

Силовая электроника

УДК 621.314

В.Я. Ромашко, д.-р. техн. наук, **Є.В. Вербицький**, канд. техн. наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
вул. Політехнічна, 16, корпус 12, м. Київ, 03056, Україна.

Особливості пошуку точки максимальної потужності сонячної батареї при використанні узгоджувального імпульсного регулятора

Розглянуто особливості пошуку точки максимальної потужності (ТМП) сонячної батареї (СБ) при її роботі на узгоджувальний імпульсний регулятор (ІР). Проаналізовано вплив пульсації вхідного струму ІР на кількість енергії, що може бути отримана від СБ. Враховуючи, що при роботі на ІР робоча точка СБ коливається відносно ТМП, запропоновано в таких випадках вести пошук не ТМП, а зони максимальної потужності (ЗМП) СБ. Сформульовано умову перебування СБ в ЗМП. Бібл. 6, рис. 3.

Ключові слова: сонячна батарея; імпульсний регулятор; зона максимальної потужності.

Вступ

На сьогодні для одержання електричної енергії широко використовують нетрадиційні та відновлювальні джерела електричної енергії. Якщо енергоносіє, що використовується для їх роботи, є безкоштовним (вітрогенератори, сонячні батареї, термоелектричні генератори, що працюють від побічного тепла), від таких генераторів доцільно відбирати максимально можливу потужність навіть не зважаючи на величину ККД у точці максимальної потужності, який може бути порівняно невисоким. Значного поширення отримало одержання електричної енергії із сонячного випромінювання з використанням СБ. Очевидно, що від таких джерел в будь-який момент часу доцільно відбирати максимально можливу потужність. Проаналізуємо енергетичні та технічні особливості відбору максимальної енергії від СБ.

На рис. 1 наведено вольт-амперну характеристику (ВАХ) СБ. Робоча точка O , в якій забезпечується відбирання від СБ максимальної потужності $P_{МП}$, називається точкою максимальної потужності (ТМП) СБ, координати якої $U_{МП}$ та $I_{МП}$. Оскільки СБ перетворює енергію

сонячного випромінювання в електричну, її ВАХ суттєво залежить від умов навколишнього середовища і в першу чергу від світлового потоку Φ та температури T [1]. Тому при заданому опорі навантаження сонячної батареї R_H , відбирання максимальної потужності може бути забезпечене лише в певному режимі роботи СБ. При зміні зовнішніх умов, а також опорі навантаження R_H потужність, що передаватиметься до навантаження, буде меншою від максимально можливої.

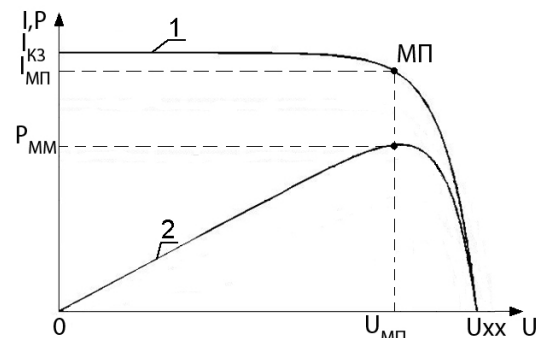


Рис. 1. ВАХ і крива потужності СБ:
1 – ВАХ СБ, 2 – крива потужності СБ

Для забезпечення передавання максимальної енергії від СБ до навантаження використовують пристрої для узгодження джерела електричної енергії з навантаженням [2]. У якості таких пристроїв найчастіше використовують імпульсні регулятори (ІР) постійної напруги.

При роботі ІР в якості пристрою узгодження джерела електричної енергії з навантаженням, його алгоритм керування має суттєві відмінності у порівнянні з роботою в режимі стабілізації вихідної напруги. Оскільки умовою відбору МП від джерела є його робота в ТМП, керування ІР полягає в забезпеченні на його вході (виході СБ) напруги $u = U_{МП}$, тобто в стабілізації вхідної напруги ІР. Важливою особливістю режиму роботи ІР є те, що при зміні умов навколишнього

середовища напруга $U_{МП}$ буде змінюватись, тому необхідно періодично визначати цю напругу і одержаний результат використовувати для керування перетворювачем.

