

# NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG CỦA CÁC BỘ BIẾN ĐỔI ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT VÀO KHAI THÁC NGUỒN PIN MẶT TRỜI VÀ ĐIỆN GIÓ

Lê Tiên Phong, Ngô Đức Minh

## TÓM TẮT

Năng lượng từ nguồn pin mặt trời (PV-Photovoltaic Generation) và nguồn điện gió (WG-Wind Generation) thường được khai thác thông qua các bộ biến đổi điện tử công suất để khắc phục các nhược điểm cũng như khai thác được năng lượng tối đa của hai loại nguồn này. Bằng việc phân loại bộ biến đổi theo hướng truyền công suất, năng lượng từ PV và WG có thể đáp ứng cho các phụ tải, thay đổi chế độ phóng nạp cho kho năng lượng hoặc chế độ phát, thu năng lượng so với lưới điện. Qua đó, các bộ biến đổi cách ly hoặc không cách ly giữa phía nguồn và phía tải sẽ được sử dụng. Bài báo đã ứng dụng thực nghiệm với bộ biến đổi flyback để khai thác nguồn năng lượng mặt trời.

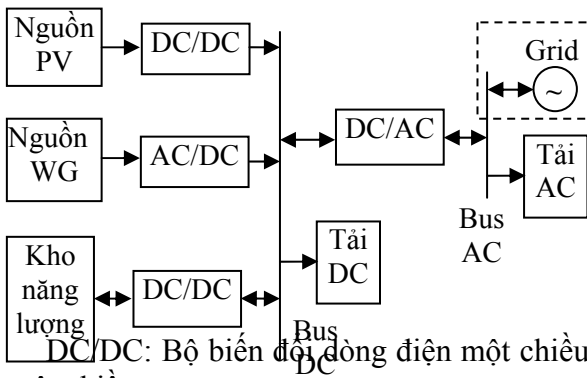
*Từ khóa:* Pin mặt trời, điện gió, bộ biến đổi, một hướng, hai hướng, cách ly, không cách ly.

### 1. Tổng quan về vấn đề khai thác nguồn pin mặt trời và điện gió

Điện năng phát ra từ nguồn pin mặt trời hoặc turbine gió ít khi được dùng để cấp điện trực tiếp cho phụ tải vì đặc trưng của các nguồn này là không ổn định. Năng lượng từ nguồn PV chỉ có vào những thời điểm có bức xạ mặt trời (ban ngày) trong khi năng lượng từ nguồn WG lại có thể thu được bất kể ngày đêm. Đặc điểm chung của hai nguồn này là luôn biến thiên theo các yếu tố khách quan như cường độ bức xạ, nhiệt độ, tốc độ gió, thời tiết tại vị trí đặt tấm pin mặt trời hay turbine gió. Do vậy, chúng thường được kết kết với phụ tải hoặc lưới điện thông qua các bộ biến đổi điện tử công suất.

Nguồn pin mặt trời và điện gió có thể được khai thác dưới dạng đáp ứng cho các phụ tải lân cận (một chiều, xoay chiều), kết nối lưới để đẩy công suất vào lưới hoặc thu nhập công suất từ lưới để phục vụ cho mục đích vận hành hệ thống.

Hình 1 mô tả cấu trúc của hệ thống khai thác nguồn pin mặt trời và điện gió [1-3].



Hình 1. Mô hình khai thác nguồn PV và WG

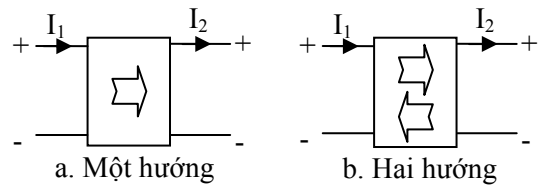
AC/DC: Bộ chỉnh lưu dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều.

DC/AC: Bộ nghịch lưu biến đổi dòng điện một chiều thành dòng điện xoay chiều.

Tùy theo chức năng của bộ biến đổi, có thể phân chia theo hướng (một hướng, hai hướng) hay theo yêu cầu cô lập giữa các phía (cách ly, không cách ly). Kết hợp với các thiết bị điều khiển như diode, mosfet hay IGBT, các bộ biến đổi điện tử công suất này đang giúp cho nguồn pin PV và điện gió trở nên phổ biến hơn. Bài báo này sẽ giới thiệu một số bộ biến đổi điện tử công suất đã và đang được sử dụng hiện nay.

