

## АНАЛІЗ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ВІДБОРУ МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ

Ромашко В.Я., докт.техн.наук, Вербицький Є.В., канд.техн.наук, Киричик Є.І.  
 Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
 пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна,  
 e-mail: verbitskiy@bigmir.net

Відзначено доцільність відбору максимально можливої потужності від відновлювальних джерел електричної енергії. Розглянуто структуру систем електроживлення на базі таких джерел. На прикладі сонячної батареї проаналізовано вплив пульсації вхідного струму узгоджувального імпульсного регулятора на кількість енергії, отриманої від неї. Запропоновано рекомендації щодо вибору допустимої величини пульсації вхідного струму імпульсного регулятора. Бібл. 4, рис. 5.

**Ключові слова:** сонячна батарея, відбір максимальної енергії, узгоджувальний імпульсний регулятор, допустима пульсація вхідного струму.

Відновлювальні джерела електричної енергії (ВДЕЕ) використовують загальнодоступну енергію, зокрема сонячних променів, вітру та ін. На відміну від традиційних джерел електричної енергії, основним енергетичним показником яких є ККД, що враховує ефективність використання палива, від ВДЕЕ доцільно відбирати максимально можливу потужність  $P_{MM}$  (ММП), зважаючи на безкоштовність енергоносія. Відомо, що режим відбору максимальної потужності від джерела електричної енергії забезпечується за умови, що його вихідний опір  $r_{вих}$  дорівнює опору навантаження  $R_H$

$$r_{вих} = R_H. \quad (1)$$

При зміні умов навколишнього середовища, а також режиму роботи навантаження умова (1) порушується, і енергія, що відбирається від джерела, є меншою від максимально можливої. У таких випадках навантаження до джерела електричної енергії підключають через узгоджувальний пристрій, роль якого часто виконує імпульсний регулятор (ІР) постійної напруги. Оскільки вихідна потужність ВДЕЕ залежить від умов навколишнього середовища, для забезпечення надходження необхідного обсягу енергії до навантаження використовують акумулятор енергії.

При заданих умовах навколишнього середовища ВДЕЕ може забезпечити певну максимально можливу величину вихідної потужності  $P_{MM}$ . При передаванні виробленої електричної енергії до навантаження в елементах системи електроживлення матимуть місце втрати енергії. Крім того, ці елементи впливатимуть на режими роботи ВДЕЕ, в результаті чого вихідна потужність коливатиметься відносно точки ММП. В результаті енергія навантаження буде меншою від максимально можливої  $W_{MM} = P_{MM} \cdot t$ . Оскільки завданням подібних систем є одержання максимальної кількості енергії у навантаженні, доцільно проаналізувати джерела додаткових втрат, оцінити величину цих втрат та запропонувати шляхи їхнього зменшення. Розглянемо ці питання на прикладі ВДЕЕ на основі сонячної батареї (СБ).

Відомо, що при виконанні умови (1) СБ працює в точці максимальної потужності (МП) з координатами

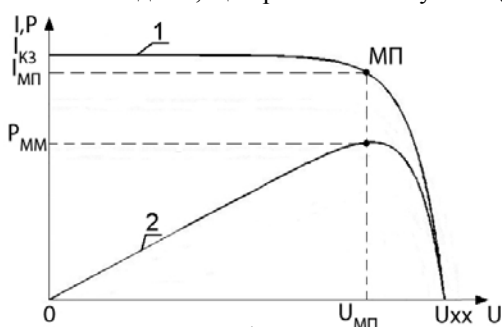


Рис. 1

$I_{мп}$ ,  $U_{мп}$  (рис. 1). У цьому випадку при заданих умовах від неї можна одержати ММП  $P_{MM}$  та максимально можливу енергію. При зміні зовнішніх умов та режиму роботи навантаження для забезпечення виконання умови (1) використовують узгоджувальний ІР. Оскільки ІР працює в імпульсному режимі, його вихідний струм (вихідний струм СБ) має пульсуючий характер. При цьому навіть в узгодженому режимі робоча точка СБ коливатиметься відносно точки МП. Тому енергія, одержана від СБ, буде меншою від  $W_{MM}$ . Очевидно, що для мінімізації недоотриманої енергії необхідно зменшувати пульсацію струму  $\Delta I$ , який споживається від СБ. Введемо поняття коефіцієнт використання електричної енергії СБ: 1 – ВАХ СБ, 2 – крива потужності СБ

$$\eta = W_{вих} / W_{MM}, \quad (2)$$

де  $W_{MM} = P_{MM} \cdot T$  – кількість електричної енергії, яку може віддати СБ протягом одного періода  $T$  роботи ІР при споживанні від неї постійного струму  $I_{мп}$ ;  $W_{вих}$  – реальна кількість одержаної електричної енергії на виході СБ.

