

LỜI CẢM ƠN

Sau gần 3 tháng thực hiện đồ án tốt nghiệp “ **Nghiên cứu STATCOM, ứng dụng trong truyền tải điện năng** ” đã phần nào hoàn thành, ngoài sự cố gắng của bản thân em đã nhận được sự khích lệ rất nhiều từ phía nhà trường, thầy cô, gia đình và bạn bè.

Lời đầu tiên em muốn nói là em xin chân thành cảm ơn sự hướng dẫn tận tình của thầy Nguyễn Tiến Ban. Khoa điện tự động trường ĐH dân lập Hải Phòng. Dù rất bận rộn với công việc nhưng thầy vẫn dành thời gian để hướng dẫn em hoàn thiện đồ án này.

Em cũng xin chân thành cảm ơn các thầy cô giáo trong khoa Điện–Điện Tự Động trường ĐH Dân Lập Hải Phòng cũng như các thầy cô trong trường đã giảng dạy, giúp đỡ em trong 4 năm học vừa qua. Chính các thầy cô đã xây dựng cho chúng em những kiến thức nền tảng và những kiến thức chuyên môn để có thể hoàn thiện đồ án này cũng như công việc của mình sau này.

Em xin chân thành cảm ơn!

Chương 1:

TỔNG QUAN VỀ STATCOM VÀ BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

1.1. TỔNG QUAN VỀ STATCOM

Static Compensator là thiết bị chuyển đổi nguồn áp (VSC-Voltage Source Converter), được định nghĩa là một bộ tự biến đổi công suất cung cấp từ một nguồn điện thích hợp và hoạt động tạo ra một bộ điều chỉnh điện áp nhiều pha, thiết bị này được dùng trong lưới điện xoay chiều ba pha để thực hiện điều chỉnh, điều khiển một cách độc lập công suất tác dụng và công suất phản kháng. Để điều khiển bù công suất phản kháng trong hệ thống điện thường sử dụng cấu hình STATCOM biến đổi. STATCOM đã được định nghĩa với ba chức năng hoạt động. Chức năng đầu tiên là bộ chuyển đổi tĩnh: nguyên lý dựa trên các thiết bị chuyển đổi không có thành phần quay, chức năng thứ hai là thiết bị đồng bộ: tương tự như một máy đồng bộ lý tưởng với điện áp ba pha hình sin tại tần số cơ bản, chức năng thứ ba là khả năng bù: cung cấp bù công suất phản kháng. [7],[8] Cơ sở của công nghệ STATCOM là sử dụng các bộ biến đổi điện tử công suất ở dạng một bộ biến đổi điện tạo nguồn điện áp để tổng hợp điện áp đầu ra V_c từ nguồn điện áp một chiều. Điện áp xoay chiều V_c của bộ biến đổi điện được đấu nối với hệ thống điện (được thể hiện bằng điện áp hệ thống V_s và điện kháng hệ thống X_s), thông qua điện kháng đệm X_c . Trên hình 1.1 (a) thể hiện mạch điện tương đương một pha của STATCOM.

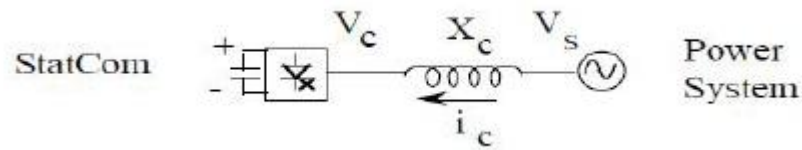
Bằng cách khống chế điện áp V_c của STATCOM, cùng pha với điện áp hệ thống V_s , nhưng có biên độ lớn hơn, dòng điện và công suất phản kháng chạy từ STATCOM vào hệ thống, để nâng điện áp lên. Ngược lại, nếu điều

hiện điện áp V_c thấp hơn điện áp hệ thống V_s , thì dòng điện và dòng công suất chạy từ lưới vào STATCOM, do vậy hạn chế quá điện áp trên lưới điện

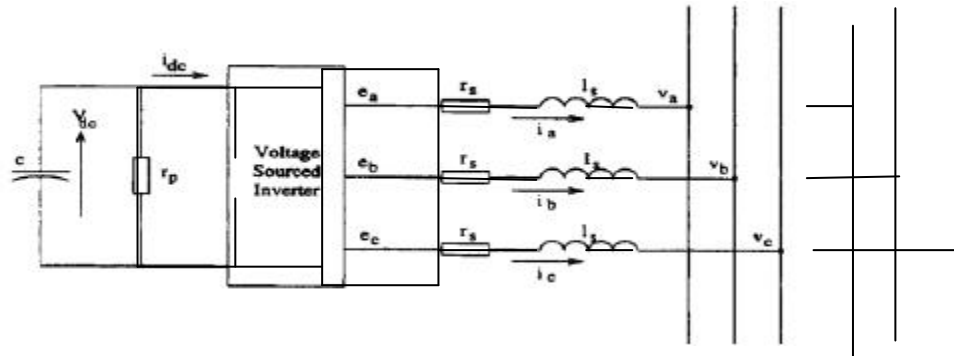
Điện áp xoay chiều được tạo ra từ nguồn điện áp một chiều nhờ các bộ biến đổi công suất sử dụng điện tử tác động nhanh. Từ nhiều năm nay. Thyristor trong SVC (thiết bị bù tĩnh công suất phản kháng) có thể được sử dụng để điều khiển mở để dẫn dòng nhưng không thể điều khiển khóa thyristor tức là điều khiển khóa dòng điện. Đặc điểm khác biệt của STATCOM là nó sử dụng các công tắc hai chế độ, ví dụ như các thyristor cắt (GTO) hoặc transistor lưỡng cực cửa cách điện (IGBT) có khả năng điều khiển dẫn dòng cũng như cắt mạch. Dạng sóng đầu ra đơn giản nhất từ bộ biến đổi điện nguồn điện áp là điện áp có dạng sóng vuông. Tuy nhiên, dạng sóng mong muốn và tối ưu nhất phải là dạng hình sin, STATCOM thực hiện được dạng sóng với chất lượng yêu cầu bằng cách tổng hợp dạng sóng hình sin theo một chuỗi các bậc, với việc sử dụng kỹ thuật nhân xung được áp dụng từ nhiều năm nay để giảm sóng hài trong điện áp xoay chiều của các bộ chỉnh lưu và biến đổi điện. Bằng cách tăng số bậc, có thể giảm thành phần sóng hài và nhờ đó điện áp tạo ra gần đúng hơn với sóng hình sin tần số cơ bản.

