



(12) **BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN
GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)**
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11) 
2-0002132

(51)⁷ **H02M 5/00, 5/40, 5/42**

(13) **Y**

(21) 2-2018-00472

(22) 25.10.2016

(67) 1-2016-04058

(45) 25.10.2019 379

(43) 27.02.2017 347

(73) **VIỆN KHOA HỌC NĂNG LƯỢNG (THUỘC VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ
CÔNG NGHỆ VIỆT NAM) (VN)**

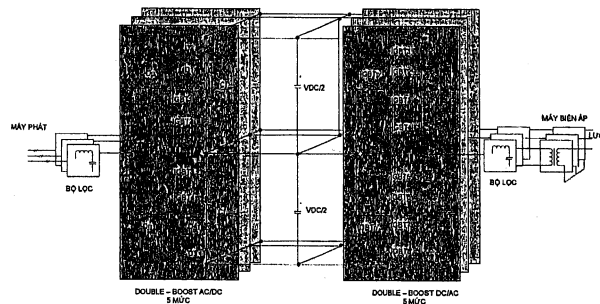
Nhà A9, số 18, đường Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

(72) Nguyễn Ngọc Bách (VN), Nguyễn Văn Linh (VN), Trần Tú Quỳnh (VN), Phạm Thị Thùy Linh (VN), Nguyễn Đức Minh (VN), Nguyễn Hoài Nam (VN), Nguyễn Thị Thu Hương (VN), Nghiêm Thị Ngoan (VN), Nguyễn Việt Thảo (VN), Lê Công Thịnh (VN), Trần Việt Hưng (VN), Hoàng Thanh Tuyền (VN)

(74) Công ty TNHH Sở hữu trí tuệ Bình Minh (SUNRISE IP CO.,LTD.)

(54) **BỘ BIẾN ĐỔI CÔNG SUẤT NĂM MỨC TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN GIÓ TỐC
ĐỘ THAY ĐỔI**

(57) Giải pháp hữu ích đề cập đến bộ biến đổi công suất năm mức trong hệ thống điện gió tốc độ thay đổi, bộ biến đổi công suất này bao gồm: bộ biến đổi AC/DC phía máy phát năm mức điện áp bao gồm: mạch chỉnh lưu được cấu tạo từ hai van bán dẫn (các diốt D_p ; D_n) đóng vai trò là các van bán dẫn chỉnh lưu, và bốn nhóm chuyển mạch được cấu tạo từ tám van bán dẫn (các diốt $D1$ đến $D4$, và các IGBT1 đến IGBT4), trong đó mỗi nhóm chuyển mạch bao gồm hai van bán dẫn, và hai nhóm chuyển mạch ở tầng trên hoạt động ở nửa chu kỳ đầu của điện áp xoay chiều trong khi đó hai nhóm chuyển mạch ở tầng dưới hoạt động ở nửa chu kỳ âm của điện áp xoay chiều; mỗi nhóm chuyển mạch trong cùng một tầng được điều khiển lệch pha nhau 180° với mục đích tạo ra dạng tín hiệu đa mức; bộ biến đổi DC/AC phía lưới để biến đổi nguồn một chiều thành xoay chiều, bộ biến đổi DC/AC phía lưới này bao gồm: mạch nghịch lưu được cấu tạo từ hai van bán dẫn (các IGBT_p; IGBT_n) đóng vai trò là các van bán dẫn nghịch lưu được điều khiển đóng/mở trong nửa chu kỳ dương hay âm của tín hiệu tựa, và hai tụ nối Cf được bố trí sao cho tạo ra mạch cân bằng nhánh, và bốn nhóm chuyển mạch được tạo thành từ tám van bán dẫn (các IGBT1÷IGBT8) được điều khiển để tạo ra điện áp phía xoay chiều có năm mức điện áp ($V_{DC}/2$; $V_{DC}/4$; 0; $-V_{DC}/4$; $-V_{DC}/2$).



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Giải pháp hữu ích đề cập đến thiết bị điện, cụ thể là bộ biến đổi công suất năm mức để thay thế bộ biến đổi công suất thông thường nhằm nâng cao độ tin cậy và chất lượng điện năng của hệ thống điện gió tốc độ thay đổi.

Tình trạng kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Các bộ biến đổi công suất đa mức ngày càng được nghiên cứu phát triển và ứng dụng rộng rãi trong các ngành sản xuất và phân phối điện năng, năng lượng mới, công nghệ sản xuất tàu điện, máy bay, tàu thủy, hàng không vũ trụ v.v.. Trong công nghệ sản xuất điện gió, nhiều mô hình điện tử công suất từ đơn giản đến phức tạp đã được nghiên cứu, ứng dụng và thương mại hóa. Công suất của các bộ biến đổi công suất này tỉ lệ với công suất của tuabin gió. Đối với năng lượng gió, các tuabin gió cỡ nhỏ hoặc một cụm nhỏ các tuabin gió cỡ nhỏ thường được nối với lưới phân phối điện áp thấp. Ngược lại, một trang trại gió gồm hàng trăm tuabin gió thì công suất lên tới cỡ hàng GW, lúc này điện năng sản xuất ra lại được nối vào lưới truyền tải trung áp đối với hầu hết các trang trại gió hoặc nối lưới cao áp hay là siêu cao áp đối với các trang trại gió trên biển. Chính vì vậy, việc nối lưới của nguồn năng lượng gió công suất lớn đặt ra rất nhiều vấn đề kỹ thuật cần giải quyết để đảm bảo chất lượng điện năng cũng như tính ổn định của hệ thống. Hiện nay, rất nhiều các trường đại học, các trung tâm thí nghiệm thuộc các trường hay thuộc các hãng sản xuất thiết bị v.v. ở nhiều nước phát triển như Anh, Pháp, Mỹ, Nhật, Trung Quốc rất quan tâm tập trung nghiên cứu các vấn đề này.

Công bố tư liệu sáng chế Mỹ số US20120018777, công bố ngày 26/1/2012 đã đề xuất bộ biến đổi công suất 3 mức có khả năng cách ly các pha nhưng đòi hỏi kết cấu phức tạp và làm tăng chi phí.

Các kết quả nghiên cứu trên thế giới được công bố tính đến thời điểm này liên quan đến ứng dụng của các bộ biến đổi đa mức trong hệ thống điện gió gồm các sơ đồ sau đây:

Sơ đồ chặn diốt ba mức đối xứng nhau (*Three level Neutral-Point Diode Clamped Back-To-Back Topology - 3L-NPC BTB*): Sơ đồ ba mức điện áp này là một trong những sơ đồ được thương mại hóa phổ biến nhất, tương tự như sơ đồ 2 mức đối xứng nhau (*Two Level Back-To-Back Topology- 2L BTB*), nó thường được thiết kế theo cấu trúc đối xứng (*Back-To-Back*) ở hệ thống tuabin gió. Nó có nhiều hơn một mức điện áp và do đó độ biến thiên điện áp dv/dt nhỏ hơn sơ đồ 2L BTB, bởi vậy mà kích cỡ của bộ lọc nhỏ hơn. Hơn nữa, mạch 3L-NPC BTB có biên độ điện áp ra gấp đôi biên độ điện áp ra của sơ đồ 2L BTB nếu dùng cùng loại van có cùng mức điện áp. Dao động thế năng của điểm giữa ở sơ đồ 3L-NPC BTB là nhược điểm chính của sơ đồ này, tuy nhiên vấn đề kỹ thuật này đã được nghiên cứu và khắc phục nếu dùng phương pháp điều khiển trạng thái (*redundant switching status*).