Для оцінки величини  $\eta$  та залежності від пульсації вихідного струму  $\Delta I$  та напруги  $\Delta U$  СБ необхідно оцінити кількість недоотриманої енергії  $\Delta W = W_{MM} - W_{вих}$ . Для забезпечення найбільш загального характеру одержуваних результатів аналізуватимемо нормовані характеристики СБ. При побудові нормованих вихідних характеристик СБ її вихідний струм  $I$  доцільно нормувати по струму короткого замикання  $I_{кз}$ , вихідну напругу  $U$  – по напрузі холостого ходу  $U_{хх}$  СБ [1]

$$I^* = I / I_{K3}; U^* = U / U_{XX}. \quad (3)$$

При визначенні  $\eta$  СБ її вихідну потужність  $P_{ВИХ}$  доцільно нормувати за максимально можливою потужністю  $P_{ММ}$

$$P^* = P_{ВИХ} / P_{ММ}. \quad (4)$$

Крім величини пульсації  $\Delta I^*$  на параметр  $\eta$  впливатиме положення робочої точки ІР, що пов'язано з несиметрією кривої потужності СБ  $P = f(I)$  [2], що показано на рис. 2. Як випливає з рис. 2, а, внаслідок цієї несиметрії графік  $P = f(t)$  також матиме несиметричну пульсацію. Якщо змістити робочу точку (РТ) лівіше від точки МП, рис. 2, б, можна забезпечити симетричний режим роботи, при якому кількість недоотриманої енергії буде значно меншою.

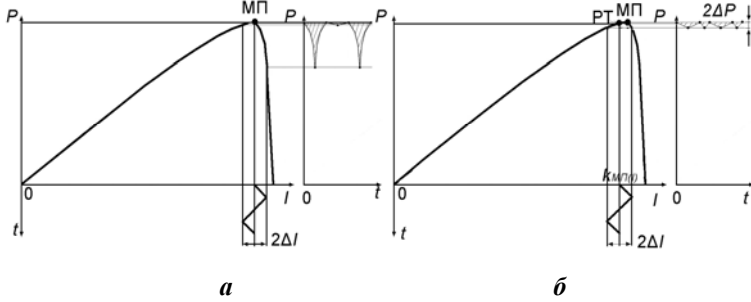


Рис. 2

Розглянемо більш детально графіки пульсації вихідної потужності СБ в несиметричному і симетричному режимах (рис. 3), представлені в нормованому вигляді  $P^* = f(t^*)$ , де  $t^* = t/T$ .

У випадку, коли початкова робоча точка ІР знаходиться в точці МП (рис. 3, а і 2, а) обсяг недоотриманої енергії визначається площею заштрихованих областей.

Якщо припустити, що потужність змінюється по закону, близькому до лінійного, її можна розрахувати за формулою площ трикутників:  $\Delta W = (0.5\Delta P_{П})(0.5T) +$

$+(0.5\Delta P_{Л})(0.5T) = (\Delta P_{П} + \Delta P_{Л})T/4$ . При цьому коефіцієнт використання електричної енергії (КВЕЕ) СБ з урахуванням нелінійного закону зміни пульсації буде більшим, ніж одержаний при використанні лінійної моделі

$$\eta > (W_{ММ} - \Delta W) / W_{ММ} = (P_{ММ} \cdot T - 0.25(\Delta P_{П} + \Delta P_{Л}) \cdot T) / P_{ММ} \cdot T = 1 - (\Delta P_{П}^* + \Delta P_{Л}^*) / 4. \quad (5)$$