Chức năng của STATCOM thì tương tự như của một tụ bù đồng bộ nhưng thời gian phản ứng cực kỳ nhanh chóng và hiệu quả. Tóm lại, STATCOM cung cấp bù công suất phản kháng để giải quyết một loạt những yêu cầu chất lượng cho hệ thống điện như điện áp, tần số của hệ thống lưới điện công nghiệp khi bản thân nó có biến động và nguy cơ mất ổn định. Một hệ

thống STATCOM hoàn thiện cơ bản bao gồm một nguồn điện áp DC, bộ biến đổi nguồn điện áp (VSC), và một máy biến áp ghép nối với lưới điện.



a)



b)

Hình 1.1: Mạch điện tương đương của STATCOM

a) Mạch tương đương một pha

b) Mạch tương đương ba pha

1.1.1. Các thể hệ bù công suất phản kháng

1.1.1.1. Thế hệ đầu tiên là các thiết bị bù đóng ngắt bằng cơ học

- Kháng bù ngang cố định
- Tụ bù ngang cố định
- Kháng bù ngang đóng ngắt bằng cơ học
- Tụ bù ngang đóng ngắt bằng cơ học

1.1.1.2. Thế hệ thứ hai là các thiết bị bù đóng ngắt dựa trên Thyristor

- Kháng điều khiển bằng thyristor
- Tụ đóng mở bằng thyristor
- Thiết bị bù tĩnh điều khiển bằng thyristor

- Tụ (kháng) bù dọc chuyển đổi bằng thyristor
- Tụ (kháng) bù dọc điều khiển bằng thyristor
- Điện trở hãm điều khiển bằng thyristor
- Máy biến áp chuyển pha điều khiển bằng thyristor
- Thiết bị bù chuyển đổi mạch đường dây

1.1.1.3. Thế hệ thứ ba là các thiết bị bù dựa trên bộ chuyển đổi

- Thiết bị bù đồng bộ tĩnh.
- Thiết bị bù dọc đồng bộ tĩnh.
- Thiết bị điều khiển dòng công suất lưới điện.

1.1.2. Chức năng ứng dụng của STATCOM

STATCOM có các chức năng ứng dụng sau đây trong điều khiển linh hoạt hệ thống điện:

- Tăng khả năng truyền tải công suất.
- Giảm thiểu tổn thất đường dây.
- Bù công suất phản kháng.
- Ngăn chặn chập chờn của lưới điện.
- Điều chỉnh điện áp.
- Cân bằng điện áp ba pha.
- Nâng cao ổn định quá độ.
- Nâng cao sự ổn định trạng thái ổn định.
- Giảm dao động công suất. [6],[9],[12]



Hình 1.2: Chức năng ứng dụng của STATCOM

1.2. TỔNG QUAN VỀ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

1.2.1. Giới thiệu chung

Để đánh giá vấn đề sử dụng điện có hợp lý và tiết kiệm hay không người ta đánh giá thông qua hệ số công suất PF. Nâng cao hệ số công suất là một trong những biện pháp quan trọng để tiết kiệm điện năng.

Biểu thức tính toán hệ số công suất:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (1.1)$$

Phần lớn các thiết bị dùng điện đều tiêu thụ công suất tác dụng P và công suất phản kháng Q.

Công suất tác dụng P là công suất được biến thành cơ năng hoặc nhiệt năng trong các máy dùng điện (công suất hữu công).

Công suất phản kháng Q không sinh công (công suất vô công) nhưng bắt buộc phải có thì một số thiết bị mới hoạt động được, chẳng hạn nó là công suất từ hóa lõi thép máy biến áp, động cơ... Do đó trong vận hành người ta mong muốn sử dụng CSPK của lưới điện càng ít càng tốt miễn sao thiết bị vẫn hoạt

động bình thường Một vấn đề khác là trong quá trình truyền tải điện năng từ nơi sản xuất điện (các nhà máy thủy điện, nhiệt điện...) thì có tổn hao trên đường dây truyền tải làm điện áp tại các điểm cách xa nguồn bị suy giảm do đó để đảm bảo cho điện áp không bị suy giảm lớn thì cần bù CSPK. CSPK cung cấp cho tải tiêu thụ không nhất thiết phải lấy từ nguồn vì vậy để tránh truyền tải một lượng CSPK lớn người ta đặt gần các tải tiêu thụ các thiết bị sinh CSPK như SVC, STATCOM ..., để cung cấp trực tiếp cho tải, việc thực hiện như vậy gọi là bù CSPK.

1.2.2. Hiệu quả của việc bù công suất phản kháng.

- Giảm được tổn thất công suất trên mạng điện do giảm được CSPK truyền tải trên đường dây.

- Giảm được tổn hao điện áp trong mạng điện do giảm được thành phần DU do CSPK gây ra.

- Tăng khả năng truyền tải của đường dây và máy biến áp. Khả năng truyền tải của đường dây và máy biến áp phụ thuộc vào điều kiện phát nóng tức phụ thuộc vào dòng điện cho phép của chúng. Dòng điện chạy trên dây dẫn và máy biến áp được tính theo công thức:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}U} \quad (1.2)$$

Biểu thức này chứng tỏ rằng với cùng một tình trạng phát nóng nhất định của đường dây và máy biến áp ($I = \text{const}$) ta có thể tăng khả năng truyền tải công suất tác dụng P bằng cách giảm công suất phản kháng Q mà chúng phải tải đi. Vì thế khi giữ nguyên đường dây và máy biến áp nếu hệ số công suất

được nâng cao tức là giảm được lượng CSPK phải truyền tải thông qua bù CSPK thì khả năng tải của chúng được nâng cao.