### 2. Các bộ biến đổi điện tử công suất khai thác nguồn PV và WG

Điện năng phát từ nguồn PV và WG được khai thác thông qua các bộ biến đổi điện tử công suất. Hình 2 cho thấy sự phân loại theo hướng truyền công suất các bộ biến đổi trong hệ nguồn này. [4-6]



Hình 2. Phân loại BBĐ điện tử công suất khai thác nguồn PV và WG

Có thể thấy rằng, các bộ biến đổi được phân thành hai loại:

- BBĐ một hướng (hình 2a): Chỉ truyền công suất theo một hướng nhất định. Dòng điện đầu vào  $I_1$  và đầu ra  $I_2$  của BBĐ được quy ước chỉ có giá trị dương. BBĐ này được

dùng để liên kết nguồn PV, WG, phụ tải một chiều hoặc xoay chiều.

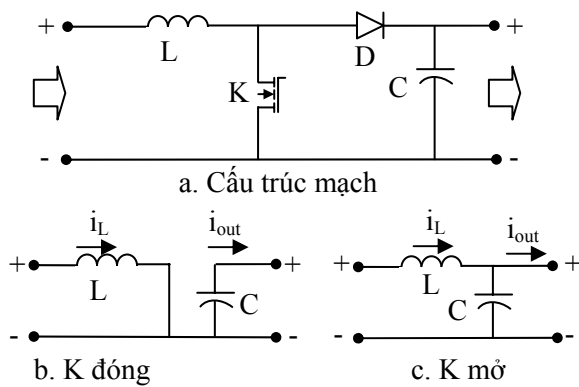
- BBĐ một hướng (hình 2b): Cho phép truyền công suất theo cả hai hướng (xuôi hoặc ngược). Dòng điện đầu vào  $I_1$  và đầu ra  $I_2$  của BBĐ được quy ước có giá trị dương (khi truyền tải xuôi) và có giá trị âm (khi truyền tải ngược). BBĐ này được dùng để liên kết kho năng lượng vào thanh cái một chiều (thực hiện chế độ phóng hoặc nạp) hoặc liên kết thanh cái một chiều với lưới điện (phát điện năng vào lưới hoặc nhận điện năng từ lưới).

Để đáp ứng được yêu cầu truyền tải công suất của hệ nguồn, cấu trúc và nguyên lý hoạt động của một số BBĐ phù hợp đã được phát triển và ứng dụng.

### 2.1. Bộ biến đổi một hướng

#### a. Bộ DC/DC không cách ly:

- Bộ boost (hình 3): [7]



Hình 3. Bộ biến đổi DC/DC boost

Chuyển mạch K đóng mở theo chu kỳ. Khi K đóng, cuộn cảm được nối với nguồn 1 chiều và cuộn kháng tích năng lượng trong thời gian  $t_{on}$ . Khi K mở, cuộn kháng giải phóng năng lượng qua Diode D tới tải trong thời gian  $t_{off}$ .

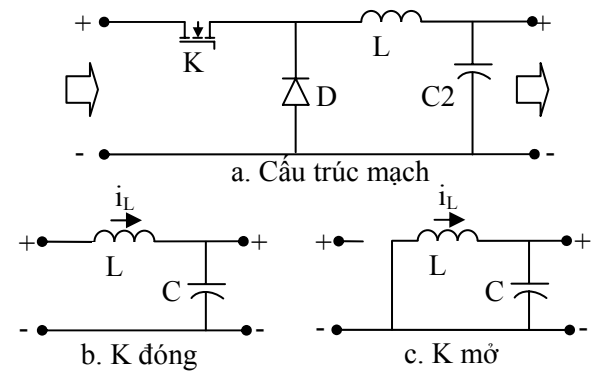
Như vậy, thông qua việc điều khiển thời gian đóng mở của khóa điều khiển K, năng lượng được tích phóng trong cuộn cảm sẽ làm cho điện áp đầu ra của bộ biến đổi luôn luôn tăng cao hơn so với điện áp đầu vào theo công thức (1):

$$V_{out} = \frac{1}{1-k} V_{in} \quad (1)$$

với  $k = \frac{t_{on}}{T}$  là hệ số đặc trưng cho

khoảng thời gian dẫn dòng qua khóa K.

