

Nghiên cứu hoàn thiện quy trình chế tạo modul và giải pháp nâng cao hiệu quả hệ thống điện mặt trời Si

Dương Ngọc Huyền^{1*}, Nguyễn Thùy Linh^{1,2}, Nguyễn Trọng Tùng¹
Lê Văn Truyền¹, Nguyễn Trường Minh³

¹Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

²Trường Đại học Phạm Văn Đồng

³Viện Nghiên cứu Chiến lược, Chính sách Công nghiệp, Bộ Công thương

Ngày nhận bài 9.3.2015, ngày chuyển phản biện 16.3.2015, ngày nhận phản biện 20.4.2015, ngày chấp nhận đăng 24.4.2015

Chế độ gia nhiệt ở nhiệt độ cao có thể rút ngắn được thời gian lưu hóa keo ethylene vinyl acetate (EVA), mở ra khả năng chế tạo hiệu quả và giảm giá thành modul pin mặt trời Si dưới 1,0 USD/Wp. Giá thành điện năng thấp nhất trong trường hợp hệ pin mặt trời nối lưới có thể dưới 0,15 USD/kWh ở điều kiện chiếu sáng trung bình, do đó có thể cạnh tranh được với điện lưới. Đối với hệ điện mặt trời độc lập, hiệu suất chuyển đổi phụ thuộc vào bộ phận tích trữ năng lượng. Kết nối hợp lý quá trình chuyển đổi trung gian theo chế độ phụ tải riêng biệt đã nâng cao hiệu suất, đưa giá thành điện năng của hệ điện mặt trời độc lập nhỏ tiếp cận với giá thành điện mặt trời nối lưới.

Từ khóa: EVA, hệ thống điện mặt trời, modul pin mặt trời.

Chỉ số phân loại 2.2

STUDY ON IMPROVEMENT OF SOLAR MODULE MAKING PROCEDURE AND EFFICIENCY ENHANCEMENT OF OFF-GRID SOLAR POWER SYSTEM

Summary

The decrease in the curing time of ethylene vinyl acetate (EVA) as a result of thermal treatment at high temperature effectively enables solar module production and reduces the module cost below 1.0 USD/Wp. As consequence, the possible minimum electricity cost in the case of the grid-tie solar system with medium illumination could be below 0.15 USD/kWh, which is comparable to that of normal grid.

With respect to off-grid solar system, the overall efficiency is mainly relied to the storage stage. A programmed bypass connection set up in a small off-grid solar system based on specific load has improved the efficiency, brought the electricity cost of the small off-grid system closer to that of the grid-tie system.

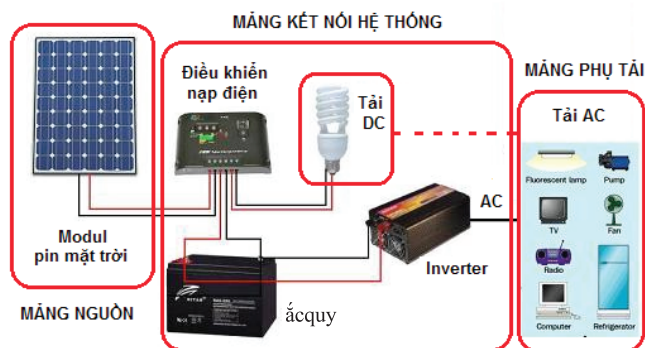
Keyword: EVA, solar module, solar power system.

Classification number 2.2

Đặt vấn đề

Một hệ thống biến đổi năng lượng mặt trời vừa phải đảm bảo thu được năng lượng tối đa từ pin mặt trời, vừa đảm bảo điều kiện hòa đồng bộ hệ thống với lưới điện khi điện áp lưới cũng như tải thay đổi. Bên cạnh đó, giá thành điện mặt trời hiện nay vẫn còn cao nên việc nâng cao hiệu suất phát điện của hệ thống điện mặt trời trở thành một vấn đề được quan tâm hàng đầu.

