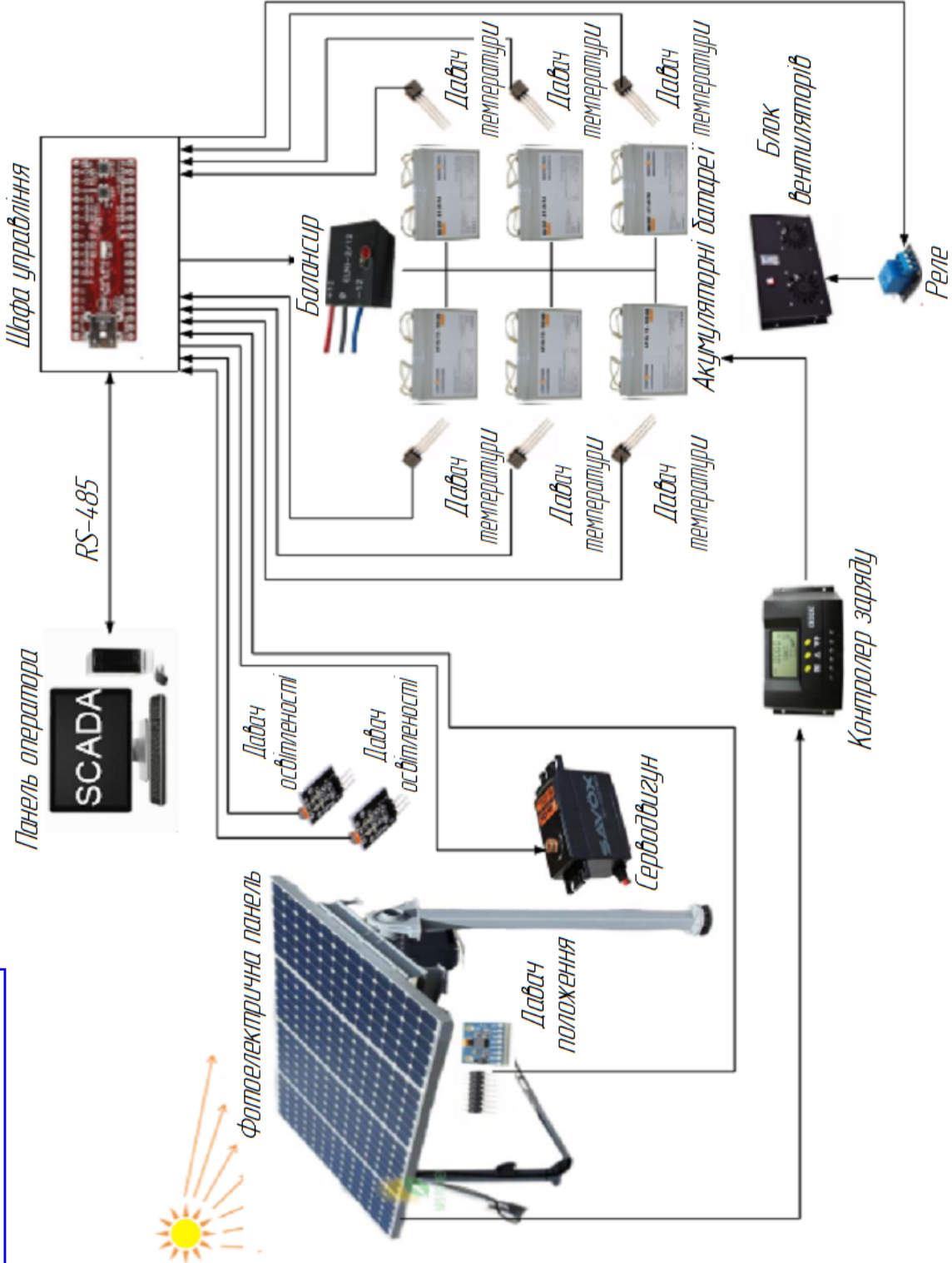


Рисунок В1 – Розроблена програма симуляції на мові FBD

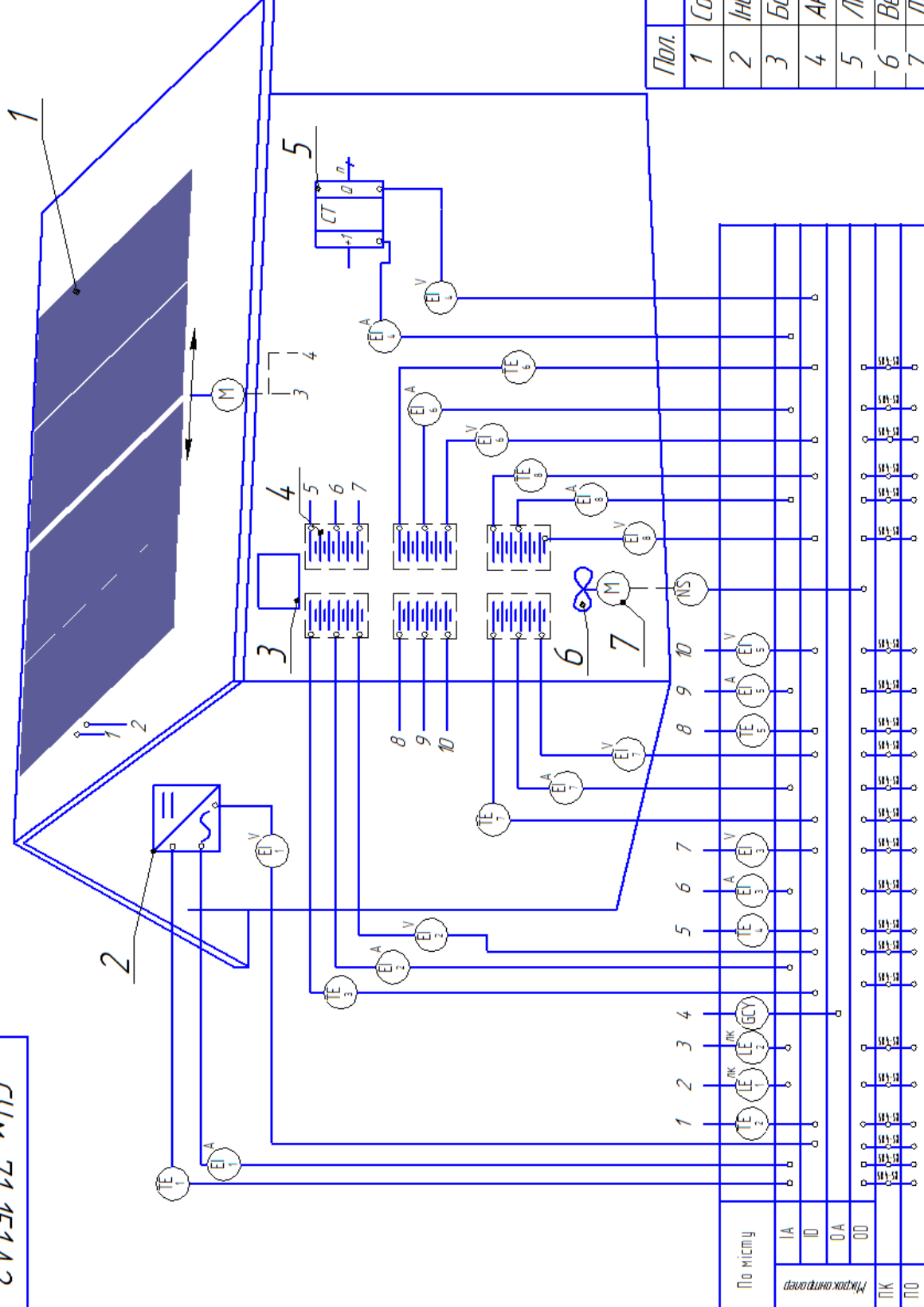
СУМ-71 151С1



СУМ-71 151С1		Лист	Масштаб
Автоматизована система керування сонячної електростанції малої потужності		Маса	1:1
Схема структурна		Лист	1

Ім'я	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Кобликів Т.М.		
Проб.		Жирба В.О.		
Т.контр.				
Н.контр.		Жирба В.О.		
Утв.		Жирба В.О.		

