

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

Пилипчук Юрій Олександрович

УДК 621.32

**Підвищення енергоефективності систем орієнтування
фотоелектричних батарей**

141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

АВТОРЕФЕРАТ
дипломної роботи магістра на здобуття вищої освіти
освітнього ступеня магістр

Тернопіль – 2018

Дипломною роботою магістра є рукопис

Робота виконана в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник кандидат технічних наук,
Івасечко Роман Романович,
асистент кафедри енергозбереження та енергетичного менеджменту
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

Рецензент доктор технічних наук, професор
Андрійчук Володимир Андрійович
професор кафедри світлотехніки та електротехніки
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

Захист відбудеться "25" лютого 2018 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні екзаменаційної комісії № 38 з атестації здобувачів вищої освіти освітнього ступеня магістр 141 - електроенергетика, електротехніка та електромеханіка при Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя МОН України за адресою: 46000, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46, аудиторія 404.

З авторефератом дипломної роботи магістра можна ознайомитись в інституційному репозиторії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (ELARTU) за адресою: <http://elartu.tntu.edu.ua/>.

Секретар
екзаменаційної комісії № 38

Коцюрко Р.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження.

При будівництві заміських будинків, будиночків на дачних ділянках, теплиць, різних фермерських будівель все частіше стали застосовуватися автономні системи електрозабезпечення. Сонячні батареї забезпечують незалежність від загальних електричних мереж. Та й в містах в приватному секторі нерідко можна побачити на дахах будинків сонячні батареї домашніх електростанцій.

Ефективність сучасних сонячних систем в середньому не перевищує 18 % - 20 %. У кращих зразків ефективність може досягати 25 %. У 2014 році вчені Австралійського центру UNSW щодо вдосконалення фотовольтаїки повідомили, що їм вдалося домогтися ефективності сонячних батарей в 40 %.

При цьому потрібно розуміти, що вимірювання величини ефективності проводиться, коли сонячна панель освітлюється сонцем під прямим кутом. Якщо сонячна батарея закріплена стаціонарно, то протягом дня, коли сонце переміщається по небосхилу, період прямого освітлення батареї сонцем буде відносно невеликим. І тому ефективність навіть найдосконаліших сонячних панелей буде знижуватися.

Для того щоб мінімізувати зниження ефективності сонячних систем, сонячні батареї повинні встановлюватися на поворотних модулях, які дозволять протягом усього світлового дня орієнтувати батареї на сонце. Такий поворотний пристрій, на якому закріплена несуча конструкція з однією або декількома сонячними панелями, називається трекером.

Він призначений для того, щоб стежити за сонцем, і, в залежності від його положення, орієнтувати на нього сонячну панель. Цей пристрій, в залежності від виконання, включає в себе один або два датчика стеження за сонцем, а також поворотний механізм. Трекер повинен бути встановлений в добре освітленому сонцем місці на землі, на стаціонарній станині, або на щоглі, яка підніме трекер на таку висоту, щоб сонячна батарея завжди була освітлена сонцем.

Навіть найпростіший поворотний пристрій з системою стеження за сонцем дозволяє отримати максимальний коефіцієнт корисної дії від сонячних батарей. Як показали дослідження, при відсутності належної орієнтації сонячних панелей на сонце втрачається до 35 % потужності. Тому, щоб вийти на заплановану потужність в разі нерухомого кріплення фотоелементів, доводиться встановлювати більшу кількість панелей.

Проте на даний час чітко не встановлені витрати електроенергії на механізм системи слідування, залежність потужності двигуна від параметрів фотоелектричної системи. Тому актуальним є роботи, які пов'язані із проведенням досліджень у даних питаннях.

Об'єкт дослідження: процес стеження за рухом Сонця та переміщення фотоелектричної батареї.

Предмет дослідження: стежучий електропривід сонячної фотоелектричної станції.

