

МЕТОДИ І ПРИЛАДИ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

УДК 004.4:681.2.02

РОЗРОБКА ТА МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО СТЕНДУ З ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Слабінога М.О.*, Клочко Н.Б., Винничук А.Г., Заячук Я.І.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15,
м.Івано-Франківськ, 76019, mslabinoha@gmail.com

Стаття присвячена розробці та метрологічним дослідженням комп'ютеризованого стенду з дослідження характеристик функціонування сонячних панелей. Наведено спрощену схему підключення сонячної панелі та сервоприводів, описано процес вимірювання потужності продукованого струму. Проведено експеримент та описано алгоритм знаходження оптимальної за критерієм оптимальної продукованої потужності позиції сонячної панелі методом простого перебору координат та описано подальші перспективи використання лабораторного стенду. Здійснено розрахунок невизначеності при вимірюванні потужності продукованого струму.

Ключові слова: сонячні панелі, керування позицією, вимірювання потужності струму, двохвимірної оптимізація, невизначеність вимірювання.

Статья посвящена разработке и метрологическим исследованием компьютеризированного стенда по исследованию характеристик функционирования солнечных панелей. Приведена упрощенная схема подключения солнечной панели и сервоприводов, описан процесс измерения мощности производимого тока. Проведен эксперимент и описан алгоритм нахождения оптимальной по критерию оптимальной производимой мощности позиции солнечной панели методом простого перебора координат и описано дальнейшие перспективы использования лабораторного стенда. Осуществлен расчет неопределенности при измерении мощности производимого тока.

Ключевые слова: солнечные панели, управление позицией, измерения мощности тока, двухмерную оптимизация, неопределенность измерения.

The article is devoted to the development and metrological research of a computerized stand on the study of solar panel operation characteristics. The simplified scheme of a solar panel and servo drives connection is given, the process of produced power is described. An experiment with an algorithm for finding the solar panel position by maximal produced power, using the method of simple coordinate iteration was described. Further prospects for using the laboratory stand were listed. Calculation of uncertainty in measuring the power of generated current was done.

Keywords: solar panels, position control, electricity power measurement, two-dimensional optimization, uncertainty of measurement.

свердловин можуть виникати нові просторові, часові і функціональні структури.

З розвитком та популяризацією технологій сонячної енергетики важливою задачею є розробка лабораторних стендів з дослідження засобів та технологій даної галузі. Питанням створення лабораторних стендів з дослідження функціонування сонячних панелей присвячена велика кількість праць [1–2].

Частина таких праць фокусуються тільки на дослідженні окремих аспектів роботи сонячних

панелей – на куті нахилу щодо джерела освітлення, інтенсивності освітлення. При цьому майже не розглядається можливість безпосереднього або дистанційного керування позицією сонячних панелей та одночасного отримання даних про значення їх основних функціональних параметрів. Експериментальні дані, отримані з таких установок, дали б можливість оцінити залежність продуктивності

сонячних панелей з урахуванням умов навколишнього середовища, кута нахилу сонячної панелі до джерела освітлення, інтенсивності освітлення, тощо.

Авторами було розроблено програмне та апаратне забезпечення мікроконтролера для лабораторного стенду з дослідження характеристик сонячних панелей [3-4]. Для взаємодії мікроконтролера з персональним комп'ютером, спрощення проведення вимірювань та підвищення надійності, структуру системи було дещо модифіковано. Схема підключення сонячної панелі та проведення вимірювання подана на рис. 1.

Контакти сонячної панелі під'єднуються до двох паралельно включених резисторів номіналу 4,7 кОм. Паралельно, вхід "+" сонячної панелі підключається до входу A0 мікропроцесорної плати Arduino Uno, а вхід "-" підключається до входу GND.

