

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОСВІТЛЕНОСТІ І ТЕМПЕРАТУРИ ОТОЧУЮЧОГО СЕРЕДОВИЩА НА СХЕМНІ ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ В СОНЯЧНИХ БАТАРЕЯХ

Тимчук С. О.<sup>1</sup>, Шендрик С. О.<sup>2</sup><sup>1</sup>Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка,<sup>2</sup>Сумський державний університет

Отримано математичні моделі для визначення схемних втрат при комутації сонячних елементів від температури та освітленості для корекції вольт-амперної характеристики сонячної батареї.

**Постановка проблеми.** Сучасний етап розвитку енергетики України характеризується все більшим поширенням застосування альтернативних джерел електроенергії, інтегрування їх в існуючі електромережі, формуючи таким чином гібридні електромережі. Процес аналізу таких мереж потребує детальних математичних моделей їх складових систем і елементів. Одним з альтернативних джерел електроенергії є сонячні батареї (СБ). Для аналізу функціонування (СБ) в складі гібридної електромережі необхідно мати математичну модель вольт-амперної характеристики (ВАХ). При її побудові одною з основних проблем є врахування схемних втрат, що обумовлені неідентичністю параметрів сонячних елементів (СЕ), міжелементними з'єднаннями та іншими технологічними факторами оскільки математична модель СБ зазвичай формується на основі математичної моделі СЕ. Дослідженню цієї проблеми не приділялось достатньо уваги.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Самі СЕ достатньо добре досліджені як теоретично [1, 3], так і експериментально [2, 4, 5]. Але втрати потужності від з'єднання СЕ в групи, а також в сонячні батареї математично і експериментально досліджені недостатньо [4]. Просте екстраполювання характеристик СЕ на більшу площину дає велику похибку. Означена проблема ускладнюється ще і тим, що параметри як СЕ так і СБ розподілені по площині, що ускладнює теоретичне дослідження[4].

**Мета статті.** Метою статті є побудова простих математичних моделей, що описують комутаційні та технологічні втрати в сонячних батареях.

**Основні матеріали дослідження.** Математична модель ВАХ СЕ будується на основі відомої експоненціальної залежності

$$I = I_{k3} - k_1 \exp(k_2(U - U_{xx})), \quad (1)$$

де  $I$  – сила струму СЕ;

$I_{k3}$  – сила струму короткого замикання;

$U$  – напруга СЕ;

$U_{xx}$  – напруга холостого ходу;

$k_1$  і  $k_2$  – коефіцієнти, які визначаються з умови проходження ВАХ через характерні точки: короткого замикання, холостого ходу і оптимальну точку (струм  $I_{onn}$  і напруга  $U_{onn}$  при максимальній потужності).

Коефіцієнти  $k_1$  і  $k_2$  можуть бути отримані з виразу, аналогічного приведеному в [5]

$$k_1 = I_{k3} U / U_{xx},$$

$$k_2 = \ln((I_{k3} - I_{onn}) / k_1) / (U_{onn} - U_{xx}). \quad (2)$$

При побудові моделі ВАХ СБ на основі ВАХ СЕ комутаційні впливи можна описати системою чотирьох коефіцієнтів, які характеризують зміни чотирьох характерних параметрів ВАХ внаслідок комутації СЕ

$$K_1 = I_{k3} / I_{k3}^T; \quad K_2 = I_{onn} / I_{onn}^T;$$

$$K_3 = U_{onn} / U_{onn}^T; \quad K_4 = U_{xx} / U_{xx}^T, \quad (3)$$

де параметри без верхніх індексів – отримані в результаті експерименту на групах СЕ, а з індексом  $T$  – отримані на основі експериментальних даних окремих СЕ і перераховані згідно формул

$$I_{k3/onm}^T = I_{k3/onm}^{CE} \cdot m; \quad U_{xx/onm}^T = U_{xx/onm}^{CE} \cdot n. \quad (4)$$

де  $n, m$  – відповідно кількість послідовно і паралельно з'єднаних СЕ. Тобто ці параметри отримано без врахування схемних втрат.

Для отримання вихідних даних  $I_{k3/onm}$ ;  $I_{k3/onm}^{CE}$ ;  $U_{xx/onm}$ ;  $U_{xx/onm}^{CE}$  проведено серію експериментальних досліджень окремих СЕ, а також груп кремнієвих односторонніх СЕ при різних рівнях температури і освітленості. За допомогою регресійного аналізу отримані математичні моделі, що описують зміну  $K_1, K_2, K_3, K_4$  в залежності від зовнішніх факторів – температури та освітленості:

$$K_1 = -0,0019 \cdot t - 0,00014 \cdot E + 0,14 \cdot \ln(E) + 1,3 \cdot 10^{-6} \cdot t \cdot E;$$

$$K_2 = -0,777 - 0,0007 \cdot t - 0,00003 \cdot E + 0,246 \cdot \ln(E) - 1,3 \cdot 10^{-6} \cdot t \cdot E;$$

$$K_3 = 0,867 + 0,001548 \cdot t + 7,12 \cdot 10^{-5} \cdot E + 0,0313 \cdot \cos((E - 4 \cdot t - 520) / 1400 \cdot 2\pi);$$

$$K_4 = 0,9619 + 0,0012 \cdot t + 3,07 \cdot 10^{-6} \cdot E + 0,018 \cos((E + 5 \cdot t - 800) / 1400 \cdot 2\pi), \quad (5)$$