- Bộ buck (hình 4): [7]



Hình 4. Bộ DC/DC buck

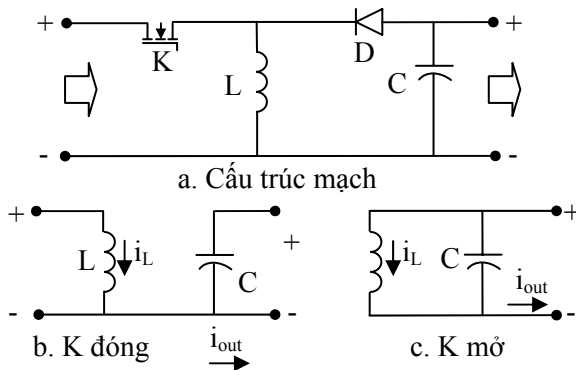
Trong thời gian mở, khóa K thông cho dòng đi qua, điện áp một chiều được nạp vào tụ C2 và cấp năng lượng cho tải qua cuộn kháng L. Trong thời gian đóng, khóa K đóng lại không cho dòng qua nữa, năng lượng 1 chiều từ đầu vào bằng 0. Tuy nhiên tải vẫn được cung cấp đầy đủ điện nhờ năng lượng lưu trên cuộn kháng và tụ điện do diode khép kín mạch. Như vậy cuộn kháng và tụ điện có tác dụng lưu giữ năng lượng trong thời gian ngắn để duy trì mạch khi khóa K đóng.

Điện áp đầu ra xác định theo công thức (2):

$$V_{out} = kV_{in} \quad (2)$$

Bộ biến đổi buck hoặc boost này được sử dụng để điều khiển nguồn PV hoặc nguồn điện gió 1 chiều trong trường hợp điện áp của hai nguồn này luôn lớn hơn điện áp của thanh cái DC.

- Bộ buck-boost (hình 5): [7]



Hình 5. Bộ biến đổi DC/DC buck-boost

Cho phép điều khiển điện áp đầu ra lớn hơn hoặc nhỏ hơn điện áp đầu vào tùy theo hệ số k theo công thức (3):

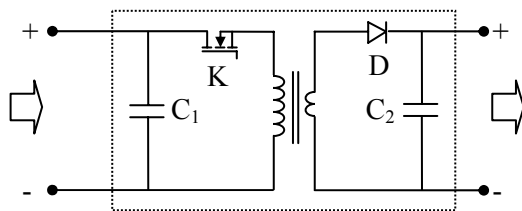
$$V_{out} = \frac{k}{1-k} V_{in} \quad (3)$$

Khi  $k > 0,5$  thì  $V_{out} > V_{in}$  và ngược lại.

Bộ biến đổi này được sử dụng trong trường hợp điện áp của các nguồn có thể lớn hơn hoặc nhỏ hơn điện áp thành cái DC.

### b. Bộ DC/DC cách ly [7-9]

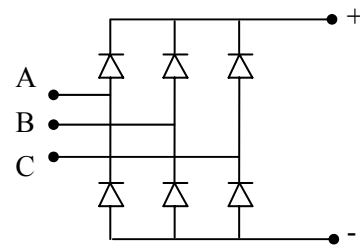
Cách ly về điện có thể được thực hiện với các thiết bị đòi hỏi đảm bảo an toàn, giảm ồn cũng như khả năng vận hành chính xác của các thiết bị bảo vệ. Việc cách ly giữa phía đầu vào và đầu ra của BBĐ có thể thực hiện bằng cách sử dụng máy biến áp trong mạch điện tử công suất với tần số cao. Sơ đồ cấu trúc bộ DC/DC cách ly được cho trên hình 4.



Hình 6. Bộ DC/DC cách ly

Điện năng được truyền từ đầu vào đến đầu ra BBĐ bằng cách biến đổi dòng điện một chiều ở đầu vào thành dòng điện xoay chiều rồi cảm ứng qua mạch từ sang phía thứ cấp. Dòng điện xoay chiều cảm ứng ở phía thứ cấp được chỉnh lưu thành dòng điện một chiều ở đầu ra của mạch bởi diode D.

