

УДК 620.91

Т.Г. Сабірзянов, проф., д-р техн. наук, М.В. Кубкін, асист., В.П. Солдатенко, асист., О. А. Козловський, асист.

Кіровоградський національний технічний університет

Математична модель фотобатареї як джерела електричної енергії

В статті розробляється математична модель фотоелектричної батареї як джерела електричної енергії, що дозволяє враховувати вплив температури навколишнього середовища та самого фотоелектричного модуля, а також струм навантаження на вихідну потужність установки.
математична модель, фотоелектрична батарея, стандартні умови, вплив температури

В сучасних умовах все ширше застосовуються установки, які перетворюють енергію Сонця в електричну енергію постійного струму. При цьому фотоелектрична батарея представляється спрощеною математичною моделлю з деяким сталим коефіцієнтом корисної дії.

Насправді ж вихідна потужність сонячної установки буде залежати від багатьох чинників, зокрема від температури оточуючого середовища, температури фото панелі, струму навантаження батареї [1].

Метою статті є розробка математичної моделі фотоелектричної батареї, яка б дозволила визначити її електричну потужність у залежності від густини потоку сонячного випромінювання, температури оточуючого середовища та фото панелі.

Розрахунок вихідної потужності фотоелектричної батареї виконується за наступною формулою [2]

$$P_{\text{ФЕБ}}(t) = P_{\text{ФЕБном}} k_{\text{з.е.}} \frac{\bar{I}_{\beta}(t)}{I_{\text{СУ}}} [1 + \alpha_p (\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) - \vartheta_{\text{СУ}})], \quad (1)$$

де $P_{\text{ФЕБ}}(t)$ — вихідна потужність ФЕБ, кВт;

$P_{\text{ФЕБном}}$ — номінальна потужність ФЕБ при СУ, кВт;

$k_{\text{з.е.}}$ — коефіцієнт зниження ефективності ФЕБ;

$\bar{I}_{\beta}(t)$ — середнє значення густини потоку сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню ФЕБ за годинний інтервал, Вт/м²;

$I_{\text{СУ}}$ — густина потоку сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню ФЕБ при СУ, кВт/м²;

α_p — температурний коефіцієнт потужності ФЕБ, °С⁻¹ (як правило величина α_p від'ємна, що означає зменшення ефективності ФЕБ з підвищенням температури);

$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t)$ — поточна температура ФЕБ, °С;

$\vartheta_{\text{СУ}}$ — температура ФЕБ при СУ, °С.

Під стандартними умовами розуміють наступні: густина потоку сонячного випромінювання $I_{\text{СУ}} = 1$ кВт/м², температуру поверхні ФЕБ $\vartheta_{\text{ФЕБ}} = 25$ °С. Параметри, які отримуються при цих умовах називаються номінальними параметрами ФЕБ.

Якщо зміну потужності ФЕБ при зміні температури не враховувати, то формула (1) спрощується:

$$P_{\text{ФЕБ}}(t) = P_{\text{ФЕБном}} k_{з.е.} \frac{\bar{I}_{\beta}(t)}{I_{\text{СУ}}}; \quad (2)$$

Температура ФЕБ – це температура її поверхні. В нічний час доби температура поверхні батареї дорівнює температурі оточуючого середовища, а при освітленні сонячними променями може перевищувати температуру оточуючого середовища понад 30°C.

Температуру ФЕБ можна знайти з рівняння балансу потужностей [3], яке відображає баланс між сонячною енергією, що падає на ФЕБ, електричною потужністю і тепловіддачею в оточуюче середовище:

$$\tau \alpha I_{\beta}(t) = \eta_{\text{ФЕБ}} I_{\beta}(t) + \alpha_{\text{ФЕБ}} [\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) - \vartheta_0(t)]; \quad (3)$$

де τ — коефіцієнт пропускання ФЕБ;

α — коефіцієнт поглинання ФЕБ;

$I_{\beta}(t)$ — густина потоку сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню ФЕБ, кВт/м²;

$\eta_{\text{ФЕБ}}$ — ККД ФЕБ;

$\alpha_{\text{ФЕБ}}$ — коефіцієнт тепловіддачі від ФЕБ в оточуюче середовище, кВт/(м²·°C);

$\vartheta_0(t)$ — температура оточуючого середовища, °C.

Розв'язавши (3) відносно $\vartheta_{\text{ФЕБ}}$, отримаємо:

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \vartheta_0(t) + I_{\beta}(t) \frac{\tau \alpha}{\alpha_{\text{ФЕБ}}} \left(1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ}}}{\tau \alpha} \right); \quad (4)$$

Так як величину $\frac{\tau \alpha}{\alpha_{\text{ФЕБ}}}$ практично виміряти дуже важко, тому використовують технічні дані виробників. В режимі роботи без навантаження (4) матиме вигляд:

$$\frac{\tau \alpha}{\alpha_{\text{ФЕБ}}} = \frac{\vartheta_{\text{ФЕБном}} - \vartheta_{0ном}}{I_{ном}}, \quad (5)$$

де $\vartheta_{\text{ФЕБном}}$ — номінальна робоча температура ФЕБ при випробуваннях, °C;

$\vartheta_{0ном}$ — температура оточуючого середовища, при якій проводяться випробування і визначається $\vartheta_{\text{ФЕБном}}$, °C, (як правило $\vartheta_{0ном} = 20$ °C);

$I_{ном}$ — густина потоку сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню ФЕБ при проведенні випробувань, кВт/м², (як правило $I_{ном} = 800$ Вт/м²).