СУМ-71 151.A2



Пол.	Наименования
1	Сонячна панель
2	Інвертор
3	Балансир заряду АКБ
4	Акумуляторна батарея
5	Личильник
6	Вентилятор
7	Двигун

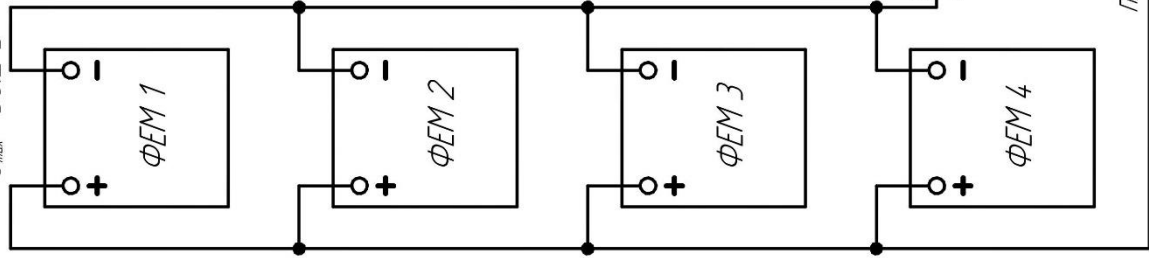
СУМ-71 151.A2	
Автоматизована система керування сонячної електростанції малої потужності	Лист
Функціональна схема автоматизації	Масштаб
	1:1
Лист 1	Листов 1
СУМДУ СУМ-71	
Формат А3	

№№ підл.	Ряди у дата	Вам ште №	№№ ште джл	Ряди у дата	Стор. №	Лист. номер
----------	-------------	-----------	------------	-------------	---------	-------------

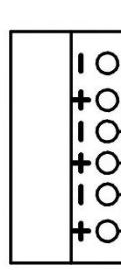
197151 LL-WFJ

Монокристалічний
фотомодуль (проект.)
ZHM 185

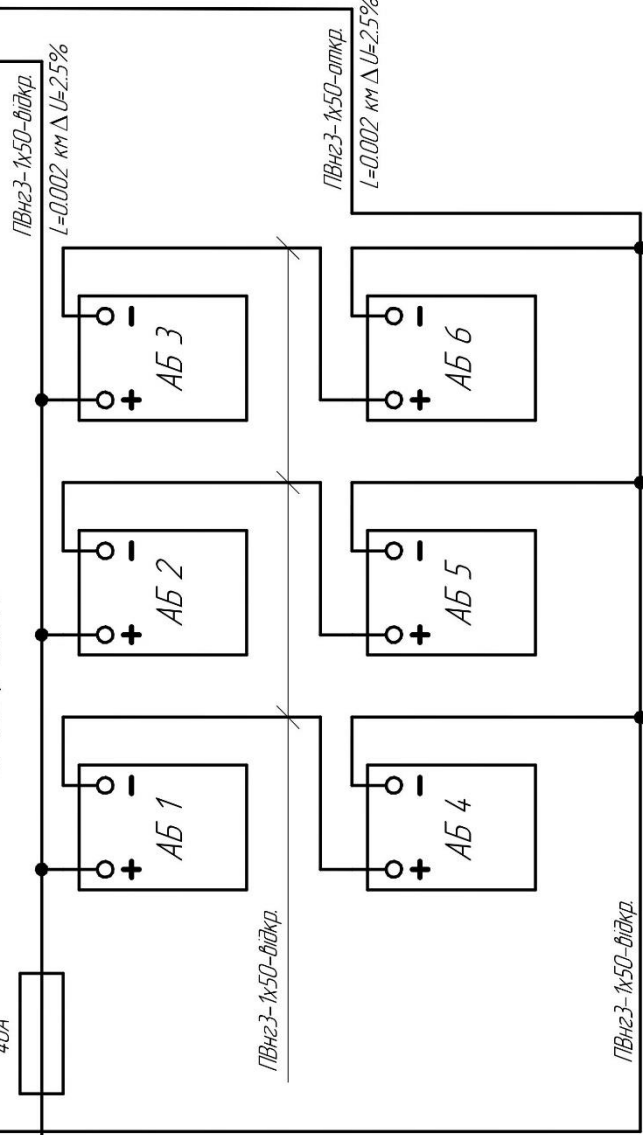
$P_{max} = 185 \text{ Вт}$
 $U_{max} = 36.2 \text{ В}$