1.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

1.3.1. Các thiết bị bù công suất phản kháng

1.3.1.1. Tụ điện tĩnh

Khi có điện áp đặt vào tụ thì có dòng điện chạy qua tụ, dòng này vượt trước điện áp một góc 90^0 do đó phát ra CSPK. Để đóng cắt tụ điện vào đường dây người ta sử dụng các thyristor, thông qua việc điều chỉnh đóng cắt các thyristor sẽ điều chỉnh được dung lượng CSPK cần bù.

1.3.1.2. Máy bù đồng bộ

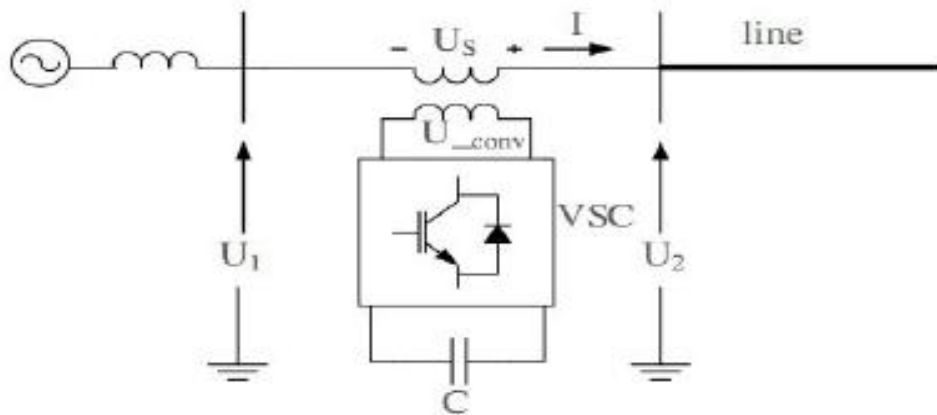
Thực chất là động cơ đồng bộ làm việc ở chế độ quá kích thích. Máy bù đồng bộ thường chỉ được dùng ở những nơi yêu cầu khắc khe về chế độ bù và thường được dùng ở lưới trung áp.

1.3.2. Một số thiết bị bù trong Flexible Alternating Current Transmission Syster

Hiện nay ở nhiều nước phát triển trên thế giới sử dụng hệ thống truyền tải điện linh hoạt FACTS trong đó các thiết bị bù của hệ thống dựa trên các linh kiện điện tử công suất lớn như GTO, IGTO, IGBT... để cung cấp năng lượng khi cần thiết để đảm bảo tính ổn định của hệ thống điện. FACTS là tập hợp nhiều thiết bị điều khiển truyền tải điện năng trên nền tảng các phần tử điện tử công suất lớn.

1.3.2.1. Bộ bù đồng bộ tĩnh nối tiếp Static Synchronons Series Compensator

Điều khiển CSPK chảy qua điểm kết nối thông qua điều khiển biên độ, góc pha của điện áp nguồn.



Hình 1.3: Sơ đồ cấu trúc của SSSC

Cấu trúc bao gồm bộ biến đổi điện áp nguồn VSC, tụ điện C, máy biến áp kết nối. SSSC nối tiếp vào hệ thống điện. Nó dùng để điều khiển dòng công suất và cải thiện dao động công suất trên lưới. Bộ SSSC sẽ bơm một điện áp U_s nối tiếp với đường dây truyền tải tại điểm kết nối

$$U_s = U_1 - U_2 = U_d + jU_q \quad (1.3)$$

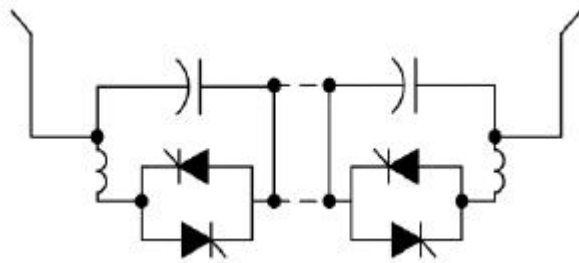
Vì SSSC không tiêu thụ công suất tác dụng từ hệ thống nên U_s bơm vào cần phải vuông góc với dòng điện đường dây. Như vậy bằng cách thay đổi biên độ điện áp U_q của điện áp bơm vào đường dây, SSSC sẽ phát ra hay hấp thụ CSPK. Khi $U_q > 0$ thì SSSC phát ra CSPK, ngược lại khi $U_q < 0$ thì SSSC tiêu thụ CSPK.

Việc thay đổi điện áp này được thực hiện bằng bộ VSC nối bên thứ cấp của máy biến áp. Bộ VSC sử dụng các linh kiện điện tử công suất (GTO, IGBT) để tạo ra điện áp từ nguồn một chiều.

1.3.2.2. Bộ bù bằng tụ mắc nối tiếp điều khiển bằng thyristor controlled series capacitor (TCSC)

Điều khiển CSPK chảy qua điểm kết nối thông qua điều khiển biên độ, góc pha của điện áp nguồn.

TCSC là thiết bị bù nối tiếp trong FACTS. TCSC điều khiển điện kháng X của đường dây thông qua việc dùng thyristor điều khiển đóng hay cắt dây tụ kết nối vào đường dây.



Hình 1.4: Sơ đồ cấu trúc của TCSC

Chức năng của TCSC:

- Giảm dao động điện áp.
- Tăng khả năng truyền tải đường dây bằng cách bù CSPK.
- Tăng tính ổn định cho hệ thống điện.
- Hạn chế hiện tượng cộng hưởng tần số thấp trong hệ thống điện.

