

УДК 681.513.4 : 44.37.31

**В. І. МОРОЗ** (д-р техн. наук, проф.), **О. В. ТУРИЧ**, **В. Б. КОЗІЙ**  
**Національний університет «Львівська політехніка»**  
[vmoroz@lp.edu.ua](mailto:vmoroz@lp.edu.ua) [oleg.turych@gmail.com](mailto:oleg.turych@gmail.com) [dian.ua@ukr.net](mailto:dian.ua@ukr.net)

## СИСТЕМА ВІДСЛІДКУВАННЯ ТОЧКИ ВІДБОРУ МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ВІД СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ

Запропоновано алгоритм екстремального регулювання для систем відбору максимальної потужності від сонячних батарей. В основі запропонованого алгоритму лежить використання додатного зворотного зв'язку. Наведено результати експериментів з визначення динамічних властивостей сонячних батарей. Проведені дослідження впливу динамічних властивостей сонячної батареї на роботу запропонованого алгоритму екстремального регулювання.

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

У часи постійного підвищення вартості на скінченне “чорне золото” актуальним є використання та розвиток альтернативних джерел енергії, зокрема сонячної та вітрової енергетики. Енергія сонця має такі переваги: необмежена у обсязі, не забруднює довкілля, поширена усюю планетою та є відновлюваною. Основними недоліками використання сонячної енергетики є висока вартість фотоелектричної установки і відносно низький коефіцієнт корисної дії. З розвитком технологій вартість фотоелементів буде знижуватись у майбутньому, що зробить їх привабливими для промислових установок та у домашньому господарстві.

**Постановка проблеми.** Для максимальної ефективності використання сонячної батареї вводять систему відслідковування точки максимальної потужності (MPPT – *Maximum Power Point Tracking*), яка дає змогу отримувати від сонячної батареї максимальну для даної освітленості потужність. Робочий режим таких систем забезпечується системами екстремального регулювання, які здійснюють пошук екстремуму, що відповідає точці максимальної потужності. Існуючі алгоритми екстремального регулювання мають низку недоліків (наприклад, [1]), а тому актуальною є розробка нових методів досягнення екстремуму в реальному часі.

**Аналіз попередніх досліджень і публікацій.** У роботі [2] запропоновано новий алгоритм екстремального керування з використанням додатного зворотного зв'язку та наводилися результати дослідження його працездатності на тестовій комп'ютерній моделі. Потрібно відзначити, що динамічні властивості сонячної батареї (СБ), зазвичай, до уваги не беруться та у відомих алгоритмах екстремального керування (MPPT) не враховуються [1].

**Формулювання цілей статті.** Метою проведених досліджень є визначення динамічних властивостей СБ і виявлення їх впливу на роботу запропонованого алгоритму екстремального керування.

**Виклад основного матеріалу.** На даний момент у світі розроблено велику кількість алгоритмів для відслідковування МРР (див. [1]). Всі ці методи відрізняються між собою більшою чи меншою мірою. Основні їх відмінності це: складність реалізації як алгоритму, так і апаратної частини, необхідність дачивів струму і напруги, швидкість роботи, вартість системи, ефективність, простота експлуатації, доступність опису роботи та ін. У результаті методів стало так багато, що інколи важко визначити придатність того чи іншого методу для конкретної системи. Як результат, запропоновано новий алгоритм екстремального керування [2], який ґрунтується на твердженні проф. О. Г. Івахненка [3], що системи зі самоорганізацією та екстремальні системи є системами з додатними зворотними зв'язками.

Перевірку працездатності методу проведено шляхом комп'ютерного моделювання у середовищі Simulink-

MATLAB. Нелінійна характеристика системи описана залежністю  $f(u) = \frac{u \cdot (10 - u)}{1 + (\sqrt{u} - 3)^2}$ , динамічні властивості

у першому наближенні [2] визначені передатною функцією  $W(s) = \frac{1}{0.01s^2 + 0.11s + 1}$ .

За наявності додатного зворотного зв'язку така система знаходить точку статичної рівноваги  $f(x) = x$ , що лежить на спадаючій ділянці характеристики  $f(x)$  і не збігається з точкою екстремуму.

У часі досліджень виявлено, що положення точки рівноваги в системі з додатним зворотним зв'язком залежить від сумарного коефіцієнту підсилення  $K$  об'єкта і кола зворотного зв'язку  $f(x) = K \cdot x$  (див. рис. 1), при цьому його значення не повинно опускатись нижче критичного, що дорівнює одиниці.

