

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОНОТОПСЬКИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра електронних
приладів і автоматики

Кваліфікаційна робота бакалавра

**СИСТЕМИ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ
ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ**

Студент гр. ЕІ-81_к

А.А. Павленко

Науковий керівник,
к.ф.-м.н., доцент

І.П. Бурик

Конотоп 2022

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ХАРАКТЕРИСТИК ТА ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ	5
1.1 Історія відкриття фотоелектричного ефекту.....	5
1.2 Фізичні основи принципу дії сонячних батарей.....	6
1.3 Типи фотоелектричних модулів.....	8
1.4 Системи диспетчирезації сонячних станцій.....	10
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ЕКСПЕРИМЕНТУ	14
2.1 Апаратно-програмна платформа Arduino.....	14
2.2 Wi-Fi модуль LuaNode32 з ESP-32.....	16
2.3 Модуль Bluetooth HC-06.....	17
2.4 Давач струму ACS712.....	18
2.5 Обладнання для контролю зовнішніх умов.....	20
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	22
3.1 Портативна система диспетчирезації	22
3.2 Промислові SCADA системи.....	25
3.3 Автоматична система очищення сонячних панелей від забруднень	29
ВИСНОВКИ	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	33
ДОДАТОК А. СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ	37

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи бакалавра є системи диспетчеризації фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії малої потужності.

Мета роботи полягає в розробленні концепції побудови та застосування системи диспетчеризації сонячних фотоелектричних станцій малої потужності, її тестування та визначення експлуатаційних параметрів.

Автоматичні системи моніторингу роботи сонячних фотоелектричних станцій малої потужності мають високу собівартість. У роботі розглядається питання розробки апаратно-програмного комплексу для портативного лабораторного стенду для вивчення основних параметрів сонячних фотоелектричних станцій.

Робота складається із вступу, трьох розділів основної частини та висновків.

У першому розділі наведено огляд принципу дії, будови та застосування фотоелектричних та системи їх диспетчеризації. У другому розділі розглядаються схеми електричні принципові плат мікроконтролерів, давачів та додаткове обладнання на яких побудовано систему диспетчеризації. Третій розділ містить розроблену електричну принципову схему, зовнішній вигляд пристрою та його експлуатаційні параметри.

Робота викладена на 37 сторінках, у тому числі включає 14 рисунків, список цитованої літератури із 29 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ, СОНЯЧНА ФОТОЕЛЕКТРИЧНА СТАНЦІЯ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ, СТРУМ, ЗАПИЛЕНІСТЬ, ТЕМПЕРАТУРА

ВСТУП

Експлуатація фотоелектричних систем потребує постійного контролю. Оскільки більшість сонячних електростанцій розташовані у віддалених районах, оператори повинні використовувати всі можливі засоби, щоб безперервно отримувати актуальну інформацію про продуктивність та стан установок. Як правило, постачальники послуг з експлуатації та технічного обслуговування мають обмежену інформацію про вплив погодних умов та ландшафту на роботу сонячних електростанцій. Але у разі падіння продуктивності не завжди можна відправити технічну групу та визначити, в якому компоненті виникла проблема та чи пов'язані несправності зі змінами погодних умов. З огляду на це системи віддаленого моніторингу є ключем до безперебійної експлуатації. Віддалений моніторинг може здійснюватися з офісу замовника та центрального офісу компанії, відповідальної за обслуговування та ремонт фотоелектричної системи. Незалежно від розміру електростанцій, всебічний моніторинг є важливим для щохвилинного моніторингу виробництва енергії. Сонячні системи – це чиста технологія виробництва енергії, а й джерело довгострокового доходу інвесторам. Заради якнайшвидшої окупності інвестицій системи моніторингу мають працювати безперервно. Якісний аналіз стану системи вимагає збирання даних із місцевої метеорологічної станції, а також інформації про стан фотоелементів, інверторів, трансформаторів та іншого обладнання. В даний час моніторинг сонячних фотоелектричних станцій забезпечується електронними системами збору даних, моніторингу та управління (SCADA) [1-10].

Таким чином, не дивлячись на всі переваги фотоелектричних модулів, все ще залишаються питання та проблеми щодо їх диспетчирезації, довговічності та безпечного впровадження, які належить вирішити для повноцінного великомасштабного використання.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ХАРАКТЕРИСТИК ТА ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИЙ СТАНЦІЙ

1.1. Історія відкриття фотоелектричного ефекту

У 19-му столітті було виявлено, що сонячне світло здатне генерувати електричну енергію. Історично сонячні батареї використовувалися в ситуаціях, коли електроенергія з мережі була недоступна. Сонячна енергетика пройшла довгий шлях за останні 200 років – від спостереження властивості світла до пошуку нових способів перетворення його в енергію. Ця технологія не має ознак уповільнення – вона просувається з безпрецедентною швидкістю [1-3]:

- 1839 р. – відкриття фотовольтаїчного ефекту;
 - 1873-1876 рр. – відкриття фотопровідності селену;
 - 1883 р. – створення першого сонячного елемента;
 - 1887 р. – спостереження фотоелектричного ефекту;
 - 1953-1956 рр. – комерційне виготовлення кремнієвих сонячних батарей;
 - 1958 р. – використання сонячної енергії для космічних застосувань;
 - 1970-ті роки – зростання попиту на сонячну продукцію та зниження її вартості;
 - 1982 р. – створення першого заводу для промислового виробництва сонячних батарей;
 - 1995 р. – знайдено висувний тент з інтегрованими сонячними батареями;
 - 1994-1999 рр. – створення тонкоплівкових елементів сонячних батарей;
 - 2005 р. – популяризація створення сонячних панелей своїми руками;
 - 2015 р. – розвиток гнучких друкованих сонячних панелей;
 - 2016 р. – відкриття термофотоелектричного ефекту, або т.зв. безсонячної сонячної енергії;
 - 2018-20 рр. – друк сонячних елементів за допомогою наночорнил
- Відповідним розробкам було присвячено величезну кількість різних

програм. Це сприяє інтенсивному розвитку цієї галузі. Найбільш широке застосування сонячних панелей – це сонячні системи опалення. Ціна сонячної енергії продовжує падати настільки, що в у багатьох країнах це дешевше, ніж звичайне викопне паливо або електроенергія з мережі. Фотоелектричні (англ. photovoltaic (PV)) модулі (сонячні панелі) – це модулі, призначені для поглинання сонячних променів як джерела енергії для виробництва електроенергії або опалення.

1.2. Фізичні основи принципу дії сонячних батарей

Сонячна батарея перетворює світлову енергію безпосередньо в електричну за допомогою фотоелектричного ефекту, що є фізичним і хімічним явищем. Сонячні батареї, зібрані у вигляді модуля, називають сонячними панелями, показаними на рис. 1.1.

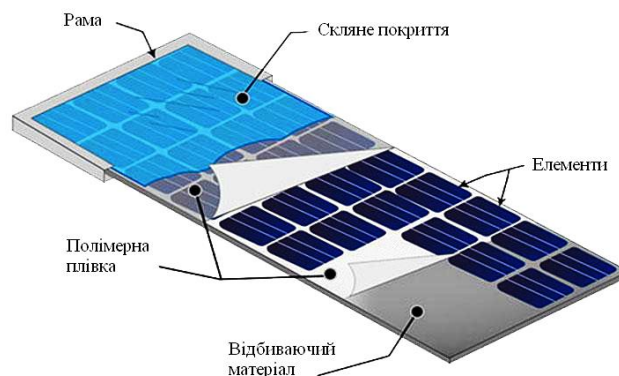


Рис. 1.1. Будова сонячних панелей [3]

Фотони сонячного світла потрапляють на сонячну панель і поглинаються напівпровідниковими матеріалами (рис.1.2), такими як кремній. Електрони збуджуються на їх поточних молекулярних/атомних орбіталах. Після збудження електрон може або розсіювати енергію у вигляді тепла і повертатися на свою орбіту, або рухатися крізь комірку, поки не досягне електрода. Струм протікає через матеріал, щоб скасувати утворений потенціал. Це дає можливість постійно отримувати електричну енергію під дією сонячного світла.

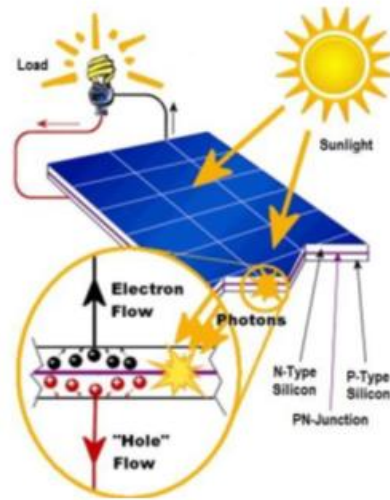


Рис.1.2. Ілюстрація принципу дії фотоелектричних модулів [3]

Хімічні зв'язки матеріалу є важливими для цього процесу, і зазвичай кремній використовується в два шари, один шар легований бором, інший – фосфором. Ці шари мають різні хімічні електричні заряди і згодом стимулюють та направляють струм електронів. Набір сонячних елементів перетворює сонячну енергію в корисну кількість електроенергії постійного струму (DC). Інвертор (Huawei, Schneider Electric та ін.) може перетворювати енергію в змінний струм (AC). Схематичне пояснення роботи сонячної батареї приведено на рис. 1.2.

Як відомо PV являє собою упаковану з'єднувальну збірку зазвичай 6×10 фотоелектричних сонячних елементів. Фотоелектричні модулі становлять фотоелектричний масив фотоелектричної системи, яка генерує та постачає сонячну електрику в комерційні та житлові додатки. Кожен модуль оцінюється за вихідною потужністю постійного струму під час стандартного тестування (англ. standard test conditions (STC)) і зазвичай коливається від 100 до 365 Вт. Продуктивність модуля визначається його площею. Наприклад, модуль з номінальною потужністю 230 Вт з ефективністю перетворення сонячної енергії в електричну (коефіцієнт корисної дії (ККД)) на рівні 8% матиме вдвічі більшу площу, ніж PV з аналогічною ефективністю в 16%. Існує кілька комерційно доступних модулів, ККД яких 22% або 24%. Один PV може виробляти лише обмежену кількість енергії, тому більшість установок містить кілька модулів.