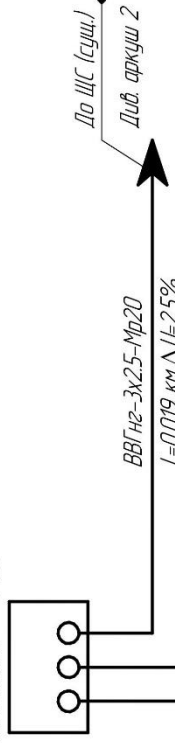
Контролер заряду
Juta SM3024Z (проект.)
 $P_{max.вход} = 780 \text{ Вт}$
 $U_{max.вход} = 150 \text{ В}$



Акумуляторна
батарея (проект.)
LP GL 12-100
 $U = 12 \text{ В}, 100 \text{ Ач}$



Пристрій резервного
електроживлення (проект.)
Інвертор FX35
 $P_{навантаження} = 2000 \text{ Вт}$
 $U_{зовнішнього джерела} = 24 \text{ В}$



До ЦС (суш.)
Доб. аркуш 2

СУМ-71 151.06.1

Ім'я/Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Разроб.	Колмакова Т.М.		
Проб.	Журба В.О.		
І.контр.			
Н.контр.	Журба В.О.		
Утв.	Журба В.О.		

Лист	Масштаб
	1:1

Лист 1	Листов 2 1
--------	------------

Автоматизована система керування
сонячної електростанції
малої потужності

СУМДУ СУМ-71

Інд. № подл.

Лист у дата

Взам. инд. №

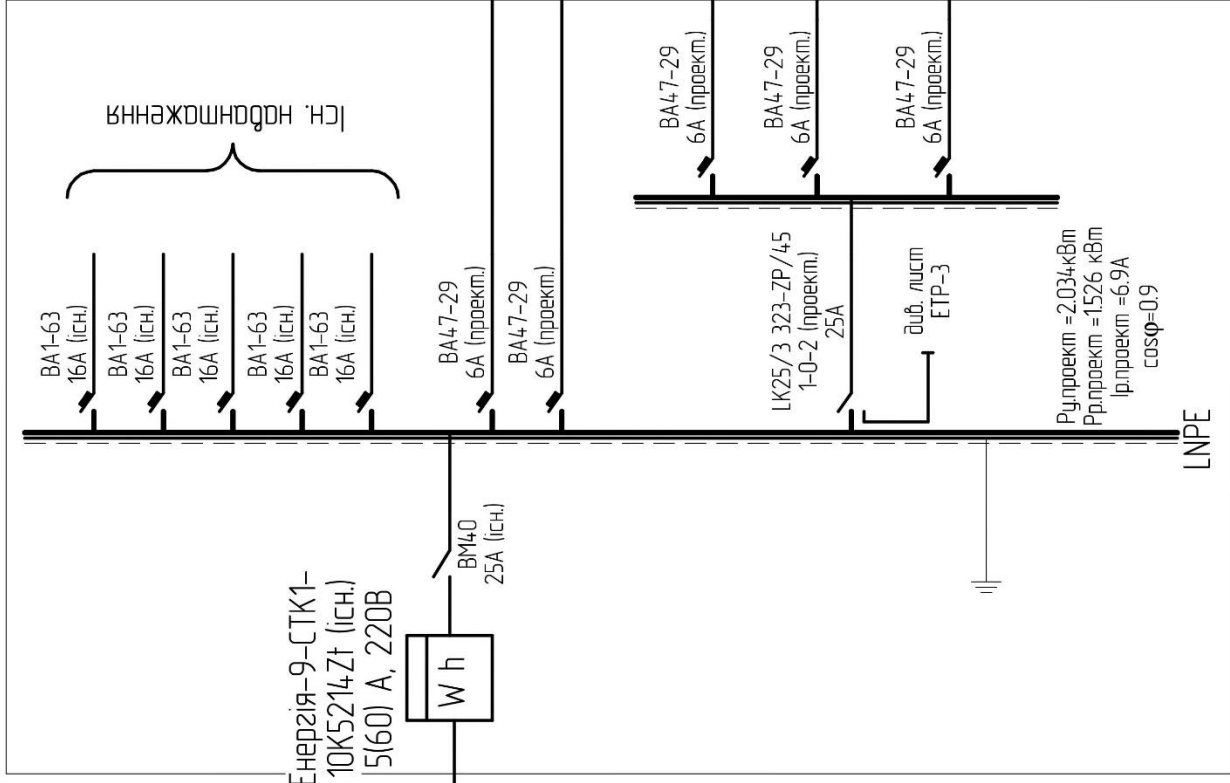
Інд. № дубл.

