

УДК 621.316.1.05

Н.В.Буслова¹, канд.техн.наук, **Д.В.Петріченко**² (Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського", Київ)

Термографія фотоелектричних модулів сонячних електричних станцій

Показано необхідність використання інфрачервоної термографії для дослідження електролюмінесцентних дефектів. Використання даного методу дозволяє визначити пошкоджені елементи фотоелектричного модуля. Застосований метод візуалізації дефектів кремнієвих фотоелектричних модулів базується на процесі їх нагрівання зворотним струмом. Бібл. 6, рис. 4.

Ключові слова: термографія, фотоелектричні модулі, контроль дефектів.

Orcid: ¹0000-0001-8472-3940; ²0000-0002-6394-037X

Вступ. В Україні виробництво електричної енергії з сонячної набуває все більшої популярності, оскільки вартість фотоелектричних (ФЕ) модулів швидко знижується, що робить його більш конкурентоспроможним порівняно з електроенергією, виробленою з традиційних джерел. Деякі країни досягли паритету, тобто вартість електроенергії, виробленої з сонячної, рівна або менша за вартість електроенергії від звичайних невідновлюваних джерел. У тих районах, де відсутнє електропостачання, сонячна енергія стала альтернативним джерелом енергії.

Кожен ФЕ модуль складається з декількох десятків фотоелектричних комірок, які, в свою чергу, складаються з матриці фотоелементів, що перетворюють сонячну енергію в електричну. Відмова будь-якого ФЕ модуля може привести до падіння виробітку електроенергії, що зменшує потужність ФЕ системи. Електричні випробування на кожній окремій панелі на потужних сонячних електростанціях, які можуть включати в себе сотні тисяч ФЕ модулів, є трудомістким процесом. Найбільш ефективним методом ідентифікації та контролю дефектних ФЕ модулів є інфрачервона термограма [1].

Інфрачервона термографія є одним із основних методів візуалізації дефектів при нагріванні поверхні досліджуваного об'єкта. Метод розроблений для різних застосувань і, зокрема, для контролю сонячних елементів. Нагрівання сонячних елементів здійснюють невеликим електричним

струмом із зовнішнього джерела живлення, який пропускають через фотоелемент при відсутності поглинених фотонів. Такий струм називають темновим. Нерівномірність температурного поля свідчить про наявність дефектів, які є джерелом додаткового локального нагрівання.

Одним із останніх досягнень даного методу є побудова за знятими термограмами поверхні ФЕ модуля вольт-амперних характеристик локальних місць нагріву, в яких зосереджені дефекти. За вольт-амперними характеристиками визначають такий важливий експлуатаційний параметр, як коефіцієнт форми. Коефіцієнтом форми називають відношення діючого значення струму до середнього за модулем значення. Зменшення цього коефіцієнта свідчить про деградацію фотоелектричного елемента.

Електролюмінесценція дефектів (гарячих точок) кремнію є також основою методу їх візуалізації. Причиною появи цих дефектів є утворення паразитних світлодіодних структур на фосфіді алюмінію внаслідок недосконалості технології нанесення шин живлення на поверхню кремнієвої пластини. Світіння супроводжується нагріванням поверхні темновим струмом. Ефект виникає при подачі на кремнієвий сонячний елемент зворотної напруги. При рівномірному розподілі дефектів по поверхні сонячного елемента нагрівання є також рівномірним, і воно не веде до значної деградації ФЕ модулів [2]. Вкрай шкідливим є локальне скупчення дефектів, яке

призводить до значного перепаду температури між зоною дефекту та неушкодженою частиною сонячного елемента. Слід зауважити, що наявність у ФЕ модуля принаймні одного дефектного елемента зменшує загальний коефіцієнт корисної дії. Важливим є також візуальний контроль люмінесцентних точок ФЕ модуля, який можна виконувати неозброєним оком в умовах часткового затемнення приміщення.