Фотоелектрична система складається з масиву фотоелектричних модулів, інвертора, акумуляторної батареї, з'єднання проводів і, за бажанням, механізму сонячного стеження [3-5].

1.3. Типи фотоелектричних модулів

Розрізняють монокристалічні, полікристалічні, аморфні та гібридні сонячні елементи. На рис. 1.3 приведено відповідно зовнішній вигляд основних типів сонячних модулів.

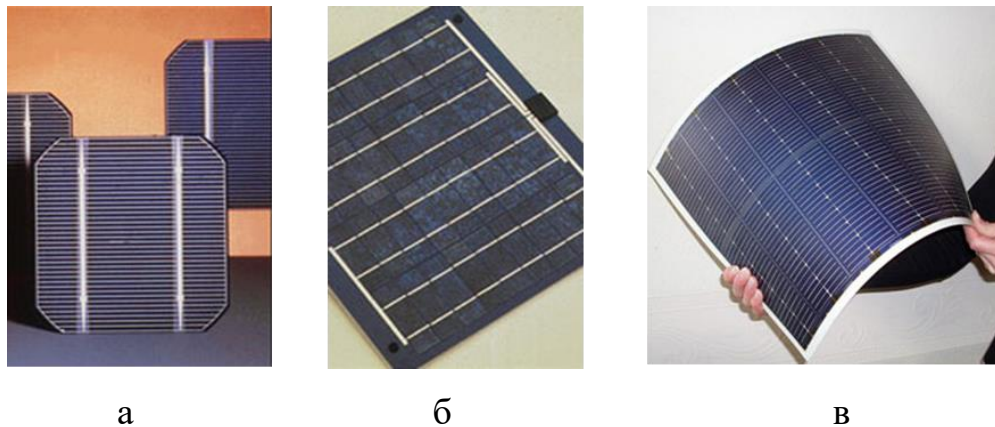


Рис. 1.3. Зовнішній вигляд монокристалічної (а), полікристалічної (б) та аморфної (в) сонячної модулів [4]

Монокристалічні модулі (рис.1.2а) виготовляються з тонких кремнієвих пластин, вирізаних із штучно вирощених кристалів. Ці модулі створені з монокристалів, вирощених ізольовано, що робить їх найдорожчими з трьох різновидів (приблизно на 35% дорожче, ніж еквівалентні полікристалічні елементи), але вони мають найвищу ефективність – 15-24%. Слід відмітити, що перші надійні та довговічні фотоелектричні перетворювачі сонячної енергії були виготовлені на основі монокристалічного кремнію для електропостачання космічних апаратів. Для більшості споживачів одиничні елементи збираються паралельно/послідовно в сонячні модулі необхідної потужності та вихідної напруги. Вартість таких модулів визначається вартістю монокристалічних пластин. Останні мають товщину 300-500мкм та отримують шляхом розрізання

вирощеного при температурі 1000 °С монокристала циліндричної форми з діаметром більше 150 мм. При різанні на пластини майже половина матеріалу йде у стружку.

Зазвичай полікристалічні модулі (рис.1.2б) також виготовляється з тонких пластин кремнію, вирізаних зі штучно вирощених кристалів, але замість монокристалів, ці осередки виготовлені з кількох взаємозв'язаних кристалів, вирощених разом. Це робить їх дешевшими у виробництві, але їх ККД нижчий, ніж у монокристалічних сонячних елементів, в даний час становить 13-18%.

Аморфні модулі найдешевші для сонячних батарей у виробництві, вони відносно нові на ринку і виробляються відмінно від двох інших типів. Замість використання кристалів кремній дуже тонко наноситься на підкладку і захищається покриттям. Є дві реальні переваги аморфного сонячного елемента. По-перше, шар кремнію настільки тонкий, що дозволяє створити гнучкі сонячні батареї, а по-друге, вони більш ефективні при низьких рівнях освітлення (наприклад, взимку). У них є найнижчий показник ефективності з усіх трьох типів – приблизно 7% - 9%, що вимагає приблизно вдвічі більшої площі панелі мати такий самий ККД. Крім того, оскільки це відносно нова наука, не існує узгодженої загальної галузі технології виробництва, тому вони не такі надійні, як два інших типи. Аморфні модулі виступили як більш дешева альтернатива кристалічним, їх було створено у 1975 році. Оптичне поглинання аморфного кремнію в 20 разів вище кристалічного. Тому для суттєвого поглинання видимого світла достатньо аморфної плівки a-Si:H завтовшки 0,5-1,0 мкм замість дорогих кремнієвих підкладок товщиною близько 300 мкм. Крім того, завдяки існуючим технологіям отримання тонких плівок аморфного кремнію великої площі не потрібно операції різання, шліфування та полірування, необхідних для монокристалічних елементів. Порівняно з полікристалічними кремнієвими елементами вироби на основі a-Si:H виготовляють за нижчих температур 300°C, також можна використовувати більш дешеві скляні підкладки, тощо.

Гібридні сонячні модулі це не відокремлений сам по собі тип сонячних

батареї; натомість це комбінація як аморфних сонячних елементів, так і кристалічних. Вони відомі як сонячні батареї з гетеропереходом у тонкому внутрішньому шарі (англ. Heterojunction with Intrinsic Thin Layer (HIT)). Останні можуть мати вищі показники ефективності, ніж будь-який з вказаних вище трьох типів сонячних елементів. Також вони також краще підходять для сонячного клімату, де температура часто перевищує 25°C, створюючи до 10% більше електрики. З підвищенням температури струм зростає, а вихідна напруга зменшується. Це можна дізнатися, переглянувши технічний паспорт виробника. Максимальний температурний коефіцієнт показує на скільки зменшиться потужність на кожен 1 градус температури панелі (вище 25 градусів за Цельсієм).

Фотоелектричні системи перетворюють сонячну енергію на електричну безпосередньо, без використання будь-яких обертових машин. Таким чином, впровадження великої кількості фотоелектричних систем значно знизить ефективну інерцію мережі і втрату обертового резерву [4]. У системі з низьким рівнем інерції коливання частоти набагато різкіше, кутова розбіжність може бути більшою, а синхронних машин у резерві, що обертається, буде недостатньо для компенсації відхилення, тому навіть невеликі збої можуть викликати значну зміну частоти, потребує великих відновлювальних потужностей для повернення машин у синхронізм. Поява цієї додаткової задачі призведе до додаткової задачі навантаженні на синхронні генератори, які співіснують із відновлюваними генераторами, також може призвести до проблем стабільності.

1.4. Системи диспетчеризації сонячних станцій

Для диспетчеризації роботи сонячних фотоелектричних станцій (СФЕС) використовують спеціалізовані апаратно-програмне забезпечення [5]. Дані власної електромережі будуть відображатися в графічній формі завдяки програмі, яка називається: "Supervisory Control and Data Acquisition", або просто

SCADA. Така система дає можливість відстежувати, в якому стані знаходиться сонячна електростанція. Причому зовсім не важливо, де знаходиться приватне господарство, дізнатися все про електростанцію можна, сидячи на його території, так і перебуваючи на території іншої країни або навіть континенту, якщо там є з'єднання з інтернетом звичайно. З абсолютно будь-якого місця на планеті, де є з'єднання з інтернетом, власник зможе відстежити роботу сонячної панелі або батареї. Також існує можливість отримання повідомлення при зниженні рівня ефективності сонячних панелей або батарей. Моніторинг сонячної електростанції буде проведено за декількома параметрами і результат виведеться на екран мобільного телефону. SCADA (рис.1.4) дозволяє моніторити наступне [10]: напругу та силу струму, на задану хвилину часу; система підключена правильно та працює справно; в якому стані знаходяться перемикачі та з'єднання; чи є якісь пошкоджені деталі, що знаходяться в аварійному стані; повну потужність сонячної електростанції; скільки споживано електроенергії у приватному господарстві чи підприємстві; яка кількість електрики перетворюється на зовнішню електричну мережу

Якщо говорити коротко, то програма SCADA дозволяє проводити моніторинг сонячних електростанцій у режимі реального часу. Навіть перебуваючи далеко від будинку чи підприємства, існує можливість аналізувати стан електромережі, завдяки графічному відображенню параметрів електростанції на мобільний телефон. Така програма є неймовірно ефективною для промислових сонячних електростанцій, але якщо власник так само бажає стежити за своєю домашньою електромережею, то встановлення такої системи лише допоможе йому у цьому. Недоліки внутрішнього моніторингу інверторів [6]: мінімальний радіус дії Bluetooth-інтерфейсу (декілька метрів); не задіяні можливості порту USB (обмін даними + живлення); віддалений моніторинг від виробника – присутній на ринку, але використовуються приватними клієнтами зазвичай нечасто, оскільки він є досить дорогим та орієнтований на великі СФЕС промислових масштабів.

