

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ПОШУКУ ТОЧКИ МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ

© Мороз В., Чупило Я., 2011

Наведено короткий огляд відомих методів пошуку точки максимальної потужності сонячних батарей, а також висвітлено їхні переваги та недоліки.

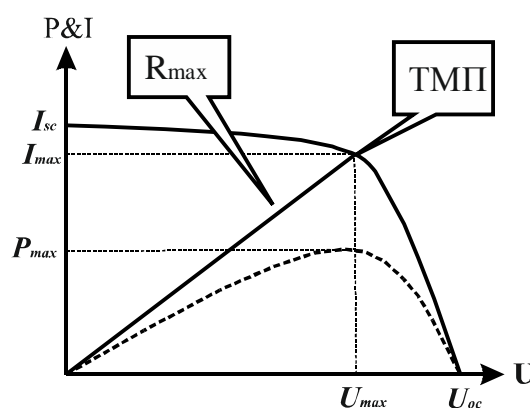
Ключові слова: альтернативна енергетика, точка максимальної потужності, сонячні батареї

This article contains of existing maximum power point tracking techniques short review with advantages and disadvantages of each.

Key words: alternating energy, maximum power point tracking, photovoltaic

Постановка проблеми, актуальність

Сьогодні дедалі дорожчою стає вартість паливних ресурсів, як-от нафти і газу. Тому альтернативні джерела енергії набувають все більшого поширення. Перевагами такої енергії, зокрема сонячної, є екологічність, невичерпність і низька собівартість. Перешкодами до масового використання сонячних батарей є їхня висока вартість і незначна ефективність. Основними є втрати у разі перетворення енергії для заряду акумуляторної батареї та втрати, пов'язані з неоптимальним режимом роботи сонячних елементів. Для забезпечення відбору максимальної потужності від них, враховуючи їхню вольт-амперну характеристику (ВАХ) і залежність потужності від напруги (див. рисунок), необхідно застосувати спеціальні засоби для пошуку точки максимальної потужності (ТМП). Ця точка зміщується залежно від освітленості, а також температури навколишнього середовища. Відомо широке розмаїття методів пошуку ТМП, які відрізняються складністю, швидкістю, ефективністю, вартістю тощо.



Залежності струму і потужності
від напруги сонячного елемента

Об'єкт досліджень

Об'єктом досліджень у цій роботі є алгоритми керування перетворювачем на виході сонячної батареї, що дають змогу знаходити точку її максимальної потужності за різних умов навколишнього середовища для повного використання її потенціалу.

Порівняння методів пошуку точки максимальної потужності

	Принцип роботи	Переваги	Недоліки
Perturbation & Observation (P&O) метод [1]	Періодичне підвищення/зниження напруги зі заданим кроком	1) не вимагає апріорних даних про сонячну батарею; 2) достатньо простий; 3) пошук оптимуму прискорюється збільшенням швидкості виконання алгоритму	1) оптимальний для повільно змінних метеорологічних умов; 2) коливання вихідної напруги; 3) тривалий пошук оптимуму
Three point weight comparison метод [4]	Базується на P&O методі, але на основі трьох точок.	1) відносно дешевий; 2) у порівнянні з P&O має менші коливання навколо ТМП	1) вимагає спеціального контролера
Incremental Conductance метод [1]	Базується на визначенні знаку похідної в точці максимуму $dP/dU = 0$	1) можна застосувати для швидкозмінних умов; 2) у порівнянні з P&O має менші коливання навколо ТМП; 3) можна застосувати ПІ-регулятор	1) постійно присутні коливання вихідної напруги
Метод Voltage-based MPPT [3, 6]	На основі виміряної напруги неробочого ходу визначається $U_{max} = k \cdot U_{нх}$	1) є надзвичайно простий і дешевий; 2) не вимагає контролера	1) відімкнення навантаження для вимірювання напруги н. х. спричинює втрати енергії; 2) є втрати за швидкої зміни умов
Yan Hong Lim and D.C. Hamill метод [7]	Фільтри першого порядку формують похідні за потужністю і напругою, а компаратори керування ШПП працюють за нерівностями $\begin{cases} p' \leq 0 \rightarrow 0; \\ p' > 0 \rightarrow 1. \end{cases}$	1) досить проста система керування є робастною; 2) чудова ефективність пошуку (в більшості краще 0.98 і понад 0.968 у всьому діапазоні); 3) швидка динаміка (мілісекундні перехідні процеси)	1) постійно присутні коливання; 2) можлива квазіперіодичність і астатизм
Метод Ripple Correlation Control (RCC) [5]	Робота на основі похідних струму і потужності, які зміщені на 90°	1) швидкий і точний пошук ТМП в швидкозмінних метеорологічних умовах; 2) не вимагає апріорних даних про сонячну батарею; 3) можна реалізувати на аналогових схемах.	1) метод може "розвалитись" через зміну фази вхідного струму через внутрішні ємності сонячної батареї на високих частотах комутації.
A load-voltage-based метод з двома ШПП [2]	Базується на визначенні напруги на навантаженні $P \approx k \cdot U^2$	1) малі пульсації у вхідній та вихідній напругах; 2) менша амплітуда пульсацій та їх висока частота на вході та виході; 3) знижений ударний струм	
Sachin Jain метод зі змінним кроком [8]	Має дві стадії: 1) швидке наближення робочої точки до ТМП з великим кроком; 2) за методом P&O або Inc-Cond точне знаходження максимуму.	1) швидкий пошук максимуму; 2) має робастні властивості; 3) добре працює в швидкозмінних метеорологічних умовах	1) складна нелінійна формула для визначення щільності ШПП, що використовується на першій стадії; 2) вимагає сигнального процесора

