УДК 621.307.13
DOI: 10.15587/2313-8416.2016.84426

ДОСЛІДЖЕННЯ СТЕНДОВИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА БАТАРЕЙ

© К. М. Божко, Г. С. Гуренок, Н. М. Защепкіна

Розглянуті методи та засоби для контролю вольт-амперних характеристик сонячних батарей. Описано конструкцію промислового імітатору сонячного випромінювання та автоматизовані системи для контролю ВАХ (вольт-амперних характеристик) сонячних батарей. Виявлено, що вони використовуються виключно при виробництві СБ, а безпосередньо на місці експлуатації немає належних засобів для їх контролю
Ключові слова: *сонячна батарея, сонячний елемент, вольт-амперна характеристика, контроль, імітатор сонячного випромінювання*

The methods and means to control of the current-voltage characteristics of solar batteries are considered. The construction of industrial solar radiation simulators and automated control system for current-voltage characteristics of solar batteries is described. It is revealed that they are used exclusively in the production of solar batteries, and there are no appropriate means for their control directly at operation location
Keywords: *solar battery, solar cell, current-voltage characteristics, control, solar radiation simulator*

1. Вступ

Сонячна енергетика знаходиться у стані бурхливого розвитку, про що свідчать обсяги виробництва фотоелектричних сонячних батарей (ФЕСБ) і особливо щорічні темпи приросту їх виробництва [1]. Найбільш поширеним в наш час матеріалом для ФЕСБ є кристалічний кремній, доля якого у загальній потужності щорічно вироблених ФЕСБ перевищує 85 % і не має тенденції до пониження [2]. Підвищення коефіцієнту корисної дії (ККД), а також подовження терміну експлуатації ФЕСБ є одним із головних напрямів сучасних наукових досліджень, метою яких є зменшення собівартості енергії [3]. Для досягнення цього, на наш погляд, необхідне впровадження нових та вдосконалення існуючих методів і засобів контролю ФЕСБ, зокрема, засобів вимірювання їх вольт-амперних характеристик (ВАХ).

2. Літературний огляд

Встановлено, що факторами негативного впливу на ККД ФЕСБ під час їх експлуатації є наявність дефектів кремнієвих пластин та поступова деградація ФЕСБ під дією світла [4] або високої зворотної напруги [5].

Створені на цей час методи і засоби контролю СЕ та ФЕСБ орієнтовані на їх використання в умовах виробництва [6]. Проте, експлуатація ФЕСБ, тривалість якої складає 20 і більше років, не супроводжується належним контролем. Це спонукає до вдосконалення методів і засобів контролю ФЕСБ для вимірювання їх експлуатаційних параметрів і характеристик, а також виявлення і локалізації дефектів, наявність яких негативно впливає на ККД ФЕСБ.

Вимірювання ВАХ надає можливість розрахувати максимальну потужність та ККД ФЕСБ, а також дозволяє також здійснювати контроль дефектів на ранній стадії їх розвитку та прогнозувати деградацію ФЕСБ, що є важливим чинником для забезпечення корекції навантаження для максимального відбору до нього потужності. Нагрівання ФЕСБ під час вимірювання ВАХ є одним із головних чинників методичної похибки, для зменшення якої розроблені імпульсні методи і засоби вимірювання [7]. Проте, ці засоби потребують подальшого вдосконалення та адаптації до умов експлуатації ФЕСБ.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – проаналізувати стан проблеми контролю вольт-амперних характеристик сонячних батарей.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі:

1. Розглянути наявні стендові засоби для контролю вольт-амперних характеристик сонячних батарей.

2. Проаналізувати переваги та недоліки розглянутих засобів.

3. Представити рішення для подолання проблеми контролю вольт-амперних характеристик ФЕСБ і СЕ.

4. Аналіз сучасних засобів вимірювання вольт-амперних характеристик

Для вимірювання ВАХ сонячних елементів (СЕ) та ФЕСБ застосовують лабораторні стенди, до складу яких належать імітатори сонячного випромінювання (ІСВ) [8].

Розглянемо конструкцію імпульсного ІСВ (рис. 1). В якості випромінювача в імітаторі використана газорозрядна лампа з ксеноновим наповненням 2, розміщена в корпусі 1. Електроди лампи охолоджуються проточною водою та повітрям. Коліматорна оптична система імітатору розміщена в трубі 3. В цілях зміни положення пучка імітатору в просторі можна нахилити корпус за допомогою домкратів 7, або піднімати чи опускати його гвинтовим механізмом 5. Крім того, корпус можна повертати відносно опорної колонки 6, проводячи відлік розвороту по шкалі 4. Електроживлення лампи відбувається від стабілізованого випрямляча 8, який забезпечує регулювання струму живлення в діапазоні 1:5.

