

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG



ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP
NGÀNH : ĐIỆN TỰ ĐỘNG CÔNG NGHIỆP

Sinh viên : Ngô Quang Dũng
Giảng viên hướng dẫn : GS-TSKH Thân Ngọc Hoàn

HẢI PHÒNG – 2020

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG

**NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI, ĐI SÂU TÌM HIỂU
CẤU TRÚC CÁC BỘ ĐIỀU KHIỂN CHO LƯỚI PV**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY
NGÀNH: ĐIỆN TỰ ĐỘNG CÔNG NGHIỆP**

**Sinh viên : Ngô Quang Dũng
Giảng viên hướng dẫn : GS-TSKH Thân Ngọc Hoàn**

HẢI PHÒNG – 2020

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG

NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

Sinh viên: Ngô Quang Dũng

Mã SV: 1512102006

Lớp : DC 1901

Ngành : Điện tự động công nghiệp

**Tên đề tài: Năng lượng mặt trời, đi sâu tìm hiểu cấu trúc các bộ điều
khiển cho lưới PV**

NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI

1. Nội dung và các yêu cầu cần giải quyết trong nhiệm vụ đề tài tốt nghiệp

Trình bày tổng quan về năng lượng tái tạo, đi sâu trình bày về cấu trúc các bộ biến đổi dùng cho năng lượng mặt trời.

2. Các tài liệu, số liệu cần thiết

Tự tìm hiểu số liệu cho đồ án

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Địa điểm thực tập tốt nghiệp

.....

CÁN BỘ HƯỚNG DẪN ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

Họ và tên : THÂN NGỌC HOÀN

Học hàm, học vị : GS-TSKH

Cơ quan công tác : Trường Đại học Quản lý và Công nghệ Hải Phòng

Nội dung hướng dẫn: Năng lượng mặt trời, đi sâu tìm hiểu cấu trúc các bộ điều khiển cho lưới PV

Đề tài tốt nghiệp được giao ngày 12 tháng 10 năm 2020

Yêu cầu phải hoàn thành xong trước ngày 31 tháng 12 năm 2020

Đã nhận nhiệm vụ ĐTTN

Sinh viên

Đã giao nhiệm vụ ĐTTN

Giảng viên hướng dẫn

Ngô Quang Dũng

Thân Ngọc Hoàn

Hải Phòng, ngày tháng năm 2020

TRƯỞNG KHOA

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

PHIẾU NHẬN XÉT CỦA GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN TỐT NGHIỆP

Họ và tên giảng viên: GS-TSKH Thân Ngọc Hoàn
Đơn vị công tác: Trường đại học quản lý và công nghệ hải phòng
Họ và tên sinh viên: Ngô Quang Dũng Chuyên ngành: Điện tự động công nghiệp
Nội dung hướng dẫn: Năng lượng mặt trời, đi sâu tìm hiểu cấu trúc các bộ điều khiển cho lưới PV

1. Tinh thần thái độ của sinh viên trong quá trình làm đề tài tốt nghiệp

.....
.....
.....

2. Đánh giá chất lượng của đề án/khóa luận (so với nội dung yêu cầu đã đề ra trong nhiệm vụ Đ.T. T.N trên các mặt lý luận, thực tiễn, tính toán số liệu...)

.....
.....
.....

3. Ý kiến của giảng viên hướng dẫn tốt nghiệp

Được bảo vệ Không được bảo vệ Điểm hướng dẫn

Hải Phòng, ngày tháng năm

Giảng viên hướng dẫn
(Ký và ghi rõ họ tên)

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

PHIẾU NHẬN XÉT CỦA GIÁO VIÊN CHĂM PHẢN BIỆN

Họ và tên giảng viên:

Đơn vị công tác:

Họ và tên sinh viên: Chuyên ngành:

Đề tài tốt nghiệp:

1. Phần nhận xét của giáo viên chăm phản biện

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Những mặt còn hạn chế

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Ý kiến của giảng viên chăm phản biện

Được bảo vệ Không được bảo vệ Điểm hướng dẫn

Hải Phòng, ngày tháng năm
Giảng viên chăm phản biện
(Ký và ghi rõ họ tên)

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CÁC NGUỒN NĂNG LƯỢNG XANH	2
1.1. TÌNH HÌNH VÀ XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN THỰC TẾ CỦA CÁC NGUỒN NĂNG LƯỢNG	2
1.2. GIẢI PHÁP GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ CẠN KIẾT NĂNG LƯỢNG- NĂNG LƯỢNG XANH	6
1.2.1. Pin nhiên liệu.	6
1.2.2. Năng lượng mặt trời	8
1.2.3. Năng lượng từ đại dương	10
1.2.4. Năng lượng gió	12
1.2.5. Dầu thực vật phế thải dùng để chạy xe	14
1.2.6. Năng lượng từ tuyết	15
1.2.7. Năng lượng từ sự lên men sinh học	15
1.2.8. Nguồn năng lượng địa nhiệt.	15
1.2.9. Khí Mêtan hydrate	15
1.3 Kết luận chương 1	15
CHƯƠNG 2. TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI	17
2.1. GIỚI THIỆU CHUNG	17
2.1.1. Mặt trời -nguồn năng lượng vô tận	17
2.1.2. Triển vọng phát triển năng lượng mặt trời ở Việt Nam	19
2.3. MỘT SỐ HỆ THỐNG SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI TRONG THỰC TẾ	21
2.3.1. Pin mặt trời	21
2.3.2.Nhà máy nhiệt điện sử dụng năng lượng mặt trời	23
2.3.3.Thiết bị sấy bằng năng lượng mặt trời	24
2.3.4.Bếp nấu dùng năng lượng mặt trời	25
2.3.5. Thiết bị chưng cất nước dùng NLMT	26
2.2.6.Ứng dụng NLMT để chạy các động cơ nhiệt - động cơ Stirling	26
2.2.7.Thiết bị đun nước nóng bằng NLMT	27
2.2.8. Thiết bị làm lạnh và điều hoà không khí dùng NLMT	28
2.3. HƯỚNG NGHIÊN CỨU VÀ SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI	30
2.4: Kết Luận chương 2	32
CHƯƠNG 3. CẤU TRÚC BIÊN TÀN QUANG ĐIỆN	33
3.1 Giới thiệu	33

2.2 Các cấu trúc biến tần bắt nguồn từ cấu trúc liên kết cầu H	35
3.1.1 Biến tần toàn cầu cơ bản	36
3.1.2 Biến tần H5 (SMA)	40
3.1.3 Biến tần HERIC (Sunways)	42
3.1.4 Biến tần REFU	44
3.1.5 Biến tần toàn cầu với DC Bypass - FB-DCBP (Ingeteam)	46
3.1.6 Chỉnh lưu điện áp không toàn cầu - FB-ZVR	49
3.1.7 Tóm tắt các cấu trúc liên kết có nguồn gốc từ cầu H	51
3.2 Cấu trúc biến tần bắt nguồn từ cấu trúc liên kết NPC	51
3.2.1 Biến tần bán cầu kẹp điểm trung tính (NPC)	51
3.2.2 Biến tần NPC Conergy	53
3.2.3 Tóm tắt các cấu trúc liên kết biến tần có nguồn gốc từ NPC	55
3.3 Cấu trúc biến tần PV điển hình	56
3.4 Biến tần PV ba pha	56
3.5 Cấu trúc điều khiển	58
3.6 Kết luận và Xu hướng Tương lai	60
KẾT LUẬN	62
TÀI LIỆU THAM KHẢO	63

LỜI MỞ ĐẦU

Năng lượng mặt trời đang phát triển rất mạnh mẽ trên toàn thế giới khi mà càng ngày càng có nhiều quốc gia bắt đầu chuyển sang sử dụng điện mặt trời như nguồn năng lượng chính. Một phần là do chi phí đầu tư năng lượng mặt trời giảm mạnh trong những năm gần đây và bên cạnh đó là những cải tiến tích cực về hiệu quả kỹ thuật cũng như chất lượng sản xuất, nhiều người dân ở Việt Nam cũng đang bắt đầu lắp đặt và xem điện mặt trời như giải pháp thay thế tuyệt vời khi mà giá điện truyền thống ngày càng leo thang.

Đề tài “NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI, ĐI SÂU TÌM HIỂU CẤU TRÚC CÁC BỘ ĐIỀU KHIỂN CHO LƯỚI PV” là một đề tài nghiên cứu xây dựng một phần nhỏ trong hệ thống năng lượng mặt trời, xong nó góp phần quan trọng trong việc nâng cao hiệu suất chuyển năng lượng mặt trời thành dạng năng lượng điện.

Trong quá trình làm đề tài nghiên cứu, em đã nhận được sự đóng góp, chỉ bảo chân thành của các thầy cô giáo ngành Điện-Điện tử - Trường Đại học Quản lý và Công nghệ Hải Phòng. Đặc biệt, em xin gửi lời cảm ơn sâu sắc nhất đến thầy GS-TSKH Thân Ngọc Hoàn, người đã tận tình chỉ bảo em trong suốt thời gian làm đề tài.

Em xin chân thành cảm ơn !

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CÁC NGUỒN NĂNG LƯỢNG XANH

1.1. TÌNH HÌNH VÀ XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN THỰC TẾ CỦA CÁC NGUỒN NĂNG LƯỢNG

Năng lượng từ nhiên liệu thương mại, chủ yếu là dầu, khí đốt tự nhiên, than đá, hạt nhân và thủy điện, có tầm quan trọng cơ bản đối với tất cả các nền kinh tế hiện đại. Một cái nhìn tổng thể về tình hình năng lượng trên thế giới, các xu hướng và triển vọng, là cần thiết trong bối cảnh việc tiêu thụ năng lượng vẫn đang gia tăng và giá năng lượng cũng leo thang trong những năm gần đây.

Trước hết là hiệu quả sử dụng năng lượng: Các nền kinh tế có hiệu quả sử dụng năng lượng rất khác nhau. Mức hiệu quả thường được đo bằng GDP/kg dầu quy đổi. Hiệu quả sẽ phụ thuộc vào điều kiện địa lý (khí hậu nóng hay lạnh, phạm vi dàn trải của một quốc gia), cơ cấu công nghiệp (công nghiệp nặng sử dụng nhiều năng lượng hơn), giá năng lượng (năng lượng rẻ thì sẽ sử dụng nhiều hơn), và các chính sách của chính phủ. Một số nước đạt hiệu quả từ 6-10 đô la Mỹ GDP/kg dầu, nhưng đa số các nước châu Á chỉ đạt 4 - 5 đô la/kg dầu.

Bảng dưới đây cho thấy hiệu quả năng lượng của một số nước tính theo giá trị GDP theo đô la/kg dầu vào năm 2004. Phần trăm thay đổi GDP/kg dầu kể từ 1990 được ghi trong ngoặc đơn. Chú ý mức tăng cao là tốt, có nghĩa là quốc gia đó thu được nhiều GDP trên một đơn vị năng lượng hơn (bảng 1).

Hoa Kỳ	4,6 đô la (+25%)	Nhật	6,4 đô la (-1%)
Úc	4,8 đô la (+21%)	Pháp	5,9 đô la (+8%)
Đức	6,2 đô la(+32%)	Brazil	6,8 đô la (-7%)
Hàn Quốc	4,2 đô la (-6%)	Ấn Độ	5,5 đô la (+37%)
Trung Quốc	4,4 đô la (+108%)	Canada	3,4 đô la (+13%)
Indonesia	4,1 đô la (-0,1%)	Nga	2,0 đô la (+28%)
Thái Lan	4,9 đô la (-14%)	Việt Nam	4,2 đô la (+27%)
Malaysia	4,1 đô la (-5%)	Philippines	7,9 đô la (-13%)

Bảng 1: Hiệu quả sử dụng năng lượng ở một số nước

Việc sử dụng năng lượng có khuynh hướng tăng cùng với sự gia tăng GDP và thu nhập, nhưng không phải lúc nào cũng theo tỷ lệ nhất định. Nhật đã cắt giảm sử dụng dầu lửa 12% trong thập niên vừa qua khi kinh tế tăng trưởng chậm chạp. Đài Loan, tăng trưởng 4-6%/năm nhưng mức tiêu thụ dầu không tăng. Trong cùng thập niên này, mức tiêu thụ dầu lửa của Trung Quốc tăng 88%, trong khi GDP vọt lên 150%.

Giá dầu và quan hệ cung-cầu: Tiêu thụ dầu lửa trên thế giới tăng 16%, từ 73,6 triệu thùng/ngày năm 1997 lên 85,2 triệu thùng/ngày năm 2007. Châu Á không kể Nhật có mức tiêu

dùng dầu tăng 45% lên 20,4 triệu thùng/ngày, hay gần 1/4 lượng tiêu thụ trên thế giới.

Người ta thấy rằng thế giới đang cạn dầu.

Khí tự nhiên: Một khía cạnh khác của thực trạng năng lượng hiện nay là giá khí đốt tự nhiên và nhiều loại than đã tăng mạnh trong năm qua cùng với giá dầu lửa. Mức độ chuyển dịch đồng bộ này là bất thường. Tiêu thụ khí đốt tự nhiên đã tăng nhanh hơn dầu, trong 10 năm tăng đến 31%. Xét theo lượng dầu quy đổi, thì việc sử dụng khí đốt trên thế giới bằng 2/3 sử dụng dầu. Ở châu Á, trừ Nhật Bản, sử dụng khí đốt đã tăng gần gấp đôi (+90%) từ 1997, và khu vực này tiêu dùng 1/8 lượng khí tiêu thụ trên thế giới.

Trữ lượng khí đốt tự nhiên đã có khuynh hướng ổn định ở mức sản lượng 60-70 năm và hiện được ước tính khoảng 60 năm. Giá khí đốt tự nhiên rất khác nhau, trong đó khí đốt tự nhiên hóa lỏng (LNG) có khuynh hướng đắt nhất vì hai lý do. Thứ nhất, quy trình làm sạch, làm lạnh và hóa lỏng khí, sau đó dẫn vào các tàu chứa chuyên dụng là rất tốn kém. Thứ hai, một khi đã sản xuất ra, nó có thể được vận chuyển đi những khoảng cách xa đến nhiều thị trường, trong khi khí đốt theo ống dẫn thường có đối tượng khách hàng hạn chế hơn. (Chi phí sản xuất khí theo ống dẫn rẻ hơn và hệ thống ống dẫn đến khoảng cách vừa phải cũng có chi phí vận chuyển rất thấp).

Giá LNG giao ở Nhật dao động từ 3-8 đô la/triệu BTU từ 1985-2007, nhưng các hợp đồng LNG gần đây đã có giá tăng cao hơn nhiều (12-15 đô la), phản ánh giá dầu đã cao hơn. Ngay cả giá khí đốt của Mỹ hiện nay cũng trong khoảng 12-13 đô la, phần lớn là vận chuyển bằng đường ống. Giá khí đốt ống dẫn ở Thái Lan từ các khu mỏ của họ là 3 - 6 đô la/triệu BTU. Khí ống dẫn từ Myanmar có giá cao hơn (8-10 đô la) và hợp đồng cung cấp LNG từ Trung Đông có giá 12 đô la hoặc hơn (1).

Than đá: Loại nhiên liệu hóa thạch quan trọng thứ ba là than đá. Trữ lượng than trên thế giới là rất lớn, khoảng 430 tỉ tấn than cứng và than lò hơi (than bitum), cộng với một trữ lượng tương tự than chất lượng thấp như than non (hay than nâu). Trữ lượng phân bố dàn trải ở Bắc Mỹ, châu Âu, châu Á và Úc.

Đã có 6,4 tỉ tấn được sử dụng năm 2007, tăng 36% từ 1997. Mức gia tăng ở châu Á - Thái Bình Dương kể từ 1997 là 80% lên 3,7 tỉ tấn, chiếm hơn phân nửa lượng tiêu dùng của thế giới. Xét theo sản phẩm dầu quy đổi, than thế giới 2007 chiếm 3,2 tỉ tấn, so với 2,6 tỉ tấn dầu quy đổi cho khí đốt và 3,9 tỉ tấn dầu. Mặc dù than đá đang trở thành loại nhiên liệu cũ và tương đối bản, tăng trưởng tiêu thụ của nó là nhanh nhất trong ba loại nhiên liệu vì có sẵn và chi phí thấp. Nó được sử dụng chủ yếu trong phát điện, sản xuất thép, xi măng và phân bón.

Tuy nhiên, giá than cũng nhảy vọt trong năm vừa qua. Than lò hơi, dùng trong phát điện thường có giá từ 30-60 đô la/tấn, nhưng trong năm 2007-2008 giá đã vọt lên 120 đô la/tấn. Các trận lụt xảy ra ở những vùng xuất khẩu than quan trọng của Úc, mùa đông khắc nghiệt ở Trung Quốc, và sự tăng trưởng cầu nhanh hơn dự kiến, tất cả cùng góp phần tạo ra diễn tiến bất ngờ này.

Đáng ngạc nhiên là các mức giá cao này theo dự đoán sẽ duy trì ít nhất là vài năm nữa, vì

phải mất thời gian để khai thác các khu mỏ mới. Tuy nhiên, dựa vào trữ lượng than và sự phân bố rộng rãi, ít có khả năng giá than sẽ ở mức cao như vậy trong nhiều năm. Trong quá khứ, khi giá cả tăng lên, các nguồn cung mới sẽ được đưa vào và giá sau cùng cũng giảm.

Năng lượng hạt nhân: Năng lượng hạt nhân chiếm khoảng 620 triệu tấn dầu quy đổi năm 2007, tăng 15% từ 1997. Châu Á trừ Nhật sử dụng năng lượng hạt nhân tương đương 60 triệu tấn dầu quy đổi năm 2007, gấp đôi mức 1997. Năng lượng hạt nhân cần nhiều vốn nhưng chi phí biến đổi thấp. Mức thải CO₂ thấp nhưng lại có những vấn đề liên quan đến sự an toàn và lưu trữ chất thải làm hạn chế sức hấp dẫn của nó đối với một số nước. Có khả năng nguồn năng lượng này sẽ phổ biến hơn và là chọn lựa hấp dẫn hơn vì những quan ngại về sự ấm dần lên của trái đất và giá nhiên liệu hóa thạch đắt đỏ. Tuy nhiên, nó chỉ chiếm 6% tổng năng lượng được khảo sát ở đây và ít có khả năng trở thành nguồn cung chính.

<i>Khu vực</i>	<i>1997</i>	<i>2007</i>	<i>Tốc độ tăng trưởng</i>
Bắc Mỹ	2617	2839	0,8%
Châu Âu/Âu-Á	2765	2988	0,8%
Châu Á-Thái Bình Dương	2463	3802	4,4%
Trung Đông/châu Phi	630	918	3,8%
Mỹ Latinh	433	553	2,5%
Tổng cộng thế giới	8907	11099	2,2%

Bảng 3: Tiêu thụ dầu trên thế giới (Đơn vị tính: triệu tấn dầu)

Thủy điện: Thủy điện cũng quan trọng như điện hạt nhân (3.000 tỉ kWh, hay xấp xỉ 700 triệu tấn dầu quy đổi), nhưng bị hạn chế về mặt địa lý và những quan ngại khác liên quan đến các con đập, kể cả vấn đề môi trường. Nguồn nhiên liệu này tăng 20% trong 10 năm.

Năng lượng mặt trời, gió và sinh khối thương mại có khuynh hướng tăng nhanh nhưng với xuất phát điểm rất thấp, khó khăn chủ yếu do chi phí cao (mặc dù đang giảm) và/hoặc sản lượng biến động cao. Đối với trường hợp nhiên liệu biodiesel (dầu sinh học) và ethanol, thì quan ngại chính là chúng cạnh tranh với nguyên liệu lương thực. Còn địa nhiệt điện, về tầm quan trọng chỉ chiếm 12% so với thủy điện và cũng hạn chế về mặt địa lý ở những vùng có nguồn nhiệt gần mặt đất. Tất cả những nguồn tái sinh được, bao gồm thủy điện, chiếm khoảng 8% tổng mức tiêu thụ năng lượng toàn cầu.

Nhìn về tương lai, Cơ quan Năng lượng Quốc tế (IEA) dự báo tiêu thụ năng lượng đến năm 2030 và kỳ vọng mức tăng trưởng toàn cầu hàng năm là 1,8%, chậm hơn so với thập niên trước. Dự đoán các nước giàu sẽ tiếp tục tăng tiêu thụ ở mức 0,8%/năm trong khi các nước đang phát triển sẽ tăng 2,6%/năm - cũng lại thấp hơn thời gian gần đây. Tiêu thụ than (2,2%) dự báo tăng nhanh hơn so với toàn bộ năng lượng, khí đốt và các nguồn tái sinh (1,9%/năm) tăng tương tự, tiêu thụ các nguyên liệu chất lỏng và hạt nhân dự kiến sẽ chậm lại, với tốc độ toàn cầu là 1,4% hàng năm.

Có khả năng nỗ lực đồng bộ nhằm nâng cao hiệu quả năng lượng sẽ giúp cho tốc độ tăng trưởng năng lượng chậm hơn dự báo của IEA. Các công trình xây dựng xanh đang sử dụng ánh sáng và làm mát tự nhiên, quy hoạch đô thị khéo léo hơn sẽ làm giảm khoảng cách đi lại, và những cải tiến công nghệ nhanh hơn trong phát sáng, vận tải, và máy móc có thể làm giảm lượng nhu cầu năng lượng thương mại cao như dự đoán. Giá năng lượng cao sẽ càng làm cho những tình huống này có khả năng xảy ra hơn.

1.2. GIẢI PHÁP GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ CẠN KIẾT NĂNG LƯỢNG- NĂNG LƯỢNG XANH

Những năm gần đây, dư luận nói đến nhiều về nguồn năng lượng mới, gọi là năng lượng lựa chọn, năng lượng thay thế hay năng lượng xanh. Ưu điểm của nguồn năng lượng này là sạch, có sẵn trong thiên nhiên, không gây ô nhiễm, không bị cạn kiệt và là giải pháp tốt nhất nhằm tiết kiệm năng lượng hóa thạch cho tương lai.