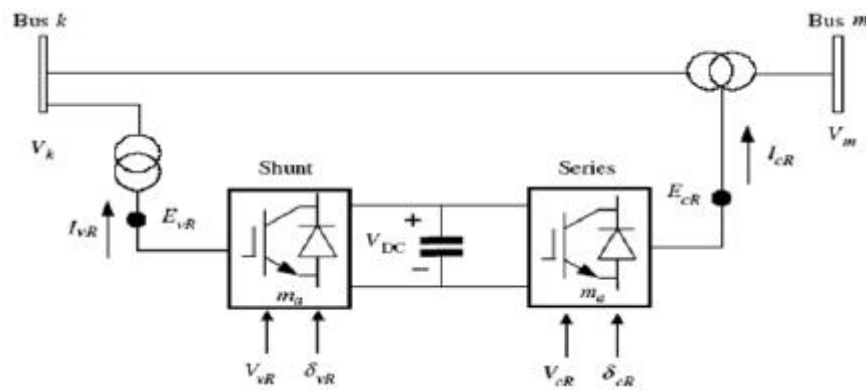
1.3.2.3. Bộ điều khiển đồng thời dòng công suất hợp nhất Unified Power Flow controller

UPFC có thể được xem như bao gồm 2 VSC chung tụ điện trên phần DC của Chúng mắc đầu lưng nhau và là một hệ thống điều khiển hợp nhất. Mô tả một nhánh đơn giản của UPFC được cho trong hình 3.5 UPFC cho phép điều khiển đồng thời trào lưu công suất tác dụng và phản kháng, và độ lớn điện áp tại

các giới hạn UPFC. Một sự lựa chọn, sự điều khiển này có thể được đặt để điều khiển một hoặc nhiều các thông số trong một vài tổ hợp hoặc không điều khiển chúng.

Công suất tác dụng yêu cầu bởi bộ nghịch lưu nối tiếp được rút ra bởi bộ nghịch lưu mắc song song từ lưới AC và được cung cấp đến nút m thông qua lưới DC. Điện áp ngõ ra của bộ nghịch lưu nối tiếp được cộng đến điện áp nút, lấy tại nút k, để nâng điện áp tại nút m.

Độ lớn điện áp của điện áp ra V_{cR} cung cấp sự điều chỉnh điện áp, và góc pha δ_{cR} xác định cách điều khiển trào lưu công suất. Thêm vào đó một vai trò phụ trong việc thay đổi công suất tác dụng mà đó là nơi giữa bộ nghịch lưu nối tiếp và hệ thống AC, bộ nghịch lưu song song cũng có thể phát hoặc thu công suất phản kháng để cung cấp sự điều chỉnh độ lớn điện áp một cách độc lập tại điểm kết nối với hệ thống xoay chiều.

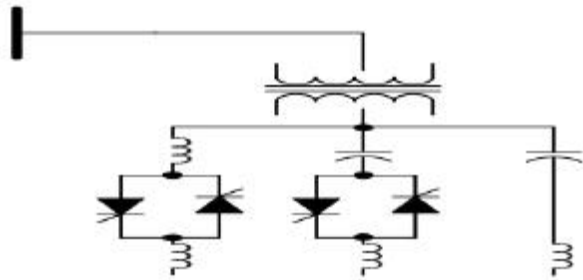


Hình 1.5: Sơ đồ cấu trúc UPFC

1.3.2.4. Bộ bù tĩnh (SVC :Static Var Compensator)

Điều khiển dòng CSPK trên lưới thông qua việc điều chỉnh điện áp phát ra từ thiết bị bù. SVC là thiết bị bù song song trong FACTS. SVC điều chỉnh

điện áp ở cực của nó bằng cách điều khiển lượng CSPK hấp thụ hay phát ra từ công suất hệ thống. Khi điện áp hệ thống thấp hơn điện áp SVC, thì SVC phát ra CSPK.

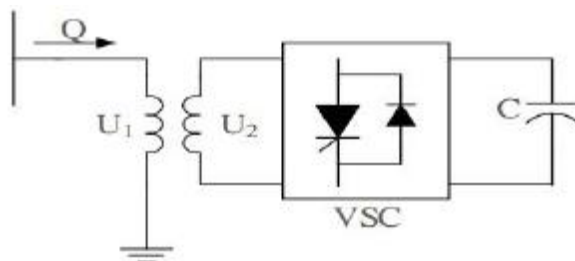


Hình 1.6: Sơ đồ cấu trúc của SVC

ngược lại điện áp hệ thống cao hơn, thì SVC hấp thụ CSPK. Việc thay đổi CSPK thực hiện bằng việc chuyển mạch các tụ và cuộn kháng nối ở phía thứ cấp máy biến áp. Việc đóng cắt này được thực hiện bằng các thyristor.

1.3.2.5. Bộ bù đồng bộ tĩnh (STATCOM: Static Synchronous Compensator)

Điều khiển dòng CSPK trên lưới thông qua việc điều chỉnh điện áp phát ra từ thiết bị bù. STATCOM là thiết bị bù song song trong FACTS.



Hình 1.7: Sơ đồ cấu trúc của STATCOM

STATCOM điều chỉnh điện áp ở đầu cực của nó bằng cách điều khiển lượng CSPK phát ra hay hấp thụ từ hệ thống.

- Khi điện áp hệ thống thấp hơn điện áp STATCOM thì STATCOM phát ra CSPK.

1.4. NGUYÊN LÝ BÙ TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

Hình 1.8(a) trình bày mô hình đơn giản của hệ thống truyền tải điện. Hai lưới điện được kết nối bằng một đường dây truyền tải.

Giả định rằng: Có tổn thất và được thể hiện bằng điện kháng X_L . Điện áp của hai thanh cái là $V_1 \angle \delta_1$ và $V_2 \angle \delta_2$. Góc lệch pha giữa hai điện áp thanh cái là

$$\delta = \delta_1 - \delta_2.$$

Giản đồ pha tương ứng được trình bày trong hình 3.8(b).