Виклад основного матеріалу

Одним з найбільш популярних і поширених є метод спроб і спостережень (*P&O*) [1], що полягає у періодичній зміні з певним кроком вихідної напруги сонячної батареї і порівнянні потужності до зміни і після. Наявність дискретної системи пошуку створює осциляцію робочої точки навколо точки максимуму і, відповідно, коливання потужності. Для зменшення коливань можна зменшити крок, але тоді система матиме низьку швидкодію. Підвищення швидкості виконання алгоритму незначно скорочує час пошуку ТМП. Цей метод є нестійким до швидкозмінних метеорологічних умов внаслідок обмеженої швидкодії. Перевагами методу є простота і відсутність необхідності у апіорних даних про параметри сонячної батареї. Наступним його розвитком став метод на основі порівняння трьох точок (*Three Point Weight Comparison*) [4]. Його перевагами над методом P&O є менші коливання вихідної потужності.

Існує багато методів, які базуються на використанні похідних струму, напруги і потужності. Одним з них є метод контролю кореляції коливань (*Ripple Correlation Control – RCC*) [5]. В його основі є факт, що в точці ТМП добуток похідних за часом потужності і струму (напруги) дорівнюють нулеві. Подібним до нього є метод інкрементальної провідності (*Incremental Conductance*) [1], який визначає знак похідної потужності за напругою (див. рис.). Yan Hong Lim and D.C. Namill [7] розробили метод пошуку з використанням фільтрів першого порядку, які диференціюють потужність і напругу. За знаком їх похідних керуються компаратори, які формують логічний сигнал керування широтно-імпульсним перетворювачем (ШП) і забезпечують хорошу ефективність.

Згадані методи мають високу швидкодію і не вимагають апіорної інформації про параметри сонячної батареї. Метод RCC може бути реалізований також і на аналогових елементах.

Наближеними методами пошуку є метод напруги неробочого ходу (*Fractional Open-Circuit Voltage*) [3] і метод струму короткого замикання (*Fractional Short-Circuit Current*) [3]. Визначення ТМП відбувається шляхом лінеаризації ВАХ сонячної батареї. Тоді достатньо визначити напругу неробочого ходу (н. х.) або струм короткого замикання (к. з.), на основі яких розраховується ТМП. Відповідно, існує похибка при визначенні коефіцієнта лінеаризації, який може змінюватись. Ці методи є прості і не вимагають процесора, але виникають втрати потужності під час вимірювання напруги н. х. чи струму к. з., і втрати, пов'язані з неточним визначенням ТМП.

Метод напруги навантаження з двома ШП (*Load-voltage-based method*) [2] описує навантаження за допомогою еквівалентного опору і ґрунтується на принципі, що потужність сонячної батареї є пропорційною до квадрата напруги. Використання двох ШП, які з'єднані паралельно, дає змогу максимально зменшити пульсації струму і збільшити їхню частоту.

Запропонований у роботі [8] метод зі змінним кроком працює у дві стадії: на першій швидко наближає робочу точку до ТМП з великим кроком з використанням доволі складного алгоритму, який вимагає наявності сигнального процесора, що є недоліком. На другій стадії застосовується один з класичних методів пошуку ТМП (*P&O, IncCond*) з малим кроком для прецизійного знаходження максимуму. Метод дозволяє швидко виконувати пошук і має робастні властивості.