### c. Bộ biến đổi AC/DC không cách ly (hình 7)



Hình 7. Bộ AC/DC không cách ly

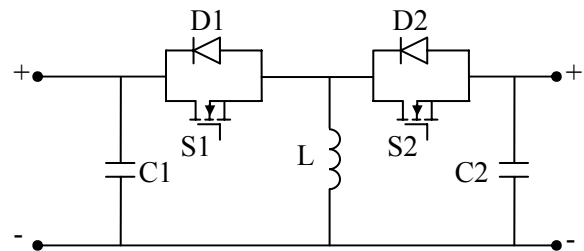
Bộ chỉnh lưu dòng điện xoay chiều 3 pha thành dòng điện một chiều này được sử dụng cho nguồn WG phát ra điện xoay chiều để điều chỉnh điểm làm việc và khai thác được công suất lớn nhất cho turbine gió. [7]

## 2.2. Bộ biến đổi hai hướng

Bộ biến đổi hai hướng cho phép truyền tải công suất cả theo chiều xuôi và theo chiều ngược nên phù hợp để thay đổi chế độ phóng nạp cho kho năng lượng (DC/DC hai hướng) hoặc chế độ thu phát giữa hệ nguồn với lưới điện (DC/AC hai hướng).

### a. Bộ biến đổi không cách ly

#### • Bộ DC/DC buck-boost (hình 8) [4-6]



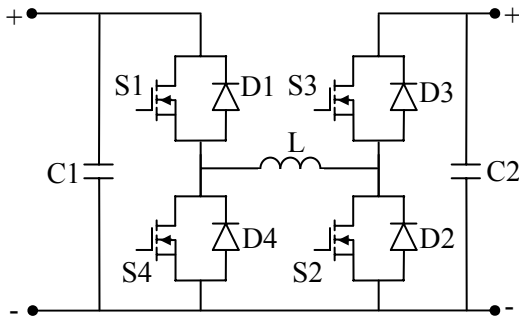
Hình 8. Bộ DC/DC buck-boost

Với bộ biến đổi DC/DC buck-boost hai hướng (hình 8a): Khi truyền công suất theo chiều thuận (từ trái sang phải) thì S1 dẫn theo lệnh điều khiển còn S2 luôn mở; Khi truyền công suất theo chiều nghịch (từ phải sang trái) thì S2 dẫn theo lệnh điều khiển còn S1 luôn mở. Thời gian chết nhỏ được tạo ra trong giai đoạn chuyển chế độ để tránh việc dẫn dòng qua hai khóa điều khiển và tụ đầu ra của bộ biến đổi.

#### • Bộ DC/DC buck-boost xếp chồng (hình 9)

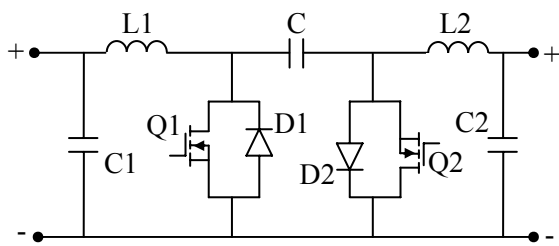
[4-6] Bộ biến đổi DC/DC buck-boost hai hướng xếp chồng (hình 8b) cho phép điện áp đầu ra lớn hơn hoặc nhỏ hơn điện áp đầu vào phụ thuộc vào việc kết hợp các khóa điều khiển và hướng dòng điện. Ở chế độ tăng áp theo chiều thuận, S1 luôn dẫn, S2 và S4 luôn

mở trong khi S3 hoạt động theo lệnh điều khiển. Ở chế độ giảm áp theo chiều thuận, S1 hoạt động theo lệnh điều khiển và S2, S3, S4 luôn mở; D2 và D3 luôn phân cực ngược trong khi D4 luôn phân cực thuận. D4 hoạt động như một diode xoay tự do. Tương tự ở chế độ tăng áp theo chiều nghịch, S3 luôn dẫn trong khi S4 hoạt động theo lệnh điều khiển và D1 hoạt động như 1 diode xoay tự do.