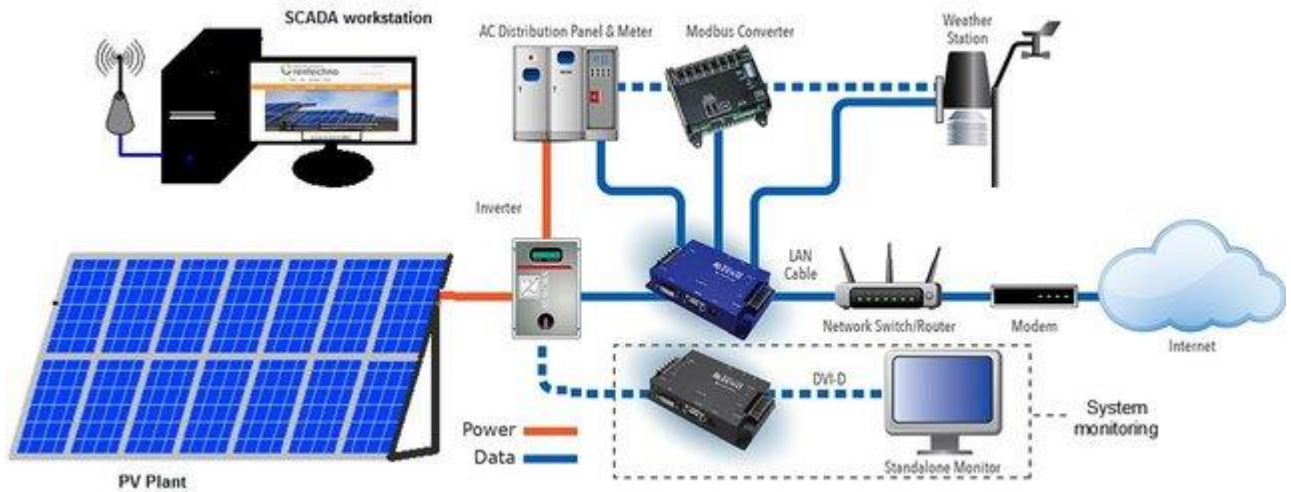


Рис. 1.4. SCADA система для фотоелектричних панелей [10]

Проста система моніторингу відображає лише енергію, що запасається батареями, тоді як просунуті системи дозволяють забезпечити балансування підсистеми будь-якого рівня, окремого електричного кола, пристрою стеження за сонцем або фотоелектричного модуля [7]. З кожним новим поколінням пристроїв обсяг даних, що передаються, збільшується, і для комунікаційної системи потрібна все ширша смуга пропускання. Якщо моніторинг фотоелектричних модулів здійснюється шляхом включення кожного з них до єдиної комунікаційної системи, кількість вузлів значно збільшиться. Крім кількості вимірювань, другою змінною, що впливає, є тимчасовий розподіл. Різниця між відстеженням ретроспективних даних та моніторингом стану у реальному часі просто колосальна.

Для поділу пропускної спроможності комунікаційної системи можуть використовуватися такі методи, як множинний доступ до тимчасового поділу (TDMA) або Token Ring. Збір даних може виконуватися вночі, коли система не потрібна для роботи фотоелектричного обладнання, а мережа мінімально завантажена. Однак моніторинг у реальному часі є набагато більшою проблемою для комунікаційних систем СФЕС. Дані повинні надсилатися одночасно з усіх контрольованих пристроїв. У той же час не повинна порушуватися передача загальної інформації про роботу електростанції, яка має більший пріоритет. Це вимагає використання потужних обчислювальних

систем та/або оптимізованих протоколів [7]. Моніторинг загалом необхідний операторам виявлення аварійних ситуацій на сонячній електростанції. Це дозволяє відстежувати критично важливі параметри та швидко виявляти відмови в окремих елементах. Але потенційні переваги систем моніторингу сильно залежать від кількості та набору даних, що записуються.

Відмітимо, що традиційні електростанції можуть працювати цілодобово та мають можливість регулювати свою вихідну потужність за командою системного оператора. На відміну від них, фотоелектричні системи не мають певного та постійного рівня вихідної потужності, оскільки вона коливається залежно від активності сонця. Тому можливий різкий спад потужності та/або її нестача в мережі через погодні умови, такі як несподівані хмарність, дощ чи туман. Таким чином, оператори систем зіштовхуються з проблемою непередбачуваних втрат та різких коливань генерації, що призводить до серйозних ускладнень у короткостроковому та довгостроковому прогнозуванні.

В даний час стандарти (наприклад, IEEE 1547) фотоелектричних та інших розподілених генерацій, підключених до розподільчій системі, наказують їх відключення у разі виникнення аномальних відхилень напруги [2]. Ця вимога заснована на міркуваннях безпеки, щоб уникнути ненавмисного відключення. Дотримання цих правил у мережі з масовим впровадженням фотоелектричних електростанцій призведе до повного відключення у разі сильних порушень у мережі зі значним падінням напруги (тобто несправності електропередачі). Більше того, у мережі з високим рівнем впровадження фотоелектричних установок за певних обставин потужність може почати надходити у зворотному напрямку. Це відбувається, коли потужність від фотоелектричної генерації вища, ніж місцеве навантаження. У зв'язку з цим явищем звичайна конструкція розподільної мережі середнього напруги накладає обмеження на використання такої генерації через вимог щодо продуктивності мережі. У таких умовах напруга у мережі коливатиметься за межами допустимих меж.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

2.1. Апаратно-програмна платформа Arduino

Arduino/Genuino Uno є платою мікроконтролера на основі ATmega328P. Він має 14 цифрових контактів входу/виходу (з яких 6 можна використовувати як ШІМ-виходи), 6 аналогових входів, кварцовий кристал 16 МГц, USB-з'єднання, роз'єм живлення, роз'єм ICSP і кнопку скидання. Він містить все необхідне для підтримки мікроконтролера; просто підключіть його до комп'ютера за допомогою USB-кабелю або живіть його за допомогою адаптера змінного струму або батареї, щоб розпочати роботу. "Uno" означає італійською перша і було обрано для відзначення випуску програмного забезпечення Arduino (IDE) 1.0. Плата Uno і версія 1.0 програмного забезпечення Arduino (IDE) були еталонними версіями Arduino, які тепер розвинулися до нових версій. Плата Uno (рис.2.1) є першою в серії плат USB Arduino і еталонною моделлю для платформи Arduino; для широкого списку поточних, минулих або застарілих плат дивіться покажчик плат Arduino.

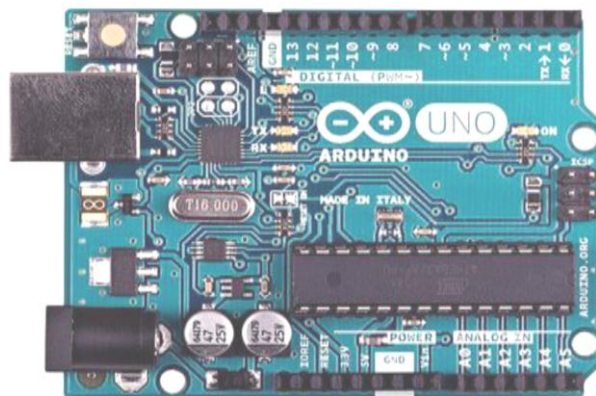


Рис. 2.1. Зовнішній вигляд плати Arduino Uno [3]

Електронне навантаження плати Arduino Uno приведено на схемі електричній принциповій (рис.2.2).

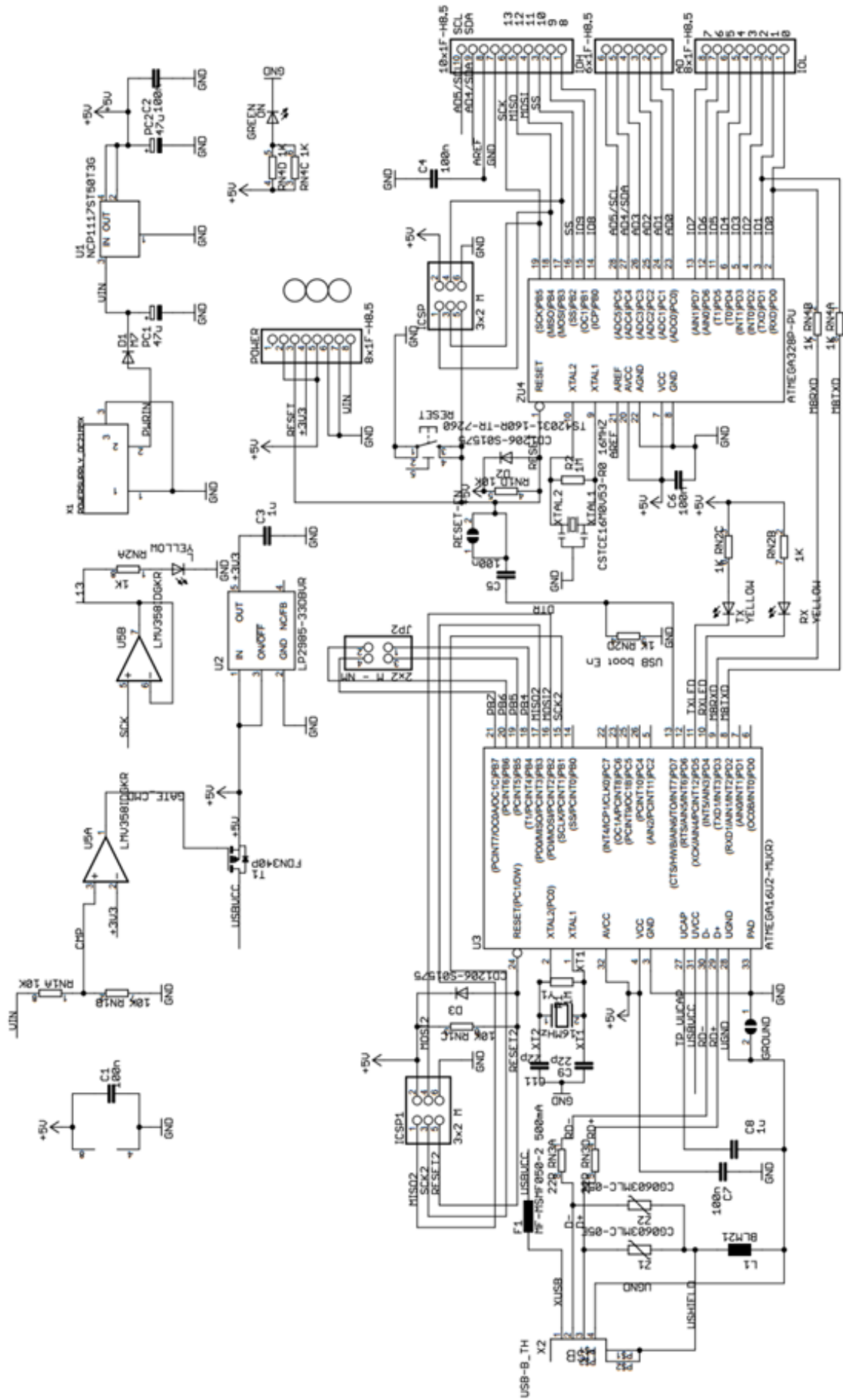


Рис.2.2. Схема електрична принципова плати Arduino Uno [13]

Перемикаючий дроти об'єднані групою в кабелі з роз'ємом або штифтом на кожному кінці (або іноді без них – просто «луженим»). Останні зазвичай використовується для з'єднання компонентів макетної плати чи іншого прототип або тестова схема, всередині або з іншим обладнанням чи компонентами, без пайки. Окремі перемикаючі дроти встановлюються, вставляючи їхні «кінцеві з'єднувачі» в гнізда, передбачені на макетній платі, роз'ємі роз'єму друкованої плати або частини випробувального обладнання.