Проаналізуємо більш детально поняття «точка максимальної потужності». Якщо СБ працює в цій точці і від неї споживається постійний струм $I_{МП}$, до навантаження передаватиметься максимально можлива потужність, яку

СБ може віддати при наявних умовах зовнішнього середовища. При цьому опір навантаження $R_H = U_{МП} / I_{МП}$. Якщо опір навантаження $R_H \neq U_{МП} / I_{МП}$, навантаження СБ підключають через узгоджувальний ІР. Струм, що споживатиметься при цьому від СБ співпадатиме з вхідним струмом ІР, який є пульсуючим. Під дією цієї пульсації робоча точка СБ періодично відхилятиметься від ТМП (рис. 2).

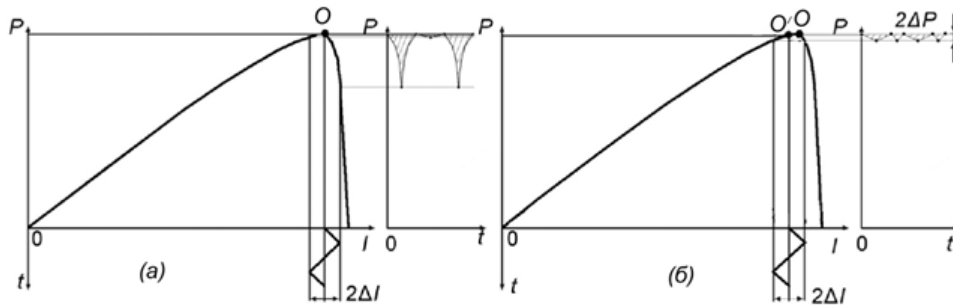


Рис. 2. Ілюстрація до визначення обсягу недоотриманої енергії від пульсації струму ΔI : а) випадок коли точки O і O' співпадають; б) випадок, коли точка O' знаходиться лівіше O

Внаслідок цього енергія, що відбиратиметься від СБ буде меншою, від максимально можливої $W_{MM} = U_{МП} \cdot I_{МП} \cdot t$ на величину площі заштрихованих ділянок. З рис. 2 а випливає, що якщо початкову робочу точку СБ O' вибрати в ТМП O , внаслідок несиметрії кривої $P = f(I)$ кількість недоотриманої енергії зростає. Для зменшення кількості недоотриманої енергії необхідно початкову робочу точку СБ O' вибрати лівіше від ТМП O (рис. 2 б). Величина зміщення початкової робочої точки СБ O' відносно ТМП O залежить від багатьох факторів (форма кривої $P = f(I)$, амплітуда пульсації вхідного струму I_P , умов навколишнього середовища), які теоретично важко врахувати. Тому при використанні узгоджувальних ІР доцільно говорити не про пошук точки максимальної потужності СБ, а про виведення СБ в зону максимальної потужності (ЗМП). Наприклад, для випадку, показаного на рис. 2 б, при заданій величині пульсації вхідного струму $I_P \Delta I$, СБ працюватиме в ЗМП. Очевидно, що ширина цієї зони залежатиме від величини пульсації вхідного струму $I_P \Delta I$. Чим більшою є допустима пульсація цього струму, тим ширшою є ЗМП і більшою є кількість недоотриманої енергії. При зменшенні пульсації вхідного струму I_P відповідно зменшується ширина ЗМП і кількість недоотриманої енергії. У крайньому випадку при $\Delta I \rightarrow 0$ ЗМП сходиться в точку і ця точка є ТМП

СБ. При цьому від СБ відбиратиметься максимально можлива кількість енергії W_{MM} . Таким чином точка максимальної потужності є окремим випадком більш загального поняття – зона максимальної потужності. При практичному використанні СБ найчастіше мова йде не про пошук ТМП СБ, а про її виведення в ЗМП.