Для симетричного режиму (рис. 2, б і 3, б) виконується рівність  $\Delta P_{П}^* = \Delta P_{Л}^* = \Delta P^*$ . Тому параметр  $\eta$  визначається з нерівності

$$\eta > 1 - \Delta P^* / 2. \quad (6)$$

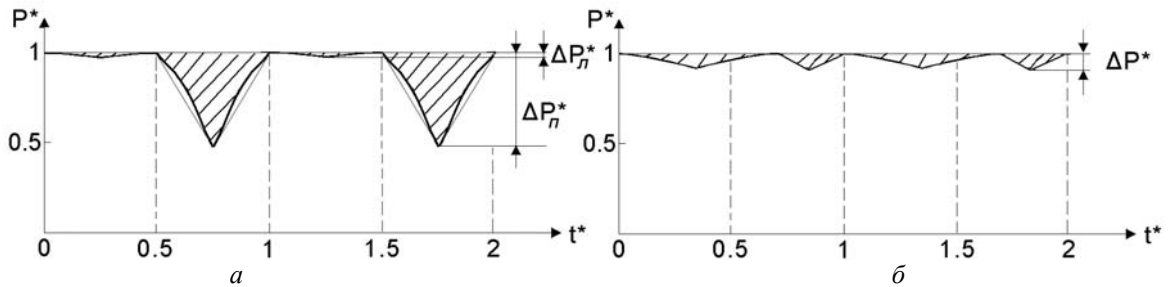


Рис. 3

З рис. 2 і 3 випливає, що при однаковій пульсації струму  $\Delta I^*$  або напруги  $\Delta U^*$  в несиметричному режимі пульсація потужності має значно більшу амплітуду, ніж в симетричному режимі  $\Delta P_{П}^* \gg \Delta P^*$ , тому КВЕЕ СБ в симетричному режимі збільшується. З практичної точки зору КВЕЕ СБ доцільно обмежувати на рівні 0,9..0,95, що згідно з (5) і (6) відповідає пульсації потужності  $\Delta P^* = 0,2..0,1$ . При визначенні амплітуди пульсації струму або напруги, що відповідає вибраному значенню  $\Delta P^*$ , необхідно враховувати, що криві потужності  $P^* = f(U^*)$  і  $P^* = f(I^*)$  відрізняються між собою (рис. 4).

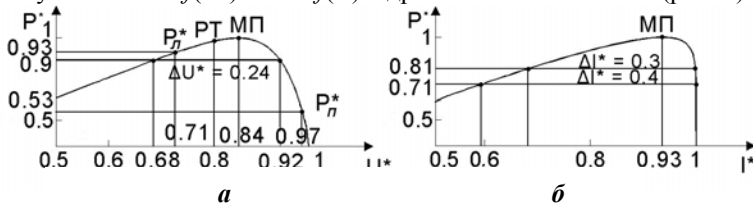


Рис. 4

З рис. 4, а видно, що для забезпечення КВЕЕ  $\eta=0,95$  ( $\Delta P^*=0,1$ ) в симетричному режимі (робоча точка РТ з координатою  $U^* = 0,8$ ) пульсація напруги не повинна перевищувати  $\Delta U^* < 0,24$ . Якщо робоча точка відповідає положенню МП ( $U^*=0,84$ ),  $\Delta P_{П}^*=0,47$ ,  $\Delta P_{Л}^*=0,07$ , а КВЕЕ системи знижується на 10 % і відповідно до (5) дорівнює  $\eta=0,865$ . Якщо керування

здійснюється за пульсацією струму, точка МП має координату  $I_{МП}^* = 0,93$ , тому при значенні  $\Delta I^* = 0,24$  частину періоду СБ працюватиме в режимі, близькому до короткого замикання, що суттєво зменшує КВЕЕ  $\eta$ . Якщо ж забезпечити симетричний режим роботи, СБ може працювати з пульсацією струму  $\Delta I^* = 0,3$  і навіть  $\Delta I^* = 0,4$ . При цьому КВЕЕ системи буде відповідно:  $\eta > 0,9$ ,  $\eta > 0,85$ , рис. 4, б.

Одержані результати стосуються ідеалізованої моделі СБ, в якій не враховується опір контактів і з'єднувальних дротів. При врахуванні цього опору  $r$  (рис. 5) результуючий КВЕЕ СБ розраховується за формулою

$$\eta_p = \eta \cdot R_{ВХ} / (r + R_{ВХ}), \quad (5)$$

де  $R_{вх}$  – вхідний опір ІР.

