

# ЗНАХОДЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ МЕТОДОМ АНАЛІТИЧНОГО ОПИСУ КУСКОВО-АНАЛІТИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ

Спінул Л.Ю., к.т.н., доц., Скринник О.М., ас.

*НТУУ «КПІ», кафедра теоретичної електротехніки*

Захарченко Ю.О., студент

*НТУУ «КПІ», кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу*

**Вступ.** 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 усією 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 досягнення максимальної ефективності використання сонячної батареї (СБ) застосовують систему відстеження точки максимальної потужності, 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 [1], а тому актуальною є розробка нових методів визначення вольт-амперної характеристики (ВАХ) СБ для досягнення екстремуму потужності в реальному часі.

**Вирішення задачі.** Вирішення задачі побудови вольт-амперної характеристики сонячної батареї складається з двох етапів -: на першому етапі за дійсної динаміки об'єкту визначається непараметрична модель статичної нелінійності, на другому - кусково-аналітична нелінійність простим перетворенням в аналітичну на всьому діапазоні змінних [3].

Непараметрична модель за теоремою Вейерштраса може бути апроксимована степеневим поліномом. Однак, якщо поліном має достатньо велику ступінь, то в проміжках між точками вимірювань можуть бути суттєві пульсації, а якщо низьку - то має місце низька точність. Для забезпечення бажаної точності апроксимації задану нелінійну функцію  $f(x)$  описують кусково-аналітичними моделями з логікою переходу від однієї області до іншої за допомогою «сігнум-функцій», які не є гладкими, що ускладнює диференціювання такої логіко-аналітичної моделі. Суть методу опису непараметричних моделей параметричними аналітичними в усьому діапазоні зміни  $x$  полягає в застосуванні замість «сігнум-функцій» гладких (диференційованих) селективних функцій, подібних частотним фільтрам [2]. В такому разі вихідна функція записується так

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \eta_i(x) \cdot f_i(x), \quad (1)$$

де  $f_i(x)$  – прості і достатньо точні локальні моделі  $f(x)$  на інтервалі  $x \in [x_{i-1}, x_i]$ ,  $\eta_i(x)$  – аналітичні на всьому діапазоні селективні для інтервалу  $[x_{i-1}, x_i]$  функції, наприклад такого виду:

$$\eta_i(x) = \frac{1}{1 + (x_{i-1}/x)^m} - \frac{1}{1 + (x/x_i)^m}. \quad (2)$$

За достатньо великих значень  $m$  селективні аналітичні функції-«фільтри» (1) наближаються до сігнум-функцій

$$\varphi_i(x) = \begin{cases} 1, & x \in [x_{i-1}, x_i] \\ 0, & x \notin [x_{i-1}, x_i] \end{cases}, \quad (3)$$

і є диференційованими на відміну від (3).

Так для виділення області  $x$  від 0 до  $x=a$ , візьмемо  $m$  фільтрів нижніх частот:

$$\eta_1(x) = \left( \frac{1}{\sqrt{1 + a^{-2}x^2}} \right)^m, \quad x \in [0, a], \quad a > 0, \quad (4)$$

де  $m$  береться за умови близькості з точністю до  $\varepsilon$  моделі  $y(x)$  до реальної залежності  $y(x)$ . Тобто  $m$  збільшується від 1 до значення  $m^*$  за якого міра близькості  $y(x)$  до  $y(x)$  буде близька до  $\varepsilon$ .

Для виділення області  $x$  від будь-якого  $x=a$  до  $x \rightarrow \infty$  візьмемо  $m$  фільтрів верхніх частот:

$$\eta_2(x) = \left( \frac{|a^{-1}x|}{\sqrt{1 + a^{-2}x^2}} \right)^m, \quad x \in [0, \infty], x \in [-a, -\infty], \quad (5)$$

де  $m$  підбирається так само, як і на інтервалі  $x \in [0, a]$ .

Для виділення області  $x$  від  $x=a$  до  $x=b$ ,  $b > a$ , візьмемо  $m$  смугових фільтрів, побудованих з двох фільтрів нижніх частот  $a$  і  $b$ :

$$\eta_3(x) = \left( \frac{1}{\sqrt{1 + b^{-2}x^2}} \right)^m - \left( \frac{1}{\sqrt{1 + a^{-2}x^2}} \right)^m, \quad x \in [a, b], \quad (6)$$

де  $m$  підбирається аналогічно до попереднього інтервалу.

Нарешті, якщо нелінійність багатовимірна  $y(x_1, \dots, x_n)$  кусково-поліноміальна, то її об'єднання в єдину аналітичну досягається аналогічно одновимірній, тільки

функції ваги  $\eta_i(x_1, \dots, x_k, x_n)$ , де  $x_k$  – незалежні змінні, задаються у вигляді добутків часткових функцій  $\eta_{ij} = \eta_i(x_j)$ , тобто

$$\eta_i(x_1, \dots, x_n) = \eta_{i1}(x_1) \cdot \eta_{i2}(x_2) \cdot \dots \cdot \eta_{in}(x_n). \quad (7)$$

