

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗАНА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА АВТОНОМНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ

Теряєв В.І., к.т.н., доц., Федорос Ю.М., студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Водопостачання протягом всієї історії було актуальним технічним завданням. Існує велика та нагальна потреба у стабільному забезпечення водою в бідних, посушливих, сільських регіонах. Автономні системи генерації електроенергії та системи водопостачання на їх основі є оптимальним рішенням цієї проблеми в майбутньому [1].

У сільських районах джерела енергії можуть знаходитися на довгій відстані від джерел води. В той же час монтаж нових ліній електропередачі та трансформаторів в ізольованих місцях є надзвичайно дорогим. На даний час існує багато джерел електроенергії на основі двигунів внутрішнього згоряння, які використовуються в тому числі і для автономних систем насосного водопостачання. Такі системи характеризуються рядом переваг: портативність та простота установки, незалежність від наявності інфраструктури, але мають і недоліки, а саме: потреба обслуговування та дозаправки, висока вартість пального, шум та негативний вплив на навколишнє середовище. Тому використання відновлюваної енергії є особливо привабливим для автономних систем перекачування води у сільській та пустельній місцевості багатьох країн.

Генерування електричної енергії за допомогою фотоелементів є саме таким відновлювальним джерелом, перевагами якого для систем водопостачання є: відносна легкість, низькі інфраструктурні вимоги, стабільність, безшумність через відсутність обертових машин та турбін, можливість застосування безпосередньо в місці використання; простота монтажу, невелике регулярне обслуговування [2].

Використання автономних фотоелектричних водяних насосних систем має сприяти покращенню умов життя у віддалених районах та підтриманню чистоти навколишнього середовища.

Мета роботи. Підвищення ефективності автономних фотоелектричних насосних станцій на основі вибору найбільш раціональних систем електроприводу та алгоритмів керування ними.

Матеріали і результати досліджень. Фотоелектрична система складається з взаємопов'язаних компонентів, розроблених таким чином, щоб досягти конкретної мети доставки бажаної кількості та якості електроенергії від джерела до навантаження. Фотоелектричні системи класифікуються за способом підключення до мережі на автономні та гібридні. Останні включають різні джерела енергії, такі як фотобатареї, дизельні генератори та вітрогенератори. У автономних та підключених до мережі відновлюваних джерелах енергії можуть бути використані

елементи зберігання, такі як батареї або суперконденсатори, щоб накопичувати енергію в денний час, коли сонячна радіація максимальна.

Прикладами автономних систем є системи зв'язку, водонасосні системи, маяки, аварійні служби та військові об'єкти.

У фотоелектричних системах широко застосовуються два типи насосів: відцентровий насос і об'ємний насос. Відцентровий насос здатний перекачувати великий об'єм води і працює з відносно високим ККД. Об'ємні насоси зазвичай використовуються при низьких витратах. Відцентрові насоси, на відмінну від об'ємних, мають експлуатаційні характеристики, які добре узгоджуються властивостям фотопанелей, оскільки їх струм змінюється майже лінійно залежно від сонячного випромінювання [3].

Енергія від сонячних панелей отримується у формі ЕРС постійного струму, що повільно змінюється, тому насоси зазвичай приводяться в дію двигунами постійного струму, щоб мінімізувати складність системи, оскільки вони можуть бути безпосередньо підключені до масиву панелей. Двигуни змінного струму мають переваги, такі як висока ефективність, відсутність щіток, більш проста, міцна та надійна конструкція. Початкова вартість може бути найнижчою у випадку з асинхронним двигуном.