Về ứng dụng thực tế, một hệ thống điện mặt trời cơ bản gồm các thành phần chính sau (hình 1): mảng nguồn gồm các modul pin mặt trời; mảng kết nối hệ thống bao gồm các bộ phận điện



Hình 1: mô hình cơ bản của một hệ thống điện mặt trời

*Tác giả chính: Tel: 0912153128; Email: huyen.duongngoc@hust.edu.vn

tử liên quan đến điều khiển nạp, role đóng ngắt, bộ biến đổi điện và bộ phận tích trữ (acqury); mảng phụ tải. Dựa trên các cơ sở lập luận nêu trên, nhóm nghiên cứu đã đề xuất và được giao thực hiện đề tài cấp nhà nước mã số KC05.07/11-15: “Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo hệ thống chiếu sáng thông minh, tiết kiệm năng lượng sử dụng diốt phát quang (LED) và nguồn cấp điện pin mặt trời” với mục đích nâng cao hiệu quả và cải thiện hoạt động của 3 mảng nêu trên.

Nội dung nghiên cứu

Đối với quy trình chế tạo modul pin mặt trời

Pin mặt trời là những thiết bị biến đổi trực tiếp năng lượng ánh sáng thành điện năng được chế tạo từ vật liệu bán dẫn có vùng cấm hẹp [trong khoảng 1,0-2,0 eV như Si, CdTe, GaAs, CZSS (Cu/Zn/Sn/S), CIS (Cu/In/S), CIGS (Cu/In/Ga/S), CSS (Cu/Sn/S)... hay hữu cơ/polyme bán dẫn (CPs)...] [1]. Theo đặc điểm vật liệu và phương pháp chế tạo, pin mặt trời có thể được phân loại theo công nghệ Si tinh thể và màng mỏng; trong đó, pin mặt trời Si tinh thể đang phổ biến nhất trên thị trường hiện nay (chiếm khoảng 90%) [2-5]. Ưu thế của pin mặt trời Si là có thể duy trì trong một thời gian dài do sự sẵn có của vật liệu và sự hoàn thiện của phương pháp chế tạo, gia công tinh thể Si thừa hưởng từ công nghệ điện tử.

Tìm điều kiện ép gia nhiệt thích hợp cho EVA (vật liệu kết nối các thành phần của modul) là thông số cơ bản để hợp lý hóa quy trình chế tạo, nâng cao chất lượng modul. Trong nghiên cứu này, phương pháp phân tích nhiệt vi sai DSC và phương pháp hòa tan dung môi được sử dụng để tìm ra chế độ gia nhiệt phù hợp cho từng loại EVA chuyên dụng cho việc chế tạo modul pin mặt trời.

Giải pháp nâng cao hiệu quả của hệ thống điện mặt trời

Trên cơ sở phân tích đặc điểm của các bộ phận cơ bản trong hệ thống điện mặt trời, đề tài đã đề ra mục tiêu tích hợp hệ thống chiếu sáng modul đèn LED và pin mặt trời một cách linh hoạt theo phương thức hoạt động độc lập hoặc nối lưới dự phòng.

Thiết bị thí nghiệm gồm các hệ hàn điện có điều khiển nhiệt độ, máy ép chân không gia nhiệt, thiết bị phân tích nhiệt vi sai.

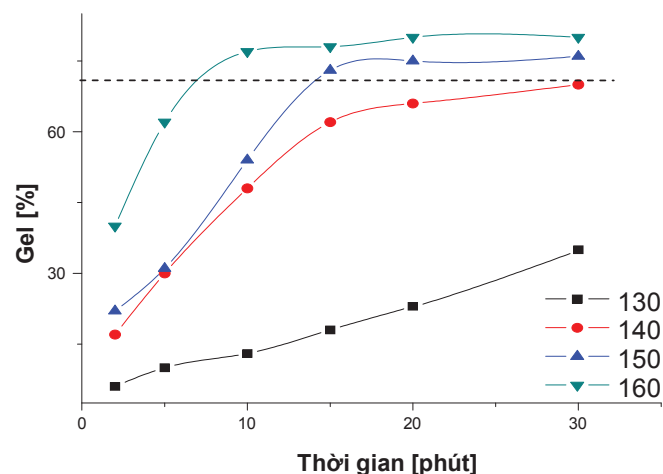
Kết quả và thảo luận

Sau khi tiến hành nghiên cứu, thực nghiệm và ứng dụng các vấn đề nghiên cứu nêu trên trong việc lắp đặt một hệ thống điện mặt trời trong thực tế, chúng tôi đưa

ra một số kết quả sau:

