

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Рябкін Є.К.

yevhenii.riabkin@nure.ua

Науковий керівник – асистент Махонін В.Г.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПЕЕА
м. Харків, Україна

The paper analyzes the physical principles of operation of photoelectric converter meters, considers the main requirements for such systems. The existing approaches to measuring the main parameters of photovoltaic cells are summarized; photocurrent, photovoltage, spectral sensitivity and temperature stability. Based on the analysis, a method for automated measurement of photoelectric converter characteristics has been created, and a hardware and software complex for automated parameter control has been developed.

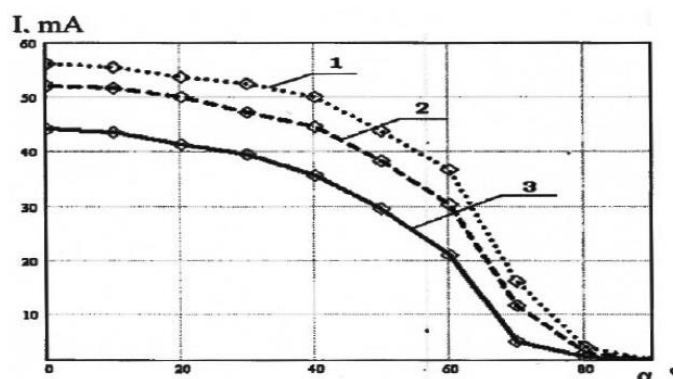
При виробництві сонячних батарей досить важливим є етап вихідного контролю їх характеристик. Такий контроль проводиться в заздалегідь визначених умовах, основними з яких є температура фотоперетворювачів зазвичай 25 °С, інтенсивність випромінювання (що складає 1 кВт / м²) і стандартизований спектральний розподіл сонячного світлового потоку.

Основними вимогами до таких вимірювачів параметрів фотоелектричних перетворювачів є наступні: освітленість повинна бути постійною і контрольованою, висока однорідність світла на поверхні тестованого елемента, мінімальні помилки у вимірах, комп'ютеризація управління силовими пристроями, комп'ютеризація обробки інформації. У виробничих умовах фотоперетворювачі, для усунення впливу температурного фактору, можуть контролюються з допомогою фотоспалахів.

Для досліджень параметрів сонячних елементів також використовуються тестери або тестери/сортувальники. Вони бувають як імпульсними, так і з опроміненням в безперервному режимі. Імпульсні тестери відрізняються тим, що під час практично миттєвого вимірювання елемент не встигає нагрітися і температурна похибка зменшується. Суттєвим фактором є також тип джерела освітленості, що імітує сонячне випромінювання.

Для дослідження імітатора сонячного випромінювання використовувався зразок кремнієвого фотоелектричного перетворювача марки КДБ-10 псевдоквадратної форми зі стороною 60 мм і структурою типу p^+-p-p^+ . В якості імітатора сонячного випромінювання застосовувалася галогенні лампи FL-5 потужністю 150 Вт.

Результати вимірювань величини струму перетворювача від висоти розташування джерела освітленості та кута падіння світлового потоку представлені на рис. 1.



1 h = 27 см, 2 h = 32 см, 3 h = 37 см

Рис. 1 – Графік залежності величинч струму перетворювача від (α) кута падіння світлового та відстані від його джерела (h)

При проведенні експериментальних досліджень, вимірювалися світлові навантажувальні характеристики зразка, розміщеного по центру світильника при перпендикулярному їх освітленні ($\alpha = 0$), для трьох раніше визначених значень висоти, в якості навантаження застосовувався магазин опорів Р326 класу точності 0,02.

Для забезпечення точності вимірювань не менше 3% необхідні цифрові вимірювачі струмів і напруг, що забезпечують реєстрацію результатів з індикацією не менше 3-х розрядів після коми.