1.2.1. Pin nhiên liệu.

Đây là kỹ thuật có thể cung cấp năng lượng cho con người mà không hề phát ra khí thải CO₂ (các bon điôxít) hoặc những chất thải độc hại khác. Một pin nhiên liệu tiêu biểu có thể sản sinh ra điện năng trực tiếp bởi phản ứng giữa hydro và oxy. Hydro có thể lấy từ nhiều nguồn như khí thiên nhiên, khí metan lấy từ chất thải sinh vật và do không bị đốt cháy nên chúng không có khí thải độc hại. Đi đầu trong lĩnh vực này là Nhật Bản. Quốc gia này sản xuất được nhiều nguồn pin nhiên liệu khác nhau, dùng cho xe phương tiện giao thông, cho ô tô hoặc cả cho cả các thiết bị dân dụng như điện thoại di động.

Năm 1839 nhà khoa học tự nhiên người xứ Wales Sir William Robert Grove đã chế tạo ra mô hình thực nghiệm đầu tiên của tế bào nhiên liệu, bao gồm hai điện cực platin được bao trùm bởi hai ống hình trụ bằng thủy tinh, một ống chứa hiđrô và ống kia chứa oxy. Hai điện cực được nhúng trong axit sulfuric loãng là chất điện phân tạo thành dòng điện một chiều. Vì việc chế tạo các hệ thống tế bào nhiên liệu quá phức tạp và giá thành đắt, công nghệ này dừng lại ở đây cho đến thập niên 1950.

Thời gian này ngành du hành vũ trụ và kỹ thuật quân sự cần dùng một nguồn năng lượng nhỏ gọn và có năng suất cao. Các tàu du hành vũ trụ và tàu ngầm cần dùng năng lượng điện không thông qua động cơ đốt trong. NASA đã quyết định dùng cách sản xuất điện trực tiếp bằng phương pháp hóa học thông qua tế bào nhiên liệu trong các chương trình du hành vũ trụ Gemini và Apollo. Các tế bào nhiên liệu sử dụng trong chương trình Gemini được NASA phát triển vào năm 1965. Với công suất khoảng 1 kW các tế bào nhiên liệu này đã cung cấp đồng thời điện và nước uống cho các phi hành gia vũ trụ. Các tế bào nhiên liệu của chương trình Gemini chỉ dài 60 cm và có đường kính là 20 cm. Công việc nghiên cứu về công nghệ tế bào nhiên liệu không phải bị ngưng đến thập niên 50 của thế kỷ 20 mà nó vẫn được tiếp tục phát triển để hoàn thiện.

Nhờ chế tạo được các màng (*membrane*) có hiệu quả cao và các vật liệu có khả năng chống

ăn mòn hóa học tốt hơn và cũng nhờ vào công cuộc tìm kiếm một nguồn năng lượng thân thiện môi trường cho tương lai tế bào nhiên liệu được phát triển mạnh vào đầu thập niên 1990.

Thông qua đó việc sử dụng tế bào nhiên liệu dành cho các mục đích dân sự đã trở thành hiện thực. Ngày nay khả năng sử dụng trải dài từ vận hành ô tô, sưởi nhà qua các nhà máy phát điện có công suất hàng 100 kW cho đến những ứng dụng bé nhỏ như trong điện thoại di động hoặc máy vi tính xách tay.

Tế bào nhiên liệu được sử dụng đầu tiên trong những lĩnh vực mà phí tổn không đóng vai trò quan trọng. Tế bào nhiên liệu nhẹ và hiệu quả hơn ắc quy đồng thời đáng tin cậy và ít ồn ào hơn động cơ Diesel. Những điều này giải thích tại sao giới quân sự và ngành du hành vũ trụ quan tâm đến công nghệ này rất sớm. Một số tàu thuyền trên biển cũng dùng tế bào nhiên liệu.



Hình 1.1. Pin nhiên liệu do Phân Viện vật lý tại thành phố HCM chế tạo

Động cơ thúc đẩy cho các ứng dụng dân sự xuất phát từ nhận thức trữ lượng dầu mỏ trên Trái Đất là có hạn nhưng vẫn mong muốn tiếp tục kinh doanh xe thời kỳ sau dầu mỏ vốn đang mang về nhiều lợi nhuận.

Từ 20 năm nay nhiều hãng sản xuất xe (DaimlerChrysler, Ford, Honda, Opel) đã nghiên cứu về xe có nhiên liệu là hiđrô, sử dụng tế bào nhiên liệu để chuyển hóa năng lượng và dùng động cơ điện để vận hành. Kỹ thuật này đã được phát triển cho xe buýt, xe du lịch, xe tải nhẹ. Ở Hamburg (Đức) và Stuttgart (Đức) người ta đang thử nghiệm chạy xe buýt sử dụng nhiên liệu hydro trên các tuyến đường xe buýt bình thường. Từ năm 2003 hai hãng đóng tàu của Đức đã cung cấp loại tàu ngầm vận hành bằng điện được cung cấp từ máy phát điện Diesel hoặc từ một hệ thống tế bào nhiên liệu hiđrô.

Các tế bào nhiên liệu sử dụng khí đốt đang chuẩn bị đẩy lùi các thiết bị kết hợp phát điện và sưởi. Ở hệ thống này khí đốt được biến đổi thành hiđrô đưa vào tế bào nhiên liệu.

Một số vật dụng cầm tay như điện thoại di động, máy vi tính xách tay, máy quay phim, vật liệu cắm trại hay quân sự cũng đang tiến tới ứng dụng loại nguồn cung cấp năng lượng này.

1.2.2. Năng lượng mặt trời

Nhật Bản, Mỹ và một số quốc gia Tây Âu là những nơi đi đầu trong việc sử dụng nguồn

năng lượng mặt trời rất sớm (từ những năm 50 ở thế kỷ trước). Tính đến năm 2002, Nhật Bản đã sản xuất được khoảng 520.000 kW điện bằng pin mặt trời, với giá trung bình 800.000 Yên/kW, thấp hơn 10 lần so với cách đây trên một thập kỷ. Nếu một gia đình người Nhật 4 người tiêu thụ từ 3 đến 4 kW điện/mỗi giờ, thì họ cần phải có diện tích từ 30-40 m² mái nhà để lắp pin. Nhật Bản phấn đấu đến năm 2010 sẽ sản xuất được hơn 8,2 triệu kW điện từ năng lượng mặt trời.



Hình 1.2. Sản xuất điện bằng hệ thống pin mặt trời

Năng lượng mặt trời có thể chia làm 2 loại cơ bản: Nhiệt năng và Quang năng. Các tế bào quang điện (Photovoltaic cells - PV) sử dụng công nghệ bán dẫn để chuyển hóa trực tiếp năng lượng quang học thành dòng điện, hoặc tích trữ vào pin, ắc quy để sử dụng sau đó. Các tấm tế bào quang điện hay còn gọi là pin mặt trời hiện đang được sử dụng rộng rãi vì chúng rất dễ chuyển đổi và dễ dàng lắp đặt trên các tòa nhà và các cấu trúc khác. Pin mặt trời có thể cung cấp nguồn năng lượng sạch và tái tạo, do vậy là một nguồn bổ sung cho nguồn cung cấp điện chính thông thường. Tại các vùng chưa có điện lưới như các cộng đồng dân cư ở xa, nông thôn, hải đảo, các trường hợp khẩn cấp,... pin mặt trời có thể cung cấp một nguồn điện đáng tin cậy. Điều bất cập duy nhất là giá thành của Pin mặt trời đến nay còn cao và tỷ lệ chuyển đổi năng lượng chưa thật sự cao (13-15%). Trái lại sức nóng của mặt trời có hiệu suất chuyển đổi lớn gấp 4-5 lần hiệu suất của quang điện, và do vậy đơn giá của một đơn vị năng lượng được tạo ra rẻ hơn rất nhiều.

Nhiệt năng có thể được sử dụng để sưởi nóng các tòa nhà một cách thụ động thông qua việc sử dụng một số vật liệu hoặc thiết kế kiến trúc, hoặc được sử dụng trực tiếp để đun nóng nước phục vụ cho sinh hoạt. Ở rất nhiều khu vực khác nhau trên thế giới thiết bị đun nước nóng dùng năng lượng mặt trời (bình nước nóng năng lượng mặt trời) hiện đang là một sự bổ sung quan trọng hay một sự lựa thay thế cho các thiết bị cung cấp nước nóng thông thường dùng điện hoặc gaz.

1.2.3. Năng lượng từ đại dương

Đây là nguồn năng lượng vô cùng phong phú, nhất là quốc gia có diện tích biển lớn. Sóng và thủy triều được sử dụng để quay các turbin phát điện. Nguồn điện sản xuất ra có thể dùng trực tiếp

cho các thiết bị đang vận hành trên biển như hải đăng, phao, cầu cảng, hệ thống hoa tiêu dẫn đường v.v...

Tận dụng nguồn năng lượng thủy triều thực sự là bước ngoặt trong sản xuất năng lượng sạch, không ô nhiễm môi trường. Người Na Uy đã kết nối vào mạng lưới điện quốc gia của họ dòng điện phát ra từ tua bin nước đầu tiên, mà năng lượng được tạo ra từ những cánh quạt quay nhờ dòng nước biển. Đến cuối năm nay, họ sẽ hoàn thành xây dựng 20 nhà máy tiếp theo.



Hình 1.3. Hệ thống Pelamis thu năng lượng từ sóng biển

Nhà máy điện của Na Uy có ưu điểm mà không nguồn năng lượng tái tạo nào có được đó là hoàn toàn không lệ thuộc vào thời tiết. Bất chấp hoàn cảnh, có gió hay lặng gió, trời nắng hay mưa... dòng thủy triều vẫn không bị ảnh hưởng và dòng điện phát ra vẫn có công suất không đổi. Người Anh cũng có kế hoạch đầu tư tương tự. Giới chuyên gia địa phương ước tính rằng, nước biển có thể đảm bảo cho họ tới 25% nhu cầu năng lượng cần thiết.

Dấu ý tưởng xây dựng nhà máy điện thủy triều không phải là mới, song phương thức khai thác của người Na Uy rất sáng tạo. Thiết bị công nghệ loại này đầu tiên trên thế giới được Pháp chế tạo và lắp đặt ở cửa sông từ năm 1967. Công trình đó đến nay vẫn còn hoạt động và có công suất 240 MW. Những nhà máy điện cùng loại thí điểm cũng xuất hiện ở Trung Quốc, Ấn Độ, Canada và LB Nga.

Nguyên lý hoạt động của những nhà máy điện sử dụng năng lượng nước biển đã khai thác cũng giống như nhà máy thủy điện truyền thống: Thoạt đầu dòng nước chảy đầy những "thùng chứa" đặc biệt, làm quay tuabin phát điện, sau đó nước từ thùng chứa thoát ra trở lại đại dương.

Bên cạnh những mặt mạnh là không gây ô nhiễm môi trường, nhà máy điện sử dụng năng lượng nước biển vẫn không tránh khỏi một số khiếm khuyết. Tương tự trường hợp đập nước trên sông, nhà máy điện kiểu này cũng gây rào cản không thể vượt qua đối với hải sản và gây khó khăn cho giao thông đường thủy. Chính vì lý do như vậy, Chính phủ Pháp đã tạm dừng kế hoạch triển khai xây dựng 20 công trình tiếp theo. Theo tính toán của giới phân đối việc xây dựng, thí dụ - chỉ một đập nước trên sông Ranh cũng làm đảo lộn môi trường biển trong bán kính 500 km.

Mãi đến những năm 90 thế kỷ trước, người ta mới nghĩ ra phương pháp tận dụng năng

lượng thủy triều một cách sạch nhất, đó là các “cối xay” dưới nước. Chúng quay nhờ dòng nước biển chuyển động. Tua bin thí nghiệm đầu tiên được lắp đặt tại khu vực Loch Lihne, ở Xcôtlen, năm 1995. Nó được cột vào mỏ neo nằm dưới đáy biển và chỉ tạo nguồn năng lượng công suất 15 kw.

Đầu năm nay, tuabin có công suất lớn hơn nhiều (300 kw) lần đầu tiên được nối vào mạng điện quốc gia. Cánh quạt ngầm dưới đáy nước được gắn cố định xuống đáy biển. Công trình hoạt động tại eo biển Kvalsund, gần thành phố biển Na Uy Hammerfest. Thiết bị có trọng tải ngót 200 tấn. Đến cuối năm nay, Na Uy dự định lắp đặt 20 tuabin như thế, đảm bảo cung cấp điện cho thị trấn 1,1 ngàn dân. Chi phí công trình khoảng 50 triệu euro Na Uy (20 triệu USD).

Hiện thời, cản trở duy nhất để mở rộng nhà máy điện ngầm dưới biển là giá thành sản phẩm. Cho dù không cần nhiên liệu, nhưng chi phí xây dựng cao tới mức giá sản phẩm điện đắt hơn 3 lần so với nguồn điện truyền thống. Việc xây dựng ở Na Uy triển khai được chủ yếu nhờ tiền của các doanh nghiệp và trợ giúp của Chính phủ. Dĩ nhiên, các chủ tư bản bao giờ cũng làm ăn có mục đích. Ngay khi ý tưởng được chấp nhận, sẽ xuất hiện thị trường tuabin nước loại này trị giá hàng trăm triệu USD.

Ngoài Na Uy, người Anh cũng tích cực xúc tiến chương trình xây dựng nhà máy điện dưới biển. Gần đây họ đã đưa vào khai thác công trình tương tự như Na Uy (công suất 250 kw). Sự khác biệt độc nhất là tuabin của Anh lắp đặt trên thân cột mà một phần cánh quạt nhô lên mặt nước. Cho dù giải pháp này gây cản trở hoạt động giao thông hàng hải, nhưng lại tiết kiệm được đáng kể chi phí dịch vụ để kéo thiết bị lên khỏi mặt nước khi cần thiết mà không cần thợ lặn. Hãng Marine Current Turbines, đơn vị thực hiện dự án đã có kế hoạch lắp đặt hàng trăm tuabin tiếp theo dọc bờ biển phía Tây nước Anh. Họ cũng đang thiết kế tuabin kép, công suất 1,2 MW. Lãnh đạo của hãng khẳng định rằng, việc xây dựng vài ngàn máy phát điện dưới biển dọc bờ biển phía Tây nước Anh và xứ Uên sẽ cho nguồn năng lượng tương đương 50% sản lượng điện các nhà máy điện hạt nhân hiện đang hoạt động.

1.2.4. Năng lượng gió

Năng lượng gió được coi là nguồn năng lượng xanh vô cùng dồi dào, phong phú và có ở mọi nơi. Từ cuối thập niên 1920, người Mỹ đã sử dụng những cối xay gió nhỏ để cung cấp điện cho những khu vực nông thôn.

Nhưng chỉ sau một thời gian ngắn, đến thập niên 1930 cối xay gió được sử dụng ngày càng ít, và nay chỉ còn lại một số ít trong các trang trại ở miền Tây nước Mỹ. Đến những năm 1970, cuộc khủng hoảng dầu hỏa làm thay đổi bức tranh toàn cảnh năng lượng trên thế giới, tạo nên một thị trường mới mở ra cho các nguồn năng lượng thay thế, và những cối xay gió cơ học tạo điện năng từ gió đã trở lại. Cối xay gió cơ học ngày càng được xây dựng kỹ thuật hơn với những cánh quạt được chế tạo từ sợi thủy tinh hoặc những vật liệu có sức chịu đựng tốt.



Hình 1.4. Hệ thống khai thác năng lượng từ gió

Trước khi bước vào khai thác năng lượng gió, câu hỏi đầu tiên chính là: có thể lấy từ gió bao nhiêu năng lượng? Có hai cơ sở cơ bản để đánh giá: hiệu quả và công suất. Hiệu quả (tức năng lực hữu ích mà chúng ta có thể lấy được từ nguồn năng lượng): có thể chuyển từ 30 - 40% động lực của gió thành điện năng (để tiện so sánh: có thể chuyển hóa từ 30-35% hóa chất trong than đá thành điện năng). Công suất (phần điện năng máy có thể cung cấp được): một máy điện từ gió có công suất 100%, có thể hoạt động suốt ngày và lúc nào cũng đầy năng lượng, tỉ lệ ở than đá là 75% nếu như hoạt động cả ngày lẫn đêm và suốt năm.

Trước đây, một máy phát điện từ gió thông thường có thể sản xuất từ 1,5 - 4 triệu kWh điện mỗi năm, đủ để cung cấp điện cho 150 - 400 hộ mỗi năm. Ở Mỹ, các máy phát điện năng từ gió có thể cung cấp 10 tỷ kWh mỗi năm. Năng lượng gió đáp ứng được 0,1% nhu cầu năng lượng cho cả nước, một con số rất nhỏ.

10 năm trước, Mỹ còn là “vua” sử dụng năng lượng gió khi sản xuất đến 90% sản lượng điện từ gió của toàn thế giới. Đến năm 1996 sản lượng này giảm 30%. Thế nhưng gần đây, do chi phí đầu tư khai thác nguồn năng lượng từ gió bắt đầu giảm và kỹ thuật được cải tiến nên gió lại trở thành một trong những nguồn năng lượng mới tạo ra điện có sức cạnh tranh nhiều nhất trong một số khía cạnh.

Nhìn trên phương diện kinh tế, năng lượng từ gió rất quyen rũ. Đầu tiên, gió là một tài nguyên dồi dào có sẵn trong tự nhiên và không có “biên giới”. Kế đến, xây dựng máy phát điện từ gió không tốn nhiều tiền bằng chi phí xây dựng máy phát điện từ những nguồn năng lượng khác. Máy phát điện từ gió có thể dễ dàng bổ sung máy phát điện thông thường khi nhu cầu dùng điện của người dân tăng lên. Mặt khác, chi phí sản xuất điện từ gió đã giảm đột ngột trong hai thập niên qua nhờ các kỹ thuật hạ thấp chi phí đầu tư.

Trên góc độ môi trường: gió là một nguồn nguyên liệu sạch, không làm ô nhiễm không khí và nước khi tạo điện năng. Điện năng làm từ gió còn rất sạch, có khả năng giảm đáng kể lượng khí

CO2 thải ra môi trường.

Một nghiên cứu mới của Bộ Năng lượng Mỹ vừa công bố cho biết trong năm 2003 ngành năng lượng có tốc độ phát triển nhanh nhất không phải nhiệt điện hay năng lượng nguyên tử, mà là gió. Bằng chứng là trong khoảng thời gian từ năm 2000 - 2003, năng lượng gió tăng trưởng 159% ở Mỹ và 87% ở châu Âu (Nguồn: dịch vụ đánh giá của Standard and Poor), qua mặt tất cả các nguồn năng lượng khác về tốc độ tăng trưởng.

Đan Mạch hiện đang dẫn đầu thế giới trong lĩnh vực sản xuất và sử dụng điện năng làm từ sức gió. Ngành công nghiệp điện năng từ gió của Đan Mạch tạo công ăn việc làm cho 20.000 người, sản xuất được 3.200 MW trong năm 2003 trên tổng số 8.300MW sản lượng điện từ gió của toàn cầu. Với dân số 5,4 triệu người, Đan Mạch cũng là nước dẫn đầu về tiêu thụ điện năng làm từ gió, với khoảng 21% tổng điện năng được làm từ gió, so với tỉ lệ bình quân trên toàn cầu là 0,5%, (AFP 15-8-2004).

Nếu khai thác triệt để năng lượng gió, một nguồn năng lượng sạch, kinh tế, chúng ta sẽ đáp ứng được nhu cầu tiêu dùng năng lượng ngày một gia tăng, trong khi các nguồn nhiên liệu dầu khí đang ngày càng hiếm.

1.2.5. Dầu thực vật phế thải dùng để chạy xe

Dầu thực vật khi thải bỏ, nếu không được tận dụng sẽ gây lãng phí lớn và gây ô nhiễm môi trường. Để khắc phục tình trạng này, tại Nhật có một công ty tên là Someya Shoten Group ở quận Sumida Tokyo đã tái chế các loại dầu này dùng làm xà phòng, phân bón và dầu VDF (nhiên liệu diesel thực vật). VDF không có các chất thải ôxít lưu huỳnh, còn lượng khói đen thải ra chỉ bằng 1/3 so với các loại dầu truyền thống.

1.2.6. Năng lượng từ tuyết

Hiệp hội nghiên cứu năng lượng thiên nhiên ở Bihai của Nhật đã thành công trong việc ứng dụng tuyết để làm lạnh các kho hàng và điều hòa không khí ở những tòa nhà khi thời tiết nóng bức. Theo dự án này, tuyết được chứa trong các nhà kho để giữ nhiệt độ kho từ 0oC đến 4oC. Đây là mức nhiệt độ lý tưởng dùng để bảo quản nông sản vì vậy mà giảm được chi phí sản xuất và giảm giá thành sản phẩm.

1.2.7. Năng lượng từ sự lên men sinh học

Nguồn năng lượng này được tạo bởi sự lên men sinh học các đồ phế thải sinh hoạt. Theo đó, người ta sẽ phân loại và đưa chúng vào những bể chứa để cho lên men nhằm tạo ra khí metan. Khí đốt này sẽ làm cho động cơ hoạt động từ đó sản sinh ra điện năng. Sau khi quá trình phân hủy hoàn tất, phần còn lại được sử dụng để làm phân bón.

1.2.8. Nguồn năng lượng địa nhiệt.

Đây là nguồn năng lượng nằm sâu dưới lòng những hòn đảo, núi lửa. Nguồn năng lượng này có thể thu được bằng cách hút nước nóng từ hàng nghìn mét sâu dưới lòng đất để chạy turbin điện. Tại Nhật Bản hiện nay có tới 17 nhà máy kiểu này, lớn nhất có nhà máy địa nhiệt Hatchobaru ở

Oita Kyushu, công suất 110.000 kW đủ điện năng cho 3.700 hộ gia đình.