Đối với quy trình chế tạo modul pin mặt trời

Trong quy trình chế tạo modul pin mặt trời bằng phương pháp gia nhiệt, các phiến pin mặt trời Si được kẹp giữa các tấm EVA, sau đó được gia nhiệt và ép trong môi trường chân không. Dưới tác dụng của nhiệt, vật liệu EVA sẽ nóng chảy và kết nối mạch tạo thành keo. Tùy theo chế độ gia nhiệt, tỷ lệ keo EVA (độ lưu hóa) thay đổi như hình 2. Ngoài ra, các thành phần phụ gia được bổ sung kết hợp với keo EVA sẽ làm tăng tính chất cơ lý và khả năng chịu đựng của EVA.



Hình 2: độ lưu hóa xác định theo phương pháp hòa tan

Hình 2 cho thấy, khi gia nhiệt ở nhiệt độ cao hơn 130°C, sự kết nối mạch xảy ra và quá trình tạo keo (lưu hóa) bắt đầu xảy ra trong vật liệu EVA. Độ lưu hóa phụ thuộc vào thời gian và nhiệt độ, nhiệt độ càng cao thì độ lưu hóa xảy ra càng nhanh. Tuy nhiên, độ chảy lỏng của EVA cũng tăng theo, làm giảm chất lượng của modul. Kết quả xác định tỷ lệ gel EVA bằng phương pháp hòa tan dung môi được so sánh với nhiệt chuyển pha xác định bằng phương pháp phân tích nhiệt DSC cho biết điều kiện thích hợp để chế tạo modul pin mặt trời tương ứng với nhiệt độ 140-150°C và thời gian trong khoảng 15-30 phút. Với điều kiện gia nhiệt như vậy, độ lưu hóa của EVA được xác định trong khoảng 60-85%. Trong khuôn khổ của đề tài KC05.07/11-15, các modul pin mặt trời được chế tạo thử nghiệm với các chế độ gia nhiệt 140°C (30 phút) và 150°C (15 phút) đều đảm bảo tiêu chuẩn kỹ thuật và đã được kiểm nghiệm thực tế. Như vậy, việc lựa chọn chế độ gia nhiệt phù hợp có thể rút ngắn được thời gian chế tạo modul 20-30% và cho phép chủ động thay đổi quy trình một cách hợp lý. Dựa

vào kết quả đạt được, nhóm nghiên cứu đang phối hợp cùng Công ty Cổ phần ESOL Việt Nam đề xuất dự án hoàn thiện dây chuyền chế tạo modul pin mặt trời công suất 60 MW nhằm cung cấp cho nhu cầu trong nước và xuất khẩu.

Giải pháp nâng cao hiệu quả của hệ thống điện mặt trời

Để đánh giá hiệu quả của hệ thống điện mặt trời một cách toàn diện, cần có sự đánh giá trên cả hai phương diện kỹ thuật và kinh tế.

Trên phương diện năng lượng, từ mô hình cơ bản của hệ thống điện mặt trời ta có thể nhận thấy các bộ phận của mảng kết nối hệ thống liên quan đến các quá trình biến đổi năng lượng (quang điện, điện hóa, DC-DC và DC-AC)... do đó điện năng nhận được từ modul pin mặt trời sẽ giảm dần sau mỗi quá trình chuyển đổi. Số quá trình chuyển đổi càng nhiều thì hiệu suất sử dụng của hệ giảm càng lớn. Như vậy, để tăng hiệu quả sử dụng điện của hệ thống cần giảm tối đa các quá trình trung gian. Trên cơ sở tính toán hiệu suất chuyển đổi của hệ thống, cách tiếp cận của đề tài là điều chỉnh linh hoạt chế độ kết nối theo điều kiện phụ tải với các giải pháp sau:

- Biến đổi điện mặt trời thành điện xoay chiều trực tiếp hòa lưới.
- Chọn phụ tải sử dụng điện một chiều trực tiếp như đèn LED không qua bộ inverter trung gian.
- Chọn phụ tải hoạt động ban ngày như công sở, trường học để sử dụng điện mặt trời một cách trực tiếp qua inverter mà không cần bộ tích trữ ắc quy nhằm giảm quá trình biến đổi điện hóa.
- Kết hợp điện mặt trời độc lập và nối lưới dự phòng nhằm bổ sung điện năng cho phụ tải để giảm điện năng tích trữ bằng quá trình biến đổi điện hóa.
- Sử dụng linh hoạt các bộ inverter DC/AC có cài đặt chế độ điều khiển nạp và điều chỉnh đóng/ngắt theo bộ tích trữ và phụ tải.