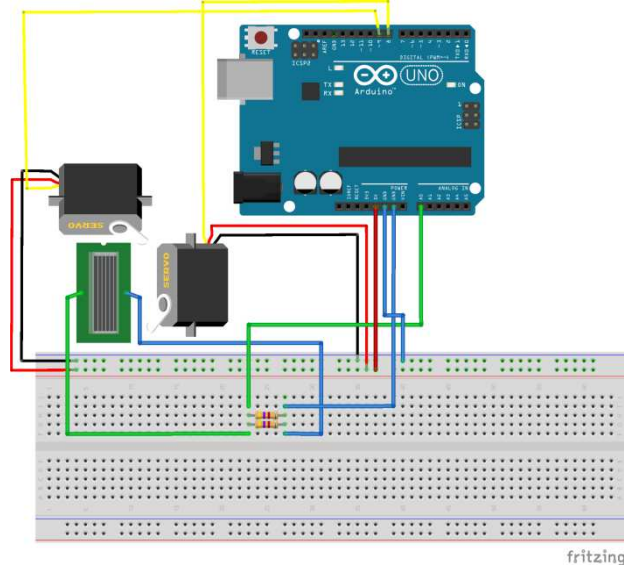


Рисунок 1 – Схема підключення сонячної панелі та проведення вимірювання

Схема керування позицією сонячної панелі складається з двох сервоприводів SG-90, які здійснюють регулювання азимута та кута нахилу.

Таким чином, на вході A0 отримується значення напруги в діапазоні 0-5 В. Маючи сумарний опір паралельно включених резисторів, на яких вимірюється спад напруги (2,35 кОм), за законом Ома обчислюється сила струму, після чого за добутком сили струму та напруги, обчислюється потужність електричного струму, що продукується сонячною панеллю. Інформація про продукovanу потужність передається через USB за допомогою послідовного інтерфейсу в

форматі числа з плаваючою комою з частотою 5 значень за секунду.

Для прийому даних на стороні ПК було розроблено програмне забезпечення мовою Python, яке використовує бібліотеку serialpy для взаємодії з послідовним інтерфейсом, NumPy для опрацювання масивів даних та Matplotlib для динамічної побудови графіка залежності продукovanної потужності від кута нахилу або азимуту.

Для тестування лабораторного стенду в режимі експерименту було проведено дослід з пошуку позиції, в якій продукovanна потужність сонячної панелі є найбільшою методом послідовного перебору. Блок-схема алгоритму показана на рис. 2.

Робота системи за даним алгоритмом є простою та надійною, однак тривалість визначення оптимальної за продукovanною потужністю позиції в даному випадку є дуже великою: для вимірювання значення потужності на кожній із $90 \cdot 180 = 16200$ позицій панелі зі частотою 5 вимірювань за секунду потрібно 3240 секунд (54 хвилини).

Для збільшення швидкодії алгоритму визначення оптимальної позиції панелі, що працює в даний спосіб, можна зменшити кількість точок заміру. з урахуванням невизначеності при позиціонуванні панелі з допомогою сервоприводів SG-90. Час знаходження оптимальної позиції при зменшенні кількості точок вимірювання по обох осях в N разів, зменшуватиметься в N^2 разів.

Для пошуку оптимальної позиції даний алгоритм не є ефективним, однак він може застосовуватися для дослідження ефективності сонячних панелей в залежності від кута повороту відносно джерела освітлення.

Для визначення оптимальної позиції доцільно застосовувати двохвимірні методи оптимізації, наприклад, метод покоординатного спуску. Оскільки сонячні панелі мають єдине джерело освітлення, на яке слід здійснювати орієнтування, то задача знаходження оптимальної позиції сонячної панелі (без урахування метеорологічних умов та природних і штучних перешкод на поверхні Землі) виключає наявність локальних максимумів, що спрощує пошук глобального максимуму.

З метою оцінювання точності та достовірності результату визначення потужності продукovanної сонячною панеллю, що входить до складу лабораторного стенду, необхідно здійснити метеорологічне дослідження вимірюваних величин, а саме напруги і опору.

Значення напруги було виміряне багаторазово, а величина опору визначалася

двома паралельно включеними резисторами, які входять до складу лабораторного стенду.