Відомо [3], що в ТМП вихідний опір СБ $r_{вихO}$ дорівнює опору навантаження R_{HO}

$$r_{вихO} = \frac{du_O}{di_O} = R_{HO} = \frac{U_O}{I_O} \quad (1)$$

Очевидно, що формула (1) буде точною при відбиранні від СБ постійного струму $I_O = I_{МП}$. Враховуючи, що вхідний струм I_P , як навантаження СБ, є пульсуючим, умову (1) можна записати, як:

$$r_{вих} \approx \frac{\Delta U}{\Delta I} = R_{Hcp} = \frac{U_{Hcp}}{I_{Hcp}} \quad (2)$$

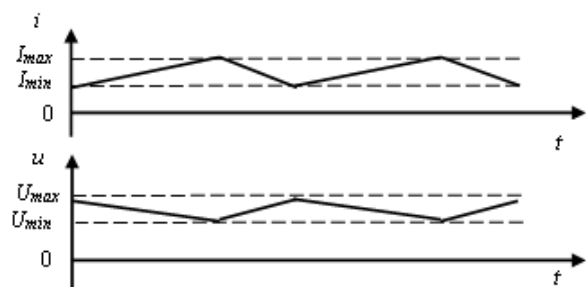


Рис. 3. Графіки зміни вихідного струму та напруги СБ

Якщо вважати зміну вхідного струму та напруги IP близькою до лінійної (рис. 3), умову (2) можна записати, як:

$$\frac{U_{max} - U_{min}}{I_{max} - I_{min}} = \frac{(U_{max} + U_{min}) / 2}{(I_{max} + I_{min}) / 2},$$

звідки отримуємо умову перебування СБ в зоні максимальної потужності

$$U_{max} I_{min} = U_{min} I_{max} \quad (3)$$

Аналіз отриманого результату з урахуванням графіка рис. 2 б показує, що умовою перебування СБ в ЗМП є рівність миттєвих потужностей СБ в моменти максимуму та мінімуму її вихідного пульсуючого струму.

Покажемо, що дійсно, при виконанні умови (3) енергія, отримана від СБ буде максимальною. Як випливає з рис. 3 а, вхідний струм перетворювача в усталеному режимі на інтервалі $[nT; nT + \gamma T]$ зростає від значення I_{min} до I_{max} , а на інтервалі $[nT + \gamma T; (n+1)T]$ відповідно спадає від значення I_{max} до I_{min} . Тоді струм перетворювача на періоді задається кусково-лінійною функцією:

$$i(t) = \begin{cases} I_{min} + k_1 t^* ; \\ I_{max} - k_2 t^* . \end{cases} \quad (4)$$

де час t^* відраховується від початку кожного інтервалу,

$$k_1 = (I_{max} - I_{min}) / \gamma T,$$

$$k_2 = (I_{max} - I_{min}) / (1 - \gamma) T.$$

Енергія, яка відбирається від СБ за період T розраховується за формулою:

$$\begin{aligned} w &= \int_0^T p(t) dt = \int_0^{\gamma T} p(t) dt + \int_{\gamma T}^T p(t) dt = \\ &= \frac{1}{k_1} \int_0^{\gamma T} p(t) d(I_{min} + k_1 t) + \frac{1}{k_2} \int_0^{T(1-\gamma)} p(t) d(I_{max} - k_2 t^*) = (5) \\ &= 2 \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right) (w(I_{max}) - w(I_{min})). \end{aligned}$$