2.2. Wi-Fi модуль LuaNode32 з ESP-32

ESP – це серія мікроконтролерів, таких як "система чіпів", із вбудованими контролерами Wi-Fi та Bluetooth (подвійний режим, англ. подвійний режим), низьким енергоспоживанням та доступною ціною.

Модуль розробника LuaNode32 побудований на мікромодулі ESP-WROOM-32 (рис.2.3) - новому мініатюрному високопродуктивному чіпі Wi-Fi + BT + BLE від компанії Espressif, призначеному для широкого спектру застосувань, починаючи від мікропотужних мережних датчиків до найскладніших додатків, наприклад, таких як кодування, потокова передача музики та MP3 кодування [14].

Серія ESP-32 використовує мікропроцесор Tensilica Xtensa LX6 у двоядерних та одноядерних варіантах та включає в себе вбудовані антенні вимикачі, радіочастоту, підсилювач потужності, приймач з низьким рівнем шуму, фільтри та модулі управління потужністю.

На модулі зібрано всю необхідну мінімальну периферію, достатню для швидкого та комфортного старту роботи з ESP-WROOM-32.

ESP-WROOM-32 виконаний на базі популярного двоядерного чіпсету ESP32, зі змінною тактовою частотою від 80 МГц до 240 МГц, можливістю індивідуального керування та живлення [14].

Модуль розроблений для переносної та автономної електроніки та додатків інтернет-речей, виконаний у мініатюрному корпусі 25,5 мм x 18 мм,

має на борту Flash пам'ять, кварц 40 МГц та PCB антену, що забезпечує відмінні RF характеристики.



Рис.2.3. Зовнішній вигляд мікроконтролера ESP-32 [14]

ESP-WROOM-32 має багату периферію, що включає такі інтерфейси як UART, SPI, I²C, I²S, роз'єм для SD карти, інфрачервоний порт, інтерфейс для підключення ємнісної сенсорної панелі [14].

Однією з особливостей модуля є наднизьке споживання і гнучкий вибір режимів, що «сплять», що дозволяють отримати цифри до 20мкА (deep sleep mode) [14]. Модуль підтримує весь стек протоколів стандартів WiFi 802.11n та BT4.2, забезпечуючи цей функціонал через інтерфейси SPI/SDIO або I²C/UART.

2.3. Модуль Bluetooth HC-06

Ця плата є модуль Bluetooth Module HC-06 (рис.2.3), розпаяний на платі-адаптері, завдяки чому модуль можна живити напругою 5В (є вбудований стабілізатор), а роз'єм для підключення має стандартний крок 2,54мм. Bluetooth модуль управляється за допомогою UART, тобто є UART-to-Bluetooth перетворювачем. На відміну від модуля HC-05, може працювати тільки в режимі Slave. Модуль Bluetooth контролюється UART, тобто це, по суті, перетворювач UART в Bluetooth [15].



Рис.2.4. Модуль Bluetooth HC-06 [15]

Це зручний інструмент для організації дистанційного управління пристроями мікроконтролера.

2.4. Давач струму ACS712

Мікросхема ACS712 (рис.2.5) випускається у мініатюрному 8-вивідному корпусі SOIC для поверхневого монтажу. Вона складається з прецизійного лінійного датчика Холла з малою напругою зміщення і мідного провідника, що проходить біля поверхні чіпа і виконує роль сигнального шляху для струму. Струм який через цей провідник, створює магнітне поле, що сприймається вбудованим кристал елементом Холла. Сила магнітного поля лінійно залежить від струму, що проходить. Вбудований формувач сигналу фільтрує напругу, що створюється чутливим елементом, і посилює його до рівня, який може бути виміряний за допомогою АЦП мікроконтролера [16].

На рис.2.6а,б показано розташування виводів ACS712 та типова схема його включення. Виводи 1, 2 і 3,4 утворюють провідний шлях вимірюваного струму з внутрішнім опором порядку 1,2 мОм, що визначає дуже малі втрати потужності. Його товщина обрана такою, щоб прилад витримував силу струму в п'ять разів, що перевищує максимально допустиме значення. Контакти силового провідника електрично ізольовані від висновків датчика (виводи 5 – 8). Розрахункова міцність ізоляції становить 2.1 кВ с [16].

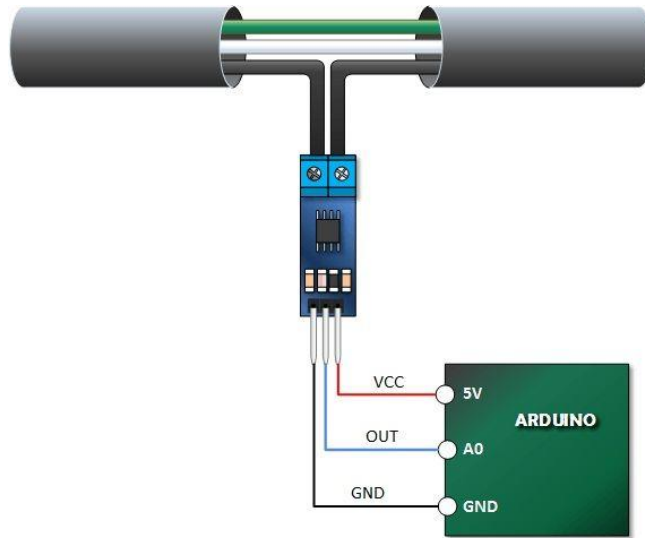


Рис. 2.5. Підключення датчика струму ACS712 до плати Arduino [20]

Вихідна напруга датчика пропорційна струму, що протікає через провідний шлях (від виводів 1 і 2 до висновків 3 і 4). Випускається три варіанти струмового датчика для різних діапазонів вимірювання: ± 5 А (ACS712-05В), ± 20 А (ACS712-20В), ± 30 А (ACS712-30А). Відповідні рівні чутливості складають 185 мВ/А, 100 мВ/А та 66 мВ/А.

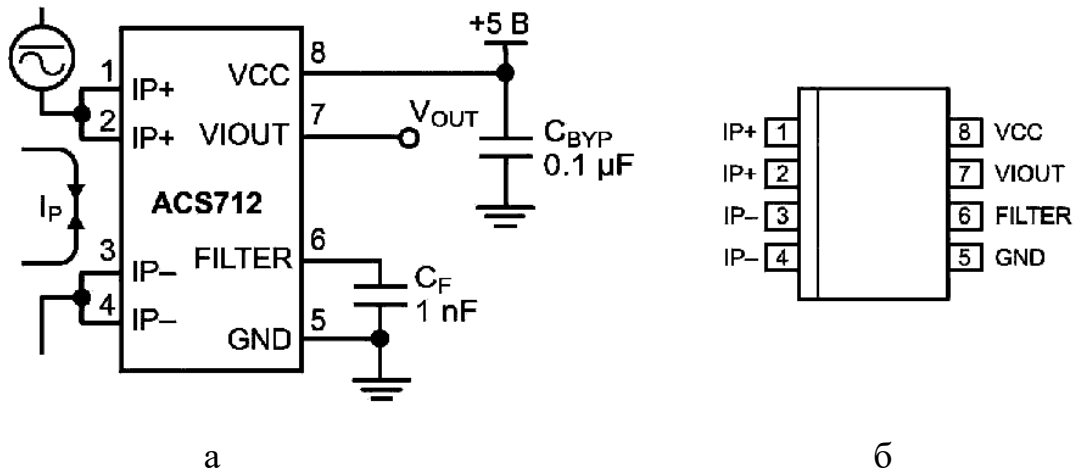


Рис. 2.6. Розташування виводів ACS712 (а) та типова схема його включення (б) [16]

При нульовому струмі, що протікає через датчик, вихідна напруга дорівнює половині напруги живлення ($V_{CC}/2$). Необхідно зауважити, що вихідна напруга при нульовому струмі та чутливість ACS712 пропорційні напрузі живлення. Це особливо корисно при використанні датчика разом із АЦП.

Точність будь-якого АЦП залежить від стабільності джерела опорної напруги. У більшості схем на мікроконтролерах як опорне використовується напруга живлення. Тому при нестабільному напрузі живлення вимірювання не можуть бути точними. Однак якщо опорною напругою АЦП зробити напругу живлення датчика ACS712, його вихідна напруга компенсуватиме будь-які помилки аналого-цифрового перетворення, зумовлені флуктуаціями опорної напруги.