Для спрощення будемо вважати, що величина $\frac{\tau \alpha}{\alpha_{\text{ФЕБ}}}$ постійна, тоді рівняння (4) можна представити у вигляді:

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \vartheta_0(t) + I_{\beta}(t) \frac{\vartheta_{\text{ФЕБ ном}} - \vartheta_{0 \text{ ном}}}{I_{\text{ном}}} \left(1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ}}}{\tau \alpha} \right); \quad (6)$$

Прийmemo, що величина $\tau \alpha = 0,9$ [3]. Оскільки величина відношення $\frac{\eta_{\text{ФЕБ}}}{\tau \alpha}$ значно менша одиниці, то попереднє допущення не вносить значної похибки.

Вважатимемо також, що система керування ФЕБ автоматично підтримує режим роботи в точці відбору максимальної потужності. Це означає, що ККД ФЕБ завжди має максимальне значення:

$$\eta_{\text{ФЕБ}} = \eta_{\text{ФЕБ max}}, \quad (7)$$

де $\eta_{\text{ФЕБ max}}$ — ККД ФЕБ в точці відбору максимальної потужності.

Враховуючи (7) рівняння (6) набуває вигляду:

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \vartheta_0(t) + (\vartheta_{\text{ФЕБ ном}} - \vartheta_{0 \text{ ном}}) \frac{I_{\beta}(t)}{I_{\text{ном}}} \left(1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ max}}(t)}{\tau \alpha} \right); \quad (8)$$

Величина $\eta_{\text{ФЕБ max}}$ залежить від температури. Вважатимемо, що ККД змінюється за лінійним законом згідно рівняння:

$$\eta_{\text{ФЕБ max}}(t) = \eta_{\text{ФЕБ max СУ}} [1 + \alpha_P (\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) - \vartheta_{\text{СУ}})]; \quad (9)$$

де $\eta_{\text{ФЕБ max СУ}}$ — ККД ФЕБ в точці максимальної потужності при СУ.

Підставивши вираз (9) у (8) отримаємо рівняння для визначення поточної температури ФЕБ:

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \vartheta_0(t) + (\vartheta_{\text{ФЕБ ном}} - \vartheta_{0 \text{ ном}}) \frac{I_{\beta}(t)}{I_{\text{ном}}} \left(1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ max СУ}} [1 + \alpha_P (\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) - \vartheta_{\text{СУ}})]}{\tau \alpha} \right); \quad (10)$$

Виконавши еквівалентні перетворення у формулі (10) визначимо температуру ФЕБ у момент часу t :

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \frac{\vartheta_0(t) + (\vartheta_{\text{ФЕБ ном}} - \vartheta_{0 \text{ ном}}) \frac{I_{\beta}(t)}{I_{\text{ном}}} \left(1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ max СУ}} (1 - \alpha_P \vartheta_{\text{СУ}})}{\tau \alpha} \right)}{1 + (\vartheta_{\text{ФЕБ ном}} - \vartheta_{0 \text{ ном}}) \frac{I_{\beta}(t)}{I_{\text{ном}}} \frac{\eta_{\text{ФЕБ max СУ}} \alpha_P}{\tau \alpha}}; \quad (11)$$

Якщо значення $\eta_{\text{ФЕБ max СУ}}$ не зазначено в документації, то воно визначається із наступного рівняння:

$$\eta_{\text{ФЕБ, max СУ}} = \frac{P_{\text{ФЕБ ном}}}{F_{\text{ФЕБ}} I_{\text{СУ}}}; \quad (12)$$

де $F_{\text{ФЕБ}}$ — площа ФЕБ, м².

Алгоритм визначення вихідної потужності фотоелектричної батареї приведений на рис. 1.