Для того, щоб максимізувати значення отриманої енергії необхідно взяти похідну по одному з параметрів, наприклад I_{min} , виразивши значення I_{max} наступним чином: $I_{max} = I_{min} + \Delta I$. Тоді матимемо:

$$\begin{aligned} \frac{dw}{dI_{min}} &= 2 \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right) \frac{d(w(I_{min} + \Delta I) - w(I_{min}))}{dI_{min}} = \\ &= 2 \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right) (p(I_{min} + \Delta I) - p(I_{min})), \end{aligned} \quad (6)$$

і прирівняти її до нуля:

$$p(I_{min} + \Delta I) = p(I_{min}). \quad (7)$$

З урахуванням викладеного було запропоновано спосіб пошуку ТМП СБ [4], який полягає у періодичному вимірюванні миттєвої потужності СБ у моменти максимуму і мінімуму її вихідного струму і залежно від знаку різниці цих потужностей, зміщення початкової робочої точки СБ O' у відповідному напрямку. Як показано, при виконанні умови (3) для заданої пульсації вхідного струму IP ΔI гарантується відбирання від СБ максимально можливої енергії.

Зауважимо, що найбільш поширений на сьогодні алгоритм пошуку ТМП P&O [5] фактично є не пошуком ТМП, а ЗМП, оскільки при його використанні періодично вимірюється потужність СБ і зміщується її початкова робоча точка. Залежно від знаку зміни потужності коректується її положення. При цьому пошук ЗМП ведеться методом «спроб і помилок», внаслідок чого робоча точка періодично виходить за межі ЗМП, що збільшує недоотриману енергію навіть без урахування пульсації вхідного струму IP. З урахуванням пульсуючого струму IP кількість недоотриманої енергії ще збільшується.

Найчастіше керування IP при пошуку ТМП СБ здійснюється за рахунок зміни коефіцієнта заповнення імпульсів γ , тобто методом ШІР. Відомо, що при ШІР регулюванні пульсація вхідного струму IP сильно залежить від γ , що також впливає на кількість недоотриманої енергії. Тому при пошуку ТМП, як запропонованим алгоритмом, так і існуючими, доцільно використовувати не ШІР, а двопозиційне (релейне) регулювання, при якому в усьому діапазоні регулювання амплітуда пульсації вхідного струму IP залишається постійною. Задавши певну величину пульсації вхідного струму IP ΔI ми гарантуємо коефіцієнт використання максимально можливої енергії СБ не меншим від заданої величини [6].

Висновки

1. При використанні узгоджувальних IP в системах пошуку точки максимальної потужності сонячної батареї мова повинна йти не про пошук точки максимальної потужності, а про пошук зони максимальної потужності.

2. Ширина зони максимальної потужності залежить від пульсації вхідного струму IP ΔI . Збільшення ΔI призводить до збільшення кількості недоотриманої енергії.

3. Оскільки при широтно-імпульсному регулюванні пульсація вхідного струму IP змінюється

ся, змінюється і кількість недоотриманої енергії. У зв'язку з цим при пошуку зони максимальної потужності сонячної батареї доцільно використовувати двопозиційне регулювання з фіксованою амплітудою вхідного струму ІР.

4. Запропонований алгоритм пошуку зони максимальної потужності забезпечує одержання від сонячної батареї максимально можливої енергії при заданій пульсації вхідного струму ІР.

Список використаних джерел

1. Андреев В.М. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. // Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. – Л.: Наука, 1989. – 310 с.
2. Ромашко В. Я. Устройства согласования нагрузки с источником электрической энергии / В. Я. Ромашко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. – № 8. – Спец. вып. Т. 1. – С. 67-74.
3. S. Leva. Integrated renewable sources for supplying remote power systems / S. Leva, D. Zaninelli, R. Contino // WSEAS Transactions on power systems. – 2007. – Vol. 2. – № 2. – Pp.41-48.
4. Патент на корисну модель 91151 Україна, МПК Н02М3/02. Спосіб пошуку точки максимальної потужності сонячної батареї / Ромашко В.Я., Вербицький Є.В., Киричич Є.І. - № 201315549; заявл. 30.12.2013 ; опубл. 25.06.2014, Бюл. № 12. – 6 с.
5. J. Surya Kumari. Design and Analysis of P&O and IP&O MPPT Techniques for Photovoltaic System // J. Surya Kumari, Dr. Ch. Sai Babu, A. Kamalakhar Babu // International Journal of Modern Engineering Research. – 2012. – Vol.2, Issue.4. – Pp. 2174-2180.
6. Ромашко В.Я. Аналіз втрат енергії у системі відбору максимальної потужності сонячної батареї / В.Я. Ромашко, Є.В. Вербицький, Є.І. Киричич // Технічна електродинаміка. – 2014. - № 4. – С. 55-57.