1.2.9. Khí Mêtan hydrate

Khí Mêtan hydrate được coi là nguồn năng lượng tiềm ẩn nằm sâu dưới lòng đất, có màu trắng dạng như nước đá, là thủ phạm gây tắc đường ống dẫn khí và được người ta gọi là “nước đá có thể bốc cháy”. Metan hydrate là một chất kết tinh bao gồm phân tử nước và metan, nó ổn định ở điều kiện nhiệt độ thấp và áp suất cao, phần lớn được tìm thấy bên dưới lớp băng vĩnh cửu và những tầng địa chất sâu bên dưới lòng đại dương và là nguồn nguyên liệu thay thế cho dầu lửa và than đá rất tốt.

1.3 Kết luận chương 1

Trong chương 1 , trình bày tổng quan về tình hình và xu hướng phát triển thực tế của các nguồn năng lượng. Phần tiếp theo, trình bày giải pháp giải quyết vấn đề cạn kiệt năng lượng-năng lượng xanh .

Chương tiếp theo, em trình bày tổng quan về hệ thống sử dụng năng lượng trời .từ đó lựa chọn các phương pháp sử dụng năng lượng mặt trời..Đề xuất hướng ngăn cứu và sử dụng năng lượng mặt trời .

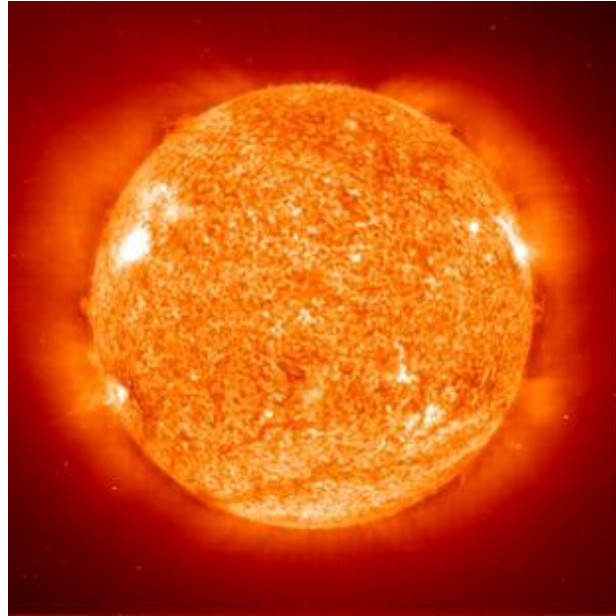
CHƯƠNG 2. TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI

2.1. GIỚI THIỆU CHUNG

2.1.1. Mặt trời - nguồn năng lượng vô tận

Cảm giác cháy da trong những ngày hè nóng bỏng hay cái ẩm áp của những ngày mùa đông nắng tốt như là một lời nhắc nhở đến sự hiện hữu của mặt trời mà lắm lúc ta xem như một tồn tại đương nhiên. Ánh sáng mặt trời là một nguồn năng lượng dồi dào, nhưng khi tính ra con số rất ít người biết đến là mặt trời truyền đến cho ta một năng lượng khổng lồ vượt ra ngoài sự tưởng tượng của mọi người. Trong 10 phút truyền xạ, quả đất nhận một năng lượng khoảng 5×10^{20} J (500 tỷ tỷ Joule), tương đương với lượng tiêu thụ của toàn thể nhân loại trong vòng một năm. Trong 36 giờ truyền xạ, mặt trời cho chúng ta một năng lượng bằng tất cả những giếng dầu của quả đất. Năng lượng mặt trời vì vậy gần như vô tận. Hơn nữa, nó không phát sinh các loại khí nhà kính (greenhouse gas) và khí gây ô nhiễm. Nếu con người biết cách thu hoạch nguồn năng lượng sạch và vô tận này thì có lẽ loài người sẽ mãi mãi sống hạnh phúc trong một thế giới hòa bình không còn chiến tranh vì những cuộc tranh giành quyền lợi trên các giếng dầu.

Mười vấn đề lớn của nhân loại trong vòng 50 năm tới đã được ghi nhận theo thứ tự nghiêm trọng là (1) năng lượng, (2) nước, (3) thực phẩm, (4) môi trường, (5) nghèo đói, (6) khủng bố và chiến tranh, (7) bệnh tật, (8) giáo dục, (9) thực hiện dân chủ và (10) bùng nổ dân số. Năng lượng quả thật là mối quan tâm hàng đầu của nhiều chính phủ trên thế giới. Nguồn năng lượng chính của nhân loại hiện nay là dầu hỏa. Nó quý đến nỗi được người ta cho một biệt hiệu là "vàng đen". Một vài giờ cúp điện hay không có khí đốt cũng đủ làm tê liệt và gây hỗn loạn cho một thành phố. Cuộc sống văn minh của nhân loại không thể tồn tại khi thiếu vắng năng lượng. Theo thống kê, hiện nay hơn 85 % năng lượng được cung cấp từ dầu hỏa và khí đốt. Nhưng việc thu hoạch từ các giếng dầu sẽ đạt đến mức tối đa trong khoảng năm 2010 - 2015, sau đó sẽ đi xuống vì nguồn nhiên liệu sẽ cạn kiệt cùng năm tháng. Người ta cũng tiên đoán nếu dầu hỏa được tiếp tục khai thác với tốc độ hiện nay, kể từ năm 2050 lượng dầu được sản xuất sẽ vô cùng nhỏ và không đủ cung cấp cho nhu cầu toàn thế giới. Như vậy, nguồn năng lượng nào sẽ thay thế cho "vàng đen"? Các nhà khoa học đã và đang tìm kiếm những nguồn năng lượng vô tận, sạch và tái sinh (renewable energy) như: năng lượng từ mặt trời, gió, thủy triều, nước (thủy điện), lòng đất (địa nhiệt) v.v...



Hình 2.1. Mặt trời – nguồn năng lượng vô tận

Trong những nguồn năng lượng này có lẽ năng lượng mặt trời đang được lưu tâm nhiều nhất. Những bộ phim tài liệu gần đây cho thấy ở các vùng hẻo lánh, nghèo khổ tại Ấn Độ hay châu Phi, cư dân tràn ngập hạnh phúc khi có điện mặt trời thấp sáng màn đêm hay được sử dụng các loại nồi năng lượng mặt trời để nấu thức ăn. Dù vậy, cho đến nay con người vẫn chưa đạt được nhiều thành công trong việc chuyển hoá năng lượng mặt trời thành điện năng vì một phần mật độ năng lượng mặt trời quá loãng, một phần phí tổn cho việc tích tụ năng lượng mặt trời còn quá cao. Nếu tính theo mỗi kilowatt-giờ (năng lượng 1 kilowatt được tiêu thụ trong 1 giờ) thì phí tổn thu hoạch năng lượng mặt trời là \$0,30 USD. Trong khi đó năng lượng từ gió là \$0,05 và từ khí đốt thiên nhiên là \$0,03. Một hệ thống chuyển hoá năng lượng mặt trời cung cấp đủ điện năng cho một căn nhà ở bình thường tốn ít nhất \$18000 USD (giá 2005). Chi cần yếu tố tài chính không thôi cũng đủ để làm người tiêu thụ tránh xa việc sử dụng năng lượng mặt trời. Hệ quả là tại những nước tiên tiến như Mỹ điện lực được tạo từ năng lượng mặt trời từ các tế bào quang điện (photovoltaic cell; photo = quang, voltaic = điện) chỉ chiếm 0,02 % [1]. Tuy nhiên, điều đáng mừng là thị trường năng lượng mặt trời toàn cầu trị giá 10 tỷ USD/năm và tăng 30 % hằng năm nhờ vào các kết quả nghiên cứu làm giảm giá tế bào quang điện

2.1.2. Triển vọng phát triển năng lượng mặt trời ở Việt Nam

Pin mặt trời là phương pháp sản xuất điện trực tiếp từ năng lượng mặt trời (NLMT) qua thiết bị biến đổi quang điện. Pin mặt trời (PMT) có ưu điểm là gọn nhẹ, có thể lắp bất kỳ ở đâu có ánh sáng mặt trời, đặc biệt là trong lĩnh vực tàu vũ trụ. Ứng dụng NLMT dưới dạng này được phát triển với tốc độ rất nhanh, nhất là ở các nước phát triển. Ngày nay ứng dụng NLMT để chạy xe thay thế dần nguồn năng lượng truyền thống.

Tuy nhiên giá thành thiết bị pin mặt trời còn khá cao, trung bình hiện nay khoảng 5 - 10 USD/Wp, nên ở những nước đang phát triển, pin mặt trời hiện mới chỉ có khả năng duy nhất là

cung cấp năng lượng điện sử dụng cho các vùng sâu, vùng xa, nơi đường điện quốc gia chưa có.

Ở Việt Nam, với sự hỗ trợ của nhà nước (các bộ, ngành) và một số tổ chức quốc tế đã thực hiện thành công việc xây dựng các trạm pin mặt trời có công suất khác nhau phục vụ nhu cầu sinh hoạt và văn hóa của các địa phương vùng sâu, vùng xa, các công trình nằm trong khu vực không có lưới điện. Tuy nhiên hiện nay pin mặt trời vẫn đang còn là món hàng xa xỉ đối với các nước nghèo như chúng ta.

Đi đầu trong việc phát triển ứng dụng này là ngành bưu chính viễn thông. Các trạm pin mặt trời phát điện sử dụng làm nguồn cấp điện cho các thiết bị thu phát sóng của các bưu điện lớn, trạm thu phát truyền hình thông qua vệ tinh. Ở ngành bảo đảm hàng hải, các trạm pin mặt trời phát điện sử dụng làm nguồn cấp điện cho các thiết bị chiếu sáng, cột hải đăng, đèn báo sóng. Trong ngành công nghiệp, các trạm pin mặt trời phát điện sử dụng làm nguồn cấp điện dự phòng cho các thiết bị điều khiển trạm biến áp 500 kV, thiết bị máy tính và sử dụng làm nguồn cấp điện nối với điện lưới quốc gia. Trong sinh hoạt của các hộ gia đình vùng sâu, vùng xa, các trạm pin mặt trời phát điện sử dụng để thắp sáng, nghe đài, xem vô tuyến. Trong ngành giao thông đường bộ, các trạm pin mặt trời phát điện dần được sử dụng làm nguồn cấp điện cho các cột đèn đường chiếu sáng.

- Dự án phát điện lai ghép giữa PMT và động cơ gió phát điện với công suất là 9 kW, trong đó PMT là 7 kW. Dự án trên được lắp đặt tại làng Kongu 2, huyện Đak Hà, tỉnh Kon Tum, do Viện Năng lượng thực hiện. Công trình đã được đưa vào sử dụng từ tháng 11/2000, cung cấp điện cho một bản người dân tộc thiểu số với 42 hộ gia đình. Hệ thống điện do sở Công thương tỉnh quản lý và vận hành.

- Các dàn pin đã lắp đặt ứng dụng tại các tỉnh Gia Lai, Quảng Nam, Bình Định, Quảng Ngãi và Khánh Hoà, hộ gia đình công suất từ 40 - 50 Wp. Các dàn đã lắp đặt ứng dụng cho các trung tâm cụm xã và các trạm y tế xã có công suất từ 200 - 800 Wp. Hệ thống điện sử dụng chủ yếu để thắp và truyền thông; đối tượng phục vụ là người dân, do dân quản lý và vận hành. Ở khu vực phía Bắc, việc ứng dụng các dàn PMT phát triển với tốc độ khá nhanh, phục vụ các hộ gia đình ở các vùng núi cao, hải đảo và cho các trạm biên phòng. Công suất của dàn pin dùng cho hộ gia đình từ 40 - 75 Wp. Các dàn dùng cho các trạm biên phòng, nơi hải đảo có công suất từ 165 - 300 Wp. Các dàn dùng cho trạm xá và các cụm văn hoá thôn, xã là 165 - 525 Wp.

- Dự án PMT cho đơn vị bộ đội tại các đảo vùng Đông Bắc. Tổng công suất lắp đặt khoảng 20 kWp. Dự án trên do Viện Năng lượng và Trung tâm Năng lượng mới Trường đại học Bách khoa Hà Nội thực hiện. Hệ thống điện sử dụng chủ yếu để thắp sáng và truyền thông, đối tượng phục vụ là bộ đội, do đơn vị quản lý và vận hành.

- Dự án PMT cho các cơ quan hành chính và một số hộ dân của huyện đảo Cô Tô. Tổng công suất lắp đặt là 15 kWp. Dự án trên do Viện Năng lượng thực hiện. Công trình đã vận hành từ tháng 12/2001.

2.3. MỘT SỐ HỆ THỐNG SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI TRONG THỰC TẾ

Năng lượng mặt trời là nguồn năng lượng mà con người biết sử dụng từ rất sớm, nhưng ứng dụng NLMT vào các công nghệ sản xuất và trên quy mô rộng thì mới chỉ thực sự vào cuối thế kỷ 18 và cũng chủ yếu ở những nước nhiều năng lượng mặt trời, những vùng sa mạc. Từ sau các cuộc khủng hoảng năng lượng thế giới năm 1968 và 1973, NLMT càng được đặc biệt quan tâm. Các nước công nghiệp phát triển đã đi tiên phong trong việc nghiên cứu ứng dụng NLMT. Các ứng dụng NLMT phổ biến hiện nay bao gồm các lĩnh vực chủ yếu sau:

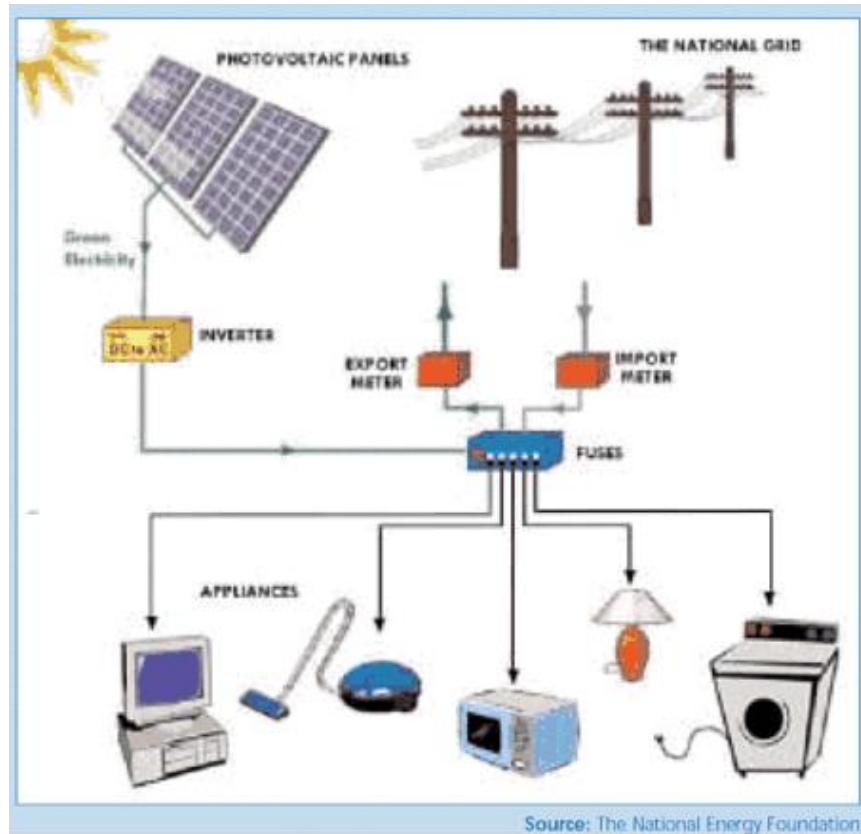
2.3.1. Pin mặt trời



Hình 2.2. Thiết bị sản xuất điện từ năng lượng mặt trời đơn giản

Pin mặt trời là phương pháp sản xuất điện trực tiếp từ NLMT qua thiết bị biến đổi quang điện. Pin mặt trời có ưu điểm là gọn nhẹ có thể lắp bất kỳ ở đâu có ánh sáng mặt trời, đặc biệt là trong lĩnh vực tàu vũ trụ. Ứng dụng NLMT dưới dạng này được phát triển với tốc độ rất nhanh, nhất là ở các nước phát triển. Ngày nay con người đã ứng dụng pin NLMT để chạy xe thay thế dần nguồn năng lượng truyền thống.

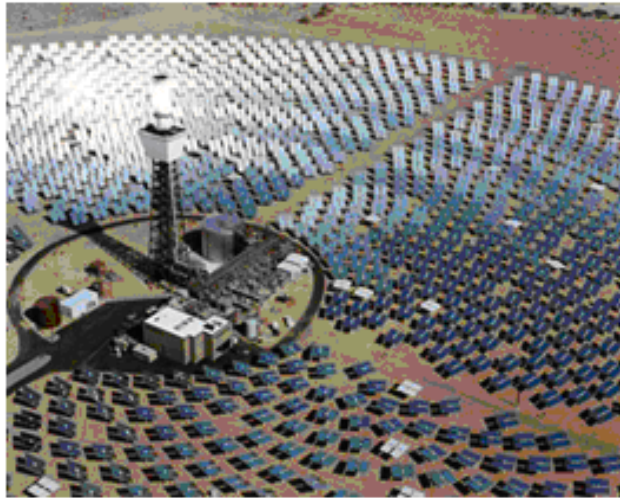
Tuy nhiên giá thành thiết bị pin mặt trời còn khá cao, trung bình hiện nay khoảng 5USD/WP, nên ở những nước đang phát triển pin mặt trời hiện mới chỉ có khả năng duy nhất là cung cấp năng lượng điện sử dụng cho các vùng sâu, xa nơi mà đường điện quốc gia chưa có.



Hình 2.3. Hệ thống cung cấp điện sử dụng năng lượng mặt trời trong hộ gia đình

Ở Việt Nam, với sự hỗ trợ của một số tổ chức quốc tế đã thực hiện thành công việc xây dựng các trạm pin mặt trời có công suất khác nhau phục vụ nhu cầu sinh hoạt và văn hoá của các địa phương vùng sâu, vùng xa, nhất là đồng bằng sông Cửu Long và Tây Nguyên. Tuy nhiên hiện nay pin mặt trời vẫn đang còn là món hàng xa xỉ đối với các nước nghèo như chúng ta.

2.3.2 Nhà máy nhiệt điện sử dụng năng lượng mặt trời



Hình 2.4. Nhà máy nhiệt điện sử dụng năng lượng mặt trời

Điện năng còn có thể tạo ra từ NLMT dựa trên nguyên tắc tạo nhiệt độ cao bằng một hệ thống gương phản chiếu và hội tụ để gia nhiệt cho môi chất làm việc truyền động cho máy phát điện.

Hiện nay trong các nhà máy nhiệt điện sử dụng NLMT có các loại hệ thống bộ thu chủ yếu sau đây:

Hệ thống dùng parabol trụ để tập trung tia bức xạ mặt trời vào một ống môi chất đặt dọc theo đường hội tụ của bộ thu, nhiệt độ có thể đạt tới 400oC.

Hệ thống nhận nhiệt trung tâm bằng cách sử dụng các gương phản xạ có định vị theo phương mặt trời để tập trung NLMT đến bộ thu đặt trên đỉnh tháp cao, nhiệt độ có thể đạt tới trên 1500oC.



Hình 2.5. Tháp năng lượng Mặt trời

Hệ thống sử dụng gương parabol tròn xoay định vị theo phương mặt trời để tập trung NLMT vào một bộ thu đặt ở tiêu điểm của gương, nhiệt độ có thể đạt trên 1500oC.

Hiện nay người ta còn dùng năng lượng mặt trời để phát điện theo kiểu “ tháp năng lượng mặt trời - Solar power tower “. Australia đang tiến hành dự án xây dựng một tháp năng lượng mặt trời cao 1km với 32 tuốc bin khí có tổng công suất 200 MW. Dự tính rằng đến năm 2006 tháp năng lượng mặt trời này sẽ cung cấp điện mỗi năm 650GWh cho 200.000 hộ gia đình ở miền tây nam New South Wales - Australia, và sẽ giảm được 700.000 tấn khí gây hiệu ứng nhà kính trong mỗi năm.

2.3.3.Thiết bị sấy bằng năng lượng mặt trời



Hình 2.6. Thiết bị sấy khô dùng năng lượng mặt trời

Hiện nay NLMT được ứng dụng khá phổ biến trong lĩnh nông nghiệp để sấy các sản phẩm như ngũ cốc, thực phẩm ... nhằm giảm tỷ lệ hao hụt và tăng chất lượng sản phẩm. Ngoài mục đích để sấy các loại nông sản, NLMT còn được dùng để sấy các loại vật liệu như gỗ.

Thực hiện đề tài nghiên cứu cấp bộ (Mã số B19-19), ThS. Hoàng Trí (Khoa Chế tạo máy, ĐH Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM) nghiên cứu và chế tạo thành công thiết bị sấy nhân dùng năng lượng mặt trời.

So với sấy bằng than đá (680.000 đ/tấn), than bùn (412.000 đ/tấn) thì đầu tư sấy bằng năng lượng mặt trời rẻ hơn rất nhiều, khoảng trên 33.000 đ/tấn sản phẩm (tính theo giá trị đầu tư của máy khấu hao trong thời gian 20 năm). Thời gian sấy mẻ 1 tấn nhân khoảng 48 - 72 giờ, cho ra sản phẩm sạch, phẩm chất cao, khắc phục những hạn chế do sấy bằng các nguồn năng lượng khác, không gây ô nhiễm môi trường và không tốn nhiều chi phí vận chuyển nhiên liệu.

Sử dụng được 20 năm, thiết bị có chế độ sấy gián tiếp phòng những ngày không mưa, dễ sử dụng.Ngoài ra, thiết bị này còn sấy được các nông sản, thủy sản khác ngoài nhân.

2.3.4.Bếp nấu dùng năng lượng mặt trời

Bếp năng lượng mặt trời được ứng dụng rất rộng rãi ở các nước nhiều NLMT như các nước ở Châu Phi.