Хоча фотоелектричні панелі можуть здаватися хорошим джерелом електроенергії, їх здатність перетворювати енергію сонячного світла в електричну порівняно недосконала і лежить в межах 12 ~ 20%. Тому важливо керувати фотоелементами масиву в точці максимальної потужності (Maximum Power Point - MPP), використовуючи систему відстеження навантаження. Це дає можливість збільшення вихідної потужності порівняно з прямим підключенням навантаження [4]. Задача слідкування за MPP в умовах зміни параметрів джерела та навантаження вирішується формуванням нелінійної зовнішньої характеристики фотопанелі. Загальна вартість системи може бути зменшена, а ефективність роботи та потужність на виході збільшені, якщо сонячна панель постійно позиціонується для отримання максимальної кількості енергії протягом денного часу. З цією метою може бути використаний допоміжний слідкуючий електропривод сонячної панелі, який налаштовується на пошук екстремуму і керується датчиком сонячного випромінювання.

Тому, для підвищення ефективності фотоелектричної насосної станції пропонується додати додаткову систему динамічного відстеження точки максимальної потужності Maximum Power Point Tracking (MPPT), яка здійснює оптимізацію режимів роботи головного електроприводу насосу за рахунок адаптивного керування положенням фотопанелі.

Ефективність відстеження визначається як відношення між фактичною потужністю фотопанелі та теоретичною потужністю за той самий проміжок часу. Атмосферні умови (опромінення і температура) змінюються в широкому діапазоні. Отже, алгоритм управління MPPT повинен забезпечувати задані показники роботи

фотоелектростанції в різних атмосферних умовах. Для обчислення ефективності відстеження потужності використовується рівняння (1.1).

$$\eta_{MPPT} = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{P_{actual,i}}{P_{max,i}} \quad (1.1)$$

де P_{actual} – це i -й зразок реальної вимірної потужності, вироблений фотопанеллю при використанні керування MPPT, P_{max} – це i -та вибірка справжньої максимальної потужності фотопанелі, яка могла б вироблятися за рахунок сонячного опромінення та температури, n – це загальна кількість зразків.

Функціональна схема системи взаємозв'язаних електроприводів автономної насосної фотоелектричної станції наведена на рис. 1. Дана система складається з сонячної фотопанелі, слідкуючого електроприводу положення панелі М, перетворювача напруги постійного струму DC-DC, трифазного автономного інвертора напруги, а також асинхронного двигуна АД, поєднаного з водяним насосом.

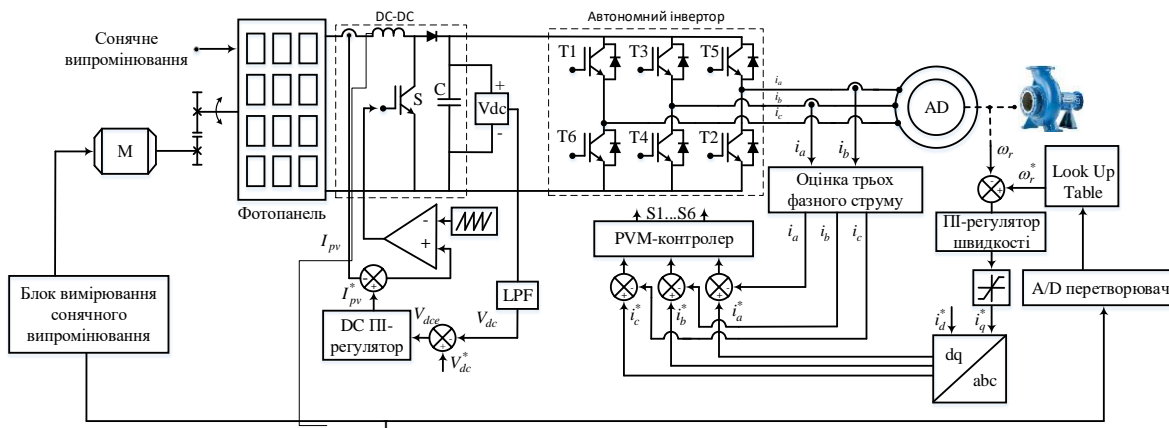


Рисунок 1 – Схема взаємозв'язаних електроприводів автономної фотоелектричної насосної станції