Метою роботи є розробка стежучого електродвигуна системи орієнтування фотоелектричних батарей на основі дослідження її особливостей роботи та зовнішніх факторів, які чинять на неї вплив.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі:

1. Аналіз побудови систем управління поворотом сонячних батарей;
2. Аналіз принципів роботи рухомих фотоелектричних систем;
3. Оцінити економію енерговитрат в електродвигуні стеження сонячної фотоелектричної станції;
4. Дослідження факторів, що впливають на необхідну потужність двигуна стежучого електродвигуна;
5. Дослідження збурюючих впливів вітру, що діє на плоский фотоприймач сонячної фотоелектричної станції;
6. Розробка математичної моделі одноконтурного стежучого електродвигуна сонячної фотоелектричної станції;
7. Розробка системи управління зі змінною структурою стежучого електродвигуна СФЕС;
8. Обґрунтування економічної ефективності переходу на покроковий режим стеження.
9. Розробка заходів з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях та екології.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач були використані методи математичного аналізу, теорії автоматичного управління, математичного та комп'ютерного моделювання. Дослідження СЕП СФЕС проводилося на основі методів комплексних планомірних експериментів.

Наукова новизна одержаних результатів.

- розроблена нова схема для універсальної системи управління електродвигуном постійного струму.
- запропонована математична модель одноконтурної системи СЕП СФЕС, що забезпечує оптимальне відпрацювання збурюючих впливів;
- запропонована математична модель одноконтурної системи наведення зі змінною структурою (СЗС) і датчиком стеження, яка нечутлива до зміни параметрів системи управління.

Практичне значення одержаних результатів

- результати теоретичних і експериментальних досліджень можуть бути використані в задачах проектування та оптимізації режимів роботи СЕП СФЕС різної потужності.
- СФЕС може бути використана для живлення об'єктів, віддалених від електричних мереж та для підтримки роботи стільникових базових станцій і репітерів GSM.

Апробація результатів роботи.

Результати роботи були апробовані на VI Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 16-17 листопада 2017 року.

Структура і обсяг роботи.

Дипломна робота магістра складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи 127 сторінок, 9 таблиць і 46 рисунків; список літератури з 42 найменувань на 5 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні задачі досліджень, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, апробацію та впровадження результатів роботи.

Перший розділ «Літературний огляд» носить оглядово-аналітичний характер і містить результати роботи по аналізу існуючої у світі інформації щодо тематики дипломної роботи. Розглянуто: принцип побудови систем управління поворотом сонячних батарей, систему управління поворотом сонячних батарей на базі різних механізмів. Проведено аналіз видів контролерів сонячної батареї та давачів положення Сонця. У значній мірі представлено аналіз особливостям роботи рухомих механізмів фотоелектричних систем.

Виявлено, що основними відомими способами підвищення ефективності СФУ є: розробка прогресивних технологій виготовлення СФЕ, направлених на зменшення їх вартості та збільшення ККД; - використання концентраторів сонячного випромінювання; - застосування систем стеження за Сонцем. Встановлено, що внаслідок ефекту горизонту відбувається зменшення середньорічного шляху Сонця на небосхилі, що робить ефективним кутом повороту трекера близько 150 градусів.

У **другому розділі «Основна частина»** наведено основні результати дипломної роботи. Здійснено аналіз покрокового режиму стеження. Представлено модель одноконтурного стежучого електроприводу сонячної фотоелектричної станції та результати моделювання. Запропоновано систему управління зі змінною структурою стежучого електроприводу СФЕС, яка є більш енергозберігаючою ніж прототип.

В результаті аналізу режимів роботи сонячних фотоелектричних станцій та вимоги до їх електроприводів, встановлено, що для розрахунку потужності виконавчого двигуна електроприводу на практиці можна користуватися емпіричної залежністю – 10 Вт потужності електродвигуна на 1000 Вт вихідної електричної потужності СФЕС в режимі безперервного спостереження за Сонцем. Проте для реалізації допоміжних режимів, таких як «перекидання» виконавчого валу, «пошук» і «захоплення» об'єкта спостереження, такої потужності недостатньо.