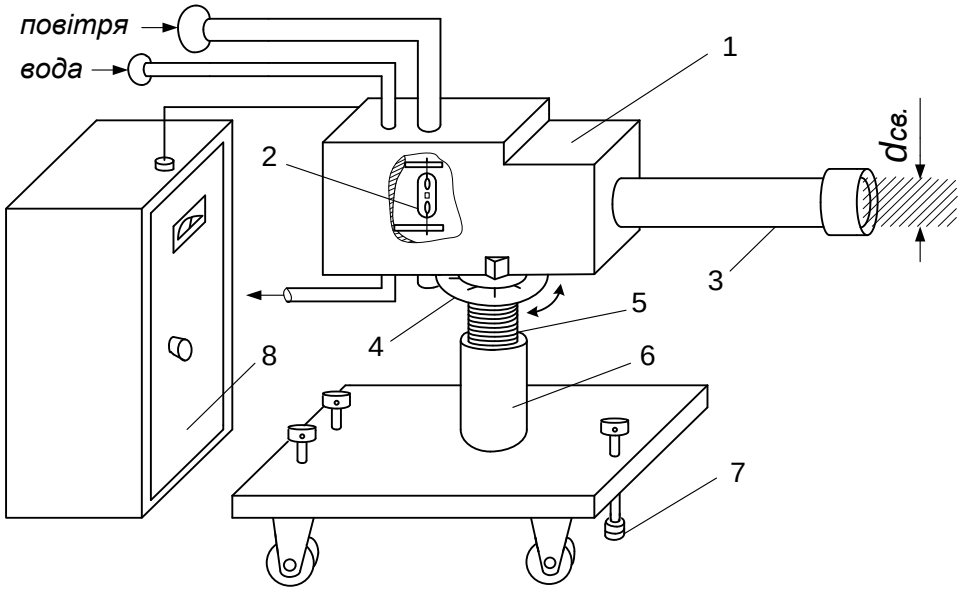

Рис. 1. Імітатор сонячного випромінювання

Для оптико-електронних приладів, укомплектованих кремнієвими фотодіодами, наприклад для сонячних датчиків, не потрібна імітація ультрафіолетової області спектру, і часто не висуваються жорсткі вимоги по куту розбіжності світлового пучка. В цих умовах сонячне випромінювання імітують за допомогою ламп розжарювання, виробляючи необхідну корекцію спектральної кривої випромінювання світлофільтрами. В якості прикладу можна вказати на лампи-фари, що містять галогенну лампу і відбивач з багатошаровим інтерференційним покриттям для діапазону 0,38–0,6 мкм. Завдяки цьому випромінювання лампи-фари в діапазоні 0,4–1,2 мкм задовільно збігається зі спектром сонячного випромінювання, розбіжність пучка імітатора не перевищує 10.

На нашу думку, перевага імітатора на основі лампи розжарювання полягає у відсутності пульсацій потоку випромінювання, які характерні для імітаторів з газорозрядними лампами, крім того, не потрібно охолодження, імітатори безпечні в обігу.

В наш час створені потужні автоматизовані системи для вимірювання ВАХ напівпровідникових приладів і пристроїв [9], зокрема, СЕ. Принцип дії подібної системи полягає у одночасному вимірюванні напруги і струму двома окремими каналами при поступовій зміні опору в колі навантаження, що здійснюється подачею пилкоподібної напруги або серії імпульсів із зростаючою амплітудою до кола управління навантаженням. ВАХ отримують за допомогою вбудованого програмного забезпечення і відображають на дисплеї системи або на комп'ютері.

Застосовують подібні системи переважно в наукових дослідженнях та при виробництві ФЕСБ, особливо на етапі впровадження нових технологічних ланцюжків. При цьому об'єктом контролю з найбільш повним набором вимірюваних параметрів і характеристик є переважно окремі СЕ.

Процес вимірювання ВАХ ФЕСБ відрізняється від аналогічного процесу для СЕ збільшеними у десятки раз діапазону напруги та струму, що потребує залучення додаткових апаратно-програмних засобів. Іншою проблемою вимірювання є великі розміри ФЕСБ (до 2 м^2 і навіть більше), що приводить до необхідності створення потужних імітаторів сонячного освітлення. Зазначимо також, що система вимірювання ВАХ є програмно-апаратним комплексом, доля програмної частини якого переважає апаратну.

5. Результати дослідження

Таким чином, недоліки автоматизованої системи при застосуванні у вимірюваннях ВАХ ФЕСБ утворюють наступний ряд:

– наявність складного програмного забезпечення, множина функціональних можливостей якого на порядок переважає над необхідними для вирішення поставленої задачі інструментами;

– неможливість виконання вимірювань всіх наявних СЕ і ФЕСБ одним засобом, існує потреба у залученні додаткового потужного програмованого керованого джерела струму;

– неможливість безпосереднього отримання ВАХ у реальному часі на дисплеї у вигляді осцилограми (без залучення додаткової програмної обробки);

– необхідність створення і застосування потужного імітатора сонячного освітлення з площею робочого поля у кілька квадратних метрів.

Слід зазначити, що остання проблема притаманна всім без винятку методам вимірювання ВАХ, і тому потребує окремого вирішення. Нами запропоновано два варіанти її подолання:

– застосувати природне освітлення від Сонця;

– використати імітатор сонячного освітлення від розподіленого джерела, побудованого на кількох лампах-освітлювачах [10].