Термограма дозволяє локалізувати місця дефектів та оцінити їх внесок у деградацію. При зворотному включенні на ФЕ модуль подається напруга від 9 до 20 В із середньою щільністю світлового потоку $0,1 \text{ Вт/см}^2$. На рис. 1 зображено термограму сонячного елемента з монокристалічного кремнію при напрузі 20 В [3]. Локальний осередок перегріву (у вигляді білої плями) має температуру на 20 градусів вищу ($67,24^\circ\text{C}$), ніж середня температура поверхні елемента (47°C).

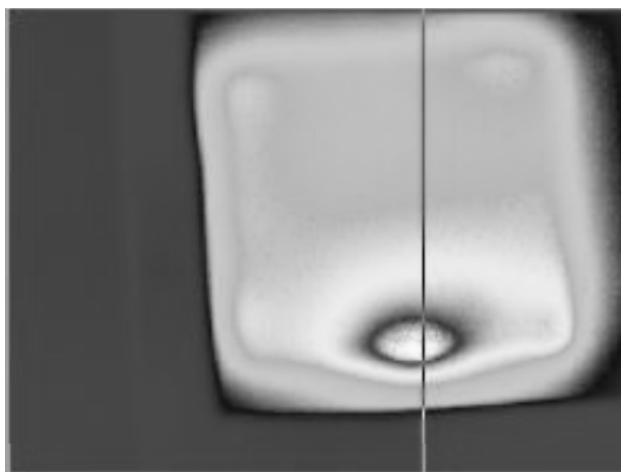


Рис. 1. Термограма ФЕ комірки із монокристалічного кремнію.

Наявність скла над пластиною кремнію призводить до збільшення осередку перегріву. Наявність білої плями в центрі зображення (рис. 2) свідчить про наявність дефекту, який унеможливує проведення PID-тесту, за умовами якого ФЕ модулі випробовують 48 годин безперервно під зворотною напругою. Проведення цього тесту є частиною вихідного контролю на виробництві ФЕ модуля. Після проведення тесту до реалізації надходять лише ті ФЕ модулі, ККД яких зменшився на 0-15%.

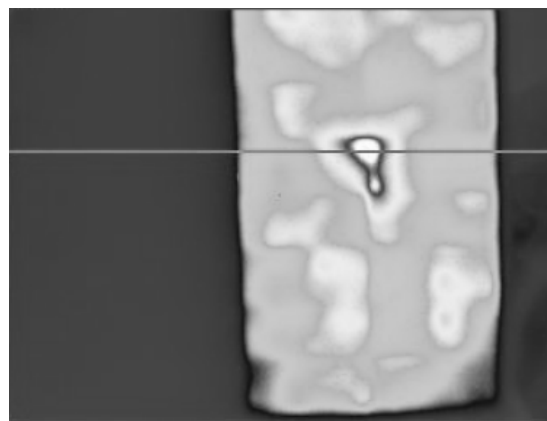


Рис. 2. Термограма ФЕ модуля потужністю 260 Вт.

Умови проведення термографічної зйомки.

Незважаючи на те, що скло має випромінювальну здатність на рівні 0,85-0,90 у хвильовому діапазоні 8-14 мкм [4], тепловізійні вимірювання на скляних поверхнях не найпростіша процедура. Предмети відображаються в склі, як у дзеркалі, через що на термічному зображенні добре видно відображення навколишніх об'єктів з різною температурою, що призводить до неправильних вимірів (помилкових гарячих точок).

Для того, щоб під час проведення термографічної зйомки на склі модуля не відображалась тепловізійна камера та оператор, не рекомендується проводити огляд під прямим кутом. Однак при цьому випромінююча здатність вища за все саме під прямим кутом і зменшується в міру його збільшення [5]. Компромісним варіантом є кут зйомки в діапазоні від 5° до 60° , де 0° відповідає перпендикуляру (рис. 3).



Рис. 3. Рекомендований (зелений) та нерекомендовані (червоний) кути зйомки під час термографічних оглядів.