Xét về phương diện kinh tế, giá thành điện năng là yếu tố cơ bản để đánh giá tính hiệu quả của hệ thống. Một cách tổng quan, giá thành điện năng được tính theo giá đầu tư, giá nhiên liệu, vận hành và sửa chữa, bảo dưỡng tính cho một chu kỳ hoạt động của thiết bị [6]:

$$Giá = \frac{PVA}{\sum_{t=1}^n (DN)} \quad (1)$$

Trong đó: $PVA = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t}$

$$CF = \sum_{t=1}^n CF_t = \sum_{t=1}^n (ĐT + NL + VH)$$

ĐT, NL, VH và DN lần lượt là kinh phí đầu tư, nhiên liệu, vận hành (sửa chữa, bảo dưỡng) và điện năng (KWh) hàng năm trong chu kỳ hoạt động n năm của thiết bị, CF_t là chi phí đầu tư năm thứ t, i là lãi suất chiết khấu hàng năm (%/năm).

Từ công thức (1) ta nhận thấy, nếu một trong các chi phí trên giảm sẽ kéo theo giá thành điện năng giảm. Áp dụng thử nghiệm cho hệ thống điện mặt trời theo các hình thức hoạt động khác nhau (độc lập, độc lập có nối lưới dự phòng, trực tiếp nối lưới) với các số liệu đã khảo sát kết hợp với các biện pháp được đề xuất ở trên cho các kết quả tính toán như sau:

Đối với hệ nối lưới trực tiếp (grid-tie), do không cần các bộ phận trung gian (bộ biến đổi, bộ điều khiển nạp và bộ tích trữ) hiệu suất sử dụng năng lượng là cực đại (~100%). Tổng đầu tư tính theo công thức (1) khoảng 2,0 USD/Wp, chi phí hàng năm (tính theo khấu hao thiết bị hàng năm [7]) thì giá thành điện năng dưới 0,1 USD/kWh (~ 0,04 USD/kWh) trong điều kiện chiếu sáng ước lượng 1600 h/năm ở miền Bắc. Trong điều kiện chiếu sáng 2000 h/năm ở miền Nam thì giá thành có thể thấp hơn. Tuy nhiên, hệ nối lưới trực tiếp lại không hoạt động được khi không có điện lưới hay khi không có nguồn bức xạ (chẳng hạn vào ban đêm). Đối với hệ pin mặt trời hoạt động độc lập (off-grid), nếu tích hợp đầy đủ các bộ biến đổi, bộ điều khiển nạp và bộ tích trữ thì hiệu suất sử dụng năng lượng là cực tiểu (~60%). Giá thành điện năng của hệ độc lập do đó tăng lên khoảng 0,08 USD/kWh (do thành phần đầu tư tăng lên ~4,0 USD/Wp trong khi điện năng giảm 40%). Như vậy, giá thành điện năng phụ thuộc rất nhiều vào hiệu quả của mảng kết nối hệ thống, trong đó chủ yếu là bộ tích trữ năng lượng.

Từ cơ sở phân tích trên đây, giải pháp mà nhóm nghiên cứu đề xuất và thực hiện là giảm tối đa quá trình chuyển đổi trung gian dựa trên 2 cách tiếp cận: 1) lựa chọn phụ tải thích hợp, đồng thời điều chỉnh linh hoạt chế độ kết nối nhằm mục đích sử dụng tối đa nguồn

điện từ hệ pin mặt trời và 2) đảm bảo độ tin cậy của hệ thống. Giải pháp hướng đến hệ thống với các tiêu chí sau:

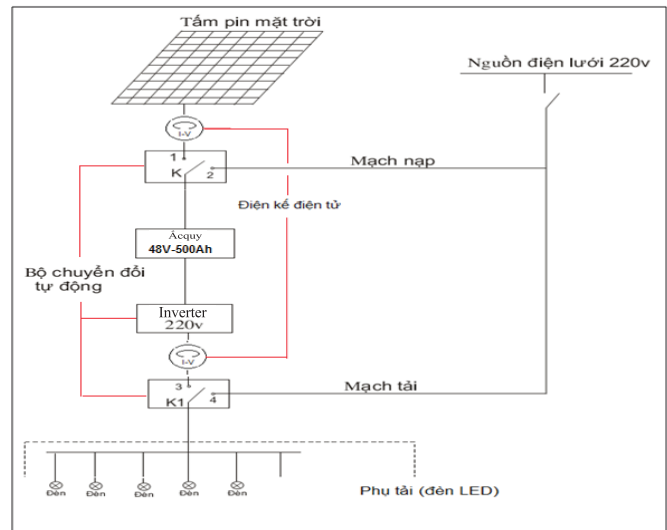
Lựa chọn phụ tải thích hợp: phụ tải bao gồm đèn chiếu sáng và tải sử dụng điện 220 VAC. Phụ tải là đèn chiếu sáng sử dụng đèn LED để tăng tối đa hiệu suất sử dụng điện mặt trời. Phụ tải sử dụng điện 220 VAC cần tích hợp thêm thiết bị inverter để chuyển nguồn DC của pin thành nguồn sin chuẩn 220 VAC. Vì lý do hiệu suất, phụ tải chiếu sáng được ưu tiên hơn.

Đảm bảo hệ thống hoạt động được trong mọi điều kiện: sử dụng nguồn dự phòng là điện lưới, khi hệ pin mặt trời không cung cấp đủ công suất hoạt động cho tải thì hệ thống tự động chuyển mạch tải về lưới điện.

Sử dụng ắc quy để tích trữ năng lượng dư thừa: đối với các hệ thống yêu cầu bắt buộc phải có nguồn dự phòng khi mất điện lưới, hệ thống cần tích hợp thêm thiết bị nạp ắc quy. Đối với hệ thống hướng đến tiêu chí khai thác điện mặt trời, ắc quy được sử dụng để tích trữ năng lượng dư thừa không dùng hết và do đó có thể không cần thiết bị nạp.

Giám sát công suất cực đại có thể cung cấp bởi hệ pin mặt trời: công suất của pin thay đổi theo điều kiện chiếu sáng. Để khai thác năng lượng mặt trời tối ưu, công suất này cần được đo theo thời gian thực (thông qua đo cường độ bức xạ mặt trời bằng cảm biến quang đặt cùng vị trí lắp đặt pin) và được phân phối tới các phụ tải bằng bộ chuyển đổi tự động được lập trình một cách tối ưu nhất: công suất cho phụ tải chiếu sáng LED sử dụng trực tiếp nguồn DC từ pin; công suất cho phụ tải dùng điện 220 VAC, sử dụng qua inverter; và công suất để nạp ắc quy. Trong trường hợp công suất điện từ pin mặt trời không dùng hết, năng lượng dư thừa sẽ được nạp vào ắc quy để sử dụng sau.

Bộ chuyển đổi tự động được lập trình linh hoạt theo nguyên tắc sau: giám sát công suất cực đại P_s của pin qua cảm biến cường độ sáng lắp đặt cùng vị trí với hệ pin. Trong trường hợp công suất P_s đủ đáp ứng phụ tải, dòng điện DC từ pin được nối tắt tới phụ tải LED, phụ tải 220 VAC được nối qua inverter, công suất dư được nạp cho ắc quy. Trong trường hợp công suất P_s nhỏ hơn công suất tiêu thụ của phụ tải LED, phụ tải 220 VAC, phần công suất thiếu hụt có thể bù bởi ắc quy, nếu ắc quy không đủ đáp ứng thì phụ tải được nối tới điện lưới, còn công suất điện mặt trời được nạp cho ắc quy.



Hình 3: sơ đồ khối của hệ thống điện mặt trời có nối lưới dự phòng

Bộ chuyển đổi tự động được lập trình ưu tiên sử dụng trực tiếp điện mặt trời một cách tối đa và giảm dung lượng của bộ tích trữ đến mức tối thiểu, sẽ tự động nối tắt các bộ phận điều khiển nạp, tích trữ và inverter để dòng điện từ pin mặt trời sang mạch tải một cách linh hoạt khi sử dụng điện mặt trời trực tiếp (hình 3), do chi phí cho phần tích trữ giảm nên giá thành điện năng cũng giảm theo. Bộ kết nối linh hoạt được áp dụng cho hệ chiếu sáng đèn LED bằng pin mặt trời đã được lắp đặt tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội và Bộ KH&CN, giúp làm tăng hiệu suất kết nối của hệ độc lập khoảng 80% và giảm một nửa hệ thống tích trữ. Giá thành điện năng ước tính giảm 50% so với giá thành của nguồn độc lập. Do đó, mặc dù giá thành còn cao nhưng hệ kết nối lưới dự phòng (như hình 3) có thể là giải pháp gia tăng độ tin cậy cho hệ độc lập.