Основним компонентом фотоелектричної системи є фотопанель, яка утворюється з індивідуальних фотоелементів, з'єднаних між собою паралельно і послідовно для підвищення вихідної напруги та потужності. Масив фотоелементів підключений до перетворювача DC-DC, задачею якого є збільшення рівня і стабілізація вихідної напруги. Перетворення постійного струму в змінний для живлення АД здійснюється інвертором напруги, який складається з транзисторів Т1– Т6 на основі IGBT. Забезпечення максимальної віддачі енергії фотопанеллю здійснюється допоміжним слідкуючим електроприводом М, налаштованим на пошук екстремуму сонячного випромінювання.

Система MPPT управління електроприводом насоса складається з двох підсистем: перша – управління підсилювачем для підтримання постійної напруги в ланці постійного струму, друга – для керування інвертором у векторноорієнтованому режимі для врахування зміни сонячного випромінювання, а також умов навантаження [5].

Головні складові системи МРРТ наступні:

1. Система керування підсилювачем. Похибка V_{dce} між напругою ланки постійного струму, яка знімається з датчика V_{dc} і фільтра LPF і заданою напругою V_{dc}^* , надходить на вхід ПІ-регулятора ланки DC і використовується для генерації сигналів комутації IGBT ключа S, що знаходиться в ланці постійного струму;

2. Система керування інвертором. Застосовується схема вектор-орієнтованого управління. Два давачі струму використовуються для визначення струмів у фазах двигуна. Завдання швидкості двигуна здійснюється у функції сонячного опромінення з метою відстеження максимальної потужності. Блок вимірювання сонячного випромінювання (датчик опромінення) видає на виході сигнал напруги, який надходить до розрахункової оглядової таблиці (Look Up Table). Задану швидкість порівнюють з виміряною швидкістю обертання ротора для знаходження похибки по швидкості. Похибка швидкості надходить на ПІ-регулятор швидкості, який забезпечує опорний електромагнітний крутний момент шляхом генерації заданих складових струму;

3. Система оцінки трьохфазних струмів реалізована на основі виміру кутового положення ротора, після чого ці розрахункові струми порівнюються з фактичними струмами, а отримані похибки подаються на контролер PVM струму для генерації сигналів комутації ШІМ автономного інвертора.

Висновки. Наведено актуальні проблеми водопостачання у світі. Розглянуто системи електроприводів, які використовуються в автономних фотоелектричних насосних станціях. Запропоновано новий підхід до побудови автономної фотоелектричної станції на основі використання та спільної оптимізації алгоритмів керування системами електроприводів насосу та положення фотопанелі. Побудовано функціональну схему енергоефективної автономної фотоелектричної насосної станції.

Перелік посилань

1. Khaligh and O.C. Onar, *Energy harvesting solar, wind, and ocean energy conversion systems*, CRC Press, New York, 2010.
2. J.M. Shen, H.L. Jou and J.C. Wu, "Novel transformer less grid connected power converter with negative grounding for photovoltaic generation system", *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 27, no. 4, pp. 1818-1829, Apr. 2012.
3. H. Moussa, M. Fadel and H. Kanaan, "A single-stage DC-AC boost topology and control for solar PV systems supplying a PMSM", in *Proc REDEC Conf.*, Nov. 2012, pp. 1-7.
4. B.A. Essalam and K. Mabrouk, "Grid-Connected Modeling, Control and simulation of single phase two-level photovoltaic power generation system coupled to a permanent magnet synchronous," *Proc. IEEE WOSSPA Workshop*, May 2011, pp. 29-34.
5. T. Tafticht, et al., "A new MPPT method for photovoltaic systems used for hydrogen production," *COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, vol. 26, pp. 62-74, 2007.
6. M. Dubey, S. Sharma, R. Saxena, "Solar PV Stand-Alone Water Pumping System Employing PMSM Drive", *IEEE Student's Conference on Electrical, Electronics and Computer Science SCECS* 2014.