

Новий алгоритм екстремального керування

Олег Турич

Кафедра електроприводу та автоматизації промислових установок, Національний університет "Львівська політехніка", УКРАЇНА, м. Львів, вул. С. Бандери, 12, E-mail: oleg.turych@gmail.com

Abstract – This article aims to show how inertia of SB affects on a work of proposed extremal control algorithm. Another task is also to create a mathematical and computer model taking into account the dynamics of the solar battery (SB). Also, the continued use of the computer simulation result shall help in the selection maximum power point tracking algorithm for solar battery and applying it to the real using of this selection, if research will be successful.

The many algorithms were developed for maximum power point tracking (MPPT) currently. All these methods are differing to a greater or lesser extent. Their main differences are: the complexity, the need for sensors, speed and system cost, performance, popularity and so on. Therefore, a new algorithm is proposed for implementation which must have adequate computer model of the object – Solar Battery.

Some researches was conducted, the basic idea of which was to identify the dynamic properties in SB mode load changes. In the presence of such properties, the initial coordinates (current and voltage) have abrupt changes in load corresponding changes, which can determine the behavior of the object and identify it as a dynamic link.

The article presents the results of the algorithm on a computer model taking into account the dynamic properties of SB in graphs.

Ключові слова – алгоритм керування, екстремальний регулятор, додатний зворотний зв'язок, інерційність, динамічні властивості, комп'ютерна модель, ідентифікація, сонячні батареї.

I. Вступ

Фотоелектрична енергетика розпочала інтенсивно досліджуватися як екологічно чиста технологія з 1970-х років у зв'язку з практичною нескінченністю її енергетичних ресурсів і відсутністю викидів CO₂. Однак низька ефективність і висока вартість на одиницю потужності є найбільшою проблемою системи, яка запобігає широкому використанню таких систем і сьогодні. Методика ефективного використання фотоелектричних систем, відома як відслідковування точки максимальної потужності (MPPT – maximum power point tracking), дає змогу отримати максимальну кількість енергії, яку можуть виробити фотоелектричні елементи – сонячні батареї (СБ).

У попередній роботі [1] представлено новий алгоритм екстремального керування, для ефективного дослідження його роботи потрібна адекватна комп'ютерна модель об'єкта керування. Тому завданням роботи є перевірка наявності динамічних властивостей панелі СБ для подальшої ідентифікації її параметрів та створення її математичної моделі, з метою перевірки працездатності вдосконаленого методу екстремального керування.

Проведені дослідження динамічних властивостей здійснювалися на стенді з монокристалічною СБ,

проте отримані результати можна поширити і на інші типи батарей. Врахування динаміки сонячних батарей у нових розробках дає змогу підвищити ефективність їх використання. Результати дослідження можна використати для створення математичних і комп'ютерних моделей СБ, які призначені для застосування на етапі конструкторської розробки.

Практичну реалізацію запропонованого алгоритму екстремального керування реалізовано в середовищі MATLAB + Simulink.

II. Актуальність

Розвиток альтернативних джерел енергії в Україні знаходиться у зародковому стані, однак ми маємо непоганий потенціал для розвитку сонячної енергетики. Сьогодні в країні налагоджене власне виробництво високоєфективних кремнієвих сонячних батарей з ККД до 20%. Переваги використання сонячних батарей:

1. Автономність.
2. Висока надійність.
3. Зниження витрат на гаряче водопостачання і опалювання до 85%, оскільки сонячна енергія є безкоштовною.
4. Економія органічних видів палива (мазуту, нафти, газу).
5. Скорочення викидів двоокису вуглецю.
6. Загальнодоступність і невичерпність джерела.
7. Відсутність проміжних фаз перетворення енергії.
8. Неповодимі сонячні батареї мають дуже важливу перевагу – довговічність, при тому, що догляд за ними не вимагає від персоналу особливо великих знань і потребує мінімального обслуговування.
9. Теоретично повна безпека для навколишнього середовища (екологічно чисте джерело енергії) і людини (технічна безпека відповідає всім світовим стандартам).
10. Розповсюдження сонячних установок серед населення і промисловості позитивно впливає на енергетичну безпеку України.