Biên độ của dòng điện chạy trong đường dây truyền tải là:

$$I = \frac{V_L}{X_L} = \frac{|V_1 \angle \delta_1 - V_2 \angle \delta_2|}{X_L} \quad (1.4)$$

Thành phần tác dụng và phản kháng của dòng điện tại thanh cái 1 là:

$$I_{d1} = \frac{V_1 \sin \delta}{X_L}, \quad I_{q1} = \frac{V_1 - V_2 \cos \delta}{X_L} \quad (1.5)$$

Công suất tác dụng và phản kháng tại thanh cái 1 là:

$$P_1 = \frac{V_1 V_2 \sin \delta}{X_L}, \quad Q_1 = \frac{V_1 (V_1 - V_2 \cos \delta)}{X_L} \quad (1.6)$$

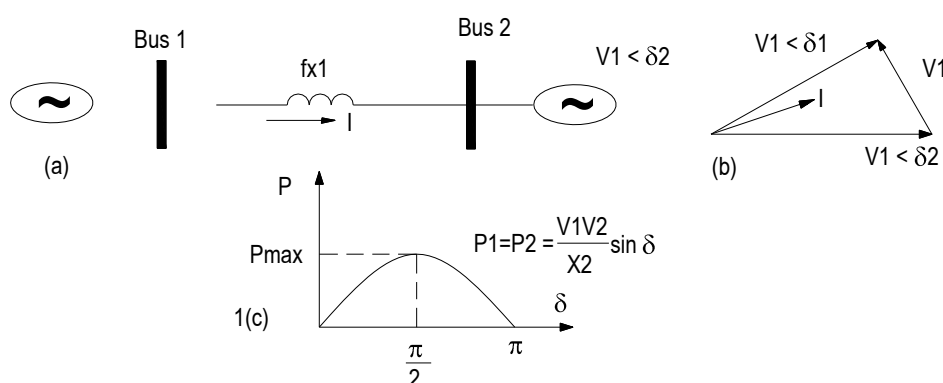
Tương tự, thành phần tác dụng và phản kháng của dòng điện tại thanh cái 2 là:

$$I_{d2} = \frac{V_2 \sin \delta}{X_L}, \quad I_{q2} = \frac{V_2 - V_1 \cos \delta}{X_L} \quad (1.7)$$

Công suất tác dụng và phản kháng tại thanh cái 2 là:

(1.8)

$$P_2 = \frac{V_1 V_2 \sin \delta}{X_L}, \quad Q_2 = \frac{V_1 (V_2 - V_1 \cos \delta)}{X_L}$$



Hình 1.8: Hệ thống truyền tải điện: (a) mô hình đơn giản; (b) giản đồ pha

(c) đường công suất – góc.

Từ phương trình (1.4) đến phương trình (1.8) thấy rằng công suất tác dụng và phản kháng, dòng điện có thể được điều chỉnh bằng cách điều khiển điện áp, góc pha và tổng trở của hệ thống truyền tải. Nói chung, việc bù trong hệ thống truyền tải điện có thể được chia thành hai nhóm chính: Bù song song và bù nối tiếp.

1.4.1 Bù song song

Bù song song, thông dụng nhất là bù kháng song song đã được sử dụng rộng rãi trong hệ thống truyền tải điện để điều chỉnh biên độ điện áp, cải thiện chất lượng điện áp, và nâng cao ổn định hệ thống. Cuộn kháng đầu nối song song thường được sử dụng để giảm quá điện áp đường dây bằng cách hấp thụ công suất phản kháng. Trong khi đó, Tụ bù kết nối song song thường được sử dụng để duy trì mức điện áp bằng cách bù công suất phản kháng đến đường

dây truyền tải. Mô hình đơn giản của hệ thống truyền tải có bù song song được trình bày trong hình 1.9(a). Biên độ điện áp của hai thanh cái được giả định bằng V , góc pha giữa chúng là δ . Giả định tổn thất trên đường dây truyền tải được thể hiện bằng kháng trở X_L . Tại điểm giữa của đường dây truyền tải kết nối một Tụ bù có điều khiển. Biên độ điện áp tại điểm kết nối là được duy trì bằng V . Như đã trình bày ở trên, công suất tác dụng tại thanh cái 1 và 2 là bằng nhau:

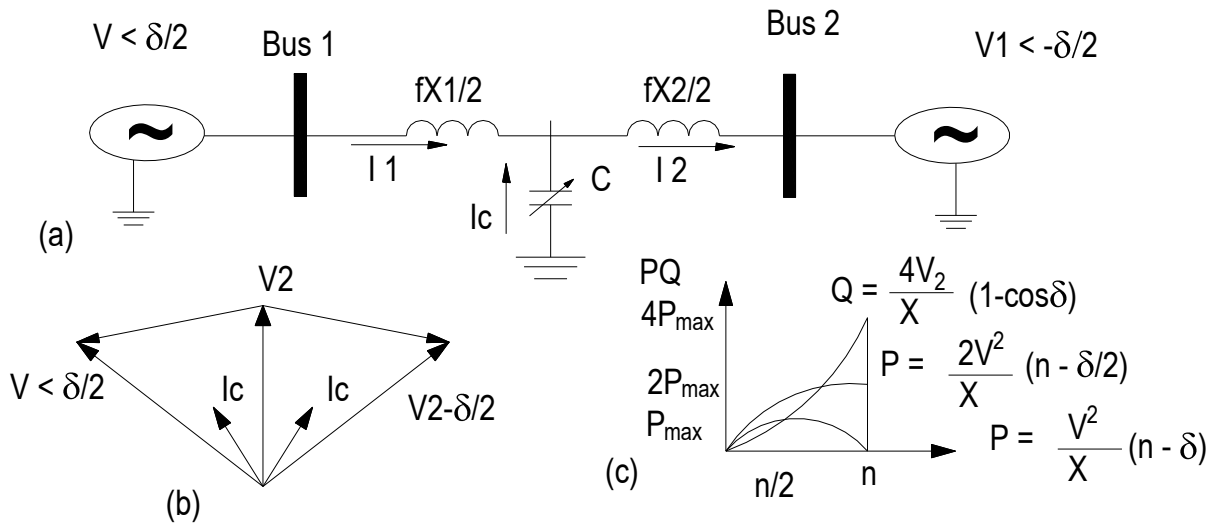
$$P_1 = P_2 = 2 \frac{V^2}{X_L} \sin \frac{\delta}{2} \quad (1.9)$$