Таким чином, для екстремального регулювання потрібно підібрати коефіцієнт додатного зворотного зв'язку таким чином, щоб забезпечити його критичну величину, тобто, щоб сумарний коефіцієнт підсилення системи дорівнював одиниці в точці екстремуму. Відповідно, для забезпечення перебування системи з додатним зворотним зв'язком у точці екстремуму величина коефіцієнту зворотного зв'язку повинна дорівнювати  $k_f = 1/K_e$ ,

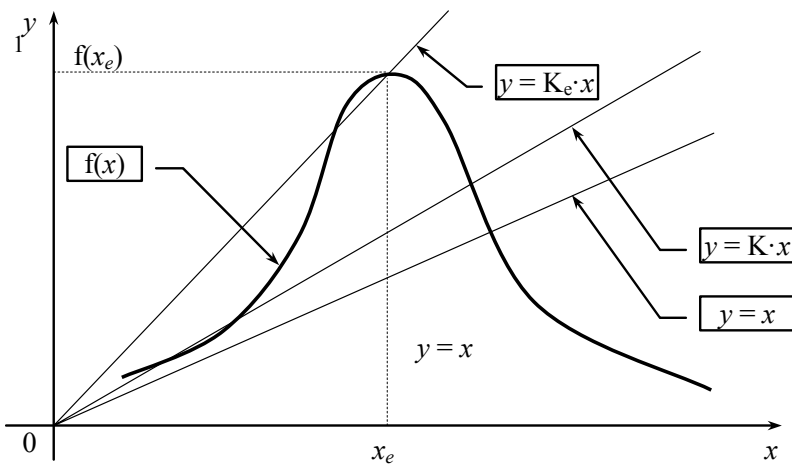


Рисунок 1 – Графічна інтерпретація статичної рівноваги системи з додатним зворотним зв'язком

Для реалізації такого алгоритму МРРТ необхідно мати адекватну комп'ютерну модель об'єкта – СБ, що викликало потребу в дослідженнях, основною ідеєю яких було виявлення динамічних властивостей СБ у режимах зміни навантаження. За наявності таких властивостей, вихідні координати (струм і напруга  $U_{out}$ ) матимуть при стрибкоподібній зміні навантаження відповідні зміни, за якими можна визначити характер поведінки об'єкта та ідентифікувати його як динамічну ланку. Стрибокподібна зміна навантаження відбувалася підімкненням відповідного опору ( $R_{load}$ ) до виходу СБ за допомогою напівпровідникового силового ключа.

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

$$R_{int} = R_{load} \frac{E_0 - U_{load}}{U_{load}},$$

де  $E_0$  – ЕРС сонячної батареї;  $U_{load}$  – напруга на навантаженні.

Результати роботи були отримані у вигляді осцилограм, одна з яких показана на рис. 2. Наведена осцилограма є часовою залежністю для напруги на навантаженні, яка описується наведеним нижче аналітичним виразом для знаходження перехідного процесу

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

де  $T_{int}$  – стала часу СБ у випадку опису її динамічних властивостей як ланки першого порядку.

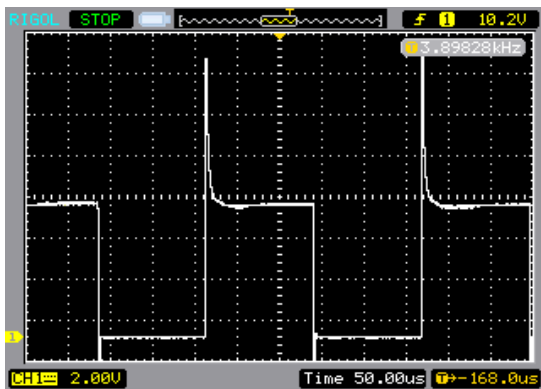


Рисунок 2 – Осцилограма напруги на СБ

Цікавим виявився той факт, що у випадку зміни освітлення змінювалися й деякі внутрішні параметри СБ – внутрішній опір і внутрішня ємність, але стала часу залишалася сталою і дорівнювала приблизно 3 мкс.

Враховуючи це, було проведено дослідження перевірки працездатності алгоритму знаходження точки максимальної потужності у випадку об'єкта, заданого ланкою першого порядку. Досліди було проведено для різних рівнів освітлення. На рис. 3 показано процес пошуку точки максимальної потужності запропонованим алгоритмом (лінії трекінгу накладені на графіки вихідної потужності для різних значень освітлення).