6. Висновки

Встановлено, що не існує універсального засобу вимірювання ВАХ СЕ та ФЕСБ і це спонукає до пошуку і розробки подібної системи. Пошук науково-технічних рішень, на нашу думку, має бути зосереджений на вдосконаленні імпульсних засобів шляхом розширення діапазону струму та зменшення ви-

ділення джоулеві тепла в циклі вимірювання, що зменшить методичну похибку вимірювання.

Література

1. Мхитарян, Н. М. Проблемы развития энергетики Украины. Возобновляемая и нетрадиционная энергетика [Текст] / Н. М. Мхитарян, В. Ф. Мачулин // Наука и инновации. – 2006. – Т. 2, № 2. – С. 63–75. doi: 10.15407/scin2.02.063

2. Photovoltaics Report [Electronic resource]. – Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. – 2015. – Available at: http:// www.ise.fraunhofer.de

3. Патон, Б. Є. Умови ефективного застосування сонячних електроенергетичних систем [Текст] / Б. Є. Патон, М. І. Клюй, О. Є. Коротинський, А. В. Макаров // Вісник НАН України. – 2012. – № 3. – С. 48–58. doi: 10.15407/visn2012.03.048

4. Schmidt, J. Light-induced Degradation in Crystalline Silicon Solar Cells [Text] / J. Schmidt // Solid State Phenomena. – 2004. – Vol. 95-96. – P. 187–196. doi: 10.4028/www.scientific.net/ssp.95-96.187

5. Cueto del, J. A. Analysis of leakage currents in photovoltaic modules under high-voltage bias in the field [Text] / J. A. del Cueto, T. J. McMahon // Progress in Photovoltaics Research & Applications. – 2002. – Vol. 10, Issue 1. – P. 15–28. doi: 10.1002/pip.401

6. Fraunhofer ISE. Jahresbericht 2014/15 [Text]. – Freiburg: Fraunhofer, 2015. – 156 p.

7. Архипов, С. А. Современное аппаратное обеспечение для исследования солнечных элементов [Текст] / С. А. Архипов, Н. Н. Боярко // Научный вестник КУЭИТУ. Новые технологии. – 2011. – Т. 1, № 31. – С. 25–30.

8. Тельный, А. А. Имитация солнечного излучения в лабораторных условиях [Текст] / А. А. Тельный // Оптико-механическая промышленность. – 1976. – № 5. – С. 43–46.

9. Алферов, Ж. И. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики [Текст] / Ж. И. Алфёров, В. М. Андреев, В. Д. Румянцев // Физика и техника полупроводников. – 2004. – Т. 38, № 8. – С. 937–948.

10. Harkonen, J. Processing of high efficiency silicon solar cells [Text] / J. Härkönen. – Helsinki, Helsinki University of Technology, 2001. – 115 p.

References

1. Mkhitaryan, N., Machulin, V. F. (2006). Ukrainian Energetics Development Problems. Renewable and Non-Traditional Energy. Nauka Ta Innovacii, 2 (2), 63–75. doi: 10.15407/scin2.02.063

2. Photovoltaics Report (2015). Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. Available at: http://www.ise.fraunhofer.de

3. Paton, B. E., Klyui, N. I., Korotynsky, A. E., Makarov, A. V., Trubitcyn, U. O. (2012). Umovi efectivnogo zastosuvannya sonyachnich elektroenerge-tichnuch sistem. Visnik NAN Ukraini, 3, 48–58. doi: 10.15407/visn2012.03.048

4. Schmidt, J. (2004). Light-Induced Degradation in Crystalline Silicon Solar Cells. Solid State Phenomena, 95-96, 187–196. doi: 10.4028/www.scientific.net/ssp.95-96.187

5. Del Cueto, J. A., McMahon, T. J. (2002). Analysis of leakage currents in photovoltaic modules under high-voltage bias in the field. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 10 (1), 15–28. doi: 10.1002/pip.401

6. Fraunhofer ISE. Jahresbericht 2014/15 (2015). Freiburg: Fraunhofer Publishing, 156.

7. Arhipov, S. A., Bojarko, N. N. (2011). Sovremennoe aparatnoe obespechenie dlya isledovania solnechnich elementov. Nauchnyj vestnik KUJEITU. Novye tehnologii, 1 (31), 25–30.

8. Telniy, A. A. (1976). Imitazia solnechnogo izluchenia v laboratornich usloviach. Optiko-mecanicheskaya promishlennost, 5, 43–46.

9. Alferov, Zh. I., Andreev, V. M., Rumjancev, V. D. (2004). Tendencii i perspektivy razvitija solnechnoj fotojenergetiki. Fizika i tehnika poluprovodnikov, 38 (8), 937–948.

10. Harkonen, J. (2001). Processing of high efficiency silicon solar cells. Helsinki, Helsinki University of Technology, 115.

Дата надходження рукопису 12.10.2016

Б**ожко Костянтин Михайлович**, старший викладач, кафедра наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
E-mail: bozhkonew@mail.ru

Гуренок Ганна Сергіївна, кафедра наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
E-mail: anna.gurenok@gmail.com

Защепкіна Наталія Миколаївна, доктор технічних наук, професор, кафедра наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
E-mail: Nanic1604@gmail.com