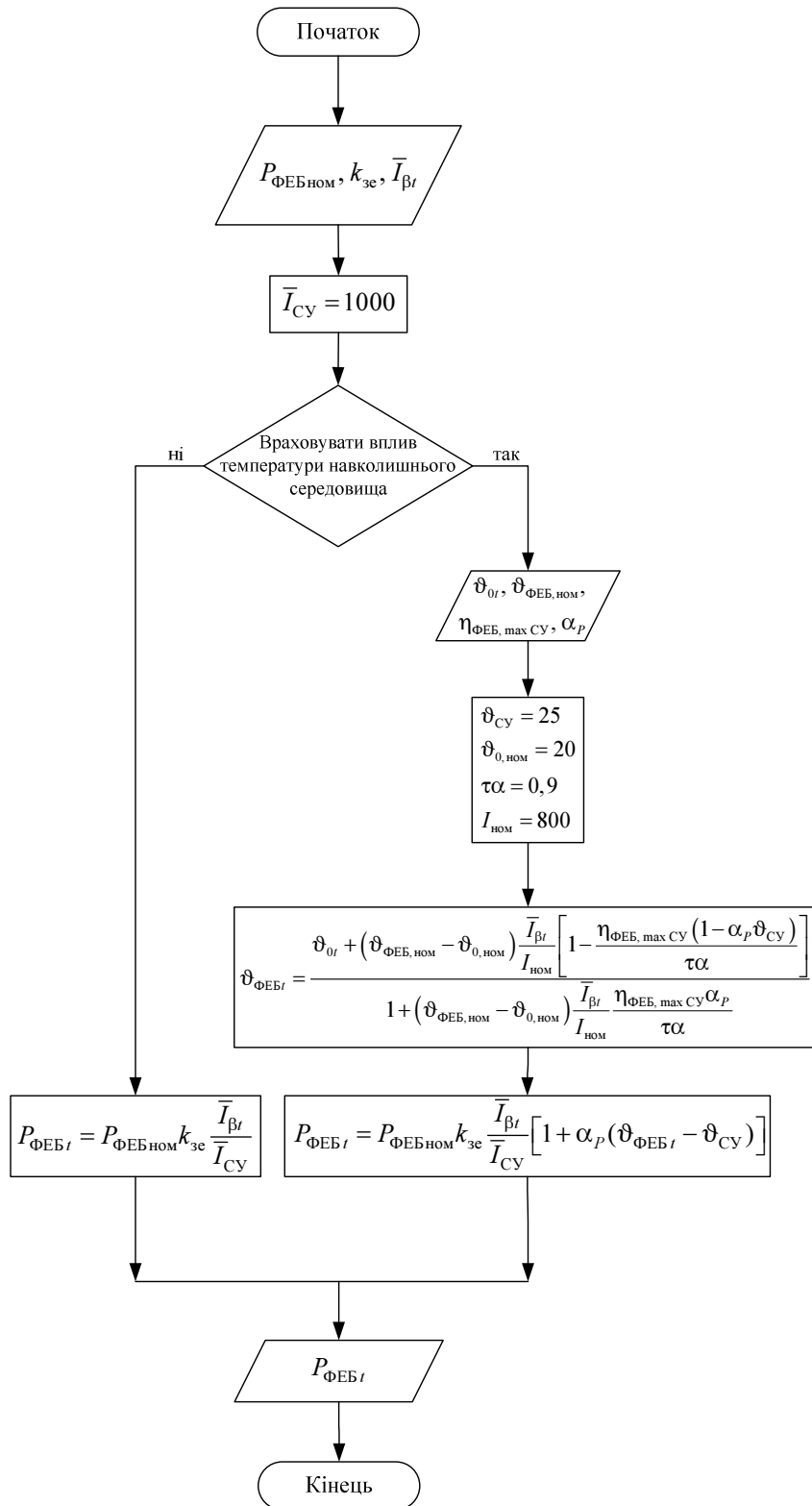


Рисунок 1 — Алгоритм визначення вихідної потужності фотоелектричної батареї

Висновки. Таким чином була запропонована математична модель фотоелектричної батареї як джерела електричної енергії, яка дозволяє:

- враховувати вплив температури оточуючого середовища;
- враховувати вплив температури фотоелектричного модуля;
- струм навантаження;

— підвищити точність імітаційного моделювання енергетичних установок з використанням сонячних фотоелектричних батарей.

Запропоновану математичну модель можна використовувати при розробці імітаційних моделей фотоелектричних модулів як складових елементів енергетичних систем з відновлюваними джерелами енергії.

Список літератури

1. Twidell J. Renewable energy resources / J. Twidell, A. Wair. — 2nd ed. — Taylor & Francis, 2006.— 626 p.
2. Bedescu V. Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface Recent Advances. — Springer, Bucharest, 2008 — 580 p.
3. Duffie J. Solar engineering of thermal processes / J. Duffie, W. Beckman. — John Wiley & Sons, Inc, New York — 1980.

Т. Сабирзянов, М. Кубкин, В. Солдатенко, О.Козловский

Математическая модель фотобатареи как источника электрической энергии

В статье разрабатывается математическая модель фотоэлектрической батареи как источника электрической энергии, которая позволяет учитывать влияние температуры окружающей среды и самого фотоэлектрического модуля, а также ток нагрузки на выходную мощность установки.

T. Sabirzanov, M. Kubkin, V. Soldatenko, O.Kozlovskyi

Mathematical model of photovoltaic as an electric energy source

In the article the mathematical model of photovoltaic battery is developed as an electric energy, which allows to take into account influence of ambient and most photovoltaic module temperature, and also current of loading on launch power of setting, source.

Одержано 07.12.11