Sơ đồ cầu H ba mức đối xứng (*Three-Level H-Bridge Back-to-Back Topology - 3L-HB BTB*):

Giải pháp sơ đồ ba mức điện áp này gồm hai bộ biến đổi cầu H (*H-Bridge*) cũng được thiết kế theo cấu trúc đối xứng. Đây là một trong những sơ đồ đa mức được nghiên cứu và giới thiệu đầu tiên, nó có điện áp ra tương tự như điện áp ra của sơ đồ 3L-NPC BTB, nhưng ưu điểm hơn ở chỗ sơ đồ không có điểm giữa nên không phải cân bằng điện áp tụ và lúc này kích thước của tụ Bus một chiều cũng nhỏ hơn. Do đó sơ đồ này có hiệu suất cao hơn, cũng như được thiết kế ở mức điện áp cao hơn. Cũng vì sơ đồ không có điểm giữa nên cấu trúc của máy phát và máy biến áp cần có điểm cách ly (*open –winding structure*) để cách ly mỗi pha. Ưu điểm của việc này là sự cách ly các pha làm cho hệ thống có khả năng chịu lỗi khi một pha hoặc hai pha của máy phát hay phía máy phát nối bộ biến đổi bị hư hỏng. Tuy nhiên, có nhược điểm là sự cách ly pha này đòi hỏi gấp đôi số lượng cáp kết nối máy phát và máy biến áp, làm tăng giá thành, tổn thất. Do đó, việc nghiên cứu

ảnh hưởng của hệ số Tổn thất/Cân nặng của máy phát và máy biến áp cần được nghiên cứu kĩ hơn.

Sơ đồ cầu H năm mức đối xứng (*Five-Level H-Bridge Back-to-Back Topology -5L-HB BTB*) :

Giải pháp sơ đồ năm mức điện áp này gồm hai bộ biến đổi cầu H (5L H-Bridge) cũng được thiết kế theo cấu trúc đối xứng, mỗi nhánh 5L H-Bridge trong sơ đồ BTB gồm 2 bộ 3L- NPC, các nghiên cứu cho thấy sơ đồ này vẫn phải dùng điểm cách ly phía máy phát và phía máy biến áp. Với cùng mức điện áp của van, so với sơ đồ 3L H-Bridge BTB, sơ đồ 5L H-Bridge BTB có điện áp ra năm mức, và gấp đôi biên độ điện áp so với 3L H-Bridge BTB. Điều đó làm giảm kích thước của bộ lọc đầu ra và làm giảm dòng điện qua các van bán dẫn, từ đó làm giảm tiết diện cáp. Tuy nhiên, so với sơ đồ 3L H-Bridge BTB thì nhược điểm của sơ đồ 5L H-Bridge BTB cần nhiều hơn số lượng van bán dẫn và điều đó có thể làm giảm đi độ tin cậy của hệ thống, và vấn đề mất cân bằng về phân phối tổn thất cũng như cân bằng bộ tụ một chiều lại xuất hiện, và làm phức tạp hơn phương pháp điều khiển.

Sơ đồ chặn điôt ba mức phía máy phát và cầu H năm mức phía lưới (*Three-Level Neutral-Point Diode Clamped Topology for Generator Side and Five-Level H-Bridge Topology for Grid Side -3L-NPC + 5L-HB*):

Các tính toán chỉ ra rằng, thông thường chất lượng điện năng phía lưới đòi hỏi khắt khe hơn phía máy phát điện. Sơ đồ 3L-NPC + 5L-HB đáp ứng được sự không đối xứng này, mạch 3L-NPC lắp ở phía máy phát điện còn mạch 5L-HB lắp ở phía lưới điện. Phía máy phát sơ đồ này có các tính chất giống như sơ đồ 3L-NPC BTB, trong khi đó phía lưới thì sơ đồ có các tính chất giống như 5L-HB BTB. Mức điện áp và biên độ của điện áp phía lưới cao hơn phía máy phát. Với sơ đồ này thì các pha phía máy phát không cần cách ly, do đó độ dài đường cáp phía máy phát được giảm đi một nửa, nhưng sơ đồ mất đi khả năng chịu lỗi (fault tolerant). Nó có số lượng van bán dẫn ít hơn so với sơ đồ 5L-HB BTB, nhưng lại dễ có sự mất cân bằng về tổn thất giữa các van.

Dựa trên các thông tin đã được công bố và các bài báo khoa học, hiện nay chưa có một bộ biến đổi công suất năm mức cả hai phía máy phát cũng như phía lưới nào được nghiên cứu và ứng dụng trong các hệ thống điện gió công suất nhỏ cũng như công suất lớn (ngoại trừ sơ đồ cầu H cần quá nhiều nguồn một chiều độc lập). Các bộ biến đổi này có số lượng van tương đối lớn, tuy nhiên chúng lại không hề giảm độ tin cậy tổng thể của hệ thống mà ngược lại, và đặc biệt với số lượng mức tăng chúng cải thiện đáng kể chất lượng điện năng.

Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Để khắc phục các nhược điểm đã nêu ở trên của giải pháp kỹ thuật đã biết, giải pháp hữu ích đề xuất bộ biến đổi công suất năm mức trong hệ thống điện gió tốc độ thay đổi nối lưới nhằm mục đích sau đây:

- giảm khối lượng của điện cảm phía máy phát, giảm kích thước bộ lọc phía máy phát và phía lưới;
- nâng cao độ tin cậy của hệ thống; và
- nâng cao chất lượng điện năng của hệ thống.

Để đạt được mục đích này, giải pháp hữu ích đề xuất bộ biến đổi công suất trung gian AC/AC có chức năng sau:

- bộ biến đổi công suất AC/DC năm mức có nhiệm vụ biến đổi nguồn năng lượng xoay chiều (AC) thành năng lượng một chiều (DC), hoạt động với khả năng chịu lỗi;
- bộ biến đổi DC/AC phía lưới năm mức có nhiệm vụ biến đổi nguồn một chiều thành xoay chiều với tần số cố định 50 Hz hoạt động với khả năng chịu lỗi.

Bộ biến đổi công suất năm mức trong hệ thống điện gió tốc độ thay đổi theo giải pháp hữu ích bao gồm:

bộ biến đổi AC/DC phía máy phát năm mức điện áp bao gồm 6 điôt và 4 Transistor có cực điều khiển cách ly IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), trong đó 2 điôt D_p , D_n đóng vai trò điôt chỉnh lưu; 4 điôt ($D1 \div D4$) và 4 IGBT

(IGBT1÷IGBT4) tạo 4 nhóm chuyển mạch, hai nhóm chuyển mạch ở tầng trên hoạt động ở nửa chu kì đầu của điện áp xoay chiều trong khi đó hai nhóm chuyển mạch ở tầng dưới hoạt động ở nửa chu kì âm của điện áp xoay chiều; mỗi nhóm chuyển mạch trong cùng một tầng được điều khiển lệch pha nhau 180° với mục đích tạo ra dạng tín hiệu đa mức; và

bộ biến đổi DC/AC phía lưới gồm có 10 van bán dẫn IGBT và hai tụ Cf, điện áp phía xoay chiều có các mức điện áp bao gồm $\{VDC/2; VDC/4; 0; -VDC/4; -VDC/2\}$.