Hình 9. Bộ DC/DC buck-boost xếp chồng

• Bộ DC/DC Cuk (hình 10) [7]



Hình 10. Bộ DC/DC Cuk

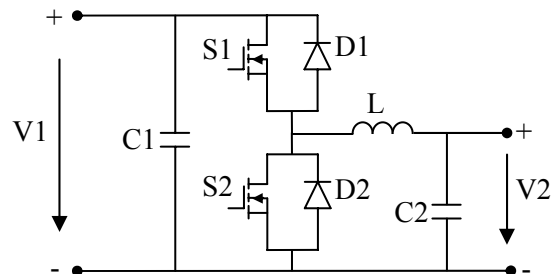
Tụ C hoạt động như phần tử tích trữ năng lượng chính của mạch trong khi các tụ C1 và C2 hoạt động như các tụ ghép. Điện áp đầu ra có thể lớn hơn hoặc nhỏ hơn điện áp đầu vào giống như bộ biến đổi buck-boost nhưng phân cực ngược.

Ở chế độ tăng áp, giá trị dòng điện hiệu dụng chạy qua cuộn cảm và các khóa điều khiển của bộ biến đổi buck-boost cao hơn của buck-boost xếp chồng một giá trị bằng dòng điện đầu ra của bộ buck-boost xếp chồng. Tương tự, giá trị hiệu dụng dòng điện qua tụ điện cũng vượt cao hơn 1/3 dòng điện đầu ra. Vì vậy, cuộn cảm, các khóa điều khiển, tụ điện trong bộ biến đổi buck-boost phát nhiệt nhiều hơn, tổn thất nhiều hơn, dễ gây bão hòa trong cuộn cảm hơn và do đó

hiệu suất sẽ thấp hơn so với bộ buck-boost xếp chồng.

Tuy nhiên, số lượng thiết bị của bộ buck-boost xếp chồng lại nhiều gấp đôi so với bộ buck-boost thông thường.

• Bộ DC/DC nửa cầu (hình 11) [5]



Hình 11. Bộ DC/DC nửa cầu

Để khắc phục những nhược điểm của các bộ buck-boost và buck-boost xếp chồng, ta có thể sử dụng bộ biến đổi nửa cầu (hình 11).

Bộ DC/DC nửa cầu có thể hoạt động ở chế độ buck hay boost phụ thuộc vào khóa điều khiển S1 và S2 kết hợp với diode D1 và D2. Có thể mô tả hai chế độ vận hành như sau:

Chế độ 1 (Chế độ boost): S2 và D1 dẫn theo lệnh điều khiển trong khi S1 và D2 luôn mở. Có thể phân thành hai giai đoạn: giai đoạn 1 (S2 đóng, D2 mở; S1 mở, D2 mở) và giai đoạn 2 (S1 mở, D1 mở; S2 mở, D2 đóng).

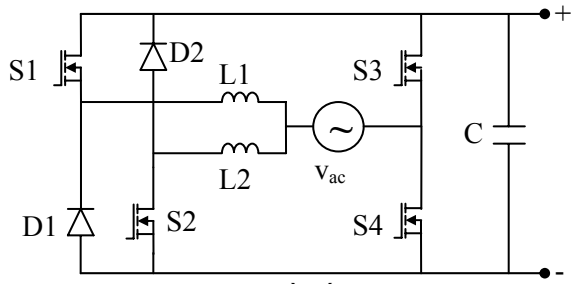
Chế độ 2 (Chế độ buck): S1 và D2 hoạt động theo lệnh điều khiển trong khi Q2 và D1 luôn mở. Có thể phân thành hai giai đoạn: giai đoạn 1 (S1 đóng, D2 mở; Q1 mở, D2 mở) và giai đoạn 2 (S1 mở, D1 mở; S2 mở, D2 đóng).

Ưu điểm chính của bộ biến đổi nửa cầu khi được so sánh với bộ Cuk là nó chỉ yêu cầu có một cuộn cảm và dòng điện định mức của các khóa điều khiển cũng thấp hơn 1 nửa so với bộ Cuk. Do đó, hiệu suất của bộ biến đổi nửa cầu cũng cao hơn so với bộ Cuk.