При переході від безперервного руху до покрокового режиму автостеження за Сонцем, економію енергії в електроприводі можна оцінювати на підставі коефіцієнта ефективності (1), що представляє відношення втрат в приводі при безперервному спостереженні до втрат при покроковому стеженні.

$$K_{ef} = \frac{\Delta P_{cn} t_c}{\Delta W_k N_k} \quad (1)$$

де ΔP_{cn} – загальні втрати потужності в двигуні і силовій електричній частині при безперервному спостереженні, Вт;

ΔW_k – втрати енергії в двигуні при відпрацюванні одного кроку, Дж;

t_c – час неперервного слідкування, с;

N_k – число кроків за час слідкування.

В результаті розрахунків встановлено, що при потужності двигуна стеження 50 Вт економія втрат в результаті переходу від безперервного до покрокового режиму автостеження за Сонцем може досягати до 50 % енергії, споживаної електроприводом від мережі.

Проаналізовано фактори, що впливають на необхідну потужність двигуна, яка розраховується за формулою (2). Найбільшу протидію оберտальному механізму чинить опір вітру.

$$P_{сл} = K_3 \frac{(M_{випр} + M_{тр} + M_{дисб}) \omega_{i.вал}}{\eta_k} \quad (2)$$

де $M_{випр}$ – розрахункове значення моменту сил обертання фотоприймача, обумовленого дією вітру Н;

$M_{тр}$ – момент тертя в опорах фотоприймача, Н;

$M_{дисб}$ – момент сил обертання фотоприймача, обумовлений дисбалансом моментів обертання, що визначаються вагою фотоприймача і врівноважувачим вантажем, Н;

$\omega_{i.вал}$ – максимальна необхідна швидкість виконавчого валу, рад/с;

η_k – ККД кінематичного кола;

K_3 – коефіцієнт запасу по потужності двигуна

Встановлено, що найбільш вагомий вплив на механізм стежучого електроприводу чинить вітер. Моменти обертання, спричинені натиском вітру, залежать від різниці сил на протилежні сторони батареї відносно осі обертання. Ці сили визначається аеродинамічними коефіцієнтами C . Провівши необхідні перетворення, нами встановлено, що обертаючий момент вітрового навантаження, що діє на плоский прямокутний фотоприймач, можна визначити за формулою:

$$M_{випр} = \frac{1}{4} S k W_0 \quad (3)$$

де W_0 - характеристичне значення вітрового тиску

k - коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням вітрового навантаження;

S – площа фотоприймача;

Ці величини знаходяться відповідно до ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи».

Проаналізовано існуючу функціональну електромеханічна схема одноконтурної СЕП СФЕС. Встановлено, що величина перерегулювання становить 60 %, час регулювання становить 6 с, і число коливань дорівнює 3, що не задовольняє нашим вимогою точності і швидкодії. Тому запропоновано використати систему управління зі змінною структурою (СЗС) стежучого електроприводу, яка дає можливість підвищити якість перехідних процесів і зменшення чутливості системи до зміни її параметрів.

В результаті моделювання запропонованої системи встановлено, що величина перерегулювання дорівнює нулю, число коливань дорівнює нулю, час регулювання 4 с. Тому, в результаті використання СЗС, стало можливим забезпечити мінімальний вплив збурюючих впливів на СЕП СФЕС, підвищити якість і зменшення чутливості до зміни її параметрів.

Як приклад у роботі розглянуто СФЕС потужністю 1 кВт. Відповідно до запропонованої у роботі методики здійснено розрахунок потужності виконавчого двигуна електроприводу у покроковому режимі із системою управління зі змінною структурою стежучого електроприводу. Розрахована потужність складає 31 Вт. Проте в результаті аналізу впливу збурюючих факторів на виконавчий механізм, для підвищення надійності системи, пропонується при розрахунках потужності двигуна за наведеними у цій роботі формулами враховувати ще коефіцієнт запасу $K_3 = 1,05 \dots 1,5$. Тому з урахуванням K_3 для електроприводу проекрованої геліоустановки обраний двигун постійного струму з номінальною потужністю 50 Вт, номінальною напругою 12 В і номінальною швидкістю 2500 об/хв.