Hình 2.7. Triển khai bếp nấu cơm bằng NLMT

Ở Việt Nam việc bếp năng lượng mặt trời cũng đã được sử dụng khá phổ biến. Năm 2000, Trung tâm Nghiên cứu thiết bị áp lực và năng lượng mới - Đại học Đà Nẵng đã phối hợp với các tổ chức từ thiện Hà Lan triển khai dự án (30 000 USD) đưa bếp năng lượng mặt trời - bếp tiện lợi (BTL) vào sử dụng ở các vùng nông thôn của tỉnh Quảng Nam, Quảng Ngãi, dự án đã phát triển rất tốt và ngày càng được đông đảo nhân dân ủng hộ. Trong năm 2002, Trung tâm dự kiến sẽ đưa 750 BTL vào sử dụng ở các xã huyện Núi Thành và triển khai ứng dụng ở các khu ngư dân ven biển để họ có thể nấu nước, cơm và thức ăn khi ra khơi bằng NLMT .

2.3.5. Thiết bị chưng cất nước dùng NLMT



Hình 2.8. Thiết bị chưng cất nước dùng NLMT

Thiết bị chưng cất nước thường có 2 loại: loại nắp kính phẳng có chi phí cao (khoảng 23 USD/m²), tuổi thọ khoảng 30 năm, và loại nắp plastic có chi phí rẻ hơn nhưng hiệu quả chưng cất kém hơn.

Ở Việt Nam đã có đề tài nghiên cứu triển khai ứng dụng thiết bị chưng cất nước NLMT dùng để chưng cất nước ngọt từ nước biển và cung cấp nước sạch dùng cho sinh hoạt ở những

vùng có nguồn nước ô nhiễm với thiết bị chưng cất nước NLMT có gương phản xạ đạt được hiệu suất cao tại khoa Công nghệ Nhiệt Điện lạnh-Trường Đại học Bách khoa Đà Nẵng.

2.2.6. Ứng dụng NLMT để chạy các động cơ nhiệt - động cơ Stirling



Hình 2.9. Động cơ Stirling dùng NLMT

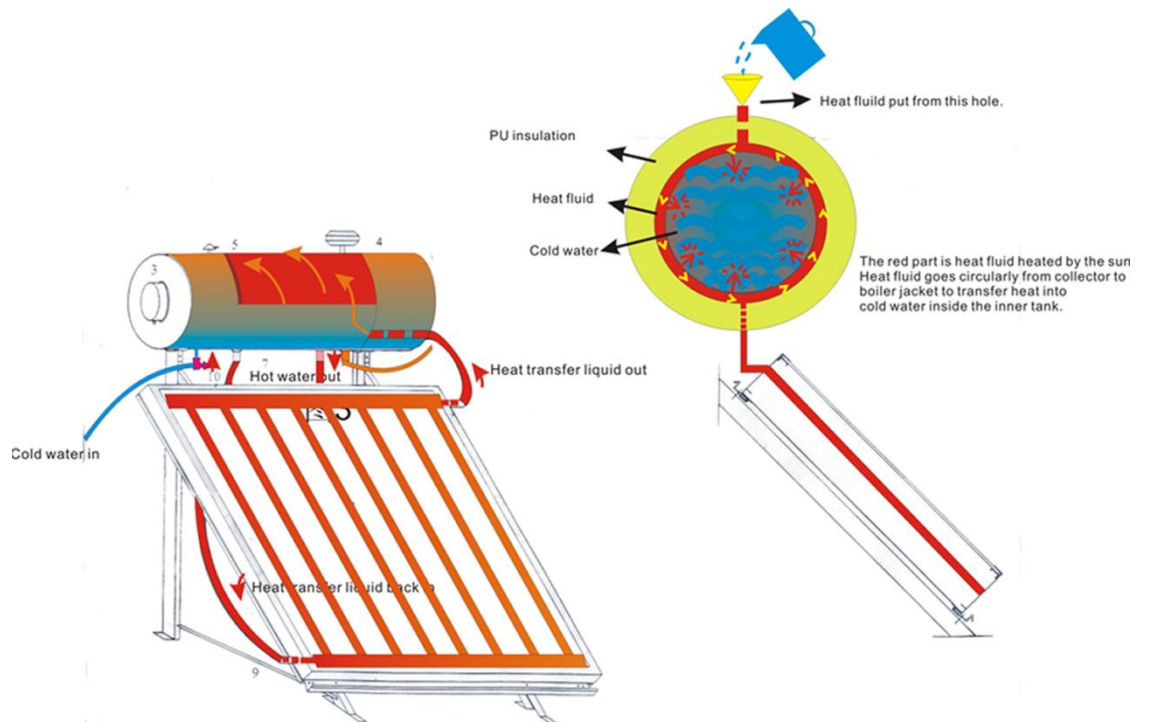
Ứng dụng NLMT để chạy các động cơ nhiệt - động cơ Stirling ngày càng được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi dùng để bơm nước sinh hoạt hay tưới cây ở các nông trại. Ở Việt Nam động cơ Stirling chạy bằng NLMT cũng đã được nghiên cứu chế tạo để triển khai ứng dụng vào thực tế. Như động cơ Stirling, bơm nước dùng năng lượng mặt trời.



Hình 2.10. Bơm nước chạy bằng NLMT

2.2.7. Thiết bị đun nước nóng bằng NLMT

Ứng dụng đơn giản, phổ biến và hiệu quả nhất hiện nay của NLMT là dùng để đun nước nóng. Các hệ thống nước nóng dùng NLMT đã được dùng rộng rãi ở nhiều nước trên thế giới.



Hình 2.11. Hệ thống cung cấp nước nóng dùng NLMT

Theo sơ đồ mô phỏng trên, bức xạ mặt trời chiếu vào tấm hấp thu năng lượng mặt trời sẽ chuyển hóa làm nóng dung dịch truyền nhiệt nằm sẵn trong hệ thống các ống dẫn bằng đồng nguyên chất của tấm hấp thụ. Dung dịch này sẽ luân chuyển tuần hoàn lên trên và đi vào lõi bình chứa dung dịch truyền nhiệt (màu đỏ trong sơ đồ) làm nhiệt độ của dung dịch truyền nhiệt tăng lên cao nhanh chóng. Đến lượt mình, dung dịch truyền nhiệt sẽ truyền toàn bộ nhiệt lượng hấp thu được từ mặt trời sang nước lạnh chứa ở lõi bình trong cùng (màu xanh trong sơ đồ) làm nước nóng lên. Nước nóng nằm ở lõi bình trong cùng này sẽ được sử dụng để phục vụ nhu cầu sinh hoạt.



Hình 2.12. Thiết bị nước nóng sử dụng năng lượng mặt trời

Ở Việt Nam hệ thống cung cấp nước nóng bằng NLMT đã và đang được ứng dụng rộng rãi

ở Hà Nội, Thành phố HCM và Đà Nẵng. Các hệ thống này đã tiết kiệm cho người sử dụng một lượng đáng kể về năng lượng, góp phần rất lớn trong việc thực hiện chương trình tiết kiệm năng lượng của nước ta và bảo vệ môi trường chung của nhân loại.

Hệ thống cung cấp nước nóng dùng NLMT hiện nay ở Việt nam cũng như trên thế giới chủ yếu dùng bộ thu cố định kiểu tấm phẳng hoặc dây ống có cánh nhận nhiệt, với nhiệt độ nước sử dụng 60°C thì hiệu suất của bộ thu khoảng 45%, còn nếu sử dụng ở nhiệt độ cao hơn thì hiệu suất còn thấp.

2.2.8. Thiết bị làm lạnh và điều hoà không khí dùng NLMT

Trong số những ứng dụng của NLMT thì làm lạnh và điều hoà không khí là ứng dụng hấp dẫn nhất vì nơi nào khí hậu nóng nhất thì nơi đó có nhu cầu về làm lạnh lớn nhất, đặc biệt là ở những vùng xa xôi hẻo lánh thuộc các nước đang phát triển không có lưới điện quốc gia và giá nhiên liệu quá đắt so với thu nhập trung bình của người dân. Với các máy lạnh làm việc trên nguyên lý biến đổi NLMT thành điện năng nhờ pin mặt trời (photovoltaic) là thuận tiện nhất, nhưng trong giai đoạn hiện nay giá thành pin mặt trời còn quá cao. Ngoài ra các hệ thống lạnh còn được sử dụng NLMT dưới dạng nhiệt năng để chạy máy lạnh hấp thụ, loại thiết bị này ngày càng được ứng dụng nhiều trong thực tế, tuy nhiên hiện nay các hệ thống này vẫn chưa được thương mại hóa và sử dụng rộng rãi vì giá thành còn rất cao và hơn nữa các bộ thu dùng trong các hệ thống này chủ yếu là bộ thu phẳng với hiệu suất còn thấp (dưới 45%) nên diện tích lắp đặt bộ thu cần rất lớn chưa phù hợp với yêu cầu thực tế. Ở Việt Nam cũng đã có một số nhà khoa học nghiên cứu tối ưu hoá bộ thu năng lượng mặt trời kiểu hộp phẳng mỏng cố định có gương phản xạ để ứng dụng trong kỹ thuật lạnh, với loại bộ thu này có thể tạo được nhiệt độ cao để cấp nhiệt cho máy lạnh hấp thụ, nhưng diện tích mặt bằng cần lắp đặt hệ thống cần phải rộng.



Hình 2.13. Hệ thống lạnh hấp thụ dùng NLMT



Hình 2.14. Dàn ngưng bằng năng lượng mặt trời

2.3. HƯỚNG NGHIÊN CỨU VÀ SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI

Trong thời đại khoa học kỹ thuật phát triển, nhu cầu về năng lượng ngày càng tăng. Trong khi đó các nguồn nhiên liệu dự trữ như than đá, dầu mỏ, khí thiên nhiên và ngay cả thủy điện thì có hạn khiến cho nhân loại đứng trước nguy cơ thiếu hụt năng lượng. Việc tìm kiếm và khai thác các nguồn năng lượng mới như năng lượng hạt nhân, năng lượng địa nhiệt, năng lượng gió và năng lượng mặt trời là một trong những hướng quan trọng trong kế hoạch phát triển năng lượng, không những đối với những nước phát triển mà ngay cả với những nước đang phát triển.

Năng lượng mặt trời (NLMT)- nguồn năng lượng sạch và tiềm tàng nhất - đang được loài người thực sự đặc biệt quan tâm. Do đó việc nghiên cứu nâng cao hiệu quả các thiết bị sử dụng năng lượng mặt trời và triển khai ứng dụng chúng vào thực tế là vấn đề có tính thời sự.

Việt Nam là nước có tiềm năng về NLMT, trải dài từ vĩ độ 8° Bắc đến 23° Bắc, nằm trong khu vực có cường độ bức xạ mặt trời tương đối cao, với

trị số tổng xạ khá lớn từ 100-175 kcal/cm².năm (4,2 -7,3GJ/m².năm) do đó việc sử dụng NLMT ở nước ta sẽ đem lại hiệu quả kinh tế lớn. Thiết bị sử dụng năng lượng mặt trời ở Việt Nam hiện nay chủ yếu là hệ thống cung cấp điện dùng pin mặt trời, hệ thống nấu cơm có gương phản xạ và đặc biệt là hệ thống cung cấp nước nóng kiểu tấm phẳng hay kiểu ống có cánh nhận nhiệt. Nhưng nhìn chung các thiết bị này giá thành còn cao, hiệu suất còn thấp nên chưa được người dân sử dụng rộng rãi. Hơn nữa, do đặc điểm phân tán và sự phụ thuộc vào các mùa trong năm của NLMT, ví dụ: mùa đông thì cần nước nóng nhưng NLMT ít, còn mùa hè không cần nước nóng thì nhiều NLMT do đó các thiết bị sử dụng NLMT chưa có tính thuyết phục. Sự mâu thuẫn đó đòi hỏi chúng ta cần chuyển hướng nghiên cứu dùng NLMT vào các mục đích khác thiết thực hơn như: chưng cất nước dùng NLMT, dùng NLMT chạy các động cơ nhiệt (động cơ Stirling), nghiên cứu hệ thống điều hòa không khí dùng NLMT... Hệ thống lạnh hấp thụ sử dụng NLMT là một đề tài hấp dẫn có tính thời sự đã và đang được nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước nghiên cứu,

nhưng vấn đề sử dụng bộ thu NLMT nào cho hiệu quả và thực tế nhất thì vẫn còn là một đề tài cần phải nghiên cứu, vì với các bộ thu kiểu tấm phẳng hiện nay 100°C thì hiệu suất rất thấp (+nếu sử dụng ở nhiệt độ cao 80 <45%) do đó cần có một mặt bằng rất lớn để lắp đặt bộ thu cho một hệ thống điều hòa không khí bình thường.

Vấn đề sử dụng NLMT đã được các nhà khoa học trên thế giới và trong nước quan tâm. Mặc dù tiềm năng của NLMT rất lớn, nhưng tỷ trọng năng lượng được sản xuất từ NLMT trong tổng năng lượng tiêu thụ của thế giới vẫn còn khiêm tốn. Nguyên nhân chính là chưa thể thương mại hóa các thiết bị và công nghệ sử dụng NLMT là do còn tồn tại một số hạn chế lớn chưa được giải quyết

- Giá thành thiết bị còn cao: vì hầu hết các nước đang phát triển và kém phát triển là những nước có tiềm năng rất lớn về NLMT nhưng để nghiên cứu và ứng dụng NLMT lại đòi hỏi vốn đầu tư rất lớn, nhất là để nghiên cứu các thiết bị làm lạnh và điều hòa không khí bằng NLMT cần chi phí quá cao so với thu nhập của người dân ở các nước nghèo.

- Hiệu suất thiết bị còn thấp: nhất là các bộ thu năng lượng mặt trời dùng để cấp nhiệt cho máy lạnh hấp thụ cần nhiệt độ cao trên 850C thì các bộ thu phẳng đặt cố định bình thường có hiệu suất rất thấp, do đó thiết bị lắp đặt còn cồng kềnh chưa phù hợp với nhu cầu lắp đặt và về mặt thẩm mỹ. Các bộ thu có gương parabolic hay máng parabolic trụ phản xạ bình thường thì thu được nhiệt độ cao nhưng vấn đề định vị hướng hứng nắng theo phương mặt trời rất phức tạp nên không thuận lợi cho việc vận hành.

- Việc triển khai ứng dụng thực tế còn hạn chế: về mặt lý thuyết, NLMT là một nguồn năng lượng sạch, rẻ tiền và tiềm tàng, nếu sử dụng nó hợp lý sẽ mang lại lợi ích kinh tế và môi trường rất lớn. Việc nghiên cứu về lý thuyết đã tương đối hoàn chỉnh. Song trong điều kiện thực tiễn, các thiết bị sử dụng NLMT lại có quá trình làm việc không ổn định và không liên tục, hoàn toàn biến động theo thời tiết, vì vậy rất khó ứng dụng ở quy mô công nghiệp. Đặc biệt là trong kỹ thuật lạnh và điều tiết không khí, vấn đề nghiên cứu đưa ra bộ thu năng lượng mặt trời để cấp nhiệt cho chu trình máy lạnh hấp thụ đã và đang được nhiều nhà khoa học quan tâm nhằm đưa ra bộ thu hoàn thiện và phù hợp nhất để có thể triển khai ứng dụng rộng rãi vào thực tế.

2.4: Kết Luận chương 2

Chương 2 đã giới thiệu tổng quan về hệ thống sử dụng năng lượng mặt trời. Phần đầu giới thiệu tổng quan về mặt trời-nguồn năng lượng vô hạn và triển vọng năng lượng mặt trời ở Việt Nam. Phần tiếp giới thiệu một số hệ thống sử dụng năng lượng mặt trời trong thực tế.

Một số hệ thống sử dụng năng lượng mặt trời như : Pin mặt trời, nhà máy nhiệt điện sử dụng năng lượng mặt trời, thiết bị sấy bằng năng lượng mặt trời ,thiết bị chưng cất nước dùng năng lượng mặt trời,... đã cho thấy sự phát triển mạnh mẽ của điện năng lượng mặt trời đã được áp dụng trong đời sống thực tế.

CHƯƠNG 3.

CẤU TRÚC BIẾN TẦN QUANG ĐIỆN

3.1 Giới thiệu

Biến tần PV là yếu tố quan trọng của hệ thống điện PV nối lưới. Chức năng chính là chuyển đổi nguồn điện một chiều do các tấm PV tạo ra thành nguồn điện xoay chiều đồng bộ hóa lưới. Tùy thuộc vào cấu hình nhà máy điện PV, bộ biến tần PV có thể được phân loại như sau:

Bộ biến tần tích hợp mô-đun, thường trong dải 50–400 W cho các nhà máy PV rất nhỏ (một bảng điều khiển).

Biến tần chuỗi, thường trong khoảng 0,4–2 kW cho các nhà máy nhỏ trên mái nhà có bảng điều khiển được kết nối trong một chuỗi.

Biến tần đa chuỗi, thường trong khoảng 1,5–6 kW cho các nhà máy trên mái lớn vừa với bảng được cấu hình trong một đến hai chuỗi.

Biến tần trung tâm mini, thường > 6 kW với cấu trúc liên kết ba pha và thiết kế mô-đun cho các nhà máy điện trên mái lớn hơn hoặc các nhà máy điện nhỏ hơn trong khoảng 100 kW và kích thước đơn vị điển hình là 6,8, 10 và 15 kW.

Biến tần trung tâm, thường trong dải 100–1000 kW với cấu trúc liên kết ba pha và mô-đun thiết kế cho các nhà máy điện lớn có công suất đến phần mười MW và kích thước tổ máy điển hình là 100, 150, 250, 500 và 1000 kW.

Trong lịch sử, các nhà máy PV nối lưới đầu tiên đã được giới thiệu vào những năm 1980 dưới dạng bộ biến tần trung tâm dựa trên thyristor. Biến tần PV dựa trên bóng bán dẫn được sản xuất loạt đầu tiên là PV-WR trong 1990 bởi SMA [1]. Kể từ giữa những năm 1990, công nghệ IGBT và MOSFET đã được mở rộng được sử dụng cho tất cả các loại biến tần PV ngoại trừ loại tích hợp mô-đun, trong đó công nghệ MOSFET đang thống trị.

Do chi phí năng lượng mặt trời cao, công nghệ biến tần PV đã được thúc đẩy chủ yếu bằng hiệu quả. Do đó có thể thấy sự đa dạng rất lớn của cấu trúc biến tần PV trên thị trường.

So với bộ biến tần truyền động động cơ, bộ biến tần PV phức tạp hơn ở cả hai phần cứng và chức năng. Do đó, nhu cầu tăng điện áp đầu vào, hòa lưới bộ lọc, role ngắt kết nối lưới và công tắc DC là những khía cạnh quan trọng nhất chịu trách nhiệm về tăng độ phức tạp của phần cứng. Theo dõi điểm công suất tối đa, chống đảo, đồng bộ hóa lưới điện và bộ ghi dữ liệu là những chức năng điển hình được yêu cầu đối với bộ biến tần PV.

Trên thực tế, trái ngược với ngành công nghiệp truyền động điện, có tuổi đời 20 năm và chi phí nơi mà cấu trúc liên kết toàn cầu được thừa nhận trên toàn thế giới, các cấu trúc liên kết sáng tạo mới có gần đây đã được phát triển cho biến tần PV với mục đích chính là tăng hiệu quả và giảm chi phí sản xuất. Vì tuổi thọ của tấm PV thường dài hơn 20 năm, những nỗ lực để tăng tuổi thọ của biến tần PV cũng đang được tiến hành. Hôm nay, một số các nhà sản xuất đang cung cấp dịch vụ mở rộng trong 20 năm.

Phương pháp đầu tiên được sử dụng để tăng hiệu quả là loại bỏ sự cô lập điện thường được cung cấp bởi các máy biến áp tần số cao trong bộ chuyển đổi tăng cường DC – DC hoặc bởi một biến áp tần số thấp trên đầu ra. Do đó, mức tăng hiệu suất điển hình từ 1–2% có thể thu được.

Vì các tấm PV thường được xây dựng theo cấu trúc bánh sandwich bao gồm thủy tinh, silicon bán nguyệt cuộn dẫn và bảng nối đa năng được đóng khung bằng khung kim loại nối đất, xuất hiện điện dung trái đất, tạo đường dẫn cho dòng điện rò rỉ. Điều này có thể ảnh hưởng đến an toàn cá nhân, thường là dựa trên một hệ thống giám sát dòng điện rò rỉ như một dấu hiệu của lỗi, đặc biệt trong các ứng dụng dân dụng. Điện dung này có thể thay đổi rất nhiều, tùy thuộc vào cấu trúc hoặc điều kiện thời tiết và trong tài liệu tham khảo [2] các giá trị điển hình của 10 nF / kW cho PV được đo bằng cách sử dụng toàn cầu với điều chế đơn cực như một nguồn điện áp chế độ chung nổi tiếng dẫn đến dòng điện rò rỉ.

Thật không may, cấu trúc không máy biến áp đòi hỏi các giải pháp phức tạp hơn, điển hình là dẫn đến cấu trúc liên kết mới để giữ dòng điện rò rỉ và dòng điện DC dưới sự kiểm soát để tuân thủ các vấn đề an toàn.

Một vấn đề thiết kế quan trọng khác đang thúc đẩy sự phát triển của các cấu trúc liên kết mới là khả năng thể hiện hiệu quả cao cũng ở tải từng phần, tức là trong thời gian giảm mức độ chiếu xạ. Trên thực tế, hiệu quả có trọng số được gọi là "Hiệu quả châu Âu" đã được định nghĩa có tính đến các giai đoạn cho các mức độ chiếu xạ khác nhau trên khắp Châu Âu.

Ngày nay có nhiều nhà sản xuất biến tần PV trên thị trường, chẳng hạn như SMA, Sunways, Conergy, Ingeteam, Danfoss Solar, Refu, v.v., cung cấp nhiều loại PV không biến áp

Biến tần với hiệu suất rất cao của Châu Âu (> 97%) và hiệu suất tối đa lên đến 98%.

Sự phát triển cấu trúc liên kết cho biến tần PV không biến áp đã và đang bắt đầu chỉ trong hai họ trình chuyển đổi 'đã được chứng minh tốt': Cầu chữ H. Điểm trung tính bị kẹp (NPC).