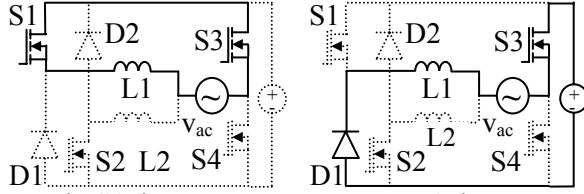
• Bộ biến đổi DC/AC một pha (hình 12)

Bộ biến đổi này cho phép truyền tải công suất từ một chiều sang xoay chiều và xoay chiều sang một chiều thông qua việc điều khiển thời gian đóng mở cho khóa S1,

S2 và tích phóng năng lượng qua cuộn cảm. [6]

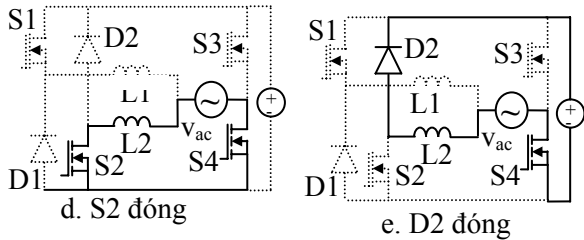


a. Sơ đồ cấu trúc



b. S1 đóng

c. D1 đóng



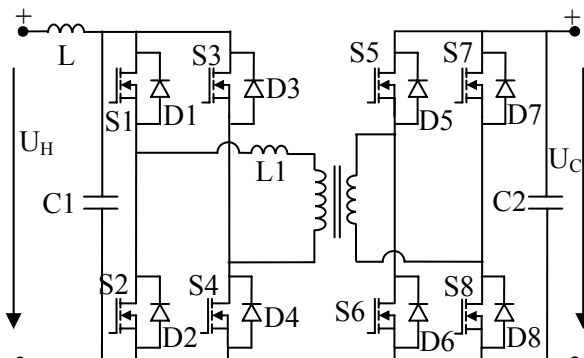
d. S2 đóng

e. D2 đóng

Hình 12. Bộ biến đổi DC/AC một pha hai hướng

**b. Bộ biến đổi DC/DC cách ly (hình 13) [4]**

Bộ biến đổi này cũng sử dụng máy biến áp cách ly hoạt động ở tần số cao để truyền tải năng lượng. Tuy nhiên do tỉ số vòng dây của cuộn sơ và cuộn thứ cố định nên bộ biến đổi này chỉ cho phép giữ một phía có điện áp cao và 1 phía có điện áp thấp, phù hợp khi liên kết thành cái DC với kho năng lượng.



Hình 13. Bộ DC/DC cách ly hai hướng  
Bộ biến đổi này cũng có hai chế độ làm việc:

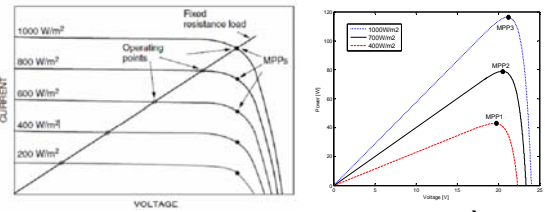
- Chế độ boost: S1-S4 hoạt động theo lệnh điều khiển, D5-D8 được sử dụng như 1 bộ chỉnh lưu.

- Chế độ buck: S5-S8 hoạt động theo lệnh điều khiển, D1-D4 hoạt động như 1 bộ chỉnh lưu.

**3. Cấu trúc điều khiển của các bộ biến đổi điện tử công suất cho nguồn PV và WG**

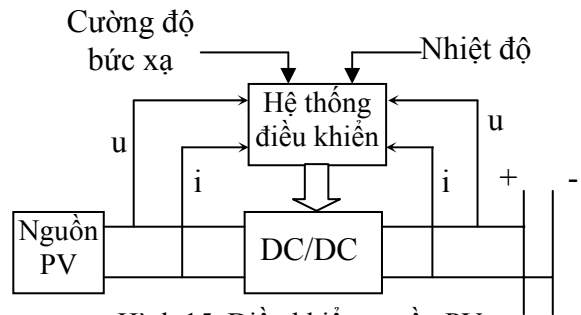
- Nguồn PV

Đường cong dòng điện phát phát ra theo điện áp đặt vào hai đầu của nguồn PV được cho trên hình 14.