Для забезпечення ефективної роботи системи відбору енергії необхідно враховувати додаткові втрати в ІР та акумуляторі, аналіз обсягу яких докладно розглянуто в літературі [3,4]. При цьому слід мати на увазі, що зменшення втрат в одному вузлі системи, наприклад, СБ, часто досягається за рахунок збільшення втрат в іншому вузлі (ІР). Тому визначення оптимальних режимів роботи системи потребує подальших досліджень.

#### Висновки.

1. Для ефективного використання потужності СБ при її роботі на узгоджувальний ІР необхідно обмежувати величину пульсації вихідної напруги (струму) СБ.

2. При однаковому  $\eta$  допустима пульсація струму та напруги є більшою у випадку, коли початкова робоча точка СБ зміщена лівіше від точки МП.

3. Оскільки при зміні світлового потоку струм  $I_{кз}$  СБ пропорційно змінюється, реальна допустима пульсація її струму  $\Delta I = I_{кз} \cdot \Delta I^*$  також змінюється. В той же час напруга  $U_{хх}$  СБ мало залежить від зовнішніх умов. Тому реальна допустима пульсація її вихідної напруги змінюється незначно.

4. В процесі регулювання режиму роботи ІР бажано, щоб пульсація вихідної напруги (струму) СБ залишалася незмінною. Для цього при керуванні ІР доцільно використовувати не широтно-імпульсний, а релейний спосіб регулювання, при чому як сигнал керування доцільно використовувати вихідну напругу СБ.

1. Ромашко В.Я. До питання про відбір максимальної потужності від джерел електричної енергії // Електроніка і зв'язок. – 2013. – № 4. – С. 28-34.

2. Вербицький С.В., Ромашко В.Я. Особливості пошуку точки максимальної потужності сонячної батареї методами холостого ходу і короткого замикання // Електроніка і зв'язок. – 2013. – № 5. – С. 13-18.

3. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 632 с.

4. Хрусталева Д.А. Аккумуляторы. – М.: Изумруд, 2003. – 224 с.

УДК 621.314

#### АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ ОТБОРА МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

Ромашко В.Я., докт.техн.наук, Вербицкий Е.В., канд.техн.наук, Киричик Е.И.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,

пр. Победы, 37, Киев, 03056, Украина,

e-mail: verbitskiy@bigmir.net

*Отмечена целесообразность отбора максимально возможной мощности от возобновляемых источников электрической энергии. Рассмотрена структура систем электропитания на базе таких источников. На примере солнечной батареи проанализировано влияние пульсации входного тока согласующего импульсного регулятора на количество энергии, полученной от нее. Даны рекомендации по выбору допустимой величины пульсации входного тока импульсного регулятора. Библи. 4, рис. 5.*

**Ключевые слова:** солнечная батарея, отбор максимальной энергии, согласующий импульсный регулятор, допустимая пульсация входного тока.

#### ENERGY LOSSES ANALYZE IN SOLAR BATTERY MAXIMUM POWER PICKING SYSTEM

Romashko V.J., Verbitsky I.V., Kyrychik I.I.

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”,

Peremohy pr., 37, Kyiv, 03056, Ukraine,

e-mail: verbitskiy@bigmir.net

*Expedience of picking maximum probable power from renewable electrical energy sources are validated. Electrical supply systems structure, which consist of such sources are considered. On solar battery example input current pulsation influence of harmonized switch converter to amount energy given from it are analyzed. Necessary solar battery work point shifting in left side relatively maximum power point are substantiated. Recommendation chosen of pulsation input current switch converter are given. Additional loses influence to work point position are shown. References 4, figures 5.*

**Key words:** solar battery, maximum power picking, harmonized switch converter, permissible input current pulsation.

1. Romashko V.J. For question to maximum power picking from electrical energy sources. // Elektronika i sviaz. – 2013. – № 4. – Pp. 28-34. (Ukr.).

2. Verbitsky I.V., Romashko V.J. Maximum power point of solar battery searching features by open and short circuits methods // Elektronika i zviyazok. – 2013. – № 5. – Pp. 13-18. (Ukr.).

3. Meleshin V.I. Transistor converter technique. –Moskva: Tekhnosfera, 2004. – 632 p. (Rus.).

4. Hrustalov D.A. Accumulators. – Moskva: Izumrud, 2003. – 224 p. (Rus.).

Надійшла 15.02.2014