Mục đích của chương này là giải thích một số PV không máy biến áp thực tế có liên quan nhất các cấu trúc biến tần như là dẫn xuất của các họ chính này. Mức độ đa dạng cao như một số cấu trúc yêu cầu bộ chuyển đổi DC – DC tăng cường có hoặc không có cách ly. Những bộ chuyển đổi tăng cường này đều được biết đến và sẽ không được mô tả chi tiết. Một số biến tần tăng áp kết hợp điển hình cấu trúc được trình bày ở cuối chương này.

Đối với bộ biến tần tích hợp mô-đun, do mức công suất thấp nên rất nhiều loại mới cấu trúc liên kết được báo cáo, nhưng do thị phần thực tế của loại biến tần này rất thấp nên chúng không được khám phá trong chương này.

2.2 Các cấu trúc biến tần bắt nguồn từ cấu trúc liên kết cầu H

Bộ chuyển đổi H-bridge hoặc full-bridge (FB), được phát triển lần đầu tiên bởi W. McMurray vào năm 1965[3], là một tài liệu tham khảo quan trọng trong sự phát triển công nghệ chuyển đổi điện tử công suất

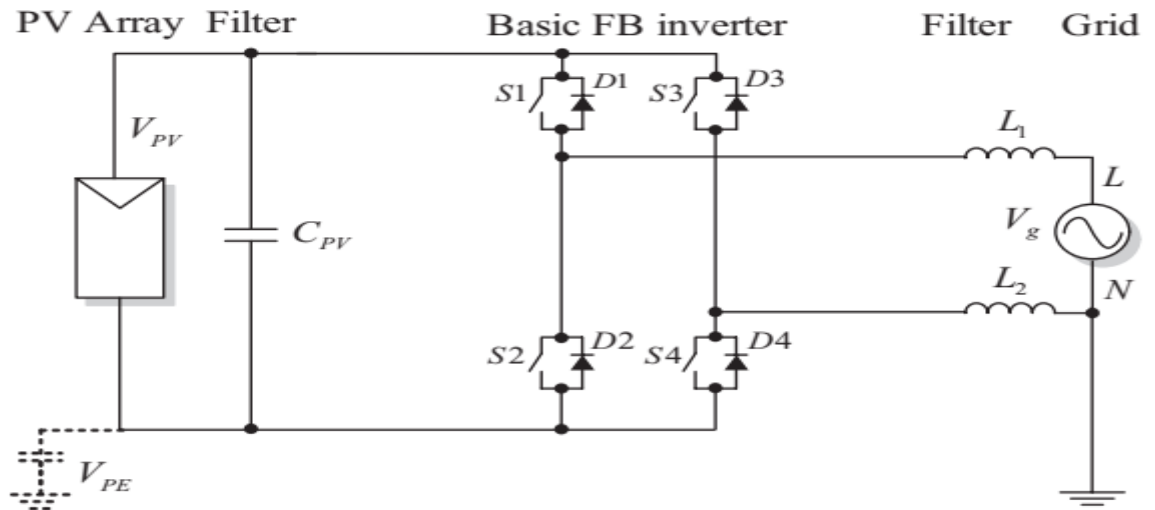


Figure 3.1 Basic FB Inverter

Đây là cấu trúc đầu tiên có thể tận dụng lợi thế của một bán giảm chẵn có sẵn đầu tiên các thiết bị dẫn điện (thyristor). Cấu trúc liên kết cầu H rất linh hoạt, có thể được sử dụng cho cả chuyển đổi DC – DC và DC – AC và cũng có thể được thực hiện ở dạng FB (với hai chuyển đổi chân) hoặc ở dạng nửa cầu (có một chân chuyển đổi).

3.1.1 Biến tần toàn cầu cơ bản

Cấu trúc liên kết biến tần PV thực tế dựa trên biến tần toàn cầu (FB) được thể hiện trong Hình 3.1. Ba chiến lược điều chế chính có thể được sử dụng:

Điều chế lưỡng cực (BP).

Điều chế đơn cực (UP).

Điều chế lai.

Trong trường hợp điều chế lưỡng cực (BP), các công tắc được chuyển theo đường chéo, tức là S1 đồng bộ với S4 và S3 với S2. Do đó điện áp xoay chiều có thể được tạo ra như trong Hình 3.2 (a) và (b) đối với dòng đầu ra dương và âm tương ứng

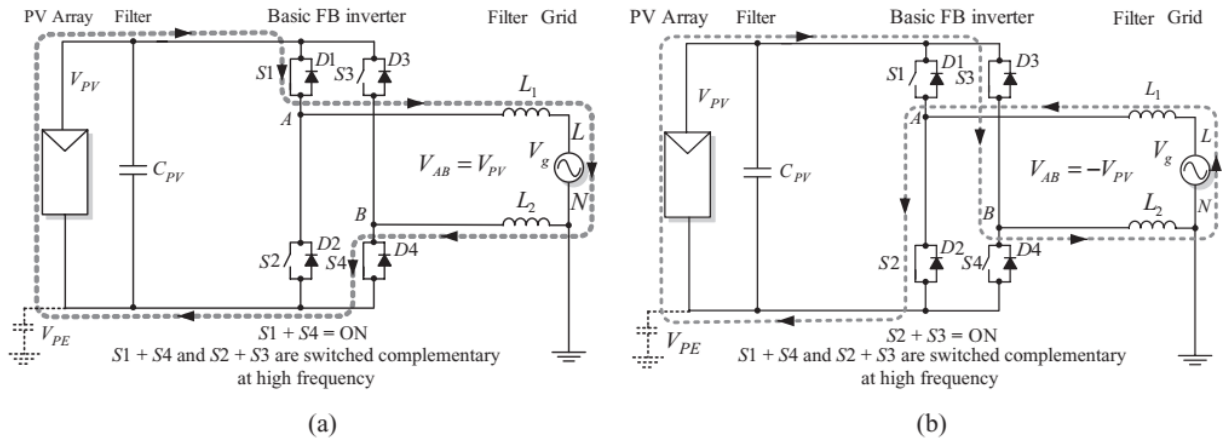


Figure 3.2 FB with BP modulation strategy in the case of: (a) positive output current and (b) negative output current

Các tính năng chính của bộ chuyển đổi này là:

Chân A và chân B được chuyển đổi đồng bộ theo đường chéo ($S1 = S3$ và $S2 = S4$) với tần số cao và tham chiếu hình sin giống nhau.

Không có trạng thái điện áp đầu ra bằng không là có thể.

Ưu điểm:

VPE chỉ có thành phần tần số lưới và không có thành phần tần số chuyển mạch, mang lại dòng điện rò rỉ và EMI rất thấp.

Hạn chế:

Ripple chuyển mạch trong dòng điện bằng $1 \times$ tần số chuyển mạch, mang lại khả năng lọc cao hơn yêu cầu (không tăng tần số giả tạo trong đầu ra!).

Sự biến đổi điện áp qua bộ lọc là lưỡng cực ($+VPV \rightarrow -VPV \rightarrow +VPV$), mang lại năng suất cao tổn thất cốt lõi.

Hiệu suất thấp hơn đến 96,5% là do trao đổi công suất phản kháng giữa $L1$ (2) và CPV trong quá trình quay tự do và tổn thất lõi cao trong bộ lọc đầu ra, do thực tế là hai công tắc được chuyển đổi đồng thời mỗi giai đoạn chuyển đổi.

Nhận xét:

Mặc dù dòng điện rò rỉ thấp nhưng FB với điều chế BP không thích hợp để sử dụng trong các ứng dụng PV không máy biến áp do hiệu suất giảm.

Trong trường hợp điều chế đơn cực, mỗi chân được chuyển mạch theo tham chiếu riêng của nó.

Như vậy có thể tạo ra dòng điện xoay chiều như hình 3.3.

Các tính năng chính của bộ chuyển đổi này là:

Chân A và chân B được chuyển đổi với tần số cao với tham chiếu hình sin được nhân đôi.

Có thể có hai trạng thái điện áp đầu ra bằng không: $S1, S3 = ON$ và $S2, S4 = ON$.

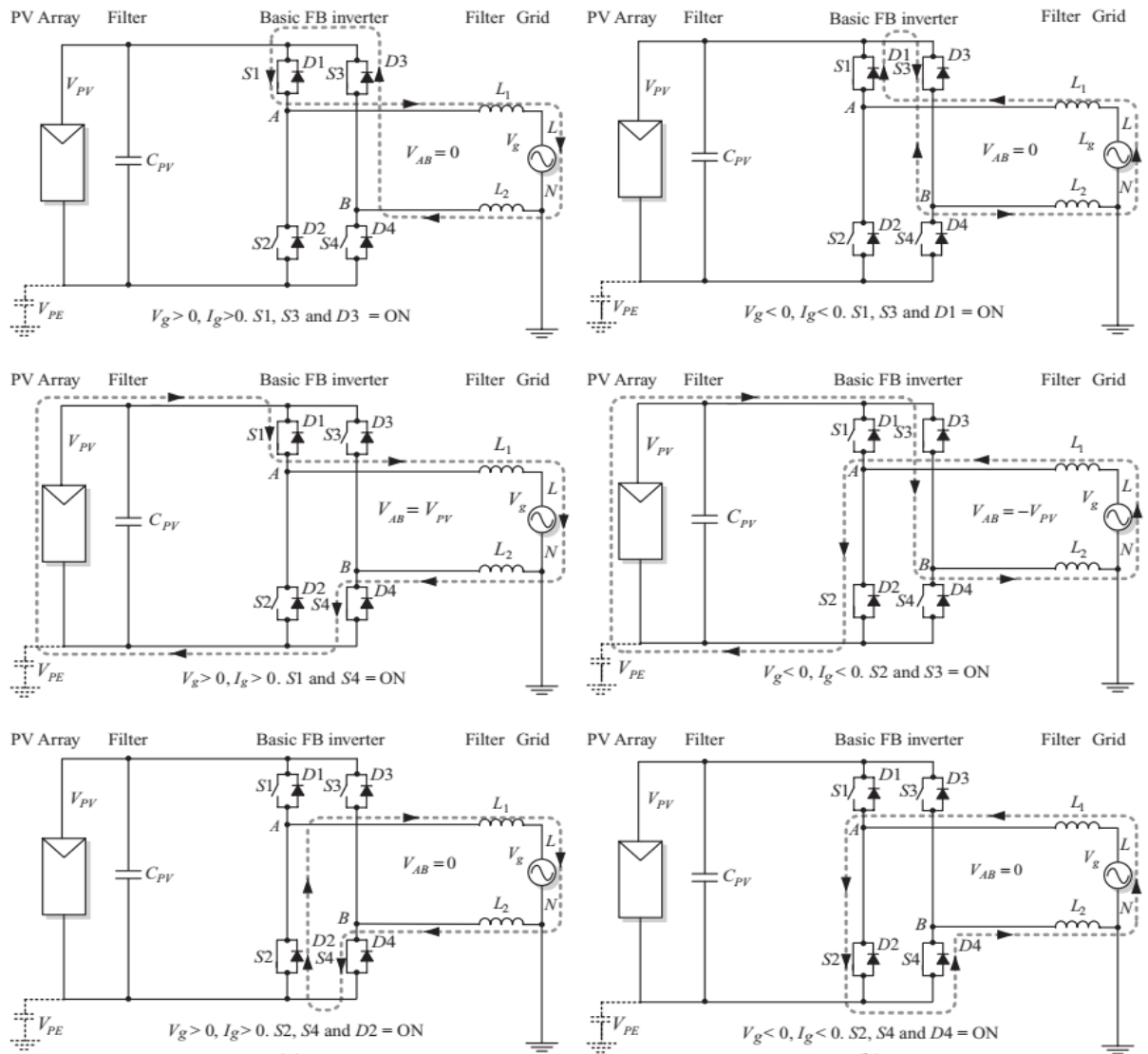


Figure 3.3 The switching states of FB with BP modulation in the case of generating: (a) positive current and (b) negative current

Ưu điểm:

Rộn chuyển mạch trong dòng điện bằng 2 lần tần số chuyển mạch, mang lại khả năng lọc thấp hơn các yêu cầu.

Điện áp trên bộ lọc là đơn cực ($0 \rightarrow +V_{PV} \rightarrow 0 \rightarrow -V_{PV} \rightarrow 0$), mang lại lõi thấp hơn lỗ vốn.

Hiệu suất cao lên đến 98% là do giảm tổn thất trong các trạng thái điện áp bằng không.

Hạn chế:

VPE có các thành phần tần số chuyển mạch, mang lại dòng rò cao và EMI.

Trong trường hợp điều chế lai [4], một chân được chuyển mạch ở tần số lưới và một chân ở tần số cao. Do đó dòng điện xoay chiều có thể được tạo ra như hình 3.4 (a) và (b)

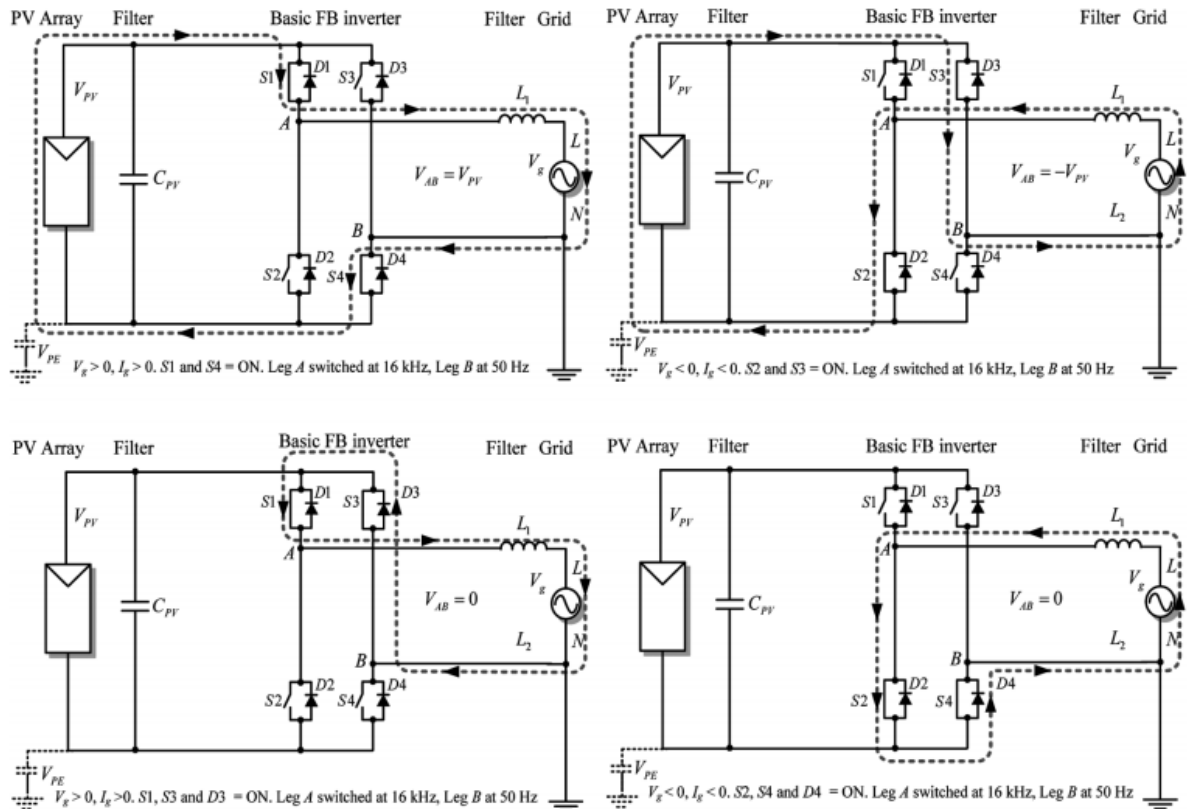


Figure 3.4 The switching states of FB with hybrid modulation in the case of generating: (a) positive current and (b) negative current

Các tính năng chính của bộ chuyển đổi này là:

Chân A được chuyển mạch với tần số thấp của lưới và chân B được chuyển với tần số PWM cao.

Có thể có hai trạng thái điện áp đầu ra bằng không: S1, S2 = ON và S3, S4 = ON.

Ưu điểm:

Điện áp trên bộ lọc là đơn cực ($0 \rightarrow +V_{PV} \rightarrow 0 \rightarrow -V_{PV} \rightarrow 0$), mang lại lõi thấp hơn lỗ vốn.

Hiệu suất cao hơn lên đến 98% do không có sự trao đổi công suất phản kháng giữa L1 (2) và CPV trong thời gian điện áp bằng không và để chuyển đổi tần số thấp hơn ở một chân.

Nhược điểm: cũng có một nhược điểm là điều chế này chỉ hoạt động cho hai góc phần tư hoạt động.

Ripple c **Figure 3.2** FB with BP modulation strategy in the case of: (a) positive output current and (b) negative output current

VPE có sự biến đổi song vuông ở tần số lưới, dẫn đến đỉnh dòng rò cao và yêu cầu lọc EMI lớn. Gửi phản hồi; Lịch sử; Đã lưu; Cộng đồng.

3.1.2 Biến tần H5 (SMA)

Năm 2005, SMA đã được cấp bằng sáng chế cho một cấu trúc liên kết biến tần mới được gọi là H5 [5]. Cấu trúc liên kết này được mô tả trong

Hình 3.5 và, như tên gọi của nó, nó là một cây cầu H cổ điển với một công tắc thứ năm bổ sung trong bus tích cực của liên kết DC cung cấp hai chức năng quan trọng:

Ngăn cản sự trao đổi công suất phản kháng giữa L1 (2) và CPV trong trạng thái điện áp bằng không, do đó tăng hiệu quả.

Cách ly mô-đun PV khỏi lưới điện trong trạng thái điện áp bằng không, do đó loại bỏ nội dung tần số cao của VPE.

Các trạng thái chuyển mạch cho dòng điện xoay chiều tạo ra tích cực và tiêu cực được mô tả trong Hình 3.6. Các tính năng chính của bộ chuyển đổi này là: S5 và S4 (S2) được chuyển mạch ở tần số cao và S1 (S3) ở tần số lưới.

Có thể có hai trạng thái điện áp đầu ra bằng không: S5 = OFF và S1 (S3) = ON.

Ưu điểm:

Điện áp trên bộ lọc là đơn cực ($0 \rightarrow +VPV \rightarrow 0 \rightarrow -VPV \rightarrow 0$), mang lại lỗi thấp hơn lỗ vốn.

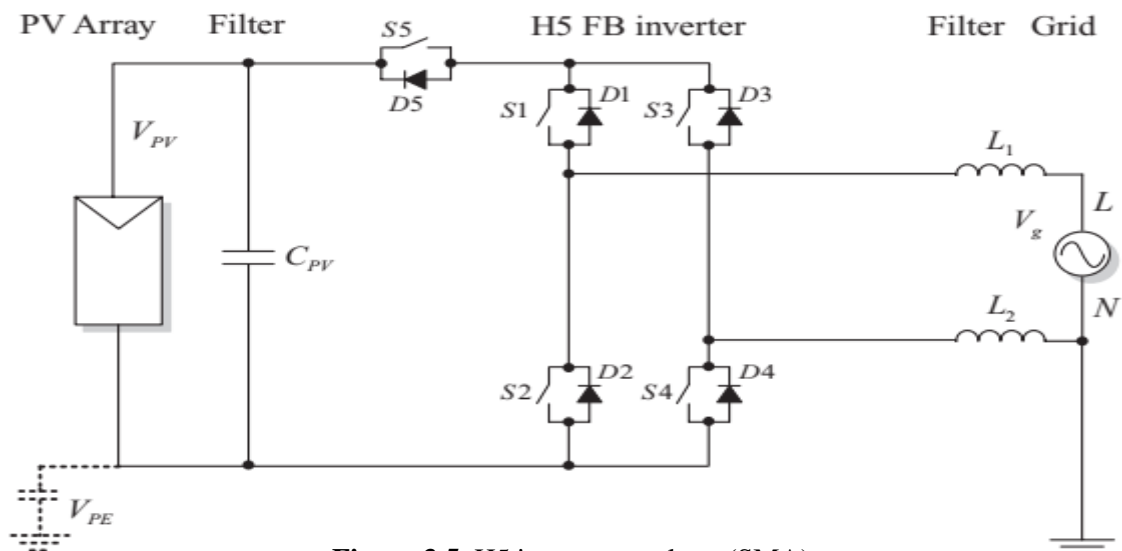


Figure 3.5 H5 inverter topology (SMA)

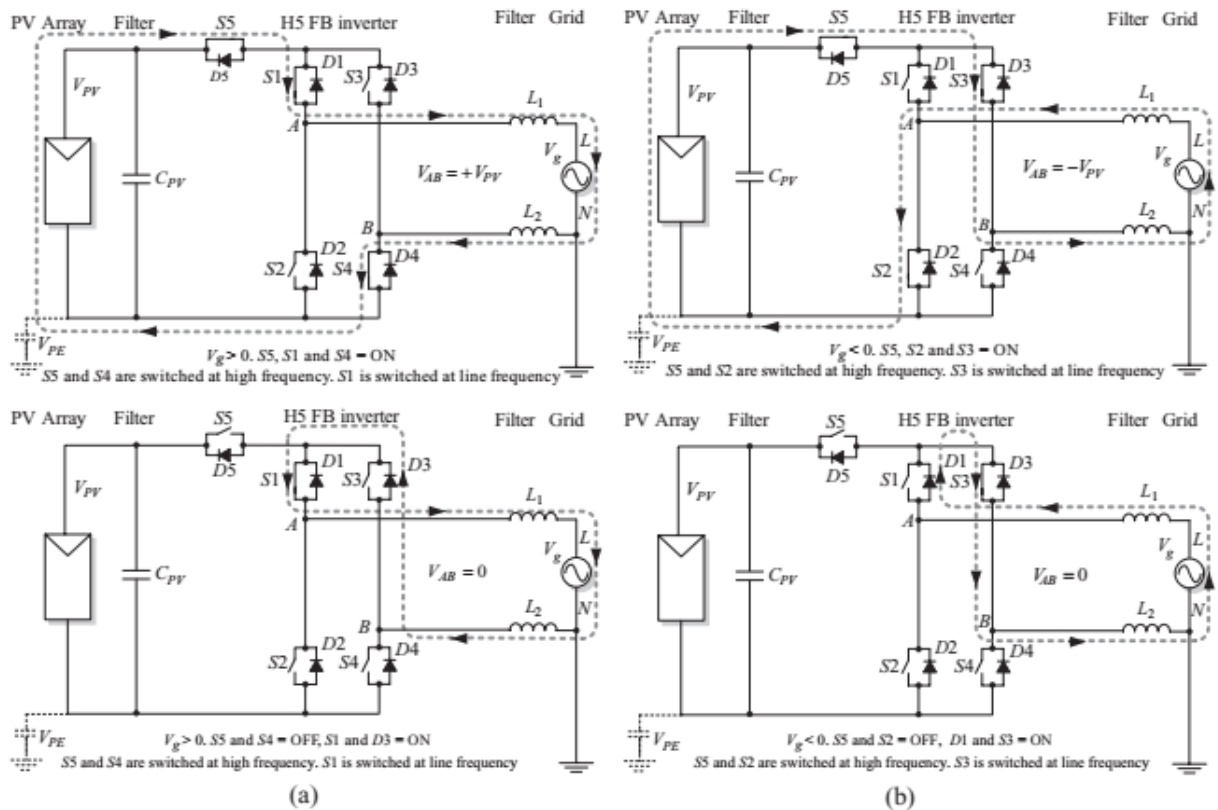


Figure 3.6 The switching states of the H5 inverter in the case of generating: (a) positive current and (b) negative current

Hiệu suất cao hơn lên đến 98% do không có sự trao đổi công suất phản kháng giữa $L1$ (2) và CPV trong thời gian điện áp bằng không và để chuyển đổi tần số thấp hơn ở một chân.