У більшості випадків ФЕ модулі можна обстежити за допомогою тепловізійної камери, розміщеної на зворотному боці елементів. Це дозволяє позбутися перешкод у вигляді відображень сонця і хмар. Крім того, температура зі зворотного боку може виявитися вищою, оскільки фотоелемент не прихований скляною поверхнею. На рис. 4 зображено гарячі ділянки ФЕ модулів з лицьового боку, які можуть створювати враження, що масив фотоелементів працює недостатньо ефективно [6]. При огляді зі зворотного боку гарячих ділянок не видно, оскільки на зображенні, зробленому з лицьового боку, вони були викликані відображенням хмар.

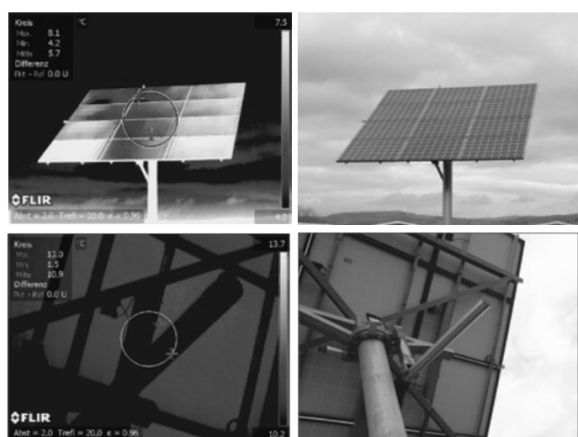


Рис. 4. Гарячі ділянки ФЕ модулів з лицьового та зворотного боків.

Природні умови та тепловізійні вимірювання. При проведенні термографічної перевірки небо повинне бути ясным, оскільки хмари зменшують потік сонячного випромінювання і створюють перешкоди у вигляді відображень. Однак інформативні зображення можна отримати і в умовах хмарності, якщо тепловізійна камера досить чутлива. Контроль дефектів рекомендується проводити при безвітряній погоді, оскільки потік повітря на поверхні ФЕ модуля може викликати його конвекційне охолодження і тим самим зменшувати температурний перепад. Чим нижча температура повітря, тим більш можлива теплова контрастність. У зв'язку з цим термографічний контроль можна проводити рано вранці.

Ще один спосіб підвищити теплову контрастність – відключити фотоелементи від

навантаження. В результаті пропадає струм, і нагрівання відбувається тільки за рахунок сонячного випромінювання. Після цього можна знову підключити навантаження і спостерігати за фотоелементами в фазі нагрівання. Однак у більшості випадків рекомендується оглядати системи в звичайних робочих умовах, тобто під навантаженням. Залежно від різновиду елемента і типу збою або несправності, додаткову інформацію можна отримати за допомогою вимірювань без навантаження або під час короткого замикання.

Висновки. Візуалізація дефектів кремнієвих фотоелектричних модулів дозволяє визначити пошкоджені комірки, які значно знижують виробіток електричної енергії.

1. C.E. Chamberlin, M.A. Rocheleau, M.W. Marshall, A.M. Reis, N.T. Coleman, P.A. Lehman Chamberlin. Comparison of PV module performance before and after 11 and 20 years of field exposure / 37th IEEE PV Specialists Conference, Seattle, WA, 2011.
2. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE/ Photovoltaics Report. Freiburg, 2012.
3. В.А. Порев, Р.И. Пахалюк, К.М. Божко. Исследование люминесцирующих дефектов солнечных панелей/ Известия академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. – 2014. – №1. – С.11–14.
4. В.М. Попов, А.С. Клименко, А.П. Поканевич. Локальные свойства электрически активных дефектов в солнечных батареях на основе кремния / Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2010. – № 4. – С. 43–48
5. O. Breitenstein. Nondestructive local analysis of current-voltage characteristics of solar cells by lock-in thermography / Solar Energy Materials & Solar Cells. – 2011. – № 95. – pp. 2933–2936.
6. O. Breitenstein, W. Warta, M. Lagenkamp. Lock-in Thermography. Basic and Use for Evaluating Electronic Devices and Materials / New York: Springer Heidelberg Dordrecht London, 2010. – P. 256.