#### Висновки.

Запропонована система для відбору максимальної потужності від СБ з використанням додатного зворотного зв'язку працює, як показали дослідження, в широких межах зміни освітлення та за наявності інерційності об'єкта регулювання. Наступним етапом досліджень є практична перевірка системи відбору максимальної потужності від сонячної батареї на основі мікроконтролера.

де  $K_e = \frac{f(x_e)}{x_e}$  – 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  $1/K$ .

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.

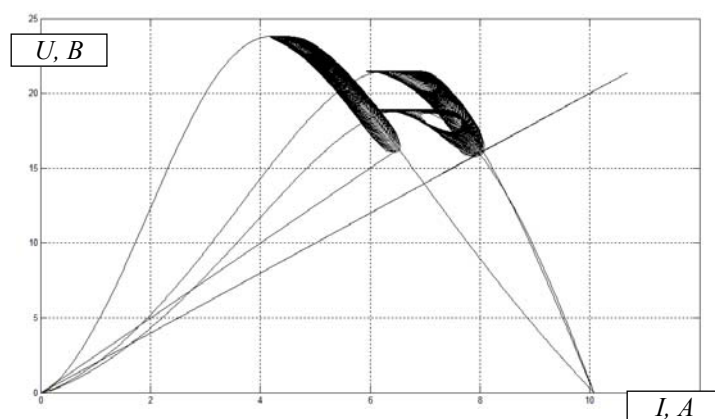


Рисунок 3 – Процес пошуку екстремуму даною системою за різного освітлення

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ESRAM T. Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques / T. ESRAM, P. L. CHAPMAN // IEEE Transactions on Energy Conversion. - JUNE, 2007. - Vol. 22, No 2.
2. Мороз В. Новый алгоритм экстремального керування / В. Мороз, Я. Марущак, О. Турич // XIX Міжнародна науково-технічна конференція ["Проблеми автоматизованого електроприводу"]: Електромеханічні та енергозберігаючі системи. Тематичний випуск "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика" науково-виробничого журналу. – 2012. – Вип. 3/2012 (19). – С. 419–420.
3. Ивахненко А.Г. Самообучающиеся системы с положительными обратными связями: Справочное пособие / А.Г. Ивахненко. - К.: Издательство АН УССР, 1963. – 328 с.

#### REFERENCES

1. ESRAM T. Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques / T. ESRAM, P. L. CHAPMAN. – IEEE Transactions on Energy Conversion, , JUNE. 2007; Vol. 22, NO. 20.
2. MOROZ V., MARUSHCHAK YA., TURYCH O. The new algorithm of the extremal control // XIX International Scientific Conference "Problems of automatic electric drive" : Electromechanical and energy saving systems. Thematic issue "Problems of automatic electric drives. Theory and application" scientific production journal. – Kremenchuk: KrNU. 2012; №3/2012 (19): 419–420. [in Ukrainian]
3. Ivahnenko A. G. Self-studying systems with positive feedbacks : Handbook. Kyiv, 1963. 328 p. [in Russian]

Надійшла до редакції 22.03.2013

Рецензент: В.Ф. Сивокобиленко

В. И. МОРОЗ, О. В. ТУРИЧ, В. Б. КОЗИЙ  
Национальный университет "Львовская политехника"

**Система отслеживания точки отбора максимальной мощности от солнечной батареи.** Предложен алгоритм экстремального регулирования для систем отбора максимальной мощности от солнечных батарей. В основе этого алгоритма лежит использование положительной обратной связи. Приведены результаты экспериментов по определению динамических свойств солнечных батарей. В статье также есть выводы о влиянии динамических свойств солнечной батареи на работу предложенного алгоритма.

**Ключевые слова:** алгоритм управления, экстремальный регулятор, положительная обратная связь, инерционность, динамические свойства, компьютерная модель, идентификация, солнечные батареи.

V. MOROZ, O. TURYCH, V. KOZIJ  
National University "Lviv Polytechnic"

**Maximum Power Point Tracking System for the Solar Battery.** This article aims to show how inertia of SB affects the 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 will 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. Many algorithms were developed for maximum power point tracking (MPPT) currently. All these methods differ 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.

**Keywords:** control algorithm, extremal control, positive feedback, extreme regulator, inertia, dynamic properties, computer model, identification, solar battery.