За результатами випробувань пристрою на малих рівнях потужності і уточнення вимог до основних його вузлів, було запропоновано для підвищення точності вимірювань і швидкодії замінити прецизійні навантажувальні резистори на їх електричні аналоги синтезовані за допомогою цифроаналогового перетворювача (ЦАП) генератором лінійно наростаючого струму, а в ланцюзі вимірювання фотоструму застосувати аналого-цифровий перетворювач (АЦП) тієї ж розрядності.

Порівняно простий математичний аналіз показує, що при числі двійкових розрядів, рівному 12, забезпечується точність менше 0,1%. підвищення швидкодії забезпечується вибором ЦАП і АЦП, які формують всі дискретні відліки точок характеристики за 1-2 мс або протягом одного світлового імпульсу.

Для забезпечення необхідних питомих потужностях опромінення був застосований імпульсний режим роботи галогенної лампи (потужність 500 Вт) і пристрої керуванн від комп'ютера (ПК).

З метою автоматизації обробки результатів вимірювань, розроблено алгоритм та програма, яка забезпечує введення вихідних параметрів, обробку значень напруги і струму для світлової та темної ВАХ, і виводу

на екран монітора або на принтер основні параметри перетворювача, що досліджується, або контролюється, а саме значення напруги холостого ходу U_{xx} , струму короткого замикання $I_{kз}$, оптимальних параметрів U_{opt} , I_{opt} , R_{opt} , послідовного R_n і шунтуючого опору, струму насичення I_s , ККД, а також збереження результатів в графічному і цифровому вигляді.

Важливим сучасним напрямом удосконалення вимірювальних систем є підвищення автоматизації обробки даних, що дозволяє значно скоротити час аналізу та мінімізувати вплив людського фактору на результати. Сучасні підходи передбачають використання адаптивних алгоритмів, здатних самостійно визначати оптимальні параметри згладжування, проводити корекцію нелінійностей та формувати узагальнені моделі на основі великих масивів експериментальних даних. Це особливо актуально для виробничих ліній, де контроль ФП здійснюється у потоковому режимі, а кількість вимірюваних параметрів може сягати декількох десятків для кожного зразка.

Загалом розвиток автоматизованих вимірювальних систем для фотоелектричних перетворювачів відбувається у напрямі підвищення інтелектуалізації засобів дослідження. Окрім традиційних методів оцінювання параметрів, все ширше застосовуються підходи, що базуються на використанні статистичних методів аналізу та машинного навчання. Це дає можливість не лише оперативно визначати відхилення у характеристиках зразків, але й прогнозувати їх поведінку за умов зміни інтенсивності освітлення, температури чи спектрального складу випромінювання. У задовільних умовах експлуатації такі системи дозволяють формувати рекомендації щодо оптимізації технологічних процесів або вибору режимів роботи фотоелектричних модулів. У поєднанні з високошвидкісними вимірювальними каналами це значно підвищує цінність отриманих даних та розширює можливості дослідника щодо комплексної оцінки функціонування ФП та БФ у реальних умовах.

Список використаних джерел:

1. Гнатюк П.С., Романюк В.В. Метрологія та вимірювання у фотовольтаїці: сучасні інструменти. – Львів: ЛНУ «Політехніка», 2021.
2. Петренко Л. М., Бондар О. В. Фотоелектричні перетворювачі: методи вимірювання та параметризація. – Київ: НАУ, 2022.
3. Rossi, L., Ahmed S. Embedded-Based Solar Cell Testing Systems: Architecture and Optimization. – IEEE Access, 2021.
4. Hernandez, J., Morales D. Photovoltaic Cell Characterization Techniques: Modern Approaches and Measurement Automation. – Elsevier, 2021.
5. Silva, T., Santos, A. High-Precision Characterization of Photovoltaic Devices: Sensors, Methods and Automation. – Wiley, 2020.
6. Kim, S., Park, J. Smart Measurement Platforms for Solar Cells: Design, Interfaces, Algorithms. – CRC Press, 2022.