Hình 14. Đường cong V-I của nguồn PV

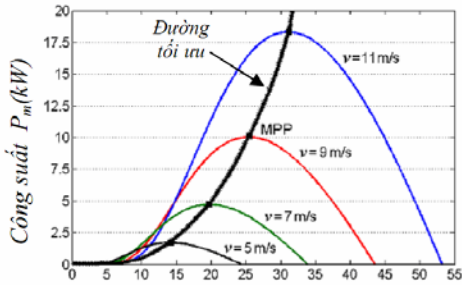
Điều này cho thấy rằng tại mỗi thời điểm (ứng với một đường cong V-I), khi điện áp đặt vào hai đầu của nguồn PV thay đổi thì điểm làm việc (V, I) của hệ sẽ thay đổi. Chỉ có duy nhất một điểm là có công suất phát ra lớn nhất MPP. Việc khai thác điểm MPP này là rất quan trọng vì nó sẽ khắc phục được giá thành và hiệu suất thấp của bản thân nguồn PV. Bộ biến đổi DC/DC phải thực hiện điều khiển sao cho điện áp đầu vào của bộ biến đổi rơi đúng vào điện áp của điểm MPP tại thời điểm đó. Hệ thống điều khiển sẽ phải thu thập thông tin dòng áp đầu vào, đầu ra của bộ biến đổi để quyết định xung điều khiển. Tùy theo phương pháp tìm điểm MPP mà hệ thống điều khiển có thể phải thu thập thông tin về cường độ bức xạ mặt trời, nhiệt độ trên các tấm PV thông qua các cảm biến. Hình 15 mô tả hệ thống điều khiển nguồn PV thông qua bộ biến đổi DC/DC. [1-3]



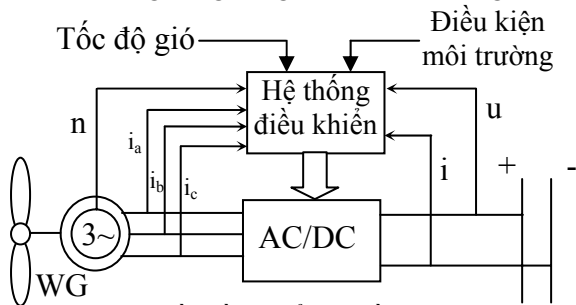
Hình 15. Điều khiển nguồn PV

- Nguồn điện gió

Đa số các turbine gió hiện đại đều phát ra dòng điện 3 pha để khai thác được các tốc độ không đồng đều của gió. Năng lượng phát ra phải thỏa mãn một số tiêu chí như công suất cực đại của turbine, năng lượng cần khai thác (cực đại khi có tốc độ gió trung bình, theo yêu cầu phụ tải) nên hệ thống điều khiển cần phải thu thập các thông tin về dòng điện phát ra, tốc độ quay của turbine và có thể cần thu thập thêm thông tin về tốc độ gió, điều kiện môi trường. Qua đó có thể điều khiển góc mở của cánh turbine hoặc điều khiển điểm làm việc của bộ biến đổi AC/DC. Đường cong công suất theo tốc độ gió và sơ đồ điều khiển WG được cho trên hình 16. [1-3]



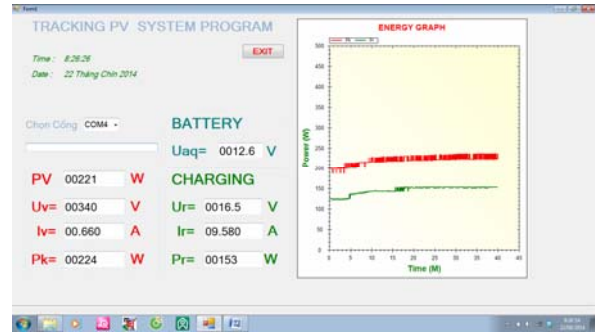
a. Đường cong công suất theo tốc độ gió



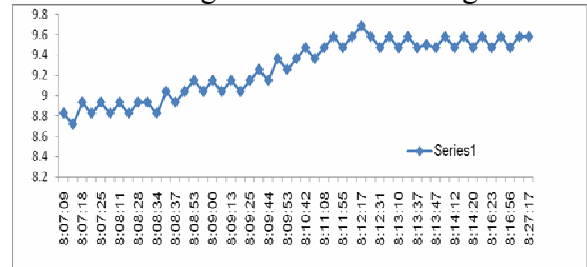
b. Sơ đồ điều khiển nguồn điện gió

Hình 16. Điều khiển nguồn PV

Thực nghiệm điều khiển cho nguồn pin mặt trời độc lập tại trường ĐHKTCN với bộ điều khiển DC/DC cách ly cho thấy bộ biến đổi đã đáp ứng được yêu cầu bám giá trị dòng đặt để nạp năng lượng cho ắc quy. Hình 17 cho thấy kết quả thực nghiệm thu được trong khoảng thời gian từ 8h 07' 09" đến 8h27'30" ngày 22/09/2014 với giá trị dòng đặt (giá trị dòng đầu ra của bộ biến đổi) là 10A.