Công suất phản kháng bơm vào của tụ điện để điều chỉnh điện áp tại điểm giữa

của đường dây truyền tải được tính như sau:

$$Q_c = 4 \frac{V^2}{X_L} \left(1 - \cos \frac{\delta}{2}\right) \quad (1.10)$$

Từ đường cong công suất – góc thể hiện trong Hình 1.9 (c), công suất truyền tải có thể được gia tăng đáng kể, và điểm đỉnh dịch chuyển từ $\delta = 90^\circ$ đến $\delta = 180^\circ$. Đường biên vận hành và ổn định hệ thống được gia tăng bằng cách bù song song. Chức năng hỗ trợ điện áp của việc bù ở chính giữa có thể dễ dàng mở rộng đến hỗ trợ điện áp cuối đường dây truyền tải dạng tia, bù công suất phản kháng ở cuối đường dây dạng tia là đặc biệt có hiệu quả trong việc nâng cao ổn định điện áp.



Hình 1.9: Hệ thống truyền tải điện có bù song song: (a) Mô hình đơn giản

(b)Giản đồ pha; (c) Đường cong Công suất – Góc pha

1.4.2. Bù nối tiếp

Mục đích của bù nối tiếp để điều khiển trực tiếp tổng trở nối tiếp của cả đường dây truyền tải điện. Xem lại các Phương trình (1.4) đến (1.8), công suất xoay chiều AC bị giới hạn chính bởi tổng trở kháng của đường dây truyền tải. Bù nối tiếp có thể gia tăng điện áp chống lại sụt áp của đường dây truyền tải, vì vậy giảm được tổng trở nối tiếp đường dây.

Mô hình đơn giản của đường dây truyền tải có bù nối tiếp được trình bày trong hình 1.10 (a). Giả định rằng: Biên độ điện áp của hai thanh cái được giả định như nhau là bằng V.

Góc lệch giữa chúng là d . Bỏ qua tổn thất trên trở kháng X_L . Tự bù có điều khiển được nối tiếp vào đường dây truyền tải với điện áp bơm vào V_{inj} . Giản đồ pha được trình bày trong

Hình 1.10(b) Điện dung của tụ C khi nối vào điện kháng đường dây:

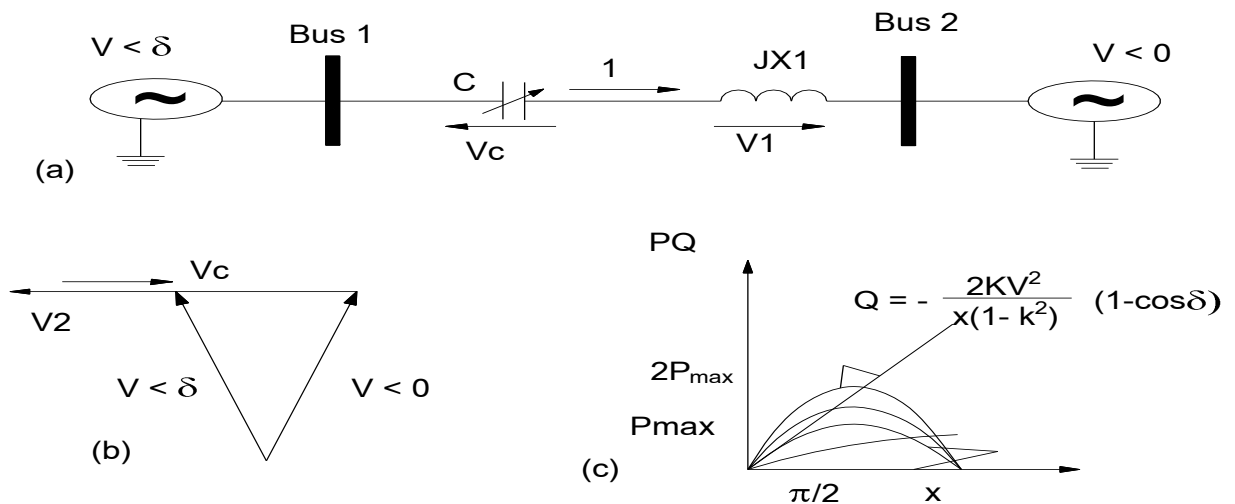
$$X_C = kX_L \quad (1.11)$$

Điện kháng toàn bộ của đường dây truyền tải là:

$$X = X_L - X_C = (1-k)X_L \quad (1.12)$$

Công suất tác dụng được truyền tải là:

$$P = \frac{V^2}{(1-k)X_L} \sin \delta \quad (1.13)$$



Hình 1.10: Hệ thống truyền tải có bù nối tiếp: (a) Mô hình đơn giản; (b) Giản đồ pha; (c) Đường cong công suất-góc

Công suất phản kháng cung cấp bởi tụ điện được tính như sau:

$$Q_c = 2 \frac{V^4 k}{X_L (1-k)^2} (1-\cos \delta)$$

$$(1.14)$$

Từ hình 1.10 (c) thể hiện đường công suất – góc cho thấy rằng công suất truyền tải gia tăng theo k.

Chương 2:

ĐIỀU KHIỂN ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP HỆ THỐNG ĐIỆN

Hệ thống truyền tải điện ngày nay là một mạng phức tạp. đường dây truyền tải điện kết nối tất cả các nhà máy điện và tất cả các điểm phụ tải chính trong hệ thống điện. Các đường dây truyền tải nguồn công suất lớn theo hướng đi mong muốn theo sự kết nối của hệ thống truyền tải để đạt được sự phân bố công suất mong muốn. Hơn nữa, đặc điểm chính của hệ thống truyền tải điện ngày nay là có nhiều cấu trúc mạch vòng, trái với hệ thống truyền tải điện trước đây có nhiều cấu trúc hình tia, cung cấp công suất từ máy phát đến phụ tải xác định.