REFERENCES

1. C. E. Chamberlin, M. A. Rocheleau, M. W. Marshall, A. M. Reis, N. T. Coleman, P. A. Lehman Chamberlin. Comparison of PV module performance before and after 11 and 20 years of field exposure / 37th IEEE PV Specialists Conference, Seattle, WA, 2011.
2. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE / Photovoltaics Report. Freiburg, 2012.
3. VA Porev, RI Pakhalyuk, KM Bozhko. Investigation of luminescent defects of solar panels / Proceedings of the Academy of Engineering Sciences. A.M. Prokhorov. 2014. – №1. – С.11-14.
4. V. M. Popov, A. S. Klimenko, A. P. Pokanovich. Local

properties of electrically active defects in solar cells based on silicon / Technology and design in electronic equipment. – 2010. – No. 4. – P. 43-48

5. O. Breitenstein. Nondestructive local analysis of the current-voltage characteristics of solar cells by means of lock-in thermography / Solar Energy Materials & Solar Cells. – 2011. – No. 95. – pp. 2933-2936.

6. O. Breitenstein, W. Warta, M. Lagenkamp. Lock-in Thermography. Basic and Use for Evaluation Electronic Devices and Materials / New York: Springer Heidelberg Dordrecht London, 2010. – P. 256.

Н.В.Буслова, канд.техн.наук, **Д.В.Петриченко** (Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского", Киев)

Термография фотоэлектрических модулей солнечных электрических станций

Показана необходимость использования инфракрасной термографии для исследования электролюминесцентных дефектов. Использование данного метода позволяет определить поврежденные элементы фотоэлектрического модуля. Примененный метод визуализации дефектов кремниевых фотоэлектрических модулей базируется на процессе их нагрева обратным током. Библ. 6, рис. 4.

Ключевые слова: термография, фотоэлектрические модули, контроль дефектов.

Buslova N., Petrichenko D. (National Technical University of Ukraine "Igor Sykorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv)

Thermography of photovoltaic modules of solar powerstations

In this article is shown the necessity of using infrared thermography to electroluminescence control of photovoltaic module defects on solar PV plant. Using this method can determine the damaged elements of the photovoltaic module. The method of visualizing of defects in silicon photovoltaic modules is based on a process of heating the reverse current. References 6, figures 4.

Keywords: thermography, photoelectric modules, visualizing of defects.

SYNOPSIS

Producing of electricity from solar energy is becoming more popular in Ukraine, as the cost of photovoltaic (PV) modules is rapidly decreases making it more competitive compared with electricity, which produced from non-renewable sources of energy. In some developed countries, the cost of electricity generated by solar PV plant is equal to or less than the cost of electricity from non-renewable sources of energy. In the not electrified areas, solar energy becoming an alternative source of energy.

Each PV module consists of several photovoltaic cells, which consist of a matrix of solar cells that convert solar energy into electricity. Failure of any PV module can lead to a drop the power of PV system, which reduces the power generation. Electrical tests of each PV module on large PV plants which include thousands PV modules is a time-consuming process. Thermography is the most effective method to identify and control of defective PV modules.

Стаття надійшла до редакції 16.05.17

Остаточна версія 29.06.17

XV МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА ЕНЕРГЕТИКА В ПРОМИСЛОВІСТІ-2017
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНЕ, ЕНЕРГЕТИЧНЕ УСТАТКУВАННЯ, ЕЛЕКТРИЧНІ ПІДСТАНЦІЇ, КАБЕЛІ, ПРОВІДИ, ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ, ПРОМИСЛОВА СВІЛОТЕХНІКА, АВТОМАТИЗАЦІЯ, КВПІА

XV МІЖНАРОДНИЙ ФОРУМ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ КОМПЛЕКС УКРАЇНИ: СЬОГОДЕННЯ ТА МАЙБУТНЄ

МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
Україна, 02002
Київ, Броварський пр-т, 15
М "Лівобережна"
тел./факс: (044) 201-11-57
e-mail: lyudmila@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua, www.мвц.укр
www.tech-expo.com.ua

ОРГАНІЗАТОР:
Міжнародний виставковий центр
ЗА ПІДРИМКИ
Міністерства енергетики
та вугільної промисловості України
Технічний партнер: *Рент Медіа*

7-9
листопада