2.5. Обладнання для контролю зовнішніх умов

Дві речі, які зменшують ефективністю сонячної панелі є накопичення пилу і підвищення температури. По-перше, пил, що скупчується на сонячній панелі зменшує її вихідну напругу. По-друге, підвищення температури навколишнього середовища призводить до зменшення ефективності сонячних модулів. Ручне очищення та охолодження сонячних модулів може зайняти багато часу.

Датчик пилу, показаний на рис. 2.7а, дає гарну індикацію якості повітря в навколишньому середовищі шляхом вимірювання концентрації пилу. Рівень твердих частинок (рівень РМ) у повітрі вимірюється шляхом підрахунку часу низької заповнюваності імпульсів (час LPO) у заданому інтервалі. Час LPO пропорційний концентрації РМ. Цей датчик може надавати надійні дані для систем очищення повітря; він реагує на РМ діаметром 1×10^{-6} м.

Датчик температури, показаний на рис. 2.7б, вимірює ступінь нагрівання/охолодження об'єкта. Робоча база датчика – це напруга, яка зчитується на діоді. При підвищенні напруги температура підвищується. Датчик фіксує будь-яке падіння напруги між базою транзистора і емітером.

Коли різниця в напрузі посилюється, пристрій генерує аналоговий сигнал, пропорційний температурі.



а



б

Рис. 2.7. Датчики пилу (а) та температури (б)

Серводвигун – це сервомеханізм із замкненим контуром, який використовує зворотний зв'язок положення для керування своїм рухом і кінцевим положенням. Вхід для його керування є сигналом (аналоговим або цифровим), що представляє позицію, задану для вихідного валу. Двигун працює в парі з деяким типом кодера для забезпечення зворотного зв'язку про положення та швидкість. У найпростішому випадку вимірюється тільки положення. PID-регулювання, дозволяють швидше і точніше привести серводвигун у задане положення.

Серводвигуни можуть бути з поворотним або лінійним приводом, який дозволяє точно контролювати кутове або лінійне положення, швидкість і прискорення. Він складається з відповідного двигуна, з'єднаного з датчиком для зворотного зв'язку положення. Для цього також потрібен відносно складний контролер, часто спеціальний модуль, розроблений спеціально для використання з серводвигунами. Серводвигуни не є специфічним класом двигунів, хоча термін серводвигун часто використовується для позначення двигуна, придатного для використання в системі керування із замкненим контуром.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1. Портативна система диспетчеризації

В ході виконання даної кваліфікаційної роботи бакалавра було розроблено пристрій диспетчеризації для сонячних модулів малої потужності, який мав такі основні експлуатаційні параметри:

- максимальний вхідний струм 10 А;
- максимальна напруга 18 В;
- номінальна напруга 6 В або 12 В;
- вимірюваний температурний діапазон $-20 \div +50$ °С

Зовнішній вигляд інформаційної панелі пристрою приведено на рис.3.1. На ній може відображатися вхідна сила струму і напруга сонячної панелі, а також її споживана потужність, температура, тощо. Пластиковий корпус блоку відображення вимірюваних даних було роздруковано за допомогою технології тривимірного друку. Таким чином він може бути встановлений у вертикальному або горизонтальному положенні за допомогою надійного настінного кріплення.



Рис.3.1. Зовнішній вигляд інформаційної панелі пристрою диспетчеризації для сонячних модулів малої потужності

Мікроконтролер Atmega328 на апаратній платформі Arduino Nano [22] забезпечує роботу даного пристрою вцілому. До керуючої плати підключено схему управління польовими транзисторами та датчик температури. На рис.3.2 наведено схему підключення електронного навантаження.

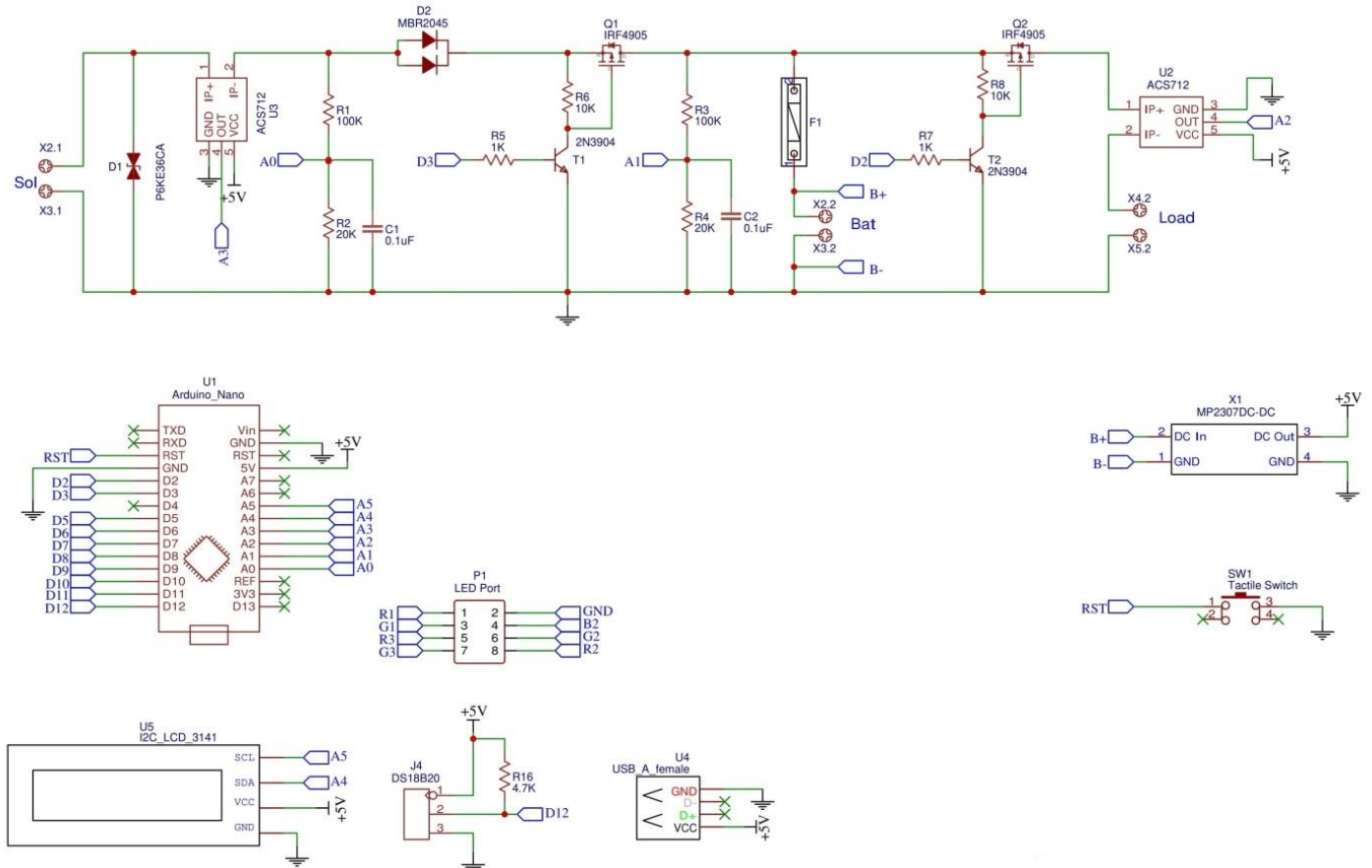


Рис.3.2. Схема електрична навантаження для пристрою диспетчеризації для сонячних модулів малої потужності

Апаратна платформа Arduino Nano виконує роль контролера заряду шляхом порівняння вхідної напруги від сонячної панелі та напруги на акумуляторі. Це реалізовано за допомогою двох ланцюгів дільника напруги. Згідно визначених рівнів напруги мікроконтролер дозволяє керувати процесом зарядження блоку накопичення та збереження електричної енергії та периферійним електронним навантаженням.

Для підключення та відключення сонячної панелі від батареї було використано схему на польовому транзисторі MOSFET. При регулюванні високочастотного MOSFET за відповідними величинами ширини імпульса існує можливість підтримувати рівень необхідної постійної напруги. PWM-контролер самоузгоджується шляхом зміни амплітуди і частоти імпульсів, що надходять на батарею. Таким чином PWM функція дозволяє зменшити вхідну напругу від сонячної панелі до необхідного рівня для забезпечення належної зарядки акумуляторних батарей. Іншими словами, вони вирівнюють вхідну напругу від сонячної панелі до відповідної напруги 6 В або 12 В акумуляторної системи без зміни величини вхідного струму.

Поряд з цим може бути використана наступна система диспетчеризації СЕС малої потужності [6]:

- використати Bluetooth/USB-порти інвертора (мікроконтролера);
- помістити смартфон з відповідним програмним забезпеченням у термобокс-контейнер;
- у смартфоні (з ОС ANDROID 5 і вище) включити відповідні порти передачі даних при досяжності WI-FI або встановити картки оператора з гарним покриттям на місцевості установлення станції, через нього буде передаватися інформація;
- на комп'ютері, ноутбучі (смартфоні) користувача встановити відповідну клієнтську частину програмного забезпечення та отримати дистанційний контроль за роботою ФСЕ;
- захистити доступ паролями;
- в смартфоні, розташованому біля інвертора (мікроконтролера) за допомогою додаткових програм, здійснити контроль за наявністю напруги в мережі, температури, освітленості, балансу рахунку, непорушність геолокації обладнання (відсутність крадіжки);
- в результаті за визначених випадків буде надіслане SMS або здійснений дзвінок

За відсутності WI-FI мережі необхідно додатково поповнювати картку мобільного оператора. Система зможе працювати у будь-якій точці України, де наявний мобільний зв'язок.

3.2. Промислові SCADA системи

Як приклад розглянемо промислову SCADA систему від Siemens WinCC. Simatic WinCC (Windows Control Center) – система HMI, програмне забезпечення для створення людино-машинного інтерфейсу, складова частина сімейства систем автоматизації Simatic, вироблених компанією Siemens AG. Працює під керуванням операційних систем сімейства Microsoft Windows та використовує базу даних Microsoft SQL Server (починаючи з версії 6.0) [26].