Недоліками сонячних батарей є перманентна залежність потужності від місцевих умов, часу доби і року, відносна дорожнеча, малий коефіцієнт корисної дії та чутливість до механічних пошкоджень.

Для підвищення коефіцієнту корисної дії сонячної батареї вводять систему MPPT. Відстеження точки максимальної потужності переважно є невід'ємною частиною фотоелектричної системи, тому з цією метою було розроблено і реалізовано багато методів пошуку точки максимуму, що відрізняються складністю, необхідними даними, швидкістю роботи, вартістю, ефективністю, популярністю тощо.

III. Виклад основного матеріалу

Для реалізації алгоритму MPPT запропоновано новий алгоритм екстремального пошуку [1], для перевірки працездатності якого шляхом комп'ютерного моделювання необхідно мати комп'ютерну модель об'єкта – СБ. У літературі в основному представлено однодіодну [2] та дводіодну [3] комп'ютерні моделі СБ, рідше зустрічаються й інші [4]. Проте жодна з цих моделей не враховує часових

характеристик фотоелементів, які зумовлені внутрішньою ємністю панелі.

Попередні дослідження показали, що ця ємність є доволі великою і призводить до інерційності СБ як об'єкта керування. Динамічні властивості СБ, як показали експерименти, залежать від величини внутрішнього опору та внутрішньої ємності панелі. Потрібно зауважити, що переважна більшість алгоритмів МРРТ не передбачає наявності інерційності в джерелі енергії, через що дане питання потребує додаткового вивчення.

Таким чином, предметом проведених досліджень є вивчення часових характеристик (інерційності) СБ як об'єкта керування.

Основна ідея проведених досліджень полягає у виявленні динамічних властивостей СБ у режимах зміни навантаження. У випадку наявності таких властивостей, вихідні координати (струм і напруга) матимуть за наявності стрибкоподібної зміни навантаження відповідні зміни, за якими можна визначити характер поведінки об'єкта та ідентифікувати його як динамічну ланку. Стрибкоподібна зміна навантаження відбувається підімкненням відповідного опору (R_{load}) до виходу СБ за допомогою напівпровідникового силового ключа.

На рис. 1 представлено структурну схему проведення експерименту. Джерелом світла для сонячної панелі є регульований "сонячний імітатор" – галогенні лампи розжарювання з регулятором напруги. Об'єкт дослідження у першому наближенні представлений як RC-ланка (C_{int} , R_{int} – параметри схеми заміщення), навантаження є чисто активним. Генератор прямокутних імпульсів зі щільністю 0,5, який реалізовано на мікропроцесорі ATmega 8, керує вмиканням/вимиканням силового транзисторного ключа.

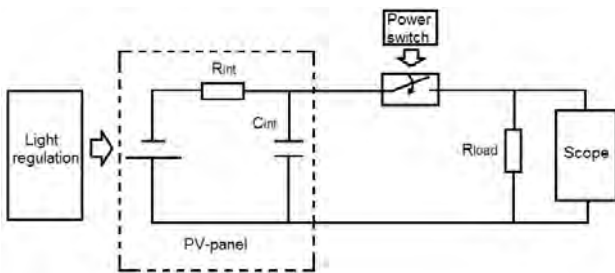


Рис. 1. Схема проведення досліджень

Дослідження режиму "накидання" навантаження проводилися для трьох різних значень величини освітлення, що спричиняли значення ЕРС сонячної батареї E_0 , відповідно, 14 В, 12.4 В і 10.5 В. Результуюче значення вихідної напруги U_{load} при навантаженні опором величиною $R_{load} = 10.2$ Ом складало, відповідно, 6.0 В, 3.55 В і 1.6 В.