Tốt hơn là, bộ biến đổi AC/DC phía máy phát để biến đổi điện áp xoay chiều không ổn định thành một chiều đồng thời tăng mức điện áp và bao gồm:

bộ chỉnh lưu gồm hai điôt Dp và Dn đóng vai trò là các điôt chỉnh lưu được thiết kế chọn với điện áp $VDC/2$, trong đó Dp dẫn dòng trong nửa chu kì dương của điện áp nguồn, và Dn dẫn dòng trong nửa chu kì âm của điện áp nguồn;

bộ chuyển mạch gồm các van IGBT1÷IGBT4 và điôt 1÷điôt 4 tạo thành các nhóm chuyển mạch và mỗi van được thiết kế với điện áp $VDC/2$; trong chế độ làm việc bình thường các van sẽ khóa ở điện áp $VDC/4$; trong chế độ làm việc dự phòng các van sẽ khóa ở điện áp $VDC/2$;

bộ điều khiển bộ biến đổi công suất để có được điện áp năm mức gồm bốn nhóm chuyển mạch được tạo thành từ các van bán dẫn: nhóm 1 gồm IGBT1 và D1; nhóm 2 gồm IGBT2 và D2; nhóm 3 gồm IGBT3 và D3; và nhóm 4 gồm IGBT4 và D4;

trong mỗi nhóm chuyển mạch khi IGBT dẫn thì điôt khóa và mang điện áp $VDC/4$ hay $VDC/2$, ngược lại khi điôt dẫn thì IGBT khóa và mang điện áp $VDC/4$ hay $VDC/2$.

Bên cạnh đó, bộ biến đổi DC/AC phía lưới có nhiệm vụ biến đổi nguồn một chiều thành xoay chiều và bao gồm:

bộ biến đổi DC/AC gồm 10 van bán dẫn IGBT $\{IGBT_p; IGBT_n; IGBT1÷IGBT8\}$ và hai tụ nối Cf, điện áp phía xoay chiều có các mức điện áp như

sau $\{VDC/2 ; VDC/4 ; 0 ; -VDC/4 ; -VDC/2\}$ được điều khiển điều chế độ rộng xung, trong đó hai IGBT_p và IGBT_n được điều khiển đóng/mở trong nửa chu kì dương hay âm của tín hiệu tựa;

bộ chuyển mạch gồm bốn nhóm chuyển mạch được tạo thành từ các IGBT_{1÷8}: nhóm 1 gồm IGBT₂ và IGBT₃, nhóm 2 gồm IGBT₁ và IGBT₄, nhóm 3 gồm IGBT₆ và IGBT₇, và nhóm 4 gồm IGBT₅ và IGBT₈.

Bộ biến đổi AC/DC phía máy phát có nhiệm vụ biến đổi điện áp xoay chiều không ổn định thành một chiều, đồng thời tăng mức điện áp. Mỗi một pha thay vì dùng hai IGBT ở bộ biến đổi AC/DC phía máy phát và hai IGBT ở bộ biến đổi DC/AC phía lưới, ta sẽ thay thế bằng một bộ 10 van bán dẫn lắp theo sơ đồ bộ biến đổi không so lệch, ngoài ra là các thiết bị thụ động hai tụ nối Cf và điện cảm phía máy phát L. Với cách bố trí các van bán dẫn như hình 2 mô tả, bộ AC/DC phía máy phát có năm mức điện áp một pha $\{VDC/2 ; VDC/4 ; 0 ; -VDC/4 ; -VDC/2\}$ đối với điện áp xoay chiều ngay đầu vào chỉnh lưu kí hiệu là Vin1. Hai điôt D_p và D_n đóng vai trò là các điôt chỉnh lưu được thiết kế chọn với điện áp VDC/2. Trong đó, D_p dẫn dòng trong nửa chu kì dương của điện áp nguồn, còn D_n dẫn dòng trong nửa chu kì âm của điện áp nguồn. Các van IGBT 1÷4 và Điôt 1÷4 tạo thành các nhóm chuyển mạch và mỗi van được thiết kế với điện áp VDC/2. Trong chế độ làm việc bình thường chúng sẽ khóa ở điện áp VDC/4, tuy nhiên trong chế độ làm việc dự phòng chúng sẽ khóa ở điện áp VDC/2. So với sơ đồ bộ biến đổi hai mức thông thường, các van bán dẫn của bộ biến đổi này được thiết kế với toàn điện áp VDC và nó không có chế độ làm việc dự phòng (tức sơ đồ sẽ dừng hoạt động khi có một van bán dẫn bị sự cố). Do đó, so với bộ biến đổi hai mức thông thường thì bộ biến đổi năm mức có tổn thất trên mỗi van bán dẫn nhỏ hơn hai lần và tốc độ chuyển mạch cũng nhanh hơn.

Để điều khiển bộ biến đổi có được điện áp năm mức thì ta phân chia các van bán dẫn thành bốn nhóm chuyển mạch như sau: nhóm 1 (IGBT₁ ; D₁), nhóm 2 (IGBT₂ ; D₂), nhóm 3 (IGBT₃ ; D₃), nhóm 4 (IGBT₄ ; D₄). Trong mỗi nhóm chuyển mạch, khi IGBT dẫn thì điôt khóa và mang điện áp VDC/4 hay VDC/2,

ngược lại khi Điốt dẫn thì IGBT khóa và mang điện áp $V_{DC}/4$ hay $V_{DC}/2$. Quy luật điều khiển được thực hiện như sau: IGBT1 và IGBT2 được điều khiển đóng/mở trong nửa chu kỳ dương của điện áp nguồn, còn nửa sau chu kỳ âm của điện áp nguồn thì cả hai van bán dẫn được nhận xung điều khiển ON; tương tự như vậy, IGBT3 và IGBT4 được điều khiển đóng/mở trong nửa chu kỳ âm của dòng điện nguồn, còn nửa chu kỳ dương của dòng điện nguồn thì cả hai van bán dẫn được nhận xung điều khiển ON. Do đó, các xung tam giác của mạch điều khiển IGBT1 và IGBT2 cũng như các xung tam giác của mạch điều khiển IGBT3 và IGBT4 lệch pha nhau 180° (hình 3) để có được điện áp ra 3 mức trong mỗi nửa chu kỳ dòng điện và năm mức điện áp trong toàn bộ một chu kỳ của dòng điện máy phát. Trong các pha không được điều chế, các van IGBT được điều khiển dẫn liên tục, điều này cho phép phân chia điện áp một cách hoàn hảo ở hai đầu các van bán dẫn mắc nối tiếp với nó (ví dụ IGBT1 dẫn thì làm cho D1 mang điện áp ngược $V_{DC}/4$). Phương pháp điều chế độ rộng xung PWM (Pulse-width modulation) với các tín hiệu xung tam giác tương ứng của mỗi van IGBT và tín hiệu tựa sin được mô tả ở hình 4.

Hơn nữa, trong sơ đồ này mỗi van được đóng cắt với tần số F_{sw} , nhưng tần số của dao động điện áp là $2 F_{sw}$ và mức điện áp giảm còn $\frac{1}{2}$ so với sơ đồ bộ biến đổi 3 mức (hiện tại mức độ nghiên cứu ứng dụng của bộ biến đổi công suất này chỉ là NPC 3 mức hoặc Vienna 3 mức) qua đó giảm được $\frac{1}{4}$ giá trị của điện cảm phía máy phát so với sơ đồ 3 mức và $\frac{1}{8}$ so với sơ đồ 2 mức thông thường.