Операційна система - Windows (для визначення сумісності версій є онлайн-сервіс Compatibility Tool).

SIMATIC WinCC - базові функціональні модулі [26]:

WinCC Explorer - швидкий огляд всіх даних проекту, глобальних установок, запуску редакторів та режиму Runtime, конфігурація "клієнт-сервер", резервування, завантаження змін проекту в Runtime.

Graphics Designer - розробка мнемосхем з підтримкою шаблонів дизайну, колірної палітри, об'єктів користувача, що централізовано змінюються. Динамізація здійснюється за допомогою прямої прив'язки до тегів, динамічних діалогів, візардів, скриптів мовами ANSI-C або VBS.

Alarm Logging — збирання та архівація повідомлень. Підтримуються два методи генерації повідомлень: періодичне опитування тегів та прийом пакетів ПЛК Simatic S7 (мітка часу ПЛК). Повідомлення можуть генерувати звукові сигнали, що управляються подіями в системі. Може здійснюватись архівування окремих тегів або блоків даних ПЛК.

Report Designer — генерація звітів у вільно проєктованому форматі, керована подіями або часом. Можлива генерація протоколів повідомлень,

вимірюваних величин і звітів користувача. До звіту можна включати дані із CSV файлів та баз даних.

Global Script — програмування дій із графічними об'єктами, а також сценаріїв, що виконуються у фоновому режимі, мовами ANSI-C або Visual Basic Scripts. Можна підключати динамічні бібліотеки DLL (лише ANSI-C) і працювати з ActiveX об'єктами.

User Administrator — Керування користувачами та рівнями доступу до проекту. Керування користувачами може інтегруватися в систему безпеки Windows під час роботи спільно з Simatic Logon. Підтримується керування веб-користувачами у конфігураціях Web Navigator.

Text Library та Text Distributor — призначені для керування текстами у мультимовних проектах. Підтримується експорт та імпорт текстів із усіх редакторів.

Menu & Toolbar — редактор, що дозволяє створювати меню користувача та панелі інструментів для екранів та окремих вікон.

OS-Project Editor - набір інструментів для управління процесами, таких як побудова ієрархії мнемосхем, синхронізація часу в системі, звукова сигналізація, конфігурація проектів з кількома моніторами, контроль працездатності пристроїв.

Комунікації з ПЛК — до комплекту поставки WinCC входить набір каналів зв'язку для підключення до ПЛК SIMATIC S5/S7. При підключенні по Ethernet через стандартну мережеву картку ліцензія Softnet-S7 IE Lean на 8 підключень вже входить у комплект поставки WinCC, повний пакет Softnet-S7 IE на 64 підключення купується додатково. При застосуванні апаратних Ethernet карток CP1613/1623 необхідна ліцензія S7-1613. Організація резервованого каналу зв'язку з дубльованими ПЛК S7-400H можлива при застосуванні карток CP1613/1623 та ліцензії S7-REDCONNECT. У базове постачання WinCC входить канал OPC DA (клієнт та сервер). Починаючи з WinCC 7.2, поставляються канали для ПЛК серій S7-1200/S7-1500, а також канал OPC UA

(клієнт і сервер). У поставку включено також драйвери для Modbus TCP, Allen Bradley Ethernet IP (ControlLogix, PLC5, SLC50x), Mitsubishi FX3U та Q.

Під час розробки системи регулювання необхідно передбачити вплив на рівні окремого інвертора або на рівні сонячної електростанції повністю. При регулюванні лише на рівні інвертора він програмується на зміну режимів роботи залежно від рівня генерації і напруги на клеммах. На рівні електростанції центральний контролер управляє рівнем реактивної потужності, коефіцієнтом потужності або напругою у точці приєднання мережі ФСЕ до зовнішньої електричної мережі. Крім того, за допомогою центрального контролера можна використовувати додаткове обладнання для регулювання реактивної складової струму (наприклад, конденсаторними батареями).

Сучасні інвертори можуть мати кілька вбудованих функцій, за допомогою яких можливе здійснення наступних стратегій на рівні інверторів [2]:

- підтримка постійного коефіцієнта потужності; зазвичай інвертори працюють при коефіцієнті потужності, що дорівнює одиниці, але їх можна налаштувати таким чином, щоб підтримувався менший коефіцієнт (за умови, що задана величина повинна бути в робочому діапазоні моделі, що використовується;
- підтримка постійної реактивної потужності - незалежно від рівня активної потужності, що виробляється самою системою;
- зі зворотним зв'язком по напрузі; у цьому режимі коефіцієнти активної та неактивної енергії змінюються контролером, виходячи з поточних вимірювань датчиків напруги.
- динамічний контроль уставки; інвертер коригує вставку коефіцієнта потужності чи рівня реактивної потужності залежно від сигналу, отриманого диспетчера

Як приклад на рис.3.3 приведено панель керування для XW+SW має РК-дисплей, який відображає конфігурацію системи та діагностичну інформацію для всіх пристроїв, підключених до мережі. При установці як допоміжне обладнання XW System, XW SCP усуває необхідність в окремих панелях

управління для кожного пристрою. І надає єдину точку як для керування, так і для налаштування та моніторингу всієї XW системи електроживлення [27].



Рис.3.3. Панель керування для XW+SW [27]

Якщо ж розглядати промислову сонячну електростанцію повністю, вона може складатися з десятків або навіть сотень фотоелектричних генераторів. Центральний контролер дозволить координувати роботу окремих інверторів та перетворить їх на єдиний віртуальний генератор. При цьому команди контролеру будуть передаються через програму SCADA або іншим, більш дешевим способом (наприклад, через віддалений термінал - RTU).

Особливо такий режим управління корисний для передачі енергії між взаємозалежними сонячними електростанціями, які повинні працювати в режимі контролю напруги – контролер залежно від ситуації постійно змінюватиме реактивну потужність інверторів, підтримуючи цим напругу на незмінному рівні [2].

При проектуванні системи, що регулює енергосистему на рівні електростанції, потрібно розуміти, що центральний контролер буде критично важливим обладнанням. При його поломці або збоях у програмному забезпеченні будь-який контроль за інверторами або системою транспортування електроенергії буде втрачено, причому одразу в масштабах всього підприємства. А тому необхідно дублювати всі системи – сервер і пристрої, що живлять його, апаратуру з передачі даних, і т.п. І за будь-якої можливості слід проектувати локальні підсистеми управління, які зможуть

виконувати хоча б деякі функції центрального процесора за його поломки або недоступності.

3.3. Автоматична система очищення сонячних панелей від забруднень

Накопичення пилу та зміна температури розглядається як основний чинник впливу зовнішнього середовища на параметри сонячних панелей. Накопичення пилу в навколишньому середовищі є нормальним. Були дослідження, які показали, що накопичений пил може знизити продуктивність сонячних панелей, але не були чітко визначені кількісно. Експерименти проводилися з використанням частинок пилу на сонячних панелях із джерелом світла постійної потужності, щоб визначити вироблену електричну потужність та ефективність. Дослідження виявило, що пил, накопичений на поверхні сонячної панелі, може знизити ефективність системи до 50% [3].

Метою цієї роботи також було вивчення самонаправляючої системи для визначення фізичних параметрів, таких як пил і температура сонячної панелі за допомогою датчиків пилу і температури відповідно. Коли датчик показання проходять фіксовані значення, потім за допомогою склоочисника пил видаляється. При підвищенні температури понад 25 градуса Цельсія, система охолодження починає охолоджувати або підтримувати температуру сонячної панелі. Роблячи це, витрати часу та праці зменшуються, а ефективність, як очікується, зростає в залежності від температури коефіцієнт сонячної панелі.

Сонячна панель має верхній край, піднятий від рівня землі більше, ніж нижній, щоб забезпечити нахил сонячного ряду. Очищувач працює для очищення поверхні сонячних панелей. Опорна рама підтримує очисний вузол і дає можливість очисному вузлу переміщатися вгору і вниз в напрямку ширини ряду сонячних батарей і в напрямку довжини сонячного ряду. Робота та рух очисного вузла контролюється блоком управління, щоб примусити очисний вузол очищати поверхню сонячних панелей під час опускання рух очисного вузла. Бажано, щоб очисний вузол не працював під час його вертикального

руху вгору. Під час руху вниз очисний вузол видаляє бруд, сміття та пил з поверхні сонячних панелей і створює повітряний потік для здування бруду, сміття та пилу. лінія подачі рідини. Перший кінець лінії подачі рідини використовується для прийому води. Другий кінець лінії подачі рідини з'єднаний з безліччю форсунок для подачі рідини на сонячні панелі. У систему очищення також входить корпус. Усередині корпусу розташований клапан для регулювання мила з відділення для зберігання в лінію подачі рідини. Клапан управляється програмованим контролером. Коли клапан відкритий, мило змішується з водою і виділяється на сонячні панелі через форсунки. Коли клапан закритий, вода може подаватися на сонячні панелі. Фільтр може бути підключений до лінії подачі рідини для видалення домішок з води перед розподілом на сонячні панелі. Система очищення сонячної панелі на основі лінійного п'єзоелектричного приводу, що рухається по напрямній, використовується для приводу склоочисника, закріпленого на приводі. При належній силі тиску між склоочисником і сонячною панеллю, привод може керувати склоочисником, щоб ефективно видаляти шар пилу з поверхні сонячної панелі. PV панелі можна очищати сумішшю аніонних і катіонних поверхнево-активних речовин. Очищення фотоелектричних панелей за допомогою суміші поверхнево-активних речовин економить енергію та воду. Для видалення піску з сонячних панелей розроблена система електростатичного очищення. Більше 90% прилиплого піску відштовхується від поверхні слабо нахиленого скла. Очікується, що ця технологія підвищить ефективність сонячних електростанцій у пустелях [3].