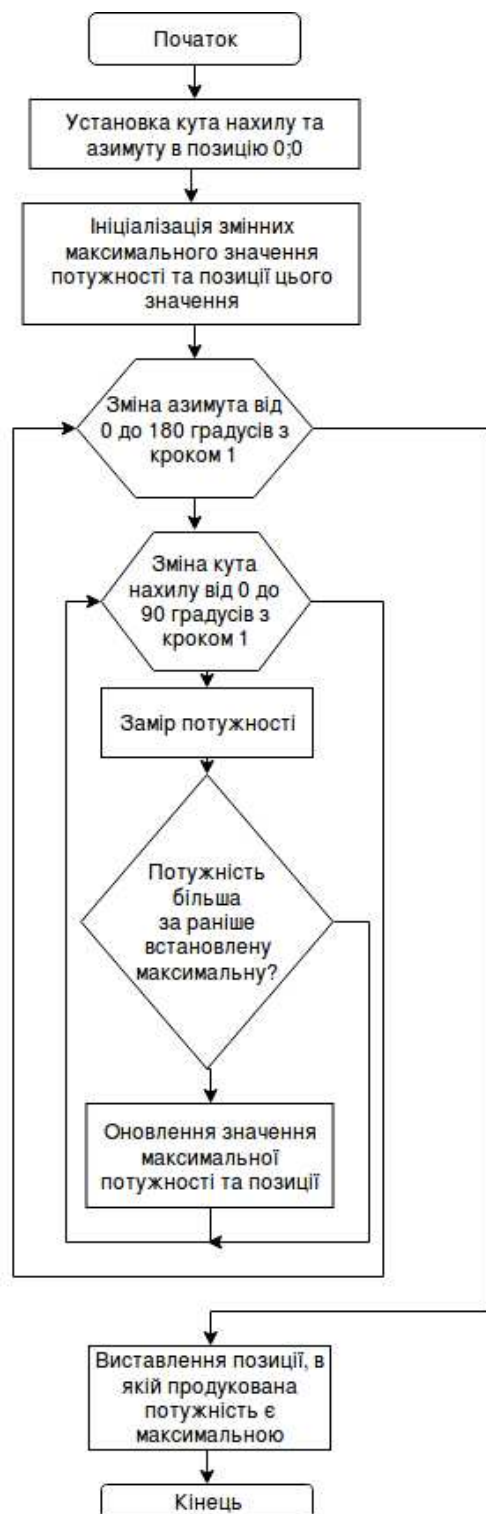


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритму послідовного перебору з метою знаходження позиції панелі з максимальною

продукованою енергією

Перш за все було встановлено закон розподілу результатів вимірювання напруги. За результатами розрахунків зроблено висновок про наявність рівномірного закону розподілу, що дозволило застосувати теорію невизначеності для опрацювання результатів вимірювання.

Наступним кроком опрацювання багаторазових вимірювань було встановлення репрезентативності вибірки та відсутності в ній промахів. На основі проведених досліджень підтверджено те, що вибірка з результатів вимірювання напруги відповідає даним твердженням.

Подальше опрацювання результатів здійснювалось за відомою методикою оцінювання невизначеності [5].

Виходячи із формули для визначення потужності знайдемо значення коефіцієнтів вагомості:

$$\frac{\partial P}{\partial U} = \frac{2U}{R} \quad (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial R} = -\frac{U^2}{R^2} \quad (2)$$

Беручи до уваги, що середнє значення вимірювальної напруги становить 2,49 В, а опору - 2350 Ом, коефіцієнти вагомості становлять:

$$\frac{\partial P}{\partial U} = 0.0021 \quad (3)$$

$$\frac{\partial P}{\partial R} = -1.12 \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