Bộ biến đổi DC/AC phía lưới có nhiệm vụ biến đổi nguồn một chiều thành xoay chiều với tần số cố định 50 Hz. Bằng cách thiết kế sơ đồ như Hình 2 ta có thể lấy được điện áp và dòng điện gần sin, qua đó giảm được đáng kể kích thước bộ lọc phía lưới. Cấu tạo của bộ biến đổi này gồm có 10 van bán dẫn IGBT $\{IGBT_p; IGBT_n; IGBT_1 \div IGBT_8\}$ và hai tụ nối Cf, điện áp phía xoay chiều có các mức điện áp như sau $\{V_{DC}/2; V_{DC}/4; 0; -V_{DC}/4; -V_{DC}/2\}$. Hoạt động của bộ biến đổi phía lưới đề xuất được mô tả như Hình 7. Phương pháp điều khiển điều chế độ rộng xung được đề xuất, trong đó hai $IGBT_p$ và $IGBT_n$ được điều khiển đóng/mở

trong nửa chu kì dương hay âm của tín hiệu tựa. Các IGBT1÷8 tạo thành 4 nhóm chuyển mạch: nhóm 1 (IGBT2 ; IGBT3), nhóm 2 (IGBT1 ; IGBT4), nhóm 3 (IGBT6 ; IGBT7), nhóm 4 (IGBT5 ; IGBT8). Hai IGBT trong một nhóm chuyển mạch đóng/mở ngược nhau; nhóm 1 và nhóm 2 hoạt động trong nửa chu kì dương của tín hiệu tựa, và các xung tam giác tương ứng thì đối pha nhau; trong khi đó nhóm 3 và nhóm 4 hoạt động trong nửa chu kì âm của tín hiệu tựa, và các xung tam giác tương ứng lệch pha nhau 180° . Hình 7 và Hình 8 thực hiện so sánh mô tả hoạt động ba pha của bộ DC/AC hai mức thông thường với bộ DC/AC năm mức đề xuất ở cùng điều kiện công suất và chưa có bộ lọc, ta thấy rằng tín hiệu dòng điện trong bộ năm mức được cải thiện rõ rệt và gần như sin tuyệt đối. Như vậy, việc thay thế bộ biến đổi công suất cũ bằng sơ đồ bộ biến đổi năm mức được đề xuất đã cải thiện rõ rệt chất lượng dòng điện và điện áp xoay chiều, qua đó giảm được kích thước bộ lọc phía máy phát và phía lưới, nâng cao hiệu quả làm việc của toàn bộ hệ thống điện gió.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là sơ đồ hai bộ biến đổi công suất 2 mức thông thường trong hệ thống điện gió;

Hình 2 là sơ đồ hai bộ biến đổi công suất năm mức theo giải pháp hữu ích trong hệ thống điện gió;

Hình 3 là đồ thị thể hiện các tín hiệu điều khiển bộ biến đổi năm mức bằng phương pháp điều chế độ rộng xung PWM;

Hình 4 là đồ thị thể hiện các tín hiệu dòng áp của bộ chỉnh lưu năm mức một pha khi không dùng bộ lọc phía máy phát;

Hình 5 là đồ thị mô phỏng hoạt động trong các chế độ làm việc bình thường và sự cố của một pha sơ đồ năm mức/pha khi không dùng bộ lọc phía máy phát;

Hình 6 là đồ thị thể hiện dòng điện và điện áp xoay chiều của bộ nghịch lưu DC/AC 2 mức thông thường (3 mức điện áp dây) khi không có lọc phía lưới.

Hình 7 là đồ thị thể hiện dòng điện và điện áp xoay chiều của bộ nghịch lưu năm mức (9 mức điện áp dây) thông thường khi không có lọc phía lưới;

Hình 8 là hình vẽ giản lược thể hiện một ví dụ cụ thể ứng dụng giải pháp hữu ích.

Mô tả chi tiết giải pháp hữu ích

Hệ thống bộ biến đổi công suất đề xuất bao gồm hai bộ biến đổi: bộ biến đổi năm mức AC/DC phía máy phát bao gồm hai điôt chỉnh lưu và bốn cặp van bán dẫn điôt và IGBT có nhiệm vụ tạo ra điện áp Bus một chiều tổng VDC và bộ biến đổi năm mức DC/AC bao gồm 10 van bán dẫn IGBT có nhiệm vụ chuyển nguồn áp một chiều VDC thành nguồn xoay chiều phía lưới. Với sơ đồ cấu trúc như mô tả ở hình 2, hoạt động của sơ đồ sẽ đảm bảo khả năng cung cấp điện liên tục trong trường hợp hoạt động bình thường và sự cố, qua đó nâng cao được độ tin cậy của hệ thống. Sơ đồ cũng đảm bảo cung cấp điện áp năm mức một pha và 9 mức ba pha để qua đó nâng cao chất lượng điện năng, giảm kích thước bộ lọc.

Hoạt động cụ thể của bộ biến đổi công suất năm mức trong hệ thống điện gió tốc độ thay đổi được mô tả như sau:

Bộ biến đổi AC/DC phía máy phát có nhiệm vụ biến đổi điện áp xoay chiều không ổn định thành một chiều đồng thời tăng mức điện áp. Mỗi một pha thay vì dùng hai IGBT ở bộ biến đổi AC/DC phía máy phát và hai IGBT ở bộ biến đổi DC/AC phía lưới, ta sẽ thay thế bằng một bộ 10 van bán dẫn lắp theo sơ đồ bộ biến đổi không so lệch, ngoài ra là các thiết bị thụ động hai tụ nối Cf và điện cảm phía máy phát L. Với cách bố trí các van bán dẫn như hình 2 mô tả, bộ AC/DC phía máy phát có năm mức điện áp một pha $\{VDC/2 ; VDC/4 ; 0 ; -VDC/4 ; -VDC/2\}$ đối với điện áp xoay chiều ngay đầu vào chỉnh lưu kí hiệu là Vin1. Hai điôt Dp và Dn đóng vai trò là các điôt chỉnh lưu được thiết kế chọn với điện áp VDC/2. Trong đó, Dp dẫn dòng trong nửa chu kì dương của điện áp nguồn còn Dn dẫn dòng trong nửa chu kì âm của điện áp nguồn. Các van IGBT1÷ IGBT4 và Điôt 1÷Điôt 4 tạo thành các nhóm chuyển mạch và mỗi van được thiết kế với điện áp VDC/2. Trong chế độ làm việc bình thường chúng sẽ khóa ở điện áp VDC/4, tuy nhiên trong chế

độ làm việc dự phòng chúng sẽ khóa ở điện áp $V_{DC}/2$. So với sơ đồ bộ biến đổi hai mức thông thường, các van bán dẫn của bộ biến đổi này được thiết kế với toàn điện áp V_{DC} và nó không có chế độ làm việc dự phòng (tức sơ đồ sẽ dừng hoạt động khi có một van bán dẫn bị sự cố). Do đó, so với bộ biến đổi hai mức thông thường thì bộ biến đổi năm mức có tổn thất trên mỗi van bán dẫn nhỏ hơn hai lần và tốc độ chuyển mạch cũng nhanh hơn.

Để điều khiển bộ biến đổi có được điện áp năm mức, ta phân chia các van bán dẫn thành bốn nhóm chuyển mạch như sau: nhóm 1 (IGBT1 ; D1), nhóm 2 (IGBT2 ; D2), nhóm 3 (IGBT3 ; D3), nhóm 4 (IGBT4 ; D4). Trong mỗi nhóm chuyển mạch, khi IGBT dẫn thì điôt khóa và mang điện áp $V_{DC}/4$ hay $V_{DC}/2$, ngược lại khi Điôt dẫn thì IGBT khóa và mang điện áp $V_{DC}/4$ hay $V_{DC}/2$. Quy luật điều khiển được thực hiện như sau: IGBT1 và IGBT2 được điều khiển đóng/mở trong nửa chu kì dương của điện áp nguồn, còn nửa sau chu kì âm của dòng điện nguồn thì cả hai van bán dẫn được nhận xung điều khiển ON; tương tự như vậy, IGBT3 và IGBT4 được điều khiển đóng/mở trong nửa chu kì âm của điện áp nguồn, còn nửa chu kì dương của dòng điện nguồn thì cả hai van bán dẫn được nhận xung điều khiển ON. Do đó, các xung tam giác của mạch điều khiển IGBT1 và IGBT2 cũng như các xung tam giác của mạch điều khiển IGBT3 và IGBT4 lệch pha nhau 180° như thể hiện trên hình 3 để có được điện áp ra 3 mức trong mỗi nửa chu kì dòng điện và năm mức điện áp trong toàn bộ một chu kì của dòng điện máy phát. Trong các pha không được điều chế, các van IGBT được điều khiển dẫn liên tục, điều này cho phép phân chia điện áp một cách hoàn hảo ở hai đầu các van bán dẫn mắc nối tiếp với nó (ví dụ IGBT1 dẫn thì làm cho D1 mang điện áp ngược $V_{DC}/4$). Bảng 1 mô tả điện áp pha A phía máy phát tương ứng với trạng thái các van bán dẫn trong mạch. Điện áp pha B và pha C máy phát tương tự như pha A. Trong đó, trạng thái IGBT = 0 tương ứng với điều khiển van IGBT khóa, còn trạng thái IGBT = 1 tương ứng với điều khiển van IGBT dẫn.