V_{PE} chỉ có thành phần tần số lưới và không có thành phần tần số chuyển mạch, mang lại dòng điện rò rỉ và EMI rất thấp.

Hạn chế:

Thêm một công tắc.

Ba công tắc đang dẫn trong suốt vector hoạt động, dẫn đến tổn thất dẫn cao hơn nhưng không ảnh hưởng đến hiệu quả cao chung.

3.1.3 Biến tần HERIC (Sunways)

Vào năm 2006, Sunways đã được cấp bằng sáng chế cho một cấu trúc liên kết mới cũng bắt nguồn từ cầu H cổ điển được gọi là HERIC (khái niệm biến tần hiệu quả cao và đáng tin cậy) bằng cách thêm chân vòng vào phía AC sử dụng hai IGBT nối tiếp nhau (bóng bán dẫn lưỡng cực công cách điện), như trong Hình 3.7 [6].

Công tắc AC cung cấp hai chức năng quan trọng giống như công tắc thứ năm trong trường hợp của H5 cấu trúc liên kết:

Ngăn cản sự trao đổi công suất phản kháng giữa $L1$ (2) và CPV trong trạng thái điện áp

bằng không, do đó tăng hiệu quả.

Cách ly mô-đun PV khỏi lưới điện trong trạng thái điện áp bằng không, do đó loại bỏ nội dung tần số cao của VPE.

Các trạng thái chuyển mạch cho dòng điện xoay chiều tạo ra tích cực và tiêu cực được mô tả trong Hình 3.8. Các tính năng chính của bộ chuyển đổi này là: S1 – S4 và S2 – S3 được chuyển mạch ở tần số cao và S+ (S-) ở tần số lưới.

Có thể có hai trạng thái điện áp đầu ra bằng không: S+ = bật và S- = bật (miễn là cầu là tắt).

Ưu điểm:

Điện áp trên bộ lọc là đơn cực ($0 \rightarrow +VPV \rightarrow 0 \rightarrow -VPV \rightarrow 0$), mang lại lỗi thấp hơn lỗ vốn.

Hiệu suất cao hơn lên đến 97% do không có sự trao đổi công suất phản kháng giữa L1 (2) và CPV trong thời gian điện áp bằng không và để chuyển đổi tần số thấp hơn ở một chân.

VPE chỉ có thành phần tần số lưới và không có thành phần tần số chuyển mạch, mang lại dòng điện rò rỉ và EMI rất thấp.

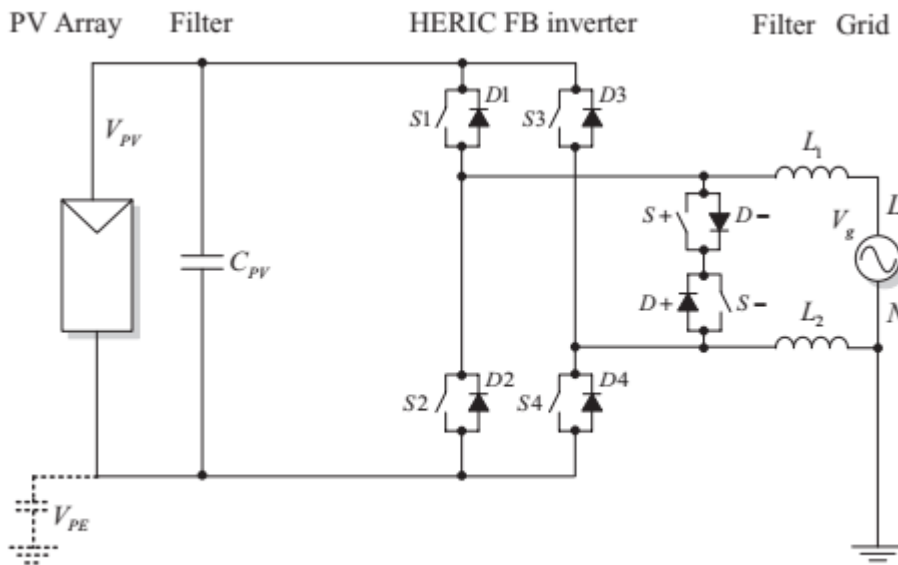


Figure 3.7 HERIC topology (Sunways)

Hạn chế:

Hai công tắc phụ.

Hành vi của HERIC và H5 khá giống nhau vì cả hai đều nhận ra sự phân tách của PV máy phát từ lưới điện ở trạng thái không điện áp phía AC và DC tương ứng.

Cả hai đều sử dụng hai công tắc chuyển mạch ở tần số cao và một công tắc chuyển mạch ở tần số lưới và H5 có ba công tắc dẫn đồng thời, trong khi HERIC chỉ có

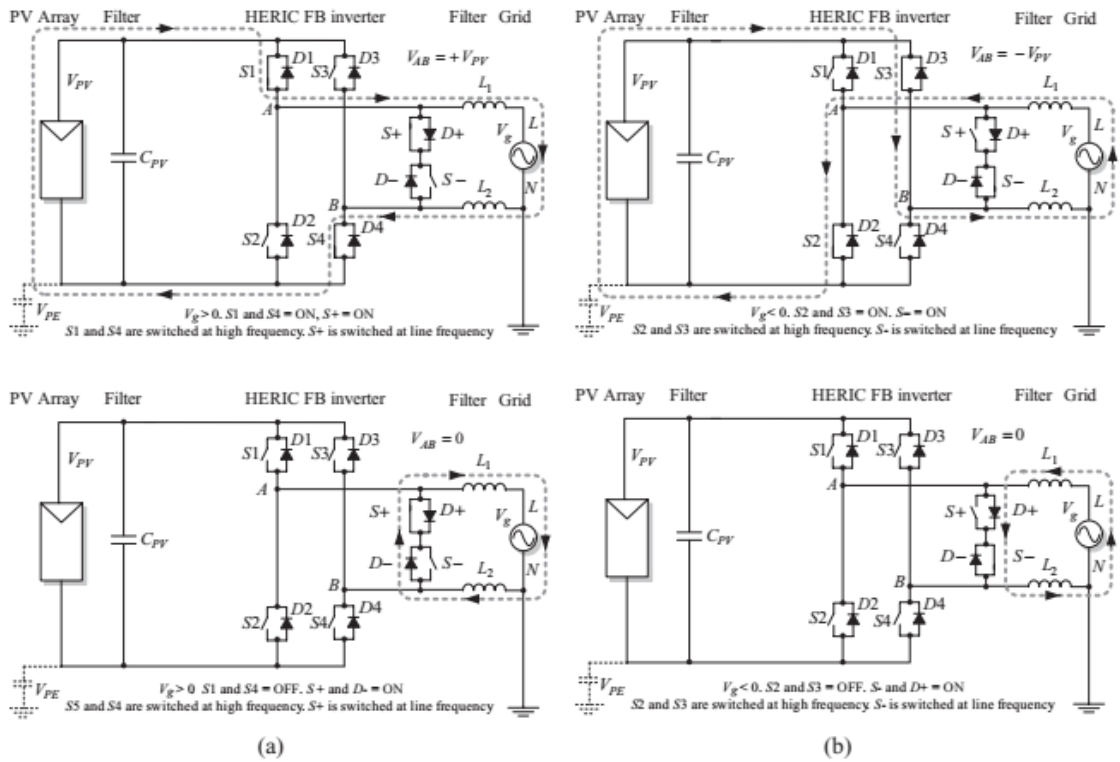


Figure 3.8 The switching states of the HERIC inverter in the case of generating: (a) positive current and (b) negative current

3.1.4 Biến tần REFU

Năm 2007, Refu Solar đã cấp bằng sáng chế cho một cấu trúc liên kết mới cũng bắt nguồn từ cầu H cổ điển. Các cấu trúc liên kết thực sự sử dụng một nửa cầu bên trong đường vòng AC và một đường DC – DC có thể bỏ qua bộ biến đổi như hình 3.9 [7].

Đường vòng AC cung cấp hai chức năng quan trọng giống như trong trường hợp của HERIC:

Ngăn cản sự trao đổi công suất phản kháng giữa L và CPV ở trạng thái điện áp bằng không, do đó tăng hiệu quả.

Cách ly mô-đun PV khỏi lưới điện trong trạng thái điện áp bằng không, do đó loại bỏ nội dung tần số cao của VPE.

Việc bỏ qua AC được thực hiện theo một cách khác so với HERIC, tức là bằng cách sử dụng công tắc một chiều bao gồm các mô-đun IGBT tiêu chuẩn với một diode mắc nối tiếp để hủy con đường bánh xe tự do. Một đặc điểm cụ thể khác của cấu trúc liên kết này là việc sử dụng một bộ tăng bộ chuyển đổi, chỉ được kích hoạt khi điện áp DC đầu vào thấp hơn điện áp lưới. Các

Các trạng thái chuyển mạch cho dòng điện xoay chiều tạo ra tích cực và tiêu cực được mô tả trong Hình 3.10.

Các tính năng chính của bộ chuyển đổi này là:

S1 (S2) được chuyển mạch ở tần số cao khi không cần tăng cường: $V_{PV} > V_g$.

S3 (S4) được chuyển ở tần số cao khi bật tăng cường: $V_{PV} < V_g$.

S + (S-) được chuyển mạch ở tần số lưới phụ thuộc vào cực tính của điện áp.

Ưu điểm:

Điện áp trên bộ lọc là đơn cực ($0 \rightarrow +V_{PV} \rightarrow 0 \rightarrow -V_{PV} \rightarrow 0$), mang lại lõi thấp hơn tổn thất.

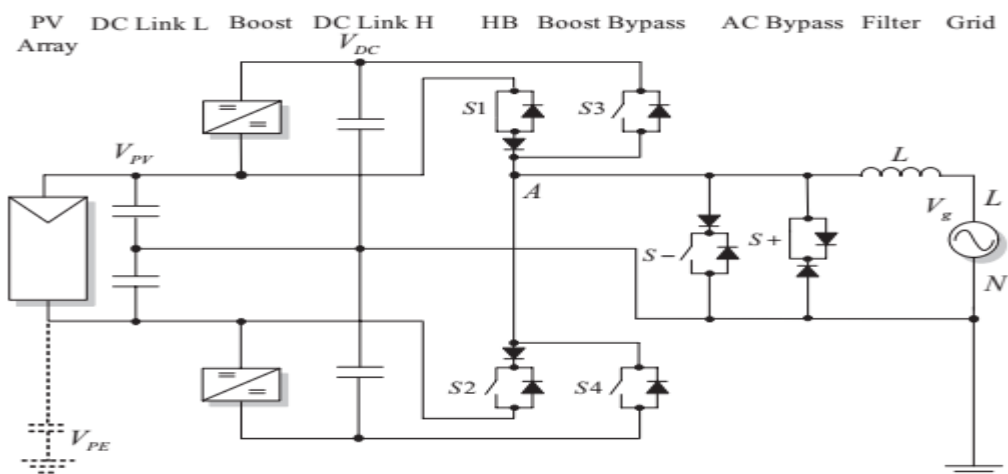


Figure 3.9 The REFU inverter topology

Hiệu suất cao hơn lên đến 98% do không có sự trao đổi công suất phản kháng giữa L và CPV trong thời gian điện áp bằng không, chỉ tăng cường khi cần thiết và để giảm tần số chuyển đổi trong một chân.

VPE chỉ có thành phần tần số lưới và không có thành phần tần số chuyển mạch, mang lại dòng điện rò rỉ và EMI rất thấp.

Hạn chế:

Cần gấp đôi điện áp một chiều.

Hai công tắc phụ, nhưng được chuyển ở tần số thấp.

3.1.5 Biến tần toàn cầu với DC Bypass - FB-DCBP (Ingeteam)

Một cấu trúc liên kết FB được 'sửa đổi' khác là cầu nối đầy đủ với DC bypass được cấp bằng sáng chế (đang chờ xử lý) bởi Ingeteam [8] và xuất bản trong tài liệu tham khảo [9]. Cấu trúc liên kết này được mô tả trong Hình 3.11 và là một

Cầu H cổ điển với hai công tắc phụ trong liên kết DC và hai diốt kẹp phụ đầu ra đến điểm giữa nối đất của bus DC. Các công tắc DC cung cấp sự tách biệt của các tấm PV từ lưới điện trong trạng thái điện áp bằng không và các diốt kẹp đảm bảo rằng điện áp 0 được nối đất, đối lập với HERIC hoặc H5 trong đó điện áp 0 là nổi. Về cơ bản, cả hai giải pháp đều đảm bảo VPE 'không nhảy', dẫn đến dòng rò rỉ thấp và hiệu suất cao do ngăn ngừa sự trao đổi công suất phản kháng giữa L1 (2) và CPV1 (2) trong quá trình điện áp bằng không.

Các trạng thái chuyển mạch cho dòng điện xoay chiều tạo ra tích cực và tiêu cực được mô

tả trong Hình 3.12.

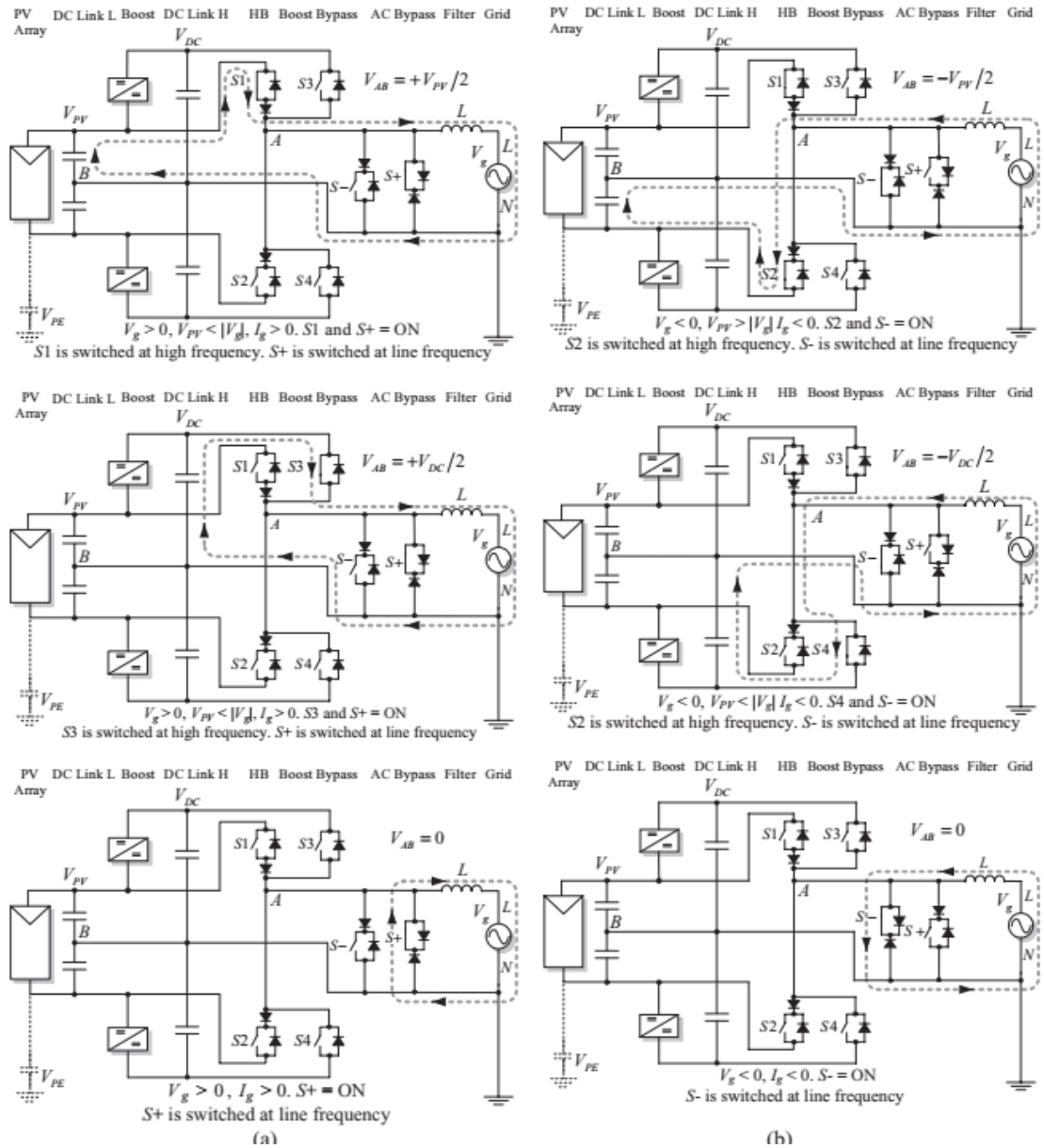


Figure 3.10 The switching states of the REFU inverter in the case of generating: (a) positive current and (b) negative current

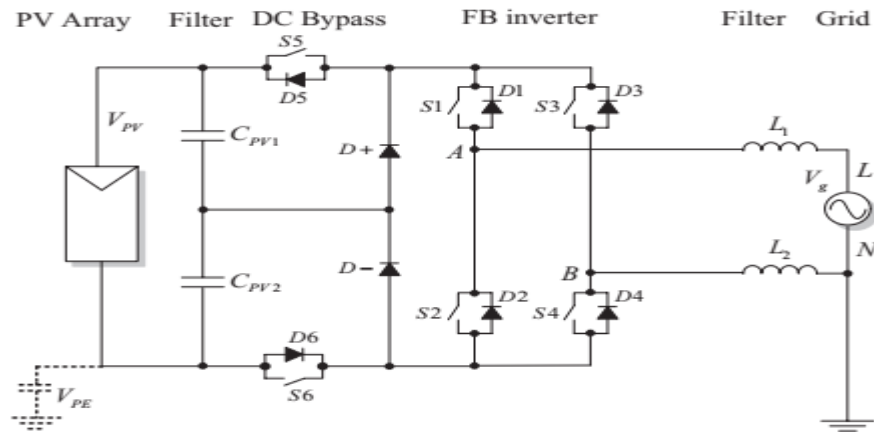


Figure 3.11 Full-bridge with DC bypass - FB-DCBP inverter topology (Ingeteam)

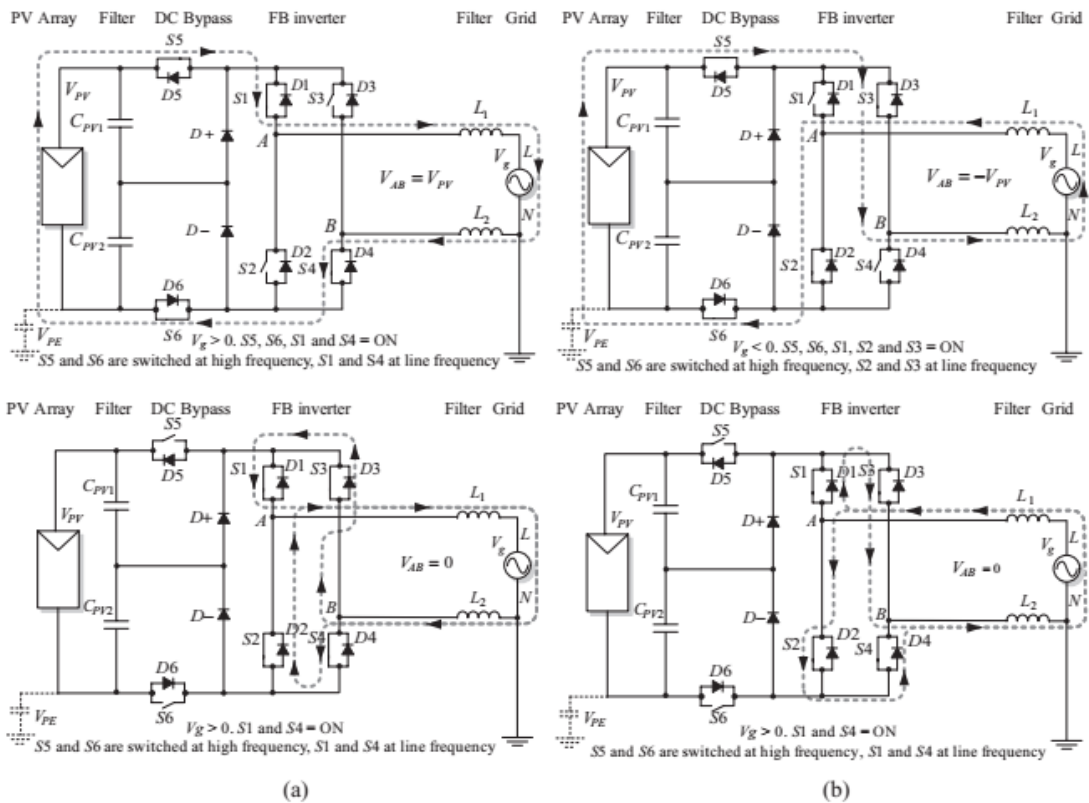


Figure 3.12 The switching states of the FB-DCBP inverter in the case of generating: (a) positive current and (b) negative current

Các tính năng chính của bộ chuyển đổi này là:

S5 và S6 được chuyển mạch ở tần số cao và S1 (S2) và S4 (S3) ở tần số lưới.