Перейдемо до оцінювання невизначеності результатів вимірювання напруги. Стандартна невизначеність вимірювання напруги обчислюється за формулою:

$$u_A(U) = \sqrt{\frac{\sum (U_i - \bar{U})^2}{n(n-1)}} \quad (5)$$

$$u_A(U) = 0.000304V \quad (6)$$

Виходячи із того, що діапазон вимірювання напруги від 0 до 5 В, а роздільна здатність АЦП від 0 до 1024, похибка квантування становитиме 4,8 мВ. В той же час напруга вимірюється з точністю до 0,01, внаслідок чого отримуємо похибку 5мВ. Оскільки останнє значення перевищує похибку квантування, то доцільніше приймати його для розрахунку невизначеності

за типом Б вимірювання напруги.

$$u_B(U) = \frac{5,94\text{ мВ}}{\sqrt{3}} = 2,94\text{ мВ} \quad (7)$$

Сумарна стандартна невизначеність складає:

$$u_C(U) = \sqrt{u_A^2(U) + u_B^2(U)} = 0,00296\text{ В} \quad (8)$$

Наступний кроком буде оцінювання стандартної невизначеності опору. У даному випадку невизначеність типу А буде відсутня, оскільки маємо фіксовані значення двох рівних паралельно включених опорів 4,7 Ом $\pm 5\%$. Щодо невизначеності за типом Б, то її значення становитиме:

$$u_C(R) = u_C(R) = \frac{5\% * 4,7\text{ кОм}}{100\% * \sqrt{3}} = 138\text{ Ом} \quad (9)$$

Оцінимо середнє значення потужності:

$$P = \frac{U^2}{R} = 2,65\text{ мВт} \quad (10)$$

Відповідно, стандартна сумарна невизначеність потужності становить [5]:

$$u_C(P) = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial U} u_C(U)\right)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial R} u_C(R)\right)^2} = 0,155\text{ мВт} \quad (11)$$

Отож, розширена невизначеність становить:

$$U = k * u_C(P) = 0,31\text{ мВт} \quad (12)$$

Результат вимірювання потужності

$$(2,65 \pm 0,31)\text{ мВт при } P=0,95 \quad (13)$$

ВИСНОВКИ

Розроблене апаратне та програмне забезпечення комп'ютеризованого лабораторного стенду з дослідження сонячних панелей дозволяє проводити дослідження ефективності роботи сонячних панелей в залежності від їх кута нахилу відносно джерела освітлення, а також проводити експерименти з дослідження швидкодії та точності алгоритмів

двохвимірної оптимізації в задачі знаходження оптимальної за продукуюною потужністю струму позиції сонячної панелі, що є перспективним напрямком досліджень в галузі енергетики.

В результаті метрологічного аналізу виділено складові невизначеності та обчислено розширену невизначеність вимірювання потужності яка становить **0,36 мВт**.

1. Kyomugisha R. A Remote Solar Photovoltaic Laboratory based on the iLabs Shared Architecture (ISA) /R. Kyomugisha, D. Bomugisha, M. Mwikirize // 12th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 25-28 February 2015, Bangkok, Thailand. - Bangkok, Thailand, 2015. – P. 56-62.

2. Assante D. A remotely accessible photovoltaic system as didactic laboratory for electrical engineering courses /D. Assante, M. Tronconi // Global Engineering Education Conference (EDUCON), 18-20 March 2015. – Tallinn, Estonia, 2015. – P. 479-485.

3 Sapa S. The hardware of solar panels position control as part of the laboratory bench / S. Sapa, M. Slabinoha, N. Klochko, A. Vynnychuk // Science of the third millennium, 18-29 April 2017. – Morrisville, USA, 2017. – P. 28-30.

4 Слабінога М. О. Програмне забезпечення взаємодії мікроконтролера та ЕОМ у складі лабораторного стенда з дослідження функціонування сонячних панелей / М.О. Слабінога, Н.Б. Клочко, Ю.М. Кучірка // Системи обробки інформації. — 2017. — № 4. — С. 155-157.

5 Захаров И. П. Теория неопределенности в измерениях. - Харьков: Консум, 2002, 256 с.

Поступила в редакцію 11.05.2018 р.
Рекомендували до друку: докт.техн.наук, проф. Горбійчук М. І., докт. техн. наук, проф. Середюк О. Є.