Слід відміти, що зовнішнє середовище також сильно впливає на конструктивні елементи ФСЕ. Як приклад волога виступає як електроліт і забезпечує перебіг електрохімічної реакції. Чим вища вологість, тим інтенсивніше реакція і вище швидкість корозії елементів конструкції. Наявність домішок в атмосфері (хлориди в морському повітрі та двоокису сірки та сполук азоту в промислових районах) так само впливають на перебіг реакції. Домішки осідають на поверхню металу та, вступаючи в реакцію з водою та киснем,

прискорюють емісію електронів із поверхні металу. Слід зазначити, що інтенсивні зливи насправді виступають як сповільнювачі корозії, регулярно змиваючи бруд та домішки з поверхні металів. Нанесення захисного покриття (фарбування) – найпростіший, але при цьому досить ефективний спосіб захисту металоконструкцій від негативного впливу навколишнього середовища. Правильно нанесене покриття, цілісність якого регулярно підтримується, значно погіршує умови виникнення та подальшого розвитку корозії [2]. Поряд з цим, для створення несучих конструкцій і рамок сонячних батарей активно використовується алюміній. Для підвищення корозійної стійкості матеріалу використовують анодне окиснення – створення на поверхні алюмінію міцного тонкого поверхневого пасивного шару, який перешкоджає виникненню корозії.

У деяких випадках використовують нанесення шару металу для захисту іншого. Наприклад, оцинковане залізо, при якому цинкове покриття вступає в реакцію з навколишньою атмосферою, створюючи шар оксиду цинку та карбонат цинку, тим самим захищаючи шар сталі під ним. Нанесення цинкового шару, який хоч і руйнується з часом, дозволяє захистити інші структурні метали. На тривалість захисту, що забезпечується цинкуванням, впливає кілька факторів – вологість, наявність двоокису сірки, температура, рівень солей в атмосфері, але найголовніше – товщина нанесеного шару. Чим товстіший шар — тим більше часу він гарантовано захищає метал, на який він нанесений. Мінімумально рекомендована товщина цинкового покриття для сталевих опорних конструкцій, що використовуються в сонячних електростанціях – 0,75 мм, така товщина покриття забезпечить термін служби близько 25 років [2-5].

ВИСНОВКИ

Сучасні автоматизовані системи збору даних зазвичай побудовані із застосуванням в них мікроконтролерів, промислових контролерів, мікропроцесорів, персональних комп'ютерів тощо. Перетворювачі сигналів від первинних пристроїв (датчиків) і безпосередньо самі мікроконтролери (AVR, STM, PIC та ін.), через їх модулі входів-виходів, здійснюють перетворення вхідних даних. Далі реалізується різні варіанти організації інформаційних каналів, зокрема передача програмних змінних з програми мікроконтролера в програму комп'ютерної системи управління, їх відправка на пристрої відображення інформації.

В даній роботі проведено аналітичний огляд сучасних літературних джерел про автоматизовані системи збору даних із застосуванням в них мікроконтролерів та ін., стислий аналіз застосування найбільш розповсюджених платформ моніторингу та диспетчеризації фотоелектричних сонячних станцій малої генерації, особливості організації інформаційних каналів.

Розроблена система для моніторингу фотоелектричних сонячних станцій на основі 8-розрядного мікроконтролера Atmega32, що має 32 Кбайт Flash-пам'яті, 2 Кбайт SRAM та іншу периферію (платформа Arduino Nano) та реєстрації показників з датчику струму ACS712, а також датчиків температури та запиленості для подальшого використання та аналізу. Дані можуть відображатися на дисплеї та передаватися через Wi-Fi модуль LuaNode32 з ESP-32 або Bluetooth модуль HC-06. Розглянуто застосування автоматичної системи очищення сонячних панелей від забруднень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Література

1. <http://pv.mit.edu/home/education/resources-for-educators/build-your-own-sourcemeter> - Photovoltaic research laboratory, дата доступу: 25.04.2022 р.
2. <https://avenston.com> - Сонячні електростанції – проектування, будівництво, сервіс, дата доступу: 24.05.2022 р.
3. Sreega R. Design and development of automated solar panel cleaner and cooler / R.Sreega, Dr.K.Nithyananthan, B. Nandhini // IJEEE. – 2017.– V.9, № 2. – P. 127-138.
4. <https://avenston.com/articles/osnovi-tehnologiyi-virobnitstva-kremniyevih-sonyachnih-fotoperetvoryuvachiv/> - Основи технології виробництва кремнієвих сонячних фотоперетворювачів, дата доступу: 25.05.2022 р.
5. <https://solarled.com.ua/monitoring-solnechnyh-elektrostantsij> - Моніторинг сонячних електростанцій, дата доступу: 25.05.2022 р.
6. <https://setech.in.ua/ru/udalennaya-sistema-monitoringa-dlya-solnetchnh-stantsiy/> - Віддалена система моніторингу для сонячних станцій, дата доступу: 25.05.2022 р.
7. <https://esfcompany.com/articles/solnechnaya-energetika/solnechnye-fotoelektricheskie-stantsii-novye-tekhnologii-i-tendentsii-rynka/> - Сонячна фотоелектрична станція (СФЕС/ PV), дата доступу: 25.05.2022 р.
8. Zavorotnyi V.F. The laboratory tester of solar cells with dynamic reconfiguration of measuring system / V. F. Zavorotnyi, O.V. Borisov // Microsyst Electron Acoust. – 2018. – vol. 23, №. 1. – P. 23-29.
9. <http://pv.mit.edu/home/education/resources-for-educators/build-your-own-sourcemeter> - Photovoltaic research laboratory, дата доступу: 25.04.2022 р.
10. https://www.researchgate.net/publication/312000929_SCADA_and_smart_energy_grid_control_automation/figures?lo=1 - SCADA and smart energy grid control automation: 26.05.2022 р.
11. Василюха Х. В. Вдосконалення нормативно-технічної бази випробувань сонячних перетворювачів: автореф. дис. на здобуття наук. Ступеня канд. техн.

наук: спец. 05.01.02 / Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2017. – 20 с.

12. Божко К.М. Вдосконалення методів та засобів контролю дефектів фотоелектричних сонячних батарей: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.11.13 / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – Київ, 2016. – 24 с.

13. <https://www.arduino.cc/> - Arduino, дата доступу: 24.05.2022 р.

14. <https://arduino.ua/prod2041-wi-fi-modul-luanode32-s-esp-32> -Wi-Fi модуль LuaNode32 з ESP-32, , дата доступу: 26.05.2022 р.

15. <https://www.mini-tech.com.ua/bluetooth-modul-hc-06-s-adapterom> - Bluetooth модуль HC-06 на плате-адаптере, дата доступу: 27.05.2022 р.

16. <http://www.kosmodrom.com.ua/data/acs712.php> - Використання датчика струму ACS712

17. <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28287/1/FEP.pdf> - Дослідження роботи фотоелектричного модуля дата доступу: 22.05.2022 р.

18. <http://page.if.ua/uploads/pcss/vol2/number2/0203-13.pdf> - Дослідження вихідних та діодних параметрів дата доступу: 24.05.2022 р.

19. <https://core.ac.uk/download/pdf/52159454.pdf> - Застосування фотоелектричних технологій, дата доступу: 24.05.2022 р.

20. <https://oeipt.vntu.edu.ua/index.php/oeipt/article/download/239/238> - Аналітичний огляд сучасних фотоелектричних технологій, дата доступу: 25.05.2022 р.

21. http://kntu.net.ua/ukr/content/download/75589/438715/file/2020_3.06.pdf. Дослідження залежності параметрів сонячних батарей, дата доступу: 28.05.2022 р.

22. https://seltokphotonics.com/info/articles/sipm_revolyutsiyni_tekhnologiyi_d_etektuvannya/ - Кремнієві ФСЕ: революційні технології детектування, дата доступу: 29.05.2022 р.

23. <https://events.pstu.edu/konkurs-energy/wp-content/uploads/sites/> - Кут нахилу сонячних батарей, дата доступу: 24.05.2022 р.

24. <https://oeipt.vntu.edu.ua/index.php/oeipt/article/download/239/238> - Аналітичний огляд сучасних технологій фотоелектричних перетворювачів, дата доступу: 24.05.2022 р.
18. https://elektrovesti.net/tools/483_vse-o-mikrokontrollerakh-avr - AVR мікроконтролери, дата доступу: 25.04.2022 р.
19. <https://www.compel.ru/lib/55060> - Огляд ARM-мікроконтролерів від STMicroelectronics, дата доступу: 28.05.2022 р.
20. <https://www.arduino.cc> - Arduino, дата доступу: 24.05.2022 р.
21. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Мікроконтролер> - Мікроконтролер, дата доступу: 24.05.2022 р.
22. <https://autohome.org.ua/market/controller-arduino/arduino-nano-r3-v3-0-atmega328-detail> - Розпіновка Arduino Nano, дата доступу: 28.04.2022 р.
23. https://ru.wikipedia.org/wiki/App_Inventor - MIT App Inventor, дата доступу: 22.04.2022 р.
24. <http://appinventor.mit.edu/about-us> - MIT App Inventor, дата доступу: 28.04.2022 р.
25. <https://alteco.in.ua/about/our-objects/obekty-solnechnoj-energetiki/577-solnechnaya-elektrostantsia-kryshdaleve> - Сонячна станція Кришталеве 200 кВт, дата доступу: 28.05.2022 р.
26. <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/scada/simatic-wincc-v7.html> - SIMATIC WinCC, дата доступу: 28.05.2022 р.
27. <https://solarled.com.ua/panel-upravleniya-dlya-xw-sw.html> - Панель керування XW+SW, дата доступу: 28.05.2022 р.
28. <https://solarled.com.ua/kontroller-akkumulyatorov-conext-battery-monitor-24-48v.html> - Контролер акумуляторів CONEXT BATTERY MONITOR 24/48V
29. <https://specantenna.com.ua/p1014980495-gibridnyj-mppt-kontroller.html?s> - Гібридний MPPT контролер заряду акумуляторів, дата доступу: 28.05.2022 р.