Điện áp đầu ra bằng không đạt được bằng cách TẮT các công tắc bỏ qua DC S5 và S6. Khi nào S5 và S6 được TẮT và S2 và S3 được BẬT, dòng điện chia thành hai đường:

S1 và điốt quay tự do của S3 (D3) và S4 và điốt quay tự do của S2 (D2).

Do đó, S2 và S3 được BẬT khi không có dòng điện và do đó không xuất hiện tổn thất

chuyển mạch.

Đường đi của dòng điện trong trạng thái điện áp bằng không sẽ là S4-D2 hoặc S1-D3 đối với lưới điện dương dòng điện, còn dòng điện lưới âm sẽ chạy qua S2-D4 hoặc S3-D1. D+ và D- là chỉ được sử dụng để kẹp các công tắc rẽ nhánh ở nửa điện áp liên kết DC [9].

Ưu điểm:

Điện áp trên bộ lọc là đơn cực ($0 \rightarrow +VPV \rightarrow 0 \rightarrow -VPV \rightarrow 0$), mang lại lõi thấp hơn lỗ vốn.

Định mức của công tắc bỏ qua DC là một nửa điện áp DC.

Hiệu suất cao hơn do không có sự trao đổi công suất phản kháng giữa L1 (2) và CPV1 (2) trong thời gian không điện áp và tần số chuyển đổi thấp hơn trong FB và đánh giá điện áp thấp của S5 và S6.

VPE chỉ có thành phần tần số lưới và không có thành phần tần số chuyển mạch, mang lại dòng điện rò rỉ và EMI rất thấp.

Hạn chế:

Hai công tắc phụ và hai điốt phụ.

Bốn công tắc đang dẫn trong suốt vector hoạt động, dẫn đến tổn thất dẫn cao hơn nhưng không ảnh hưởng đến hiệu quả cao tổng thể

3.1.6 Chính lưu điện áp không toàn cầu - FB-ZVR

Một cấu trúc liên kết FB 'sửa đổi' khác là bộ chỉnh lưu điện áp không toàn cầu [10], được mô tả trong

Hình 3.13. Cấu trúc liên kết này có nguồn gốc từ HERIC, trong đó lưới điện hai chiều ngăn mạch chuyển mạch được thực hiện bằng cách sử dụng một cầu diode và một công tắc (S5) và một kẹp diode với DC điểm giữa. Điện áp bằng không đạt được bằng cách tắt FB và bật S5.

Các trạng thái chuyển mạch cho các trạng thái điện áp đầu ra dương, âm và bằng không được hiển thị trong Hình 3.14.

Các tính năng chính của bộ chuyển đổi này là:

Các công tắc trong FB được chuyển theo đường chéo giống như trong điều chế lưỡng cực. Số không trạng thái được đưa ra sau mỗi lần chuyển mạch bằng cách tắt tất cả các công tắc của cầu và tắt S5 bật.

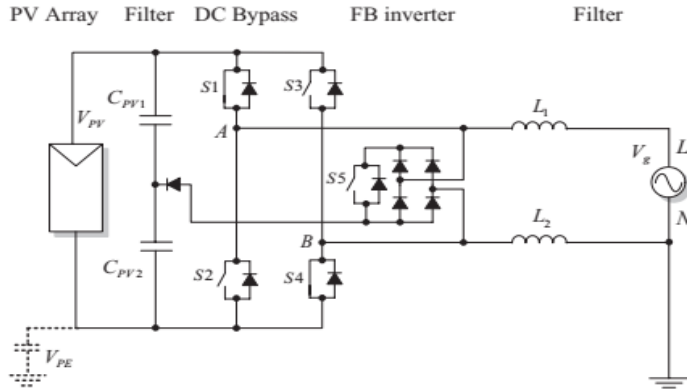


Figure 3.13 Full-bridge zero voltage rectifier-FB-ZVR inverter topology

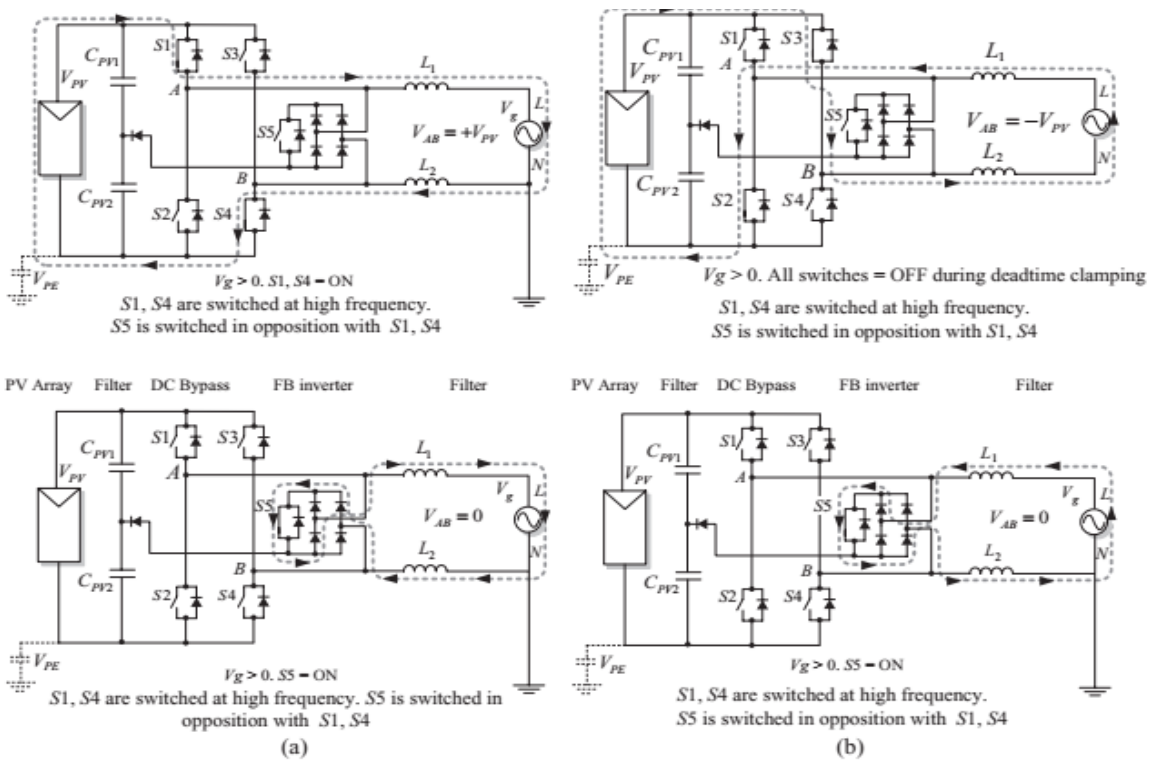


Figure 3.14 The switching states of the FB-ZVR inverter in the case of generating: (a) positive current and (b) negative current

Ưu điểm:

Điện áp trên bộ lọc là đơn cực ($0 \rightarrow +V_{PV} \rightarrow 0 \rightarrow -V_{PV} \rightarrow 0$), mang lại lõi thấp hơn lõi vốn.

Hiệu suất cao lên đến 96% do không có sự trao đổi công suất phản kháng giữa L_1 (2) và CPV trong thời gian điện áp bằng không và để chuyển đổi tần số thấp hơn ở một chân. VPE chỉ có thành phần tần số lưới và không có thành phần tần số chuyển mạch, mang lại dòng điện rò rỉ và EMI rất thấp.

Hạn chế:

Một công tắc phụ và bốn điốt.

Trong quá trình kẹp thời gian chết, thu được điện áp đầu ra lưỡng cực, dẫn đến tăng tổn thất qua bộ lọc.

3.1.7 Tóm tắt các cấu trúc liên kết có nguồn gốc từ cầu H

Trên thực tế, cấu trúc liên kết HERIC, H5, REFU và FB-DCBP chuyển đổi FB hai cấp (hoặc HB) biến tần thành một cấp ba. Điều này làm tăng hiệu quả vì cả công tắc và đầu ra cuộn cảm chịu một nửa ứng suất điện áp đầu vào. Trạng thái điện áp không đạt được bằng rút ngắn lưới điện bằng cách sử dụng các công tắc cao hơn của cầu (H5) hoặc bằng cách sử dụng thêm AC bỏ qua (HERIC hoặc REFU) hoặc bỏ qua DC (FB-DCBP). H5 và HERIC cô lập các tấm PV từ lưới điện trong khi điện áp bằng không trong khi REFU và FB-DCBP kẹp trung tính vào điểm giữa của liên kết DC. Cả REFU và HERIC đều sử dụng AC by-pass nhưng REFU sử dụng hai công tắc trong phản song song và HERIC sử dụng hai thiết bị chuyển mạch nối tiếp (quay ngược trở lại). Do đó, sự dẫn tổn thất trong đường vòng AC thấp hơn đối với cấu trúc liên kết REFU. REFU và H5 có cao hơn một chút hiệu quả vì chúng chỉ có một công tắc chuyển mạch với tần số cao trong khi HERIC và FB-DCBP có hai. FB-ZVR có nguồn gốc từ HERIC nhưng sử dụng một cách triển khai hai chiều khác công tắc, sử dụng một cầu diode và một công tắc. VPE không đổi nhưng hiệu quả cao vừa phải (thấp hơn thu được hơn HERIC nhưng cao hơn FB-BP) và cũng có thể hoạt động với PF phi đơn vị.

Trong phần sau, một họ bộ chuyển đổi khác, được gọi là điểm trung tính bị kẹp (NPC), đạt được nhiều hơn hoặc ít hơn cùng một hiệu suất nhưng với chi phí của nhiều thiết bị chuyển mạch hơn được khám phá

3.2 Cấu trúc biến tần bắt nguồn từ cấu trúc liên kết NPC

Cấu trúc liên kết NPC đã được Nabae, Magi và Takahashi giới thiệu vào năm 1981 [11] cho thấy cải tiến tuyệt vời về dV/dt thấp hơn và ứng suất chuyển đổi so với cỗ điển biến tần toàn cầu hai cấp. Cấu trúc liên kết NPC cũng rất linh hoạt và có thể được sử dụng trong cả hai

Biến tần một pha (toàn cầu hoặc nửa cầu) và ba pha.

3.2.1 Biến tần bán cầu kẹp điểm trung tính (NPC)

Khái niệm chính là điện áp bằng không có thể đạt được bằng cách "kẹp" đầu ra vào nối đất 'điểm giữa' của bus DC sử dụng D+ hoặc D- tùy thuộc vào dấu hiệu của dòng điện

(Hình 3.15). Các trạng thái chuyển mạch để tạo ra dòng điện tích cực và tiêu cực được mô tả trong Hình 3.16.

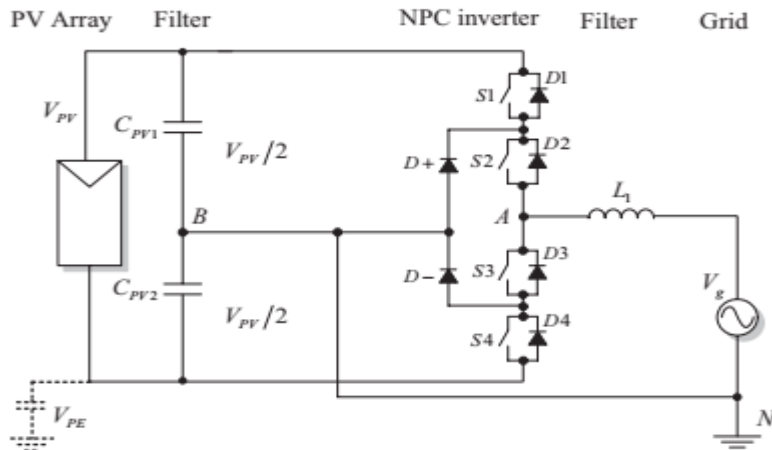


Figure 3.15 Neutral clamped half-bridge

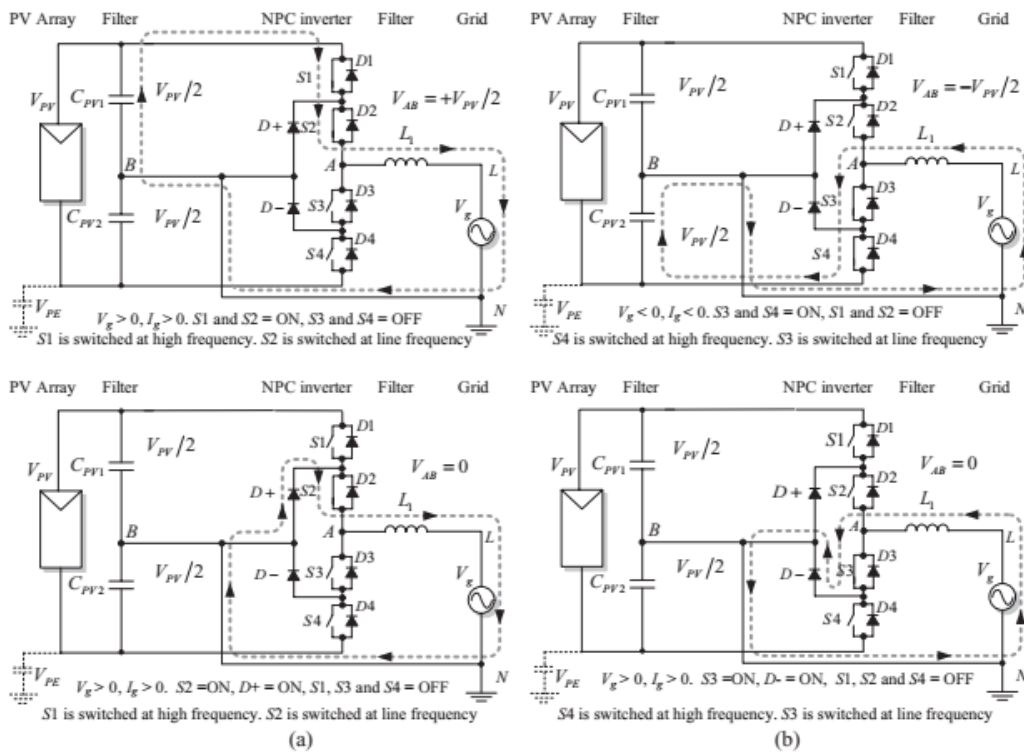


Figure 3.16 The switching states of the NPC-HB inverter in the case of generating: (a) positive current and (b) negative current

Các tính năng chính của bộ chuyển đổi này là:

S1 (S4) được chuyển mạch ở tần số cao và S2 (S3) ở tần số lưới.

Có thể có hai trạng thái điện áp bằng không: S2, D+ = ON và S3, D- = ON. Để hoạt động ra ngoài của các hệ số công suất đơn nhất S1 và S3 chuyển đổi đối nghịch với $V_g > 0, I_g < 0$ và S2 và S4 đối với $V_g < 0, I_g > 0$.

Ưu điểm:

Điện áp trên bộ lọc là đơn cực ($0 \rightarrow +V_{PV} \rightarrow 0 \rightarrow -V_{PV} \rightarrow 0$), mang lại lõi thấp hơn lõi

vốn.

Hiệu suất cao hơn lên đến 98% do không có sự trao đổi công suất phản kháng giữa L1 (2) và CPV trong thời gian điện áp bằng không và để giảm tần số chuyển đổi ở một chân.

Đánh giá điện áp của công tắc bên ngoài có thể được giảm xuống $VPV / 4$, dẫn đến giảm chuyển đổi lỗ vốn.

VPE không đổi và bằng $-VPV / 2$ mà không cần chuyển đổi các thành phần tần số, mang lại dòng điện rò rỉ và EMI rất thấp.

Hạn chế:

Hai điốt phụ.

Yêu cầu đầu vào điện áp gấp đôi so với FB.

Tổn thất công tắc không cân bằng: cao hơn trên công tắc cao hơn / thấp hơn và thấp hơn ở giữa công tắc.

Bất kỳ điện cảm nào được giới thiệu trong kết nối trung tính bằng cách, ví dụ, bộ lọc EMI tạo ra điện áp chế độ chung tần số cao, sẽ dẫn đến dòng điện rò rỉ.

3.2.2 Biến tần NPC Conergy

Một 'biến thể' của NPC cổ điển là một nửa cầu với đầu ra được kẹp vào trung tính bằng cách sử dụng một công tắc hai chiều được thực hiện với hai IGBT nối tiếp nhau do Conergy cấp bằng sáng chế

[12] (xem Hình 3.17). Một nhận thức thay thế của cùng một khái niệm được trình bày trong tài liệu tham khảo

[13], trong đó các công tắc kẹp một chiều được kết nối song song thay vì nối tiếp và một cầu toàn phần được sử dụng thay cho một nửa cầu.

Khái niệm chính của biến tần Conergy NPC là điện áp bằng không có thể đạt được bằng "Kẹp" đầu ra vào "điểm giữa" nối đất của bus DC bằng cách sử dụng S + hoặc S- tùy thuộc trên dấu hiệu của dòng điện. Các trạng thái chuyển mạch để tạo ra dòng điện dương và âm được mô tả trong Hình 3.18.

Các tính năng chính của bộ chuyển đổi này là:

S1 (S2) và S + (S-) được chuyển mạch ở tần số cao.

Có thể có hai trạng thái điện áp bằng không: S +, D + = ON (S-, D- = ON).

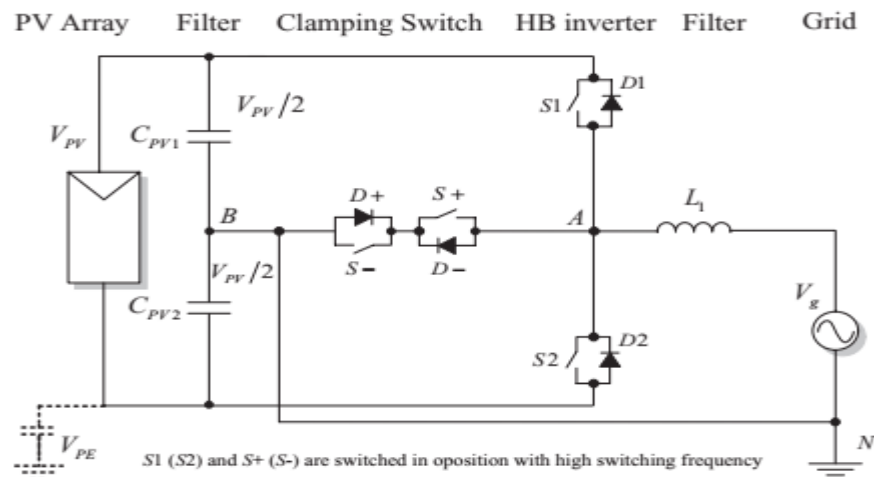


Figure 3.17 Conergy neutral point clamped inverter

Ưu điểm:

Điện áp trên bộ lọc là đơn cực ($0 \rightarrow +V_{PV} \rightarrow 0 \rightarrow -V_{PV} \rightarrow 0$), mang lại lõi thấp hơn lỗ vốn.

Hiệu suất cao hơn lên đến 98% do không có sự trao đổi công suất phản kháng giữa $L1$ (2) và CPV trong thời gian điện áp bằng không và giảm điện áp giảm vì chỉ có một công tắc đang dẫn trong trạng thái hoạt động của biến tần Conergy NPC.

V_{PE} không đổi và bằng $-V_{PV} / 2$ mà không cần chuyển đổi các thành phần tần số, mang lại dòng điện rò rỉ và EMI rất thấp.

Suy hao chuyển mạch cân bằng trái ngược với NPC cổ điển.

Hạn chế:

Định mức điện áp của $S1$ và $S2$ cao gấp đôi so với các công tắc bên ngoài trong NPC.

Yêu cầu đầu vào điện áp gấp đôi so với FB.