Експерименти проводились на групах СЕ, які сформовані комутацією 90 сонячних елементів ( $n=5, m=18$ ). Експериментальна установка дозволяє підтримувати постійну температуру сонячних елементів і

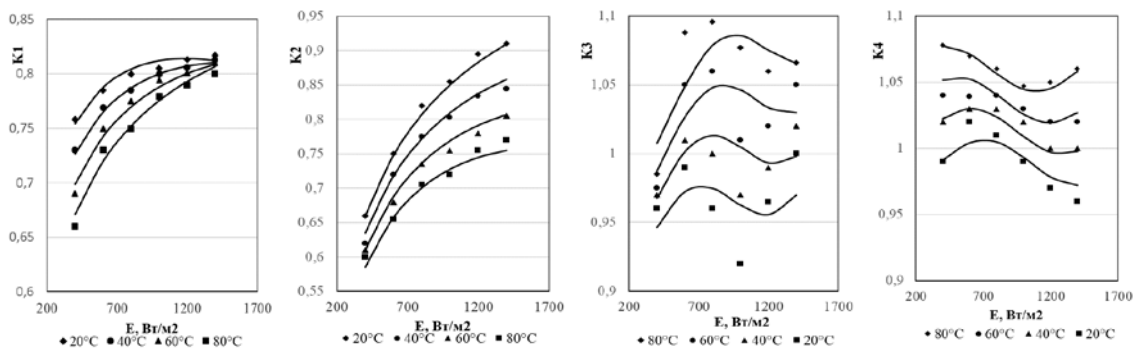


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнтів втрат по струмах короткого замикання і напругах холостого ходу та струмах і напругах в точці максимальної потужності від температури та освітленості

групи СЕ в діапазоні 15-90 °С з похибкою не більше 3% і підтримувати заданий рівень освітленості в межах 400-1500 Вт/м<sup>2</sup> з похибкою не більше 1%.

На рис. 1 показані результати дослідження.

Стандартні відхилення наведених регресійних залежностей для  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_4$  складають відповідно 0,005723; 0,009701; 0,023339; 0,007422.

Отже, маючи характеристики СЕ, з яких комутуються групи в СБ, на основі виразу (4) отримуються параметри  $I_{кз}^T$ ;  $U_{xx}^T$ . І далі з урахуванням (5) і (3) визначаються параметри СБ за формулами:

$$\begin{aligned} I_{кз} &= K_1 I_{кз}^T; & I_{онм} &= K_2 I_{онм}^T; \\ U_{онм} &= K_3 U_{онм}^T; & U_{xx} &= K_4 U_{xx}^T. \end{aligned} \quad (6)$$

Підставивши (6) в (1) і (2), отримаємо математичну модель вольт-амперної характеристики СБ, що враховує комутаційні втрати, а також втрати від неідентичності характеристик сонячних елементів. При цьому, враховуючи вигляд (5), вольт-амперна характеристика сонячної батареї оперативно корегується зі зміною температури і освітленості навколишнього середовища, що корисно не тільки в балансових розрахунках, а і при розробці алгоритмів оперативного керування режимами гібридних електромереж.

**Висновки.** Таким чином, отримані залежності для коефіцієнтів схемних втрат можна застосовувати для врахування впливу температури і освітленості на схемні втрати при математичному моделюванні ВАХ СБ з кремнієвими СЕ, зкомутуваними в групи пайкою. Це має бути корисним при балансових розрахунках електромереж з гібридною генерацією електроенергії, а також при реалізації алгоритмів оперативного керування режимами гібридних електромереж.

#### Список використаних джерел

1. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Г. Раушенбах. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 360 с.
2. Nema R. K. Computer Simulation Based Study of Photovoltaic Cells/Modules and their Experimental Verification / R. K. Nema, S. Nema, G. Agnihotri // International Journal of Recent Trends in Engineering. – 2009. – Vol 1, No. 3. – p. 151-156.

3. Tsuno Y. Temperature and irradiance dependence of the I – V curves of various kinds of solar cells / Y. Tsuno, Y. Hishikawa, K. Kurokawa // 15th International photovoltaic science & engineering conference PSEC – 15. – 2005. – p. 422-423.

4. Базилевский А. Б. Моделирование вольт-амперных характеристик солнечных батарей / А. Б. Базилевский, М. В. Лукьяненко // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева. – 2005. – № 4. – С. 63-66.

5. Гамарко А. В. Методи чисельної апроксимації вольт-амперних кривих фотоелектричного модуля / А. В. Гамарко // Відновлювальна енергетика. – 2016. – № 1. – С. 33-38.

#### Аннотация

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСВЕЩЕННОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА СХЕМНЫЕ ПОТЕРИ МОЩНОСТИ В СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЯХ

Тимчук С. А., Шендрик С. А.

*Получены математические модели для определения схемных потерь при коммутации солнечных элементов от температуры и освещенности для коррекции вольт-амперной характеристики солнечной батареи.*

#### Abstract

### INVESTIGATED THE INFLUENCE OF THE LIGHTING AND TEMPERATURE OF THE ENVIRONMENT ON THE SCHEME LOSSES OF POWER IN SOLAR ARRAYS

S. Tymchuk, S. Shendryk

*Mathematical models are obtained for determining the circuit losses in switching solar cells from temperature and illumination to correct the current-voltage characteristic of the solar arrays.*