### Забезпечення режиму максимальної потужності сонячної батареї.

В системі «сонячна батарея – навантаження» оптимальне управління полягає в регулюванні опору навантаження  $R_H$  в залежності від електрорушійної сили  $E$  і струму  $I$  батареї, а все разом - від освітлення, зміна якого в часі є випадковою. Максимально ефективним буде регулювання опору  $R_H$ , який визначається за періодично знятою ВАХ  $U(I)$ . Для цього на 10 мкс батарея електронними ключами відмикається від навантаження і підключається до котушки індуктивності  $L$  з невеликим опором  $R_D$ , з якого знімається напруга, пропорційна струму  $i(t)$ . Сигнали напруги  $u(t)$  і струму  $i(t)$  (рис. 1) фіксуються та оброблюються швидкодіючим електронним пристроєм, який визначає ВАХ  $U(I)$ , максимум  $U^* \cdot I^*$  потужності і, відповідно до нього, оптимальний опір  $R_H^*$  :

$$R_H^* = \frac{U^*}{I^*}. \quad (8)$$

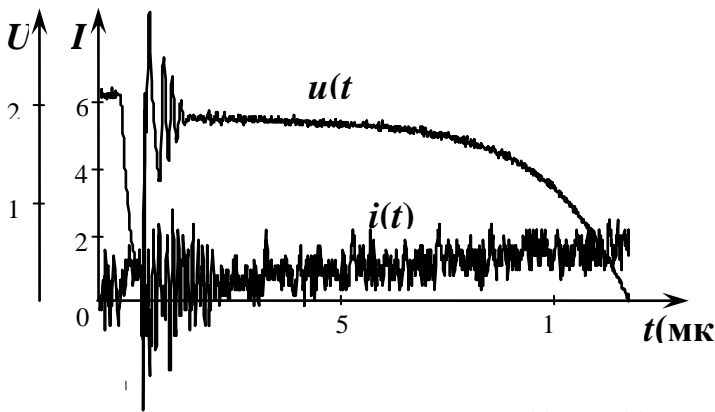


Рисунок 1 – Часові залежності  $u(t)$  і  $i(t)$

Вимірювання  $u(t)$  і  $i(t)$  (рис. 1) мають шумову складову, динамічну коливальну складову на початку процесу розряду батареї на  $R_D L$ -навантаження (коливання обумовлені «паразитною» ємністю  $C_0$  електронного ключа), систематичну похибку  $\Delta U$ , пов'язану із впливом на  $u(t)$  паралельної до батареї  $R_D L$ -гілки:

$$\Delta U = E - \frac{E \cdot \frac{1}{R_{BH}} + L \cdot \frac{di}{dt} \cdot \frac{1}{R_D}}{\frac{1}{R_{BH}} \cdot \frac{1}{R_D}}, \quad (9)$$

де за достатньо великого співвідношення  $L/R_D$  струм котушки можна вважати лінійним, і тому похідну  $di/dt$  можна вважати незмінною.

У відповідності до алгоритму (1)-(7) отримано непараметричну модель залежності  $U(I)$  (рис. 2)

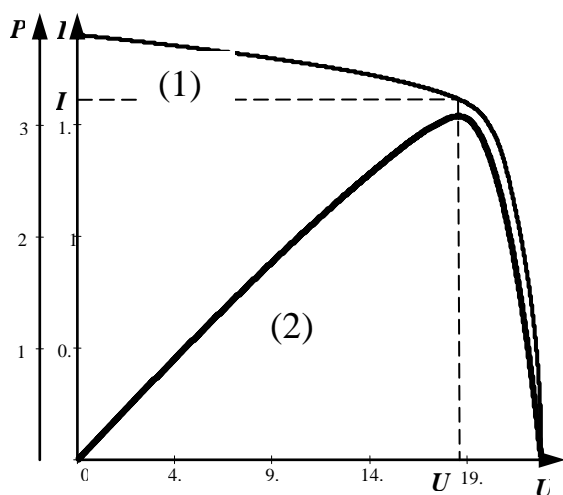
$$U(I) = \eta_1(I) \cdot (\alpha_1 + \alpha_2 I^2) + \eta_2(I) \cdot (\beta_1 + \beta_2 I + \beta_3 I^2), \quad (10)$$

де

$$\eta_1(I) = \frac{1}{1 + (0.67 \cdot I)^{45}}, \quad \eta_2(I) = \frac{1}{1 + (1.5 \cdot I^{-1})^{45}},$$

$$\alpha_1 = 20, \quad \alpha_2 = -1,06,$$

$$\beta_1 = -315, \quad \beta_2 = 432, \quad \beta_3 = -140.$$



Аналітичну залежність  $P(U)$  отримано як добуток  $U(I)$  (10) на струм  $I$  (рис. 2).

Оптимальне значення струму  $I^*$ , що знайдено за умови максимальної потужності батареї становить

$$I^* = \operatorname{argmax}_U P = 1.56 \text{ А}. \quad (11)$$

У відповідності до (7) оптимальне навантаження  $R_H^* \cong 12,3 \text{ Ом}$  та  $P_{max} = 30 \text{ Вт}$ .

Рисунок 2 – Непараметрична модель ВАХ  $I(U)$  - крива (1) і залежність  $P(U)$  - крива (2)

**Висновок.** Застосування методу аналітичного опису кусково-аналітичних залежностей дає можливість в реальних умовах нестационарності, невизначеності і нелінійності об'єктів оптимального керування ними.

#### Перелік посилань

1. Самсонов В.В., Сільвестров А.М. Нариси з теорії ідентифікації. К.: НУХТ, 2012. – 222с.
2. Сільвестров А.М., Скринник О.М., Кривобока Г.І. Застосування теорії фільтрів для аналітичного опису логіко-аналітичних залежностей // Наукові вісті НТУУ "КПІ", – 2013, №2. – С. 64–69
3. Сільвестров А.М., Спінул Л.Ю., Скринник О.М. Побудова математичних моделей складних нелінійних залежностей «вхід-вихід» об'єктів автоматизації // Збірник наукових праць кіровоградського національного технічного університету. "Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація", Випуск 25 (II), 2012, стор. 14-17