a. Chương trình theo dõi thông số



b. Đồ thị dòng điện đầu ra bộ biến đổi  
Hình 17. Kết quả thực nghiệm bộ DC/DC

#### 4. Kết luận

Với bộ biến đổi đã thiết kế tại thời điểm khảo sát, công suất phát ra của PV tăng dần theo thời gian (tương ứng tăng theo cường độ bức xạ) để dần đạt đến giá trị đặt của dòng điện. Thời gian lấy số liệu là buổi sáng, cường độ bức xạ tăng dần nhưng dòng điện thu được chưa đạt được giá trị đặt là do năng lượng mặt trời chưa đủ để thu được năng lượng cần thiết.

Đồ thị công suất trên hình 17a cho thấy công suất đầu vào dao động do thuật toán tìm điểm làm việc cực đại đang phát huy tác dụng trong khi công suất đầu ra khá bằng phẳng do có tác dụng của tụ điện ở đầu ra của bộ flyback.

Bộ biến đổi có vai trò quan trọng trong hệ thống khai thác nguồn năng lượng gió và pin mặt trời. Với sự phát triển của công nghệ điện tử công suất, bộ biến đổi sẽ trở nên thích ứng tốt hơn với đặc điểm của nguồn điện mặt trời và điện gió, giúp hai nguồn năng lượng trở thành nguồn thay thế xanh, sạch nhất cho nguồn năng lượng truyền thống và góp phần bảo vệ sự sống trên trái đất.

### Tài liệu tham khảo

- [1] Hicham Fakham, Di Lu, Bruno Francois, *Power Control Design of a battery charger in a Hybrid Active PV generator for load-following applications*, IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 58, Iss. 1 , pp. 85-94, Jan. 2011, TIE-09-1370.
- [2] Tao Zhou and Bruno François, *Energy Management and Power Control of a Hybrid Active Wind Generator for Distributed Power Generation and Grid Integration*, IEEE Transaction on Industrial Electronics, March 3, 2010
- [3] Yann Riffonneau, Seddik Bacha, *Optimal Power Flow Management for Grid Connected PV Systems With Batteries*, IEEE Transaction on Sustainable Energy, vol. 2, No. 3, July 2011.
- [4] D. J. Costinett, *Analysis and Design of High Efficiency, High Conversion Ratio, DC-DC Power Converters*, luận án tiến sĩ kỹ thuật, University of Colorado, 2013
- [5] Hamid R. Karshenas, Hamid Daneshpajoo, Alireza Safaee, Praveen Jain, *Bidirectional DC-DC Converters for Energy Storage Systems*, Energy Storage in the Emerging Era of Smart Grids, ISBN: 978-953-307-269-2, 2011.
- [6] Hao Qian, *A High-Efficiency Grid-Tie Battery Energy Storage System*, luận án tiến sĩ kỹ thuật, Virginia Polytechnic Institute and State University, August 31, 2011
- [7] MUHAMMAD H. RASHID, *POWER ELECTRONICS HANDBOOK*, Academic Press Series in Engineering, International Standard Book Number: 0-12-581650-2, 2001.
- [8] Rejitha.S, Sreedevi.G, *Comparison of an Isolated bidirectional Dc-Dc converter with and without a Flyback Snubber*, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)  
e-ISSN: 2278-1676,p-ISSN: 2320-3331, Volume 8, Issue 2 (Nov. - Dec. 2013), PP 16-25
- [9] Neha Adhikari, Bhim Singh, A.L.Vyas, *Design and Control of Small Power Standalone Solar PV Energy System*, Asian Power Electronics Journal, Vol. 6, No. 1, Oct. 2012.