Внутрішній опір СБ R_{int} розраховувався за результатами вимірів за формулою

$$R_{int} = R_{load} \frac{E_0 - U_{load}}{U_{load}} \quad (1)$$

IV. Результати експериментальних досліджень

На рис. 2–4 наведені експериментальні осцилограми вихідної напруги СБ для різних значень освітлення. Результати математичної обробки матеріалів досліджень

наведено в табл. 1, де вказано результати розрахунків параметрів використаної схеми заміщення сонячної батареї для різних значень освітленості.

Для аналізу динамічних властивостей СБ застосовано аналітичну часову залежність її вихідної напруги від навантаження для використаної в першому наближенні заступної схеми як RC-ланки:

$$U_{out}(t) = E_0 \cdot \frac{R_{load} + R_{int} \cdot e^{-t/T_{int}}}{R_{load} + R_{int}} \quad (2)$$

Проведені експерименти показали, що стала часу СБ T_{int} є практично незмінною для різних значень освітлення і складає приблизно $T_{int} \approx 3$ мкс, у той же час внутрішній опір СБ, як видно з табл. 1, суттєво змінюється залежно від рівня освітленості.

ТАБЛИЦЯ 1

РЕЗУЛЬТАТИ ОБРОБКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Рівень освітлення	E_0	U_{load}	R_{int}	T_{int} , мкс
max	14	6	14	≈ 3
med	12.4	3.55	26	≈ 3
min	10.5	1.6	58	≈ 3

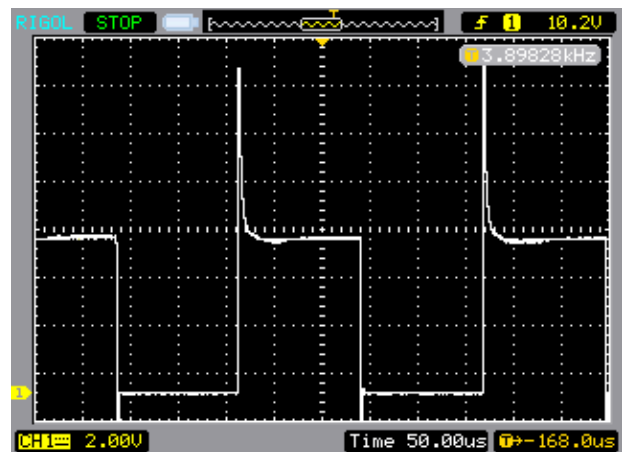


Рис. 2. Осцилограма напруги на СБ при максимальному освітленні

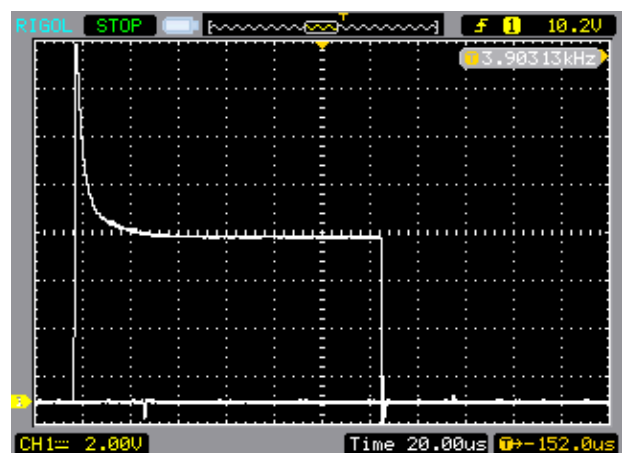


Рис. 3. Осцилограма напруги на СБ при середньому освітленні (збільшено)