Поступила в редакцію 13 юня 2016 г.

УДК 621.314

В.Я. Ромашко, д.-р. техн. наук, **Е.В. Вербицький**, канд. техн. наук

Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, пр. Победы, 37, Киев-56, 03056, Украина.

Особенности поиска точки максимальной мощности солнечной батареи при использовании согласующего импульсного регулятора

Рассмотрено особенности поиска точки максимальной мощности (ТММ) солнечной батареи (СБ) при ее работе на согласующий импульсный регулятор (ИР). Проанализировано влияние пульсации входного тока ИР на количество энергии, которая может получена от СБ. Учитывая, что при работе на ИР рабочая точка СБ колеблется относительно ТММ, предложено в таких случаях проводить поиск не ТММ, а зоны максимальной мощности (ЗММ) СБ. Сформулировано условие нахождения СБ в ЗММ. Библ. 6, рис. 3.

Ключевые слова: солнечная батарея; импульсный регулятор; зона максимальной мощности.

UDC 621.314

V. Romashko, Dr. Sc., **I. Verbytskyi**, Ph.D.

National technical university of Ukraine «Kyiv polytechnic institute», Polytechnichna st., 16, building 12, Kyiv, 03056, Ukraine.

Features of finding a maximum power point of a solar battery on basis a matching pulse converter

Features of finding a maximum power point of a solar battery on basis a matching pulse converter are described. The impact of the input current pulsation of the matching converter on the energy amount of

the solar battery is analyzed. Taking to account the shifting an operating point of the solar battery caused the pulse converter, search a maximum power zone instead a maximum power point is proposed. A condition of maximum power zone is formulated. Bibl. 6, fig. 3.

Keywords: *solar battery; pulse regulator; maximum power zone.*

References

1. *Andreev, V. M. Grikhles, V. A., Rummyantsev, V. D. (1989). Fotovoltaic transform of consetrating solar radiation. L.: Nauka, 310 p. (Rus)*
2. *V. Y., Romashko. (2013). Matching device load from the source of electrical entrgy. Energobere-zhenie, energetica, energoaudit, № 8, Special issue Vol. 1, pp. 67-74. (Rus)*
3. *S., Leva, D., Zaninelli, R., Contino. (2007). Integrated renewable sources for supplying remote power systems. WSEAS Transactions on power systems, Vol. 2, № 2, pp. 41-48.*
4. *Romashko, V. J., Verbitskyi, I. V., Kyrychik, I. I. (2014). Utility patent 91151 Ukraine, MPK H02M3/02. The method of finding maximum power point of the solar battery - № 201315549; date of application 30.12.2013 ; publ. 25.06.2014, Bulletin № 12, 6 p. (Ukr)*
5. *J., Surya Kumari, Dr. Ch., Sai Babu, A., Kamalakar Babu (2012). Design and Analysis of P&O and IP&O MPPT Techniques for Photovoltaic System. International Journal of Modern Engineering Re-search, Vol.2, Issue.4, pp. 2174-2180.*
6. *Romashko, V. J., Verbitsky, I. V., Kyrychik, I. I. (2014). Energy loses analyze in solar battery maxi-mum power picking system. Tekhnichna elektrodynamika, № 4, pp. 55-57. (Ukr)*