Bảng 1 : Điện áp pha A phía máy phát tương ứng với trạng thái các van bán dẫn trong mạch

IGBT1	IGBT2	IGBT3	IGBT4	Dp	Dn	VAN
0	0	1	1	ON	OFF	+VDC/2
0	1	1	1	ON	OFF	+VDC/4
1	0	1	1	ON	OFF	+VDC/4
1	1	1	1	ON	OFF	0
1	1	0	0	OFF	ON	-VDC/2
1	1	0	1	OFF	ON	-VDC/4
1	1	1	0	OFF	ON	-VDC/4
1	1	1	1	OFF	ON	0

Phương pháp điều chế độ rộng xung PWM với các tín hiệu xung tam giác tương ứng của mỗi van IGBT và tín hiệu tựa hình sin được mô tả ở hình 4.

Hơn nữa, trong sơ đồ này mỗi van được đóng cắt với tần số F_{sw} , nhưng tần số của dao động điện áp là $2 F_{sw}$ và mức điện áp giảm còn $\frac{1}{2}$ so với sơ đồ bộ biến đổi 3 mức (hiện tại mức độ nghiên cứu ứng dụng của bộ biến đổi công suất này chỉ là NPC 3 mức hoặc Vienna 3 mức), qua đó giảm được $\frac{1}{4}$ giá trị của điện cảm phía máy phát so với sơ đồ 3 mức và $\frac{1}{8}$ so với sơ đồ 2 mức thông thường.

Vì điện cảm phía máy phát trong sơ đồ năm mức được chọn theo công thức sau:

$$L_{\max_5muc}(\alpha = 1/2) = \frac{V_{DC}/2}{4 \cdot \Delta I \cdot F_{sw}}$$

Vì điện cảm phía máy phát trong sơ đồ 2 mức được chọn theo công thức sau:

$$L_{\max_2muc}(\alpha = 1/2) = \frac{V_{DC}}{\Delta I \cdot F_{sw}}$$

Với :

VDC: điện áp Bus một chiều

Fsw: tần số chuyển mạch của van bán dẫn IGBT

ΔI : độ dao động của dòng điện phía máy phát.

Bảng cấu tạo 4 nhóm chuyển mạch mắc nối tiếp như trên thì sơ đồ năm mức đề xuất có khả năng hoạt động ở chế độ dự phòng khi một nhóm chuyển mạch bị sự cố để chuyển về hoạt động ở sơ đồ 4 mức/một pha hoặc chuyển sang hoạt động ở sơ đồ 3 mức/một pha khi mỗi nhóm chuyển mạch trong một tầng (nhóm 1 và nhóm 2 tạo thành tầng 1, nhóm 3 và nhóm 4 tạo thành tầng 2) bị sự cố. Lúc này dạng dòng điện bị méo hơn nhưng công suất đầu ra vẫn được đảm bảo như thể hiện trên Hình 5. Do đó, tuy rằng trong bộ biến đổi công suất năm mức, số lượng các van bán dẫn nhiều hơn, nhưng nhờ khả năng chịu lỗi của sơ đồ mà qua đó độ tin cậy tổng thể của bộ biến đổi công suất lại được tăng lên.

Bộ biến đổi DC/AC phía lưới có nhiệm vụ biến đổi nguồn một chiều thành xoay chiều với tần số cố định 50 Hz. Như được mô tả trên hình 2, ta có thể lấy được điện áp và dòng điện gợn sin, qua đó giảm được đáng kể kích thước bộ lọc phía lưới. Cấu tạo của bộ biến đổi này gồm có 10 van bán dẫn IGBT {IGBT_p; IGBT_n; IGBT_{1÷IGBT8}} và hai tụ nối Cf, điện áp phía xoay chiều có các mức điện áp như sau {VDC/2; VDC/4; 0; -VDC/4; -VDC/2}. Hoạt động của bộ biến đổi phía lưới đề xuất được mô tả trên Hình 7. Phương pháp điều khiển điều chế độ rộng xung được đề xuất, trong đó hai IGBT_p và IGBT_n được điều khiển đóng/mở trong nửa chu kì dương hay âm của tín hiệu tựa. Các IGBT_{1÷IGBT8} tạo thành 4 nhóm chuyển mạch: nhóm 1 (IGBT₂; IGBT₃), nhóm 2 (IGBT₁; IGBT₄), nhóm 3 (IGBT₆; IGBT₇), nhóm 4 (IGBT₅; IGBT₈). Hai IGBT trong một nhóm chuyển mạch đóng/mở ngược nhau; nhóm 1 và nhóm 2 hoạt động trong nửa chu kì dương của tín hiệu tựa, và các xung tam giác tương ứng thì đối pha nhau; trong khi đó nhóm 3 và nhóm 4 hoạt động trong nửa chu kì âm của tín hiệu tựa, và các xung tam giác tương ứng lệch pha nhau 180°. Bảng 2 mô tả điện áp pha A phía lưới tương ứng với trạng thái các van bán dẫn trong mạch. Điện áp pha B và pha C lưới tương tự như pha A. Trong đó, trạng thái IGBT = 0 tương ứng với điều khiển van IGBT khóa, còn trạng thái IGBT = 1 tương ứng với điều khiển van IGBT dẫn.

Hình 7 và Hình 8 thực hiện so sánh mô tả hoạt động ba pha của bộ biến đổi DC/AC hai mức thông thường với bộ biến đổi DC/AC năm mức đề xuất ở cùng điều kiện công suất và chưa có bộ lọc, ta thấy rằng tín hiệu dòng điện trong bộ năm mức được cải thiện rõ rệt và gần như sin tuyệt đối. Như vậy, việc thay thế bộ biến đổi công suất cũ bằng sơ đồ bộ biến đổi năm mức được đề xuất đã cải thiện rõ rệt chất lượng dòng điện và điện áp xoay chiều, qua đó giảm được kích thước bộ lọc phía máy phát và phía lưới, nâng cao hiệu quả làm việc của toàn bộ hệ thống điện gió.

Bảng 2: Điện áp pha A phía lưới tương ứng với trạng thái điều khiển các van dẫn (0: tương ứng trạng thái khóa, 1: tương ứng trạng thái dẫn)

IGB Tp'	IGB Tn'	IGB T1'	IGB T2'	IGB T3'	IGB T4'	IGB T5'	IGB T6'	IGB T7'	IGB T8'	VAN
1	0	0	0	1	1	x	x	x	x	0
1	0	0	1	0	1	x	x	x	x	+VD C/4
1	0	1	0	1	0	x	x	x	x	+VD C/4
1	0	1	1	0	0	x	x	x	x	+VD C/2
0	1	x	x	x	x	0	0	1	1	- VDC/ 2
0	1	x	x	x	x	0	1	0	1	- VDC/ 4
0	1	x	x	x	x	1	0	1	0	- VDC/ 4
0	1	x	x	x	x	1	1	0	0	0

Ví dụ thực hiện giải pháp hữu ích

Giải pháp theo giải pháp hữu ích được áp dụng cho hệ thống điện gió công suất 5 MW. Hệ thống tuabin gió thay đổi tốc độ, bao gồm một máy phát đồng bộ nam châm vĩnh cửu và bộ biến đổi công suất AC/AC năm mức để biến đổi công suất cơ từ cánh quạt thành năng lượng điện nối lưới 10kV. Hình 8 mô tả sơ đồ cấu trúc của hệ thống.