ДОДАТОК А**СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ**



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ КРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОНОТОПСЬКИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра електронних
приладів і автоматики

Кваліфікаційна робота бакалавра
**СИСТЕМИ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ
ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ МАЛОЇ
ПОТУЖНОСТІ**

Студент гр. ЕІ-81.

А.А. Павленю

Науковий керівник,
к. ф.-м. н, доцент

І.П. Бурик

Конотоп 2022

ВСТУП

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи бакалавра є системи диспетчеризації фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії малої потужності.

Мета роботи полягає в розробленні концепції побудови та застосування системи диспетчеризації сонячних фотоелектричних станцій малої потужності, її тестування та визначення експлуатаційних параметрів.

Автоматичні системи моніторингу роботи сонячних фотоелектричних станцій малої потужності мають високу собівартість. У роботі розглядається питання розробки апаратно-програмного комплексу для портативного лабораторного стенду для вивчення основних параметрів сонячних фотоелектричних станцій.

Робота складається із вступу, трьох розділів основної частини та висновків.

У першому розділі наведено огляд принципу дії, будови та застосування фотоелектричних та системи їх диспетчеризації. У другому розділі розглядаються схеми електричні принципові плат мікроконтролерів, датчиків та додаткове обладнання на яких побудовано систему диспетчеризації. Третій розділ містить розроблену електричну принципову схему, зовнішній вигляд пристрою та його експлуатаційні параметри.

Експлуатація фотоелектричних систем потребує постійного контролю. Оскільки більшість сонячних електростанцій розташовані у віддалених районах, оператори повинні використовувати всі можливі засоби, щоб безперервно отримувати актуальну інформацію про продуктивність та стан установок.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ХАРАКТЕРИСТИК ТА ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИЙ СТАНЦІЙ

1.1. Фізичні основи принципу дії сонячних батарей

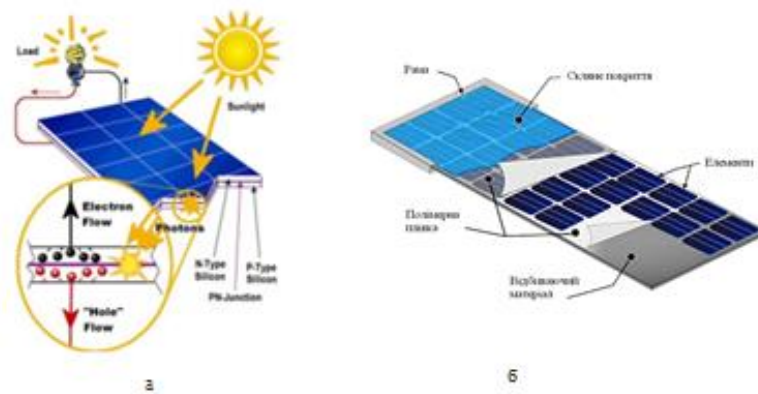


Рис. 1.1. Ілюстрація принципу дії (а) та будова фотоелектричних модулів (б)

1.2. Системи диспетчеризації сонячних станцій



Рис. 1.2. Системи диспетчеризації сонячних станцій

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

2.1. Апаратно-програмна платформа Arduino

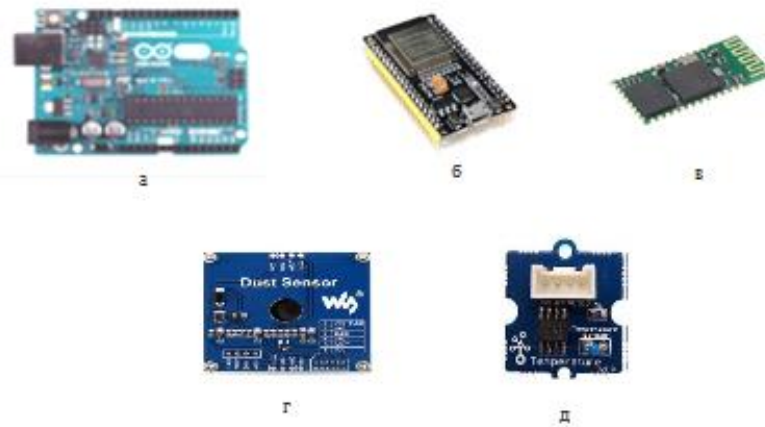


Рис. 2.1. Зовнішній вигляд плати Arduino Uno (а), мікроконтролера ESP-32 (б), модуль Bluetooth HC-06 (в), датчика пилу (г) та температури (д)

2.3. Датчик струму ACS712

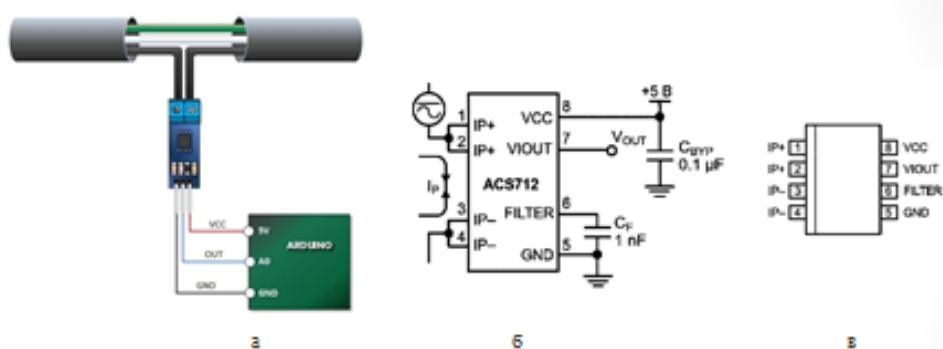


Рис.2.3. Підключення датчика струму ACS712 до плати Arduino (а), розташування виводів ACS712 (б) та типова схема його вклучення (в)

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1. Портативна система диспетчеризації

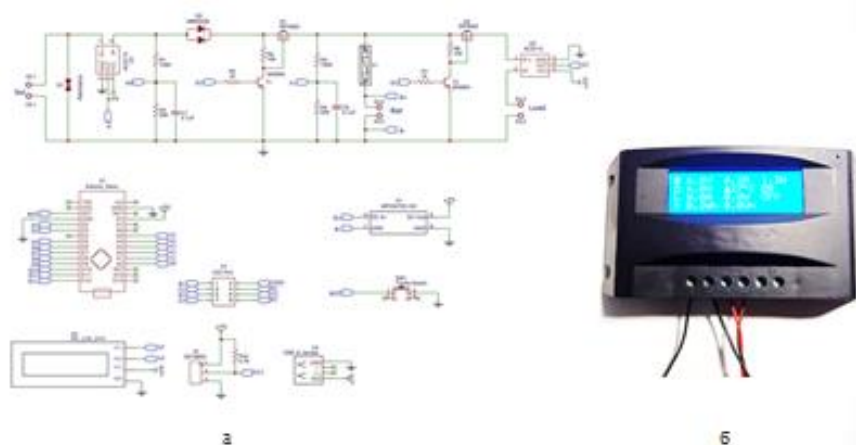
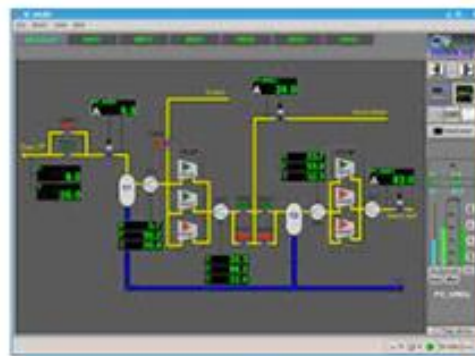


Рис.3.1. Схема електрична навантаження (а) та зовнішній вигляд інформаційної панелі (б) для пристрою диспетчеризації для сонячних модулів малої потужності

3.2. Промислові SCADA-системи



а



б

Рис.3.2. Зовнішній вигляд промислової панелі керування для XW+SW (а) та інтерфейс системи збудованих та диспетчерського керування (SCADA-системи) (б)

ВИСНОВКИ

1. Сучасні автоматизовані системи збору даних зазвичай побудовані із застосуванням в них мікроконтролерів, промислових контролерів, мікропроцесорів, персональних комп'ютерів тощо. Перетворювачі сигналів від первинних пристроїв (датчиків) і безпосередньо самі мікроконтролери (AVR, STM, PIC та ін.), через їх модулі входів-виходів, здійснюють перетворення вхідних даних. Далі реалізуються різні варіанти організації інформаційних каналів, зокрема передача програмних змінних з програми мікроконтролера в програму комп'ютерної системи управління, їх відправка на пристрої відображення інформації.
2. В даній роботі проведено аналітичний огляд сучасних літературних джерел про автоматизовані системи збору даних із застосуванням в них мікроконтролерів та ін., стислий аналіз застосування найбільш розповсюджених платформ моніторингу та диспетчеризації фотоелектричних сонячних станцій малої генерації, особливості організації інформаційних каналів.
3. Розроблена система для моніторингу фотоелектричних сонячних станцій на основі 8-розрядного мікроконтролера Atmega32, що має 32 Кбайт Flash-пам'яті, 2 Кбайт SRAM та іншу периферію (платформа Arduino Nano) та реєстрації показників з датчику струму ACS712, а також датчиків температури та запиленості для подальшого використання та аналізу. Дані можуть відображатися на дисплеї та передаватися через Wi-Fi модуль LuaNode32 з ESP-32 або Bluetooth модуль HC-06. Розглянуто застосування автоматичної системи очищення сонячних панелей від забруднень.