Kết luận

Việc hoàn thiện chế độ gia nhiệt trong phương pháp Laminator mở ra khả năng chế tạo hiệu quả modul pin mặt trời Si. Với giá modul dưới 1,0 USD/Wp, giá hệ thống dưới 2,0 USD/Wp, giá thành điện mặt trời trực tiếp hòa lưới có thể nhỏ hơn 0,1 USD/kWh (với thời gian nắng bình quân 1600 h/năm ở miền Bắc và thời gian nắng bình quân 2000 h/năm ở miền Nam). Như vậy, khi được hòa lưới, điện mặt trời có thể cạnh tranh với các nguồn điện khác ngay tại Việt Nam [8].

Tuy nhiên, đối với hệ điện mặt trời độc lập, giá thành phụ thuộc rất lớn vào hiệu quả của hệ thống kết nối. Với điều kiện chuyển đổi thông qua bộ tích trữ trung gian (ắc quy), hiệu suất của hệ thống điện mặt trời độc lập là thấp nhất, giá thành điện năng khoảng

0,08 USD/kWh. Khi nối lưới dự phòng, một phần bộ tích trữ trung gian có thể được giảm bớt, hiệu suất của hệ điện mặt trời tăng lên, đưa giá thành điện năng tiếp cận được giá thành điện năng hòa lưới trực tiếp. Tại những địa điểm có điện lưới, hệ thống điện mặt trời hòa lưới trực tiếp hoặc nối lưới dự phòng có thể là giải pháp bù điện năng cho lưới điện.

Với giá thành điện năng hiện tại, hệ điện mặt trời độc lập còn cao hơn so với giá thành điện lưới. Tuy nhiên, xét về phương diện kinh tế - xã hội, hệ thống điện mặt trời độc lập có ý nghĩa lớn khi tiến hành lắp đặt ở các địa phương vùng sâu, vùng xa... hoặc kết nối lưới điện khó khăn. Giải pháp kết nối hợp lý quá trình trung gian theo chế độ phụ tải được đề xuất trong đề tài KC05.07/11-15 đã làm tăng hiệu suất chuyển đổi và do đó làm giảm giá thành điện năng của hệ điện mặt trời độc lập.

Lời cảm ơn

Nhóm nghiên cứu trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ về mặt kinh phí của Chương trình KH&CN trọng điểm cấp nhà nước giai đoạn 2011-2015: Nghiên cứu ứng dụng và phát triển công nghệ năng lượng (mã số KC05/11-15).

Tài liệu tham khảo

- [1] John Wiley & Sons Ltd (Edited by A Luque and S Hegedus) (2003), *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*.
- [2] M Bazilian, I Onyeji, M Liebreich, I MacGill, J Chase, J Shah, D Gielen (2013), “Re-considering the Economics of Photovoltaic power”, *Renewable Energy*, **53**.
- [3] Alan Goodrich, Peter Hacke, Qi Wang, Bhushan Sopori, Robert Margolis, Ted L James, Michael Wood House (2013), “A wafer-based monocrystalline silicon photovoltaics roadmap: Utilizing known technology improvement opportunities for further reductions in manufacturing costs”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **114**, pp.110-135.
- [4] International Energy Agency (2014), *Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy*.
- [5] Tatsuo Saga, NPG Asia Mater (2010), *Advances in crystalline silicon solar cell technology for industrial mass production*, pp.96-102.
- [6] Department of Energy, USA (2010), *2008 Solar Technology Market Report*.
- [7] Thông tư số 45/2013/TT-BTC ngày 25.4.2013 của Bộ Tài chính về hướng dẫn chế độ quản lý, sử dụng và trích khấu hao tài sản cố định.
- [8] Quyết định số 8440/QĐ-BCT ngày 15.11.2013 của Bộ Công thương ban hành khung giá phát điện năm 2013.