У третьому розділі «Спеціальна частина» представлено сучасні підходи до візуального моделювання складних систем та опис ліцензійного програмного забезпечення, яке використано для проведення розрахунків та представлення їх результатів.

У четвертому розділі «Обґрунтування економічної ефективності» наведено обґрунтування показників та розрахунок періоду окупності економічної ефективності проекту заміни системи монтажу сонячних панелей. Встановлено, що період окупності переобладнання фотоелектричної системи системою стеження та орієнтації становить 4,95 роки, що в чотири рази менше, ніж її власний період окупності.

У п'ятому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» описано основні вимоги безпеки до улаштування та експлуатації технологічного обладнання, Сигнально-попереджувальні пристрої і фарбування обладнання та Особливості проведення рятувальних та інших невідкладних робіт при ліквідації наслідків великих виробничих аварій і катастроф

У шостому розділі «Екологія» наведено аналіз екологічних аспектів нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії та методів прогнозування стану навколишнього природного середовища.

ВИСНОВКИ

1. Сонце проходить через 360 градусів зі сходу на захід за день, однак з точки зору будь-якого фіксованого положення у видимій частині це становить 180 градусів протягом середнього напівденного періоду (більше навесні і влітку, менше восени і взимку). Внаслідок ефекту горизонту відбувається зменшення цього шляху ще трохи, що робить ефективним кутом повороту трекера близько 150 градусів.

2. Встановлено, що найбільш енергоефективним є покроковий режим стеження за Сонцем, крім цього привід досить виконувати одноконтурним, з від'ємним зворотним зв'язком по положенню.

3. Розроблено математичну модель для одноконтурної СЕП СФЕС.

4. Розроблено систему зі змінною структурою СЕП, яка підвищує якісні характеристики перехідних процесів СЕП і призводить до зменшення чутливості системи управління до зміни її параметрів. Система зі змінною структурою забезпечує високу швидкодію у відпрацюванні заданого кута повороту СЕП СФЕС. В результаті менше витрачається енергії на компенсацію впливів, що створюють збурення, і режим роботи приводу стає енергозберігаючим

5. Створена установка стежучого електроприводу СЕП, з датчиком стеження і системою наведення на Сонце/

6. За підсумками проведених експериментів ККД установки СФЕС за рахунок СЕП був збільшений на 42 %. Результати даної роботи можна застосовувати для проектування сонячних фотоелектричних станцій різної потужності.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати роботи

1. Пилипчук Ю.О. Енергоефективність системи позиціонування фотоелектричних батарей / Ю. О. Пилипчук, В.П. Коваль, Р. Р. Івасечко // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 16-17 листопада 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — Том 3. — С. 139. — (Електротехніка та енергозбереження).

АНОТАЦІЯ

Пилипчук Ю.О. Підвищення енергоефективності систем орієнтування фотоелектричних батарей. – **Рукопис.**

Дипломна робота магістра за спеціальністю 141 - електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2018.

Наводиться обґрунтування застосування систем наведення в сонячних фотоелектричних станціях (СФЕС) і розглянуті основні принципи побудови електроприводу в системах наведення, дано опис основних елементів СФЕС. Проводиться аналіз, і обґрунтування обраного типу електроприводу і режиму

його роботи. виконано дослідження електроприводу геліоустановки на підставі яких обраний двигун. Розроблено принципову схему системи наведення СФЕС.

Ключові слова: сонце, стежучий електропривід, фотоелектрична батарея, енергоефективність.

ANNOTATION

Pylypchuk Yu.O. Energy efficiency increasing of photoelectric battery targeting systems. - Manuscript.

Diploma paper for a Master's Degree, speciality 141 Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics . – Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, 2018.

Substantiate the use of guidance systems in the Solar Photovoltaic stations (SFES) and the basic principles of the actuator in guidance systems, a description of the main elements SFES. The analysis and study of the selected type actuator and its mode of operation. The studies of solar electric on which engine is selected. A principal scheme of the guidance system SFES.

Key words: hybrid energy systems, renewable energy, charging stations, replace batteries stations.