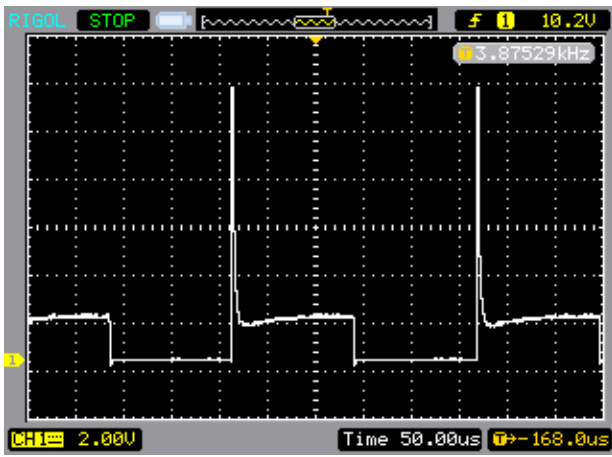


Рис. 4. Осцилограма напруги на СБ при мінімальному освітленні

Дослідження також виявили нелінійну зміну внутрішнього опору СБ у випадку зміни освітлення (див. табл. 1).

V. Результати комп'ютерного моделювання

У роботі [1] визначено, що для забезпечення перебування системи з додатним зворотним зв'язком у точці екстремуму величина коефіцієнту зворотного зв'язку повинна дорівнювати $k_f = 1/K_e$, де

$$K_e = \frac{f(x_e)}{x_e} - \text{статичний коефіцієнт підсилення}$$

системи в точці екстремуму, x_e – значення аргументу в точці екстремуму. Здійснення такої системи можливе у випадку вимірювання в усталеному режимі вхідного X і вихідного Y сигналів і розрахунку на основі їхніх значень величини статичного коефіцієнту підсилення об'єкта K і оберненої до нього величини $1/K$ (функціональна схема комп'ютерної моделі такої системи показана на рис. 5).

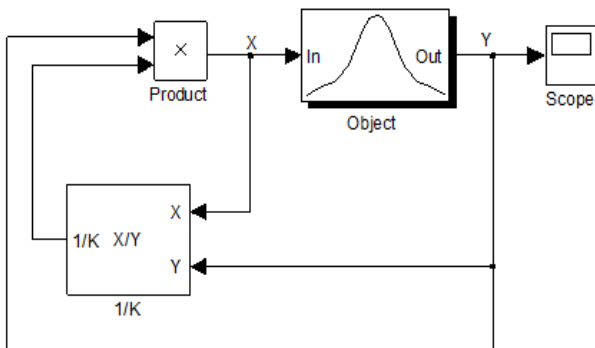


Рис. 5. Комп'ютерна модель екстремальної системи за пропонуваним алгоритмом

Таким чином, необхідно обчислювати коефіцієнт підсилення системи в кожен момент часу з певним кроком h . Запропонована в роботі [1] реалізація алгоритму мала невисоку швидкість відслідковування

точки екстремуму, через що виникла потреба вдосконалення власне алгоритму.

В алгоритмі [1] пошук розпочинають з точки рівноваги системи з додатним зворотним зв'язком, що знаходиться на спадаючій ділянці характеристики $y = f(x)$ (у цю точку система з додатним зворотним зв'язком переходить після закінчення перехідного процесу пуску). У випадку такого алгоритму коефіцієнт K у точці екстремуму визначають з умови максимуму, тобто $y_{\max} = f(x_{\max})$.

Для прискорення збіжності алгоритму пошуку використано модифіковане рівняння $y_i = f(x_i + \Delta_i)$, де Δ_i – приріст аргумента x (вхідної координати) за час h . Приріст вибирають пропорційним до похідної кривої потужності та описують рівнянням $\Delta_i = K \cdot y'$,

де $y' \cong \frac{\Delta y}{\Delta x}$ – наближене значення похідної, яке визначають за поточними відліками вхідної та вихідної координат.