Bất kỳ điện cảm nào được giới thiệu trong kết nối trung tính bằng cách, ví dụ, bộ lọc EMI tạo ra điện áp chế độ chung tần số cao, sẽ dẫn đến dòng điện rò rỉ

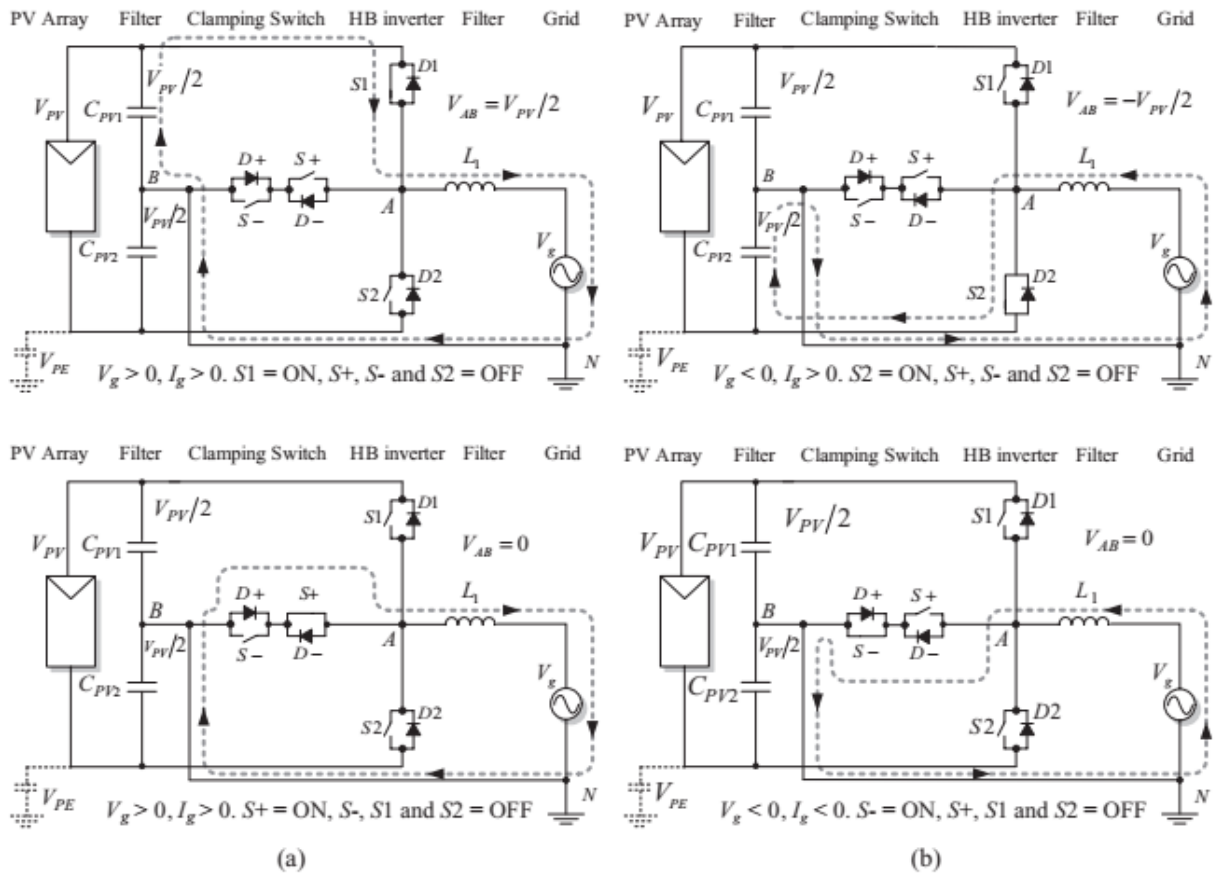


Figure 3.18 The switching states of the Conergy NPC inverter in the case of generating: (a) positive current and (b) negative current

3.2.3 Tóm tắt các cấu trúc liên kết biên tần có nguồn gốc từ NPC

NPC cổ điển và NPC Conergy ‘biến thể’ của nó đều là cấu trúc liên kết ba cấp có lợi thế của điện áp đơn cực trên bộ lọc, hiệu quả cao do kẹp các tấm PV trong trạng thái điện áp bằng không và thực tế không có rò rỉ do điểm giữa liên kết DC nối đất.

Do độ phức tạp cao hơn so với các cấu trúc liên kết có nguồn gốc từ FB, các cấu trúc này thường được sử dụng trong bộ biến tần PV ba pha có xếp hạng trên 10 kW (trung tâm nhỏ). Những cấu trúc liên kết cũng rất hấp dẫn đối với công suất cao trong khoảng hàng trăm kW (trung tâm biến tần) trong đó những ưu điểm của biến tần đa cấp thậm chí còn quan trọng hơn.

3.3 Cấu trúc biến tần PV điển hình

Trong chương này, các cấu trúc liên kết cải tiến khác nhau cho bộ biến tần PV không biến áp được đã gửi. Tuy nhiên, hầu hết chúng sẽ yêu cầu boost nên cấu trúc cuối cùng sẽ khác. Trong sau đây, một số cấu trúc PV hoàn chỉnh điển hình được mô tả.

* *Biến tần PV tăng cường dựa trên cầu H với tần số cao*

Máy biến áp

Cấu trúc điển hình của bộ nghịch lưu PV tăng cường dựa trên cầu H được thể hiện trong Hình 3.19. Các hệ số tăng cường của bộ chuyển đổi FB DC – DC được điều khiển bằng cách

chuyển pha chuyển đổi giữa hai chân [14]. Biến tần FB có thể dễ dàng thay thế bằng các phiên bản hiệu suất cao hơn (H5 hoặc HERIC).

Biến tần tăng áp với biến áp tần số thấp

Cấu trúc điện hình sử dụng bộ chuyển đổi DC – DC tăng cường cổ điển được thể hiện trong Hình 3.20. Các máy biến áp được đặt ở phía tần số thấp.

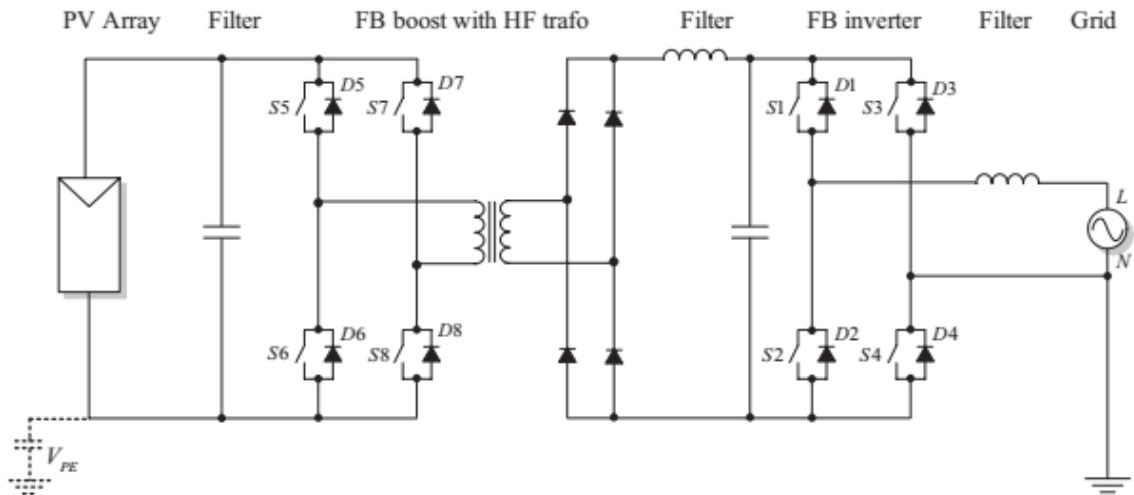


Figure 3.19 Boosting inverter with a HF transformer based on the H-bridge

3.4 Biến tần PV ba pha

Hầu hết các bộ biến tần PV ba pha thường không phải là bộ biến tần ba pha ba dây thực sự mà là những cái ba pha bốn dây. Trên thực tế, chúng hoạt động như ba pha một pha độc lập biến tần.

Giải pháp này có hai ưu điểm:

Nó cho phép sử dụng các biến tần một pha hiện có.

Nó cho phép sử dụng yêu cầu chống đảo "nhẹ" từ tiêu chuẩn VDE- của Đức 0126-1-1 (2006), nói rằng giám sát trở kháng có thể được thay thế bằng line-to-line giám sát điện áp nếu việc điều khiển dòng điện từng pha được thực hiện độc lập.

Các công ty như SMA đang thúc đẩy khái niệm rằng hệ thống ba pha có thể được xây dựng bằng cách sử dụng khối xây dựng một pha, cái gọi là bộ nghịch lưu trung tâm (ví dụ: Sunny Mini Miền Trung 8000TL).

Các công ty khác như Conergy, Refusol và Danfoss Solar đang quảng cáo ba giai đoạn trong động từ trong phạm vi 10–15 kW dựa trên cùng một khái niệm nhưng được chế tạo giống như một đơn vị ba pha.

Một nghiên cứu so sánh gần đây giữa các cấu trúc liên kết không có máy biến áp ba pha [15] cho thấy rằng NPC ba pha thể hiện những màn trình diễn tốt nhất so với toàn cầu có phân tách

liên kết DC về độ rò rỉ, hiệu quả và hiệu suất thấp. Vấn đề thực sự của việc sử dụng cấu trúc liên kết ba pha ba dây thực sự là điện áp một chiều cần phải tương đối cao, ít nhất là khoảng 600 V đối với lưới điện ba pha 400 V và được giới hạn ở 1000 V do các yêu cầu an toàn (điện áp cài đặt tối đa). Phạm vi biến thể có thể quá hẹp so với các biến thể theo yêu cầu của MPPT do thay đổi nhiệt độ và điện áp lưới cho phép các biến thể. Ngược lại, biến tần một pha cần điện áp DC ít nhất khoảng 400 V có phạm vi biến thiên lớn hơn mang lại tính linh hoạt hơn.

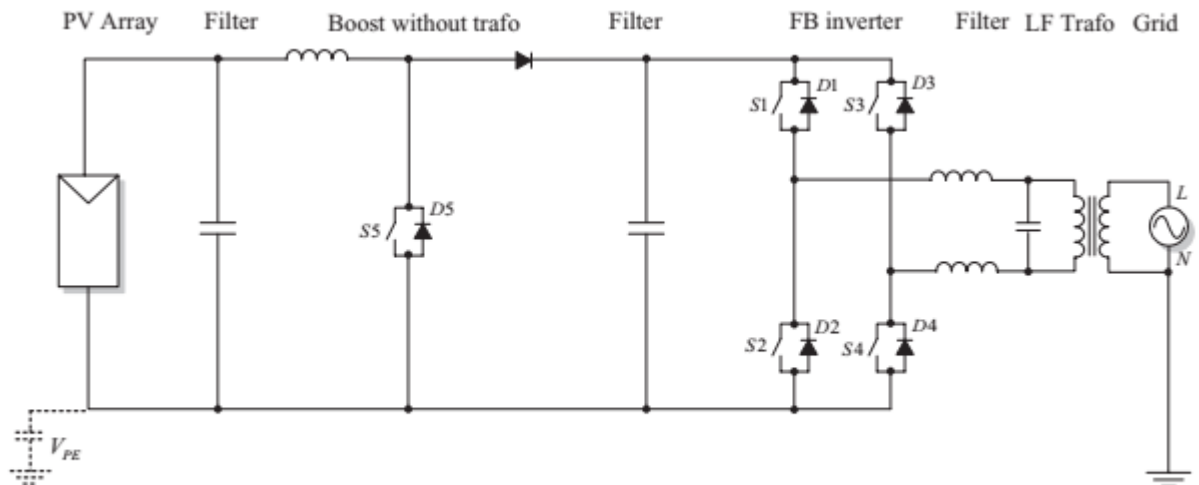


Figure 3.20 Boosting inverter with a HF transformer based on the H-bridge

3.5 Cấu trúc điều khiển

Do có rất nhiều cấu trúc liên kết biến tần PV không biến áp, cấu trúc điều khiển cũng rất khác nhau. Thuật toán điều chế phải cụ thể cho từng cấu trúc liên kết. Trong sau đây một cấu trúc điều khiển bất biến tô pô chung chung sẽ được trình bày cho một điển hình cấu trúc liên kết không biến áp với tầng tăng, như trong Hình 3.21.

Như có thể thấy, có thể định nghĩa ba lớp chức năng điều khiển khác nhau:

1. Các chức năng cơ bản - chung cho tất cả các biến tần nối lưới

Kiểm soát dòng điện lưới

- Giới hạn THD do tiêu chuẩn áp đặt
- Tính ổn định trong trường hợp thay đổi trở kháng lưới lớn
- Rối loạn điện áp lưới đi qua

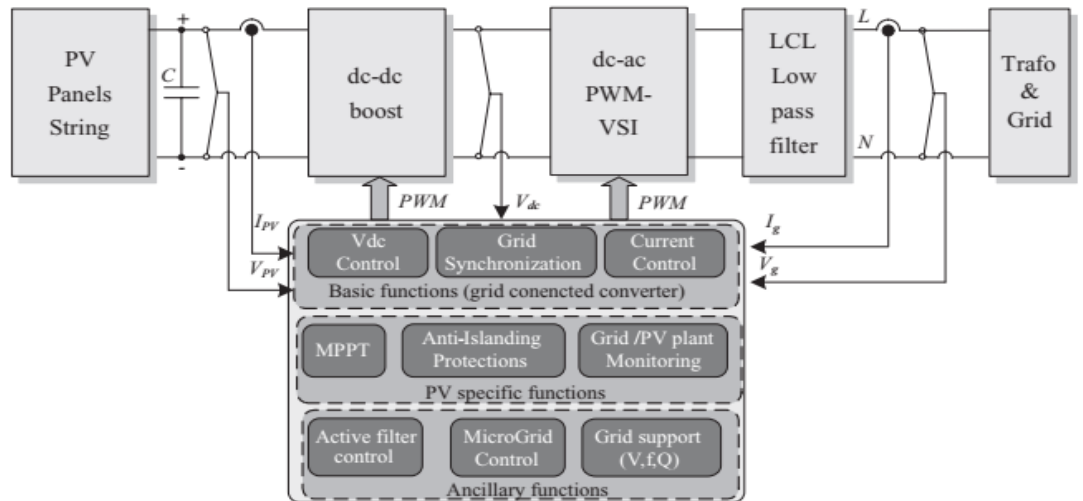


Figure 3.21 Generic control structure for a PV inverter with boost stage

Kiểm soát điện áp DC

- Thích ứng với sự thay đổi điện áp lưới
- Rối loạn điện áp lưới đi qua

Đồng bộ hóa lưới

- Hoạt động ở hệ số công suất thống nhất theo yêu cầu của tiêu chuẩn
- Rối loạn điện áp lưới đi qua

2. Các chức năng cụ thể của PV - chung cho tất cả các biến tần PV

Theo dõi điểm công suất tối đa (MPPT)

- Hiệu suất MPPT rất cao trong trạng thái ổn định (thường > 99%)
- Theo dõi nhanh trong quá trình thay đổi chiếu xạ nhanh chóng (hiệu quả MPPT động)
- Hoạt động ổn định ở mức chiếu xạ rất thấp

Chống đảo (AI), theo yêu cầu của tiêu chuẩn (VDE 0126, IEEE 1574, v.v.)

Giám sát lưới

- Đồng bộ hóa
- Phát hiện điện áp / tần số nhanh cho AI tự động

Giám sát nhà máy

- Chẩn đoán mảng bảng PV
- Phát hiện bóng một phần

3. Các chức năng phụ trợ

Hỗ trợ lưới

- Kiểm soát điện áp cục bộ
- Q bù thường
- Bù sóng hài

- Đi qua lỗi

Trong cuốn sách này, các chức năng cơ bản phổ biến (điều khiển dòng điện lưới, điều khiển điện áp DC và đồng bộ hóa) cũng như các phương pháp chống đảo được đề cập.

3.6 Kết luận và Xu hướng Tương lai

Cấu trúc biến tần PV đang phát triển với tốc độ cao. Một số lượng lớn trans mới được cấp bằng sáng chế các cấu trúc liên kết không có trước đây dựa trên cầu H hoặc NPC đã xuất hiện trên thị trường với hiệu quả lên đến 98%. Trong chương này, nguyên tắc hoạt động cùng với các hoạt động của những cấu trúc liên kết này được trình bày vì điều này thể hiện một giá trị thực sự cao cho điện tử công suất cộng đồng.

Xu hướng rõ ràng là nhiều silicon hơn để giảm tổn thất, vì số lượng công tắc đã tăng lên.

Thị trường biến tần PV được thúc đẩy bởi hiệu quả hơn là chi phí, chủ yếu là do giá cao cho năng lượng PV. Để tăng hiệu quả hơn nữa có thể khá khó khăn khi sử dụng công nghệ hiện tại, nhưng nghiên cứu mới cho thấy tiềm năng thực sự tốt trong việc thay thế silicon chuyển mạch bằng silicon-cacbua. Trong tài liệu tham khảo [16], hiệu suất tăng khoảng 1% là được thể hiện trên cấu trúc liên kết HERIC bằng cách chỉ cần thay thế IGBT bằng SiC MosFet. Nó là do đó, dự kiến rằng trong một vài năm nữa SiC MosFets sẽ có sẵn trên thị trường, cùng với các điốt SiC, hiện đang được sử dụng ngày nay trong các bộ chuyển đổi tăng hiệu suất rất cao.

Một xu hướng khác trong việc thiết kế biến tần PV sẽ bị ảnh hưởng bởi các yêu cầu về lưới điện.

Hiện tại, ở nhiều quốc gia yêu cầu phải nhanh chóng phát hiện hiện tượng đảo đảo và ngắt kết nối biến tần khỏi lưới điện ngay lập tức để tránh bất kỳ vấn đề an toàn cá nhân nào, đặc biệt là đối với hệ thống PV dân cư. Tuy nhiên, khi trọng lượng PV trong việc tích hợp lưới điện dự kiến sẽ phát triển rất nhanh, có thể các yêu cầu về lưới điện sẽ thay đổi và sẽ yêu cầu khả năng vượt qua lỗi để ổn định hệ thống điện.

Cũng giống như trường hợp của hệ thống điện gió, yêu cầu này đã được đưa ra sau một thời gian dài thời kỳ mà tỷ trọng của nó trong sản xuất điện trở nên quan trọng. Điều này có lẽ sẽ áp dụng cho các nhà máy PV lớn kết nối với hệ thống phân phối.

Cuối cùng, việc tích hợp các thành phần nguồn là một yếu tố quan trọng như nó được biết đến từ lĩnh vực truyền động điện mà điều này sẽ làm giảm chi phí trong dài hạn. Vấn đề với PV biến tần là có rất nhiều cấu trúc liên kết và thực sự rất khó để tìm ra tiêu chuẩn các mô-đun để thực hiện. Một ví dụ điển hình là SMA, quản lý để sản xuất mô-đun nguồn cho cấu trúc liên kết H5. Semikron và Vincotech (trước đây là một bộ phận của Tyco) hiện đang cung cấp mô-đun nguồn cho cấu trúc liên kết NPC, Mitsubishi cung cấp nguồn điện thông minh mô-đun (IPM) với một hoặc hai bộ chuyển đổi tăng áp cộng với một biến tần cầu H được thiết kế đặc biệt cho các ứng dụng PV và xu hướng này dự kiến sẽ tiếp tục với các thiết bị chính khác vì thị trường biến tần PV đang phát triển rất nhanh.

KẾT LUẬN

Qua quá trình thực hiện làm đề án tốt nghiệp đã giúp em hiểu rõ hơn về thực tế đồng thời củng cố lại kiến thức đã học trong suốt thời gian qua. Đề tài này mang nặng về lý thuyết liên quan đến ngành điện tự động. Dưới sự hướng dẫn của GS-TSKH Thân Ngọc Hoàn, em đã cố gắng trình bày khá đầy đủ theo yêu cầu của đề án tốt nghiệp.

- Tổng quan về các nguồn năng lượng xanh
- Tổng quan về hệ thống sử dụng năng lượng mặt trời
- Cấu trúc biến tần quang điện

Với sự quan tâm và nỗ lực không ngừng, đề án tốt nghiệp đã được hoàn thành và có nội dung bám sát yêu cầu đề ra. Mặc dù còn nhiều hạn chế, thiếu sót nhưng qua đề án tốt nghiệp này đã giúp sinh viên thực hiện đánh giá được chính mình. Đây sẽ là 1 thành quả lớn sau nhiều năm học tập với sự giúp đỡ của quý thầy cô và bạn bè. Một lần nữa em xin chân thành cảm ơn thầy GS-TSKH Thân Ngọc Hoàn đã tận tình chỉ bảo để giúp em hoàn thành bài luận văn này.

Hải Phòng, ngày tháng năm 2020

Sinh viên thực hiện

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Meinhardt, M., Cramer, G., Burger, B. and Zacharias, P. 'Multi-String-Converter with Reduced Specific Costs and Enhanced Functionality'. *Solar Energy*, **69**(Suppl. 6), July–December 2001, 217–227.
- [2] Lopez, O., Teodorescu, R., Freijedo, F. and DovalGandoy, J., 'Leakage Current Evaluation of a Single-Phase Transformerless PV Inverter Connected to the Grid'. In *Applied Power Electronics Conference, APEC 2007 – Twenty Second Annual IEEE*, 25 February–1 March 2007, pp. 907–912.
- [3] McMurray, W., 'Inverter Circuits'. US Patent 3207974, September 1965.
- [4] Lai, R.-S. and Ngo, K. D. T., 'A PWM Method for Reduction of Switching Loss in a Full-Bridge Inverter', *IEEE Transactions on Power Electronics*, **10**(3), May 1995, 326–332 .
- [5] Victor, M. *et al.*, US Patent Application, Publication Number US 2005/0286281 A1, 29 December 2005.
- [6] Schmid, H. *et al.* US Patent 7046534, issued 16 May 2006.
- [7] Hantschel, J., German Patent Application, Publication Number DE102006010694 A11, 20 September 2007.
- [8] Gonzalez, S. R. *et al.* International Patent Application, Publication Number WO2008015298, 2 July 2007.
- [9] Gonzalez, R., Lopez, J., Sanchis, P. and Marroyo, L., 'Transformerless Inverter for Single-Phase Photovoltaic Systems'. *IEEE Transactions on Power Electronics*, **22**(2), March 2007, 693–697.
- [10] Kerekes, T., Teodorescu, R., Rodriguez, P., Vazquez, G. and Aldabas, E., 'A New High-Efficiency Single-Phase Transformerless PV Inverter Topology', *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2010.
- [11] Nabae, A., Magi, H. and Takahashi, I., 'A New Neutral-Point-Clamped PWM Inverter'. *IEEE Transactions on Industry Applications*, **IA-17**(5), September/October 1981, 518–523.
- [12] Knaup, P., International Patent Application, Publication Number WO 2007/048420 A1, 3 May 2007.
- [13] Calais, M., Agelidis, V.G. and Meinhardt, M., 'Multilevel Converters for Single-Phase Grid Connected Photovoltaic Systems: An Overview'. *Solar Energy*, **66**(5), August 1999, 325–335.
- [14] Mohan, N., Undeland, T. and Robbins, P. W., *Power Electronics. Converters, Applications and Design*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, 2003, ISBN 0471226939.
- [15] Kerekes, T., Teodorescu, R., Klumpner, C., Sumner, M., Floricau, D. and Rodriguez, P., 'Evaluation of ThreePhase Transformerless Photovoltaic Inverter Topologies'. In *Power Electronics and Applications, 2007 European*

Conference, 2–5 September 2007, pp. 1–10.

[16] Burger, B. and Schmidt, H., ‘25 Years Transformerless Inverters’. In *Proceedings of PVSEC*, 2007.