Trong sơ đồ này ta sử dụng bộ biến đổi công suất AC/AC năm mức thay cho sơ đồ bộ biến đổi công suất AC/AC 2 mức để có đặc tính tốt hơn như công suất ra cao hơn, dòng điện sin liên tục đầu ra và không tăng tổn thất quá nhiều.

Máy phát PMSG (Permanent-Magnetic Synchronous Generator) được giới thiệu ở Bảng 3, có thể vận hành với bộ biến đổi với 8000 VDC và phát ra 5 MW.

Bảng 3: Thông số máy phát PMSG

Thông số	Giá trị
Công suất	5000 [MW]
Điện áp danh định	4800 [V]
Tần số	50 [Hz]
Điện áp cơ bản pha cảm ứng hiệu dụng	5032 [V]
Điện trở stato (R_s)	0,037 [Ω]
Điện cảm stato (L_s)	15,37[mH]
Từ thông rò	16,02[Vs]
Số cực	8

Điện áp lớn nhất xuất hiện ở mỗi IGBT là 4550 V; điện áp này bằng một nửa điện áp VDC. Dòng điện lớn nhất có được khi dẫn bằng 1150 A, trong khi dòng điện hiệu dụng bằng 518 A. Dựa trên đặc tính này, mô đun IGBT 5SNA 1200G450300 của ABB 4,5 KV, 1200A được lựa chọn. Tuy nhiên, để có được

dòng điện lớn nhất và điện áp lớn nhất đối với mỗi van, các mô đun này được kết nối nối tiếp hay song song với nhau.

Dựa trên các giá trị này mô đun điôt 5SLD0600J650100 của ABB 6500 V, 2x600 A được chọn. Tuy nhiên, để có được dòng điện lớn nhất và điện áp lớn nhất đối với mỗi van, các mô đun này được kết nối nối tiếp hay song song với nhau.

Hiệu quả kỹ thuật đạt được của giải pháp hữu ích

Bộ biến đổi công suất năm mức trong hệ thống điện gió tốc độ thay đổi theo giải pháp hữu ích để thay thế bộ biến đổi công suất AC/AC hai mức hoặc ba mức thông thường nhằm giảm khối lượng của điện cảm phía máy phát và giảm kích thước bộ lọc phía máy phát và phía lưới, nâng cao độ tin cậy và nâng cao chất lượng điện năng của hệ thống.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Bộ biến đổi công suất năm mức trong hệ thống điện gió tốc độ thay đổi, bộ biến đổi công suất này bao gồm:

bộ biến đổi AC/DC phía máy phát năm mức điện áp bao gồm:

mạch chỉnh lưu được cấu tạo từ hai van bán dẫn (các điôt D_p ; D_n) đóng vai trò là các van bán dẫn chỉnh lưu, và

bốn nhóm chuyển mạch được cấu tạo từ tám van bán dẫn (các điôt D_1 đến D_4 , và các IGBT1 đến IGBT4), trong đó mỗi nhóm chuyển mạch bao gồm hai van bán dẫn, và hai nhóm chuyển mạch ở tầng trên hoạt động ở nửa chu kì đầu của điện áp xoay chiều trong khi đó hai nhóm chuyển mạch ở tầng dưới hoạt động ở nửa chu kì âm của điện áp xoay chiều; mỗi nhóm chuyển mạch trong cùng một tầng được điều khiển lệch pha nhau 180° với mục đích tạo ra dạng tín hiệu đa mức;

bộ biến đổi DC/AC phía lưới để biến đổi nguồn một chiều thành xoay chiều, bộ biến đổi DC/AC phía lưới này bao gồm:

mạch nghịch lưu được cấu tạo từ hai van bán dẫn (các IGBT_p; IGBT_n) đóng vai trò là các van bán dẫn nghịch lưu được điều khiển đóng/mở trong nửa chu kì dương hay âm của tín hiệu tựa,

và hai tụ nối Cf được bố trí sao cho tạo ra mạch cân bằng nhánh, và

bốn nhóm chuyển mạch được tạo thành từ tám van bán dẫn (các IGBT1÷IGBT8) được điều khiển để tạo ra điện áp phía xoay chiều có năm mức điện áp ($V_{DC}/2$; $V_{DC}/4$; 0; $-V_{DC}/4$; $-V_{DC}/2$).

2. Bộ biến đổi công suất theo điểm 1, trong đó bộ biến đổi AC/DC phía máy phát để biến đổi điện áp xoay chiều không ổn định thành một chiều đồng thời tăng mức điện áp, bộ biến đổi AC/DC phía máy phát này bao gồm:

mạch chỉnh lưu gồm hai điôt D_p và D_n đóng vai trò là các điôt chỉnh lưu được thiết kế chọn với điện áp $VDC/2$, trong đó D_p dẫn dòng trong nửa chu kì dương của điện áp nguồn, và D_n dẫn dòng trong nửa chu kì âm của điện áp nguồn;

bốn nhóm chuyển mạch được cấu tạo từ tám van bán dẫn, trong đó có bốn IGBT (IGBT1 đến IGBT4) và bốn điôt (các điôt D1 đến D4), và mỗi van được thiết kế với điện áp $VDC/2$, các van bán dẫn này được điều khiển sao cho trong chế độ làm việc bình thường các van sẽ khóa ở điện áp $VDC/4$, trong chế độ làm việc dự phòng các van sẽ khóa ở điện áp $VDC/2$, trong đó:

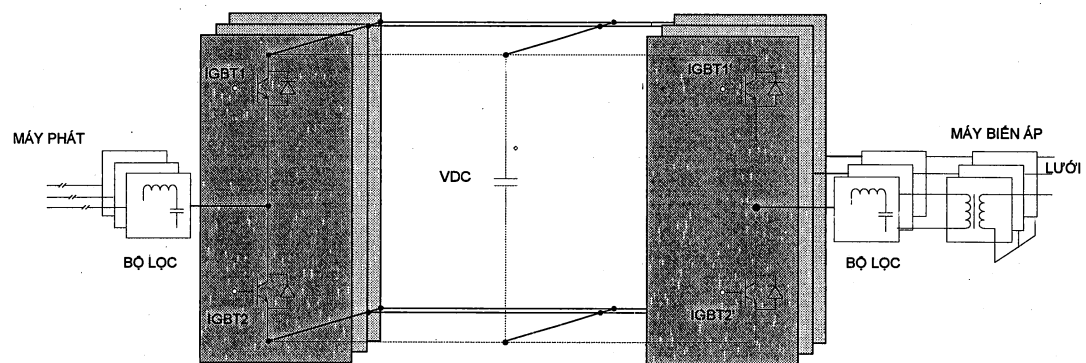
mỗi nhóm chuyển mạch được tạo thành từ một IGBT và một điôt (nhóm 1 gồm IGBT1 và D1; nhóm 2 gồm IGBT2 và D2; nhóm 3 gồm IGBT3 và D3; và nhóm 4 gồm IGBT4 và D4), và mỗi nhóm chuyển mạch này được điều khiển sao cho khi IGBT dẫn thì điôt khóa và mang điện áp $VDC/4$ hay $VDC/2$, ngược lại, khi điôt dẫn thì IGBT khóa và mang điện áp $VDC/4$ hay $VDC/2$, nhờ đó tạo ra năm mức điện áp