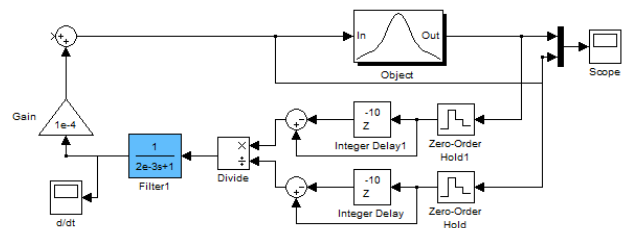


Рис. 6. Структурна модель визначення похідної y'

Таким чином, задача вдосконалення алгоритму [1] зводиться до визначення за поточними відліками приросту функції Δy стосовно приросту аргумента Δx і наступної корекції значення аргументу x .

Практичну реалізацію такого підходу реалізовано в середовищі MATLAB + Simulink, структурну модель вузла визначення наближеного значення похідної показано на рис. 6.

Експерименти на комп'ютерній моделі показали, що процес знаходження екстремуму прискорюється у випадку коректного підбору кроку h . Значення кроку дискретизації для обчислення похідної вибирають з умови закінчення перехідних процесів у керованому об'єкті (у випадку реалізації алгоритму МРРТ – сонячній батареї).

Результат роботи вдосконаленого методу МРРТ у вигляді траєкторії пошуку наведено на рис. 7.

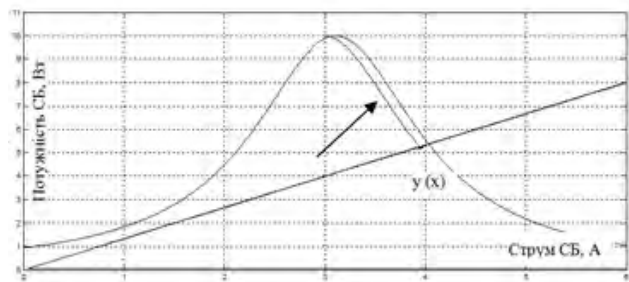


Рис. 7. Траєкторія пошуку точки екстремуму за вдосконалим алгоритмом

Висновок

Проведені дослідження показали, що наявність суттєвої внутрішньої ємності сонячних батарей викликає їх інерційність, яка не враховується жодними математичними чи комп'ютерними моделями. Ідентифікація параметрів динамічних властивостей системи показали її відповідність одному дійсному полюсу, що дає змогу описати СБ під час комп'ютерних досліджень алгоритму МРРТ як інерційну ланку першого порядку.

Враховуючи вище сказане, було проведено перевірку працездатності запропонованого методу екстремального керування. Дослідження показали, що використання запропонованої модифікації алгоритму пошуку точки максимальної потужності на основі додатного зворотного зв'язку забезпечує швидке переміщення до точки максимуму з наступним її відслідковуванням.

Як показали дослідження, основною особливістю систем з критичним додатним зворотним зв'язком є їхня внутрішня властивість в усталеному режимі перебувати в точці екстремуму. Внаслідок цього відпадає потреба спеціальної реалізації методів пошуку точки екстремуму – така система автоматично її знаходить.

References

- [1] V. Moroz, Y. Marushchak, O. Turych, A New Algorithm of Extremal Control // In collected book “Problems of automatic electric drives. Theory and Application”. – Kremenchuk, Ukraine: Publishing house of Kremenchuk National University. – 2012. – P. 419–420.
- [2] V. Di Dio, D. La Cascia, R. Miceli, C. Rando, A Mathematical Model to Determine the Electrical Energy Production in Photovoltaic Fields under Mismatch Effect // In Proc. 2nd International Conference on Clean Electrical Power. –Capri, Italy. – 2009. – P. 46-51.
- [3] T. Chayavanich, et al., Voltage and Frequency Dependent Model for PV Module Dynamic Impedance // Solar Energy Materials and Solar Cells. - Amsterdam, Netherlands: Elsevier. – Vol. 86, №2. – 2005. - P. 243-251.
- [4] Huan-Liang Tsai, Ci-Siang Tu, Yi-Jie Su, Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK // In Proc. World Congress on Engineering and Computer Science. – San Francisco, USA. – 2008. – P. 846-851.