Висновки

У зведеній таблиці наводиться опис переваг і недоліків кожного методу визначення точки максимальної потужності, а також короткий опис їх роботи, що може слугувати довідковою інформацією для вибору найпристосованішого методу для певної системи.

1. Trishan ESRAM and Patrick L. Chapman. *Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques* // *IEEE Transactions on energy conversion*. – June 2007. – Vol. 22, N 2.
2. Veerachary M., Senjyu T. and Uezato K. *Maximum power point tracking of coupled inductor interleaved boost converter supplied PV system* // *IEE Proc.-Electr. Power Appl.* – January 2003. – Vol. 150, No. 1.
3. Mohammad A.S. Masoum, Hooman Dehbonei, and Ewald F. Fuchs. *Theoretical and Experimental Analyses of Photovoltaic Systems With Voltage- and Current-Based Maximum Power-Point Tracking* // *IEEE Transactions on energy conversion*. – December 2002. – Vol. 17, N 4.
4. Joe-Air Jiang, Tsong-Liang Huang, Ying-Tung Hsiao and Chia-Hong Chen. *Maximum Power Tracking for Photovoltaic Power*

Systems // Tamkang Journal of Science and Engineering. – 2005. – Vol. 8, No 2. – P. 147–153. 5. Trishan Esrar, Jonathan W. Kimball, Philip T. Krein, Patrick L. Chapman and Pallab Midya. Dynamic Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Arrays Using Ripple Correlation Control // IEEE Transactions on power electronics. September 2006. – Vol. 21, N 5. 6. Jawad Ahmad, and Hee-Jun Kim. A Voltage Based Maximum Power Point Tracker for Low Power and Low Cost Photovoltaic Applications // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2009. – 60. 7. Yan Hong Lim and D.C.Hamill. Simple maximum power point tracker for photovoltaic arrays // Electronics letters 25th. – May 2000. – Vol. 36, N. 11. 8. Sachin Jain and Vivek Agarwal. A New Algorithm for Rapid Tracking of Approximate Maximum Power Point in Photovoltaic Systems // IEEE Power Electronic Letters. – March 2004. – Vol. 2, N 1.

УДК 621.3.013.62; 621.314.21; 621.314.222.8

М.Й. Олійник, О.Л. Никонець, Н.Г. Мальцева
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедри ЕПМС, ЕС

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПРОЦЕСИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ РОЗПОДІЛЬЧОЇ МЕРЕЖІ ЗІ СХЕМОЮ З’ЄДНАННЯ ОБМОТОК “ЗІРКА – ЗІРКА З УЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛІЮ” ЗА ДІЇ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕНАПРУГ

© Олійник М. Й., Никонець О. Л., Мальцева Н. Г., 2011

Дослідженнями на математичній моделі трансформатора обґрунтовані зміни в схемах та параметрах випробувальної хвилі під час проведення типових імпульсних випробувань. Доведено, що під час дії імпульсної хвилі на обмотках трансформатора розвиваються внутрішні коливні перенапруги, величина яких небезпечна для виткової ізоляції.

Ключові слова: трансформатор, електромагнітні процеси, перенапруги, математична модель, розподільна мережа.

Changes and parameters of the test surge pulse for procedure or typical surge tests have been proved by transformer simulations. It was shown, that under surge pulse the dangerous internal oscillating overvoltages are developed on winding isolation.

Key words: elektromagnetic transients, overvoltages, mathematical model, distribution grid.

Постановка проблеми

Не зважаючи на те, що хвильові процеси в обмотках трансформаторів за дії імпульсних перенапруг доволі добре вивчені, розроблені відповідні технічні рішення для вирівнювання напруги вздовж обмотки та обмеження амплітуди імпульсних перенапруг, обґрунтовані необхідні рівні ізоляції, досвід експлуатації [1] свідчить, що за дії імпульсних перенапруг виникає до 20,8 % всіх ушкоджень трансформаторів розподільчої мережі. Це зумовлює необхідність поглибленого вивчення взаємозв'язків між електричними процесами в ізоляції та електромагнітними процесами в обмотках трансформаторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У [2] синтезована математична модель трифазного трансформатора 20/0,4 кВ потужністю 20 кВА, яка адекватно відтворює перехідні електромагнітні процеси в реальному трансформаторі за дії внутрішніх перенапруг з різними частотами вільних складових. У [3] доведено, що синтезована модель дає змогу отримати достовірні кількісні характеристики впливу на елементи ізоляції не тільки внутрішніх, але й імпульсних перенапруг мережі.