3. Bộ biến đổi công suất theo điểm 1 hoặc 2, trong đó bộ biến đổi DC/AC phía lưới có thể biến đổi nguồn một chiều thành xoay chiều, bộ biến đổi DC/AC phía lưới này bao gồm:

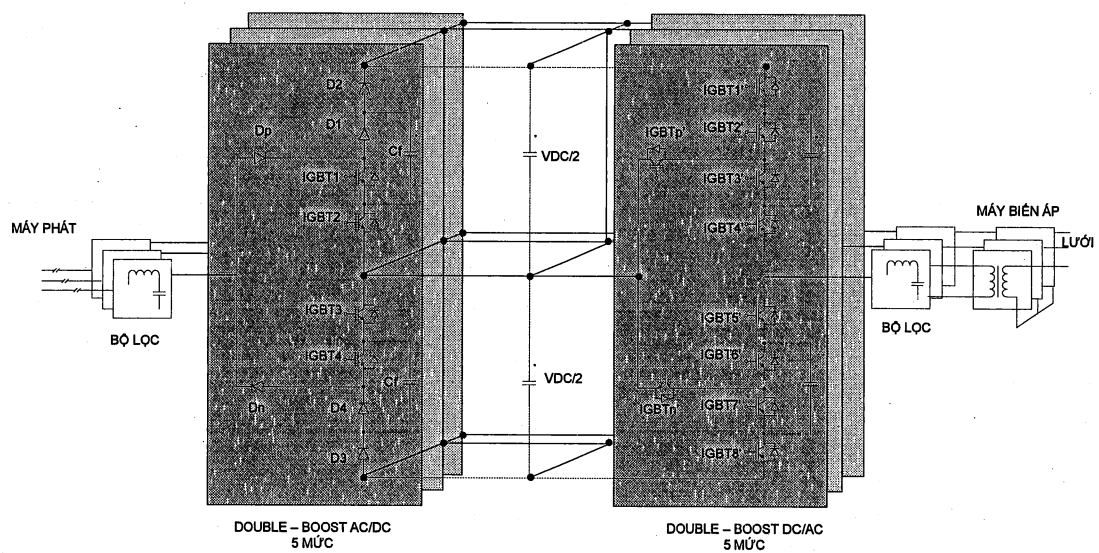
mạch nghịch lưu được cấu tạo từ hai IGBT (các IGBT_p; IGBT_n) đóng vai trò là các van bán dẫn nghịch lưu được điều khiển đóng/mở trong nửa chu kì dương hay âm của tín hiệu tựa,

bốn nhóm chuyển mạch được tạo thành từ tám IGBT (các IGBT1÷IGBT8) được điều khiển để tạo ra điện áp phía xoay chiều có năm mức điện áp ($VDC/2$; $VDC/4$; 0; $-VDC/4$; $-VDC/2$), trong đó mỗi nhóm chuyển mạch được tạo thành từ hai IGBT (nhóm 1 gồm IGBT2 và IGBT3; nhóm 2 gồm IGBT1 và IGBT4; nhóm 3 gồm IGBT6 và IGBT7; và nhóm 4 gồm IGBT5 và IGBT8), và

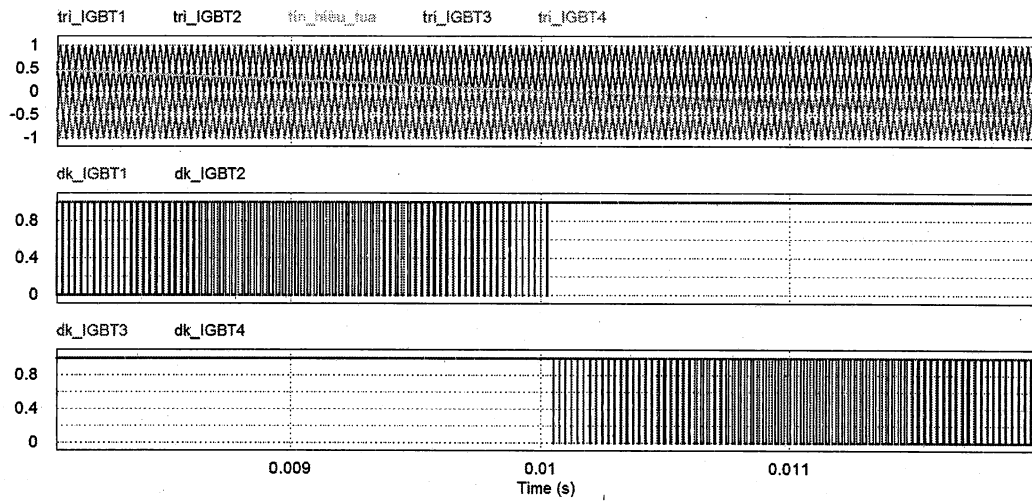
các IGBT nêu trên được điều khiển điều chế độ rộng xung.