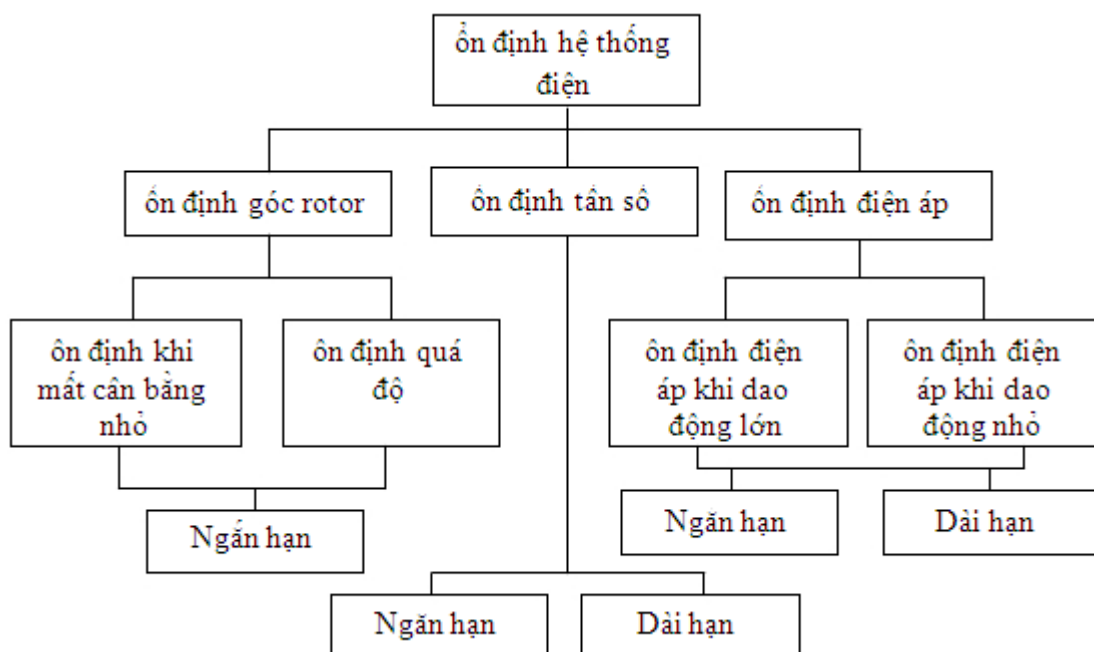
Việc truyền tải công suất ở trạng thái tĩnh có thể bị giới hạn bởi sự phân bố công suất song song hoặc mạch vòng. Việc phân bố đó thường xảy ra trong hệ thống mạng nhiều phát tuyến, kết nối hệ thống điện, dẫn đến các đường dây bị quá tải dưới các vấn đề về dạng nhiệt hoặc giới hạn điện áp.

Hệ thống điện làm việc có sự đồng bộ đối với việc phát công suất điện. Nó là yêu cầu cơ bản để phát hết công suất của tất cả các máy phát trong vận hành hệ thống điện với việc duy trì tần số chung. Tuy nhiên, hệ thống điện chịu tác động của các thay đổi nhiễu loạn động, nhiễu loạn có thể là nguyên nhân của sự thay đổi đột ngột sự cân bằng công suất tác dụng và phản kháng trong hệ thống và hậu quả của việc hư hỏng trong máy phát. Khả năng của hệ thống điện để phục hồi từ các nhiễu loạn và xác lập trở lại trạng thái đồng bộ mới dưới các điều kiện tác động ngẫu nhiên trở thành việc thiết kế chính và các giới hạn vận hành đối với khả năng truyền tải.

Khả năng này thường là đặc tính giới hạn ổn định hệ thống. Theo các vấn đề đã được đặt vấn đề trước đây, khả năng của hệ thống điện để đáp ứng nhu cầu phụ tải được giới hạn chính bằng hai chỉ số: phân bố công suất trên các đường dây và các giới hạn ổn định của hệ thống điện. Trong chương này chúng ta quan tâm đến các vấn đề cơ bản của việc kiểm soát hệ thống điện và khả năng ổn định, quan tâm đến việc điều khiển công suất và các giới hạn ổn định

2.1. ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

Hệ thống điện được phân loại ổn định dựa trên các chỉ tiêu như ổn định góc rotor, điện áp và tần số. Quá trình phân loại ổn định trong hệ thống điện được trình bày trong sơ đồ sau:



Hình 2.1: Phân loại ổn định trong hệ thống điện

Ổn định điện áp là khả năng của hệ thống điện để duy trì điện áp ổn định tại tất cả các thanh cái trong hệ thống điện sau khi chịu tác động của nhiễu loạn từ điều kiện vận hành trước đó. Ổn định điện áp phụ thuộc vào khả năng duy trì, phục hồi trạng thái cân bằng giữa nhu cầu phụ tải và khả năng cấp điện cho phụ tải từ hệ thống điện. Ổn định điện áp được phân thành hai dạng dựa theo thời gian mô phỏng: Ổn định điện áp tĩnh và ổn định điện áp động. Phân tích ổn định điện áp tĩnh liên quan đến việc giải các phương trình đại số và vì thế nó ít phức tạp hơn so với nghiên cứu ổn định điện áp động.

Sự mất ổn định xuất hiện dưới dạng thường thấy là điện áp tăng lên hoặc giảm xuống của một số các thanh cái. Hậu quả của việc mất ổn định điện áp là hệ thống bảo vệ relay sẽ tác động cắt điện một số phụ tải trong khu vực, hoặc cắt đường dây truyền tải điện hoặc các phần tử khác mà điều này có

thể dẫn đến mất ổn định đồng bộ của một số máy phát điện trong hệ thống. Trong luận văn này tác giả quan tâm đến việc ổn định điện áp của hệ thống điện và mô phỏng ổn định điện áp của hệ thống điện khi có các thiết bị điều khiển FACTS(STATCOM) bằng phần mềm Matlab/Simulink. Ổn định điện áp được phân thành bốn dạng: Ổn định điện áp nhiễu loạn lớn, ổn định điện áp nhiễu loạn bé, ổn định điện áp trong ngắn hạn và ổn định điện áp trong dài hạn. Tóm tắt ngắn gọn các loại ổn định điện áp như sau:

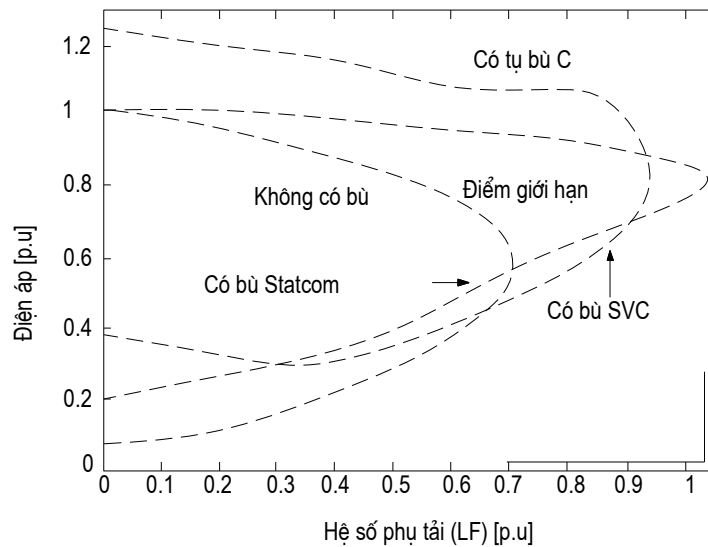
Ổn định điện áp nhiễu loạn lớn: Khả năng của hệ thống điện để duy trì ổn định điện áp ngay sau khi các nhiễu loạn lớn xảy ra như các sự cố hệ thống, ngắt máy phát điện, hoặc ngắn mạch. Khả năng này được xác định bởi đặc tính của hệ thống và phụ tải, và ảnh hưởng của cả hệ thống điều khiển và bảo vệ. Nghiên cứu ổn định này quan tâm trong khoảng thời gian từ một vài giây đến 10 phút.

Ổn định điện áp nhiễu loạn bé: Khả năng của hệ thống để duy trì ổn định điện áp khi hệ thống xảy ra các dao động bé như việc gia tăng sự thay đổi trong hệ thống phụ tải. Đây là dạng ổn định bị ảnh hưởng bởi đặc tính của phụ tải, việc điều khiển liên tục, và điều khiển gián đoạn ở thời gian tức thời đã cho trước.

Ổn định điện áp trong ngắn hạn: liên quan đến tác động của các thành phần phụ tải thay đổi nhanh như mô-tơ cảm ứng, phụ tải có điều khiển bằng thiết bị điện tử và các bộ chuyển đổi HVDC. Nghiên cứu quá trình trong khoảng vài giây.

Ổn định điện áp trong dài hạn: liên quan đến các thiết bị hoạt động chậm hơn như máy biến áp điều nấc, các phụ tải có điều khiển theo nhiệt độ và các máy phát điện có bộ hạn dòng. Thời gian quá độ có thể được mở rộng một vài phút và dài hơn nữa. Một trong những nguyên nhân chính dẫn đến mất ổn định điện áp của hệ thống điện là thiếu công suất phản kháng để hỗ trợ cho hệ thống. Việc cải thiện khả năng điều khiển công suất phản kháng của hệ thống bằng thiết bị là một biện pháp để ngăn chặn mất ổn định điện áp và

hơn nữa là sụp đổ điện áp. Đặc tính P-V cho thấy điện áp ở thanh cái đầu cuối tỷ lệ nghịch với công suất truyền tải được minh họa trong Hình 2.2 sau đây:



Hình 2.2: Các đường cong P-V không có bù, có bù song song

Khi công suất truyền tải gia tăng, điện áp ở đầu nhận cuối giảm. Cuối cùng, điểm giới hạn (nose), tại điểm giới hạn công suất phản kháng của hệ thống đã được đem ra sử dụng hết, đến đây nếu gia tăng truyền tải công suất tác dụng thì sẽ dẫn đến giảm biên độ điện áp rất nhanh. Trước khi đến điểm giới hạn, độ sụt áp là rất lớn làm cho tổn thất công suất phản kháng trở nên trầm trọng. Chỉ bằng cách bảo vệ hệ thống khỏi bị sụp đổ điện áp là giảm công suất phản kháng của phụ tải hoặc hỗ trợ công suất phản kháng trước khi hệ thống đến điểm sụp đổ điện áp. Các thiết bị FACTS có thể cung cấp công suất phản kháng theo yêu cầu để gia tăng biên độ ổn định điện áp.

2.2. CÁC GIỚI HẠN ỔN ĐỊNH TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

Để tin cậy, hệ thống điện có thể vận hành có các giới hạn truyền tải công suất. Các giới hạn này sẽ ràng buộc việc phát và truyền tải công suất tác dụng và phản kháng trong hệ thống. Các giới hạn này được chia thành 3 dạng: giới hạn nhiệt, giới hạn điện áp và giới hạn ổn định.

2.2.1. Giới hạn điện áp

Các thiết bị điện của điện lực và khách hàng được thiết kế để hoạt động ở công suất định mức hoặc điện áp định mức. Phần lớn, sự lệch áp kéo dài so với mức điện áp định mức có thể gây bất lợi cho đặc tính làm việc của chúng. Nghiêm trọng hơn nữa là có thể phá hủy thiết bị. Dòng điện chạy trong đường dây truyền tải gây ra một sụt áp lớn không mong muốn trên đường dây của hệ thống. Điện áp rơi là nguyên nhân chính gây nên tổn thất công suất phản kháng. Tổn thất này xảy ra ngay khi có dòng điện chạy trong hệ thống. Nếu công suất phát ra từ các máy phát điện hoặc các nguồn phát khác là không đủ để cung cấp cho nhu cầu của hệ thống, thì điện áp sẽ bị giảm.

Giới hạn chấp nhận là +6% giá trị điện áp định mức. (Phụ thuộc vào tiêu chuẩn cho phép của từng cấp điện áp và từng quốc gia khác nhau). Hệ thống thường yêu