Лист у дата

Спроб. №

Лист. примен.

Щит силовий ЩС (існуючий)



Електроконвектор
серія "Оптима"
ряд "Економ"
ЗВНА-10/230 С2 М(М)
Рн=10кВт, Ін=3,9-4,5А

Вентилятор
100 МВТН
Рн=0,014 кВт, Ін=0,085А

Освітлення прим.

Освітлення прим.

Освітлення зовнішніх входів

СУМ-71 151.6.2

Автоматизована система керування
сонячної електростанції
малого потужності

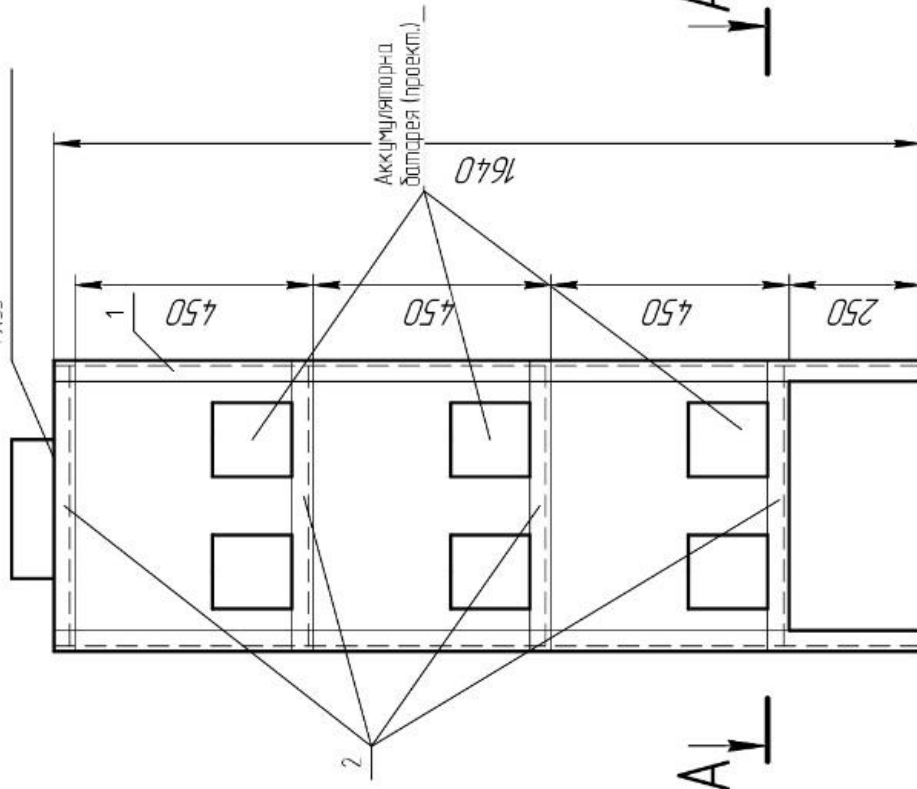
Лист	Маса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

Схема електрична розрахункова

СУМДУ СУМ-71

СУМ-71 151СА

Пристрій резервного
Електроживлення (проект)
Інвертор
FX 35



Специфікація на сварну конструкцію

№ поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Маса, кг	Примітки маса всіх, кг
1		Кутячок 50x50x5 L-1640	4	6,2	24,8
2		Кутячок 4,0x4,0x4 L-550	8	1,4	11,2
3		Кутячок 4,0x4,0x4 L-370	8	0,89	7,16
		Всього	22	8,49	43,16

СУМ-71 151СА

Мат. Аст.	№ докум.	Лист	Дата	Лист	Маса	Максимум
Разроб.	Колмаєва Т.М.					1:1
Проб.	Жирда В.О.					
Т.контр.						
Нормир.	Жирда В.О.					
Утв.	Жирда В.О.					
Автоматизована система керування сонячної електростанції малої потужності				Лист	Листів	1
Конструкція для установки акумуляторних батарей				СУМДУ СУМ-71		

A-A

Мат. № подл.	Лист, у дата	Взам. чин. №	Инд. № дудл	Лист, у дата	Лист, №	Лист, примеч.
--------------	--------------	--------------	-------------	--------------	---------	---------------