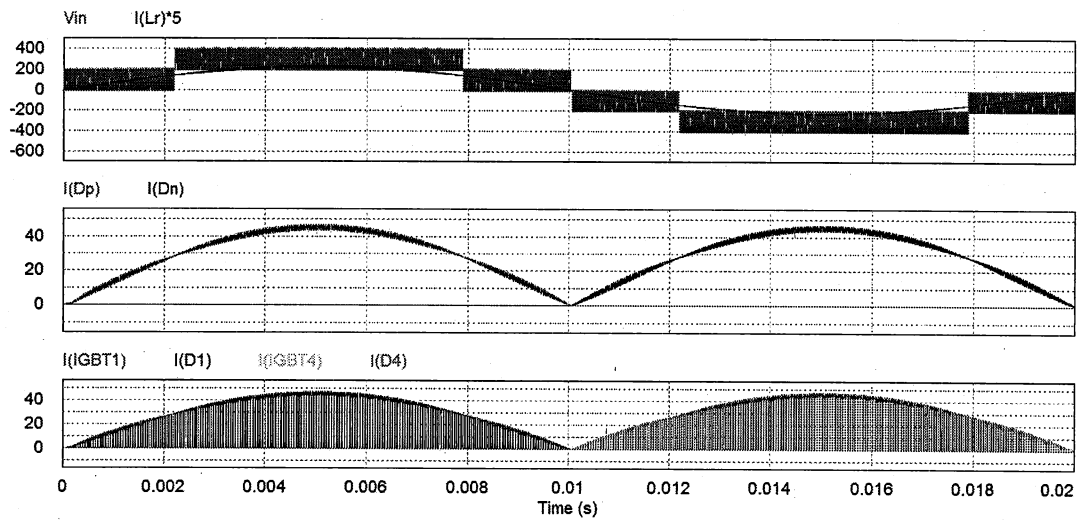
Hình 1



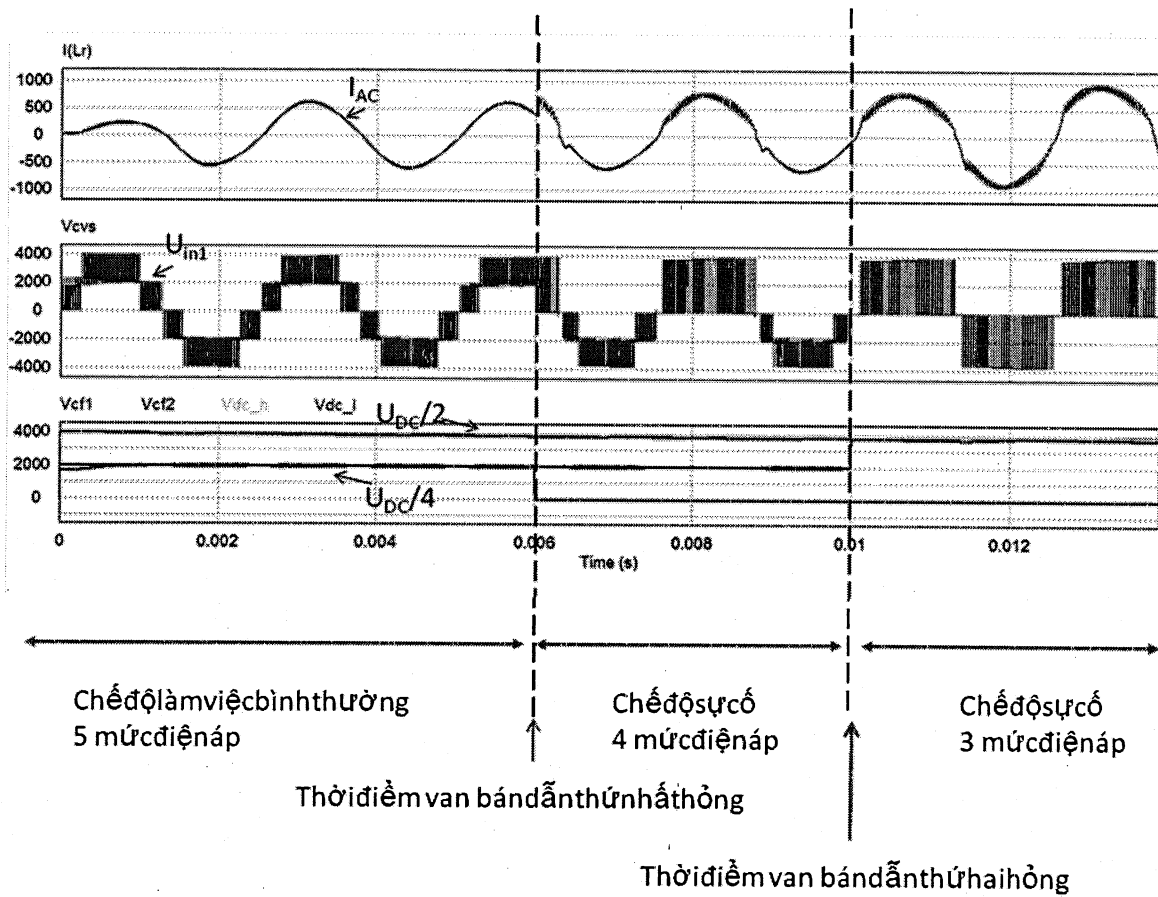
Hình 2



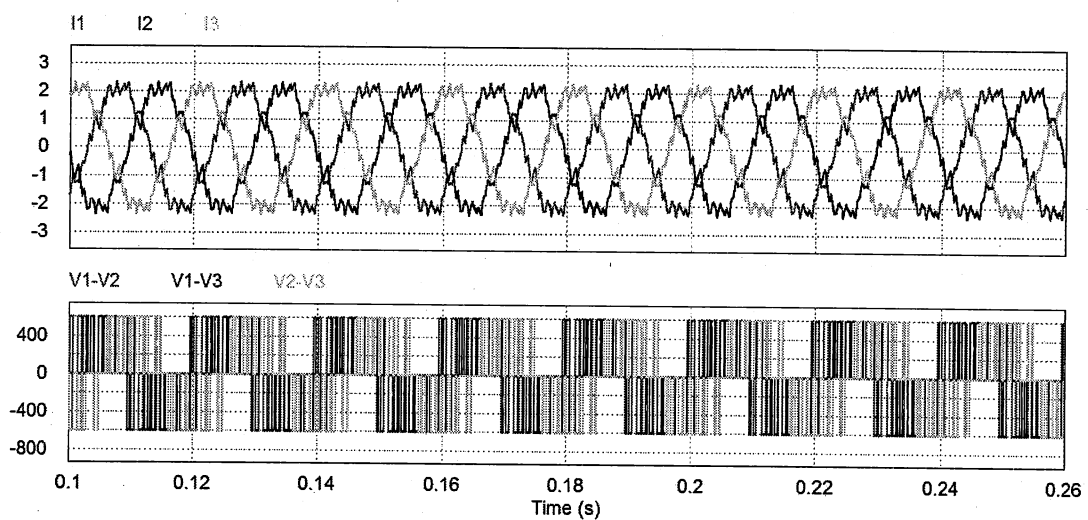
Hình 3



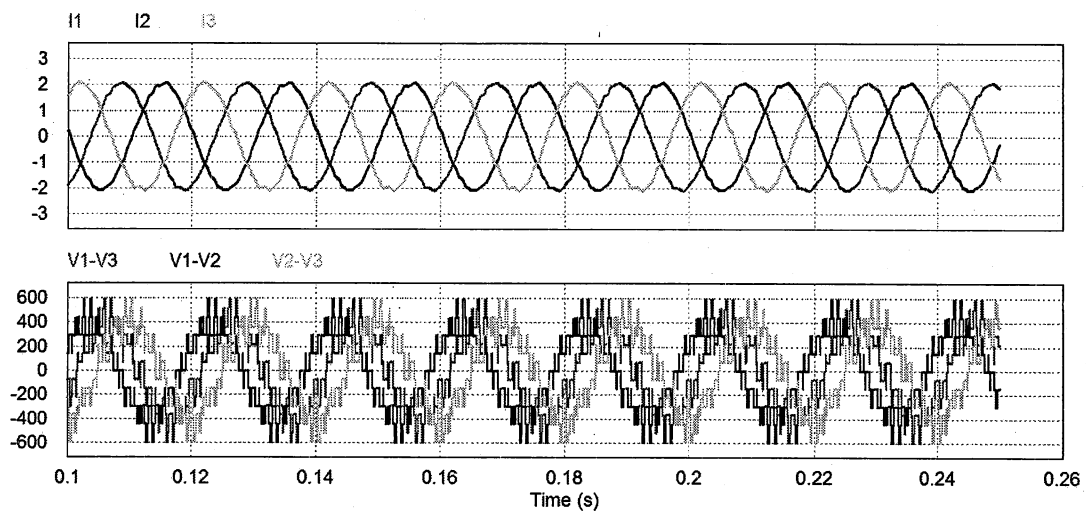
Hình 4



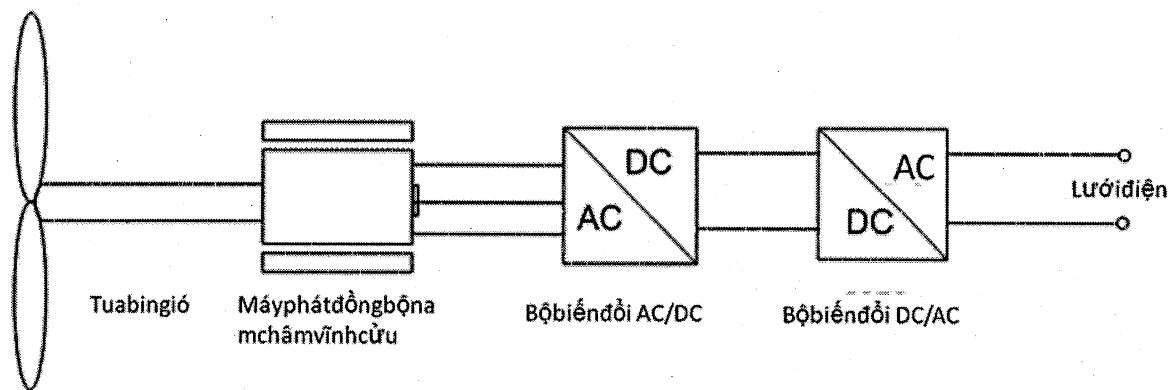
Hình 5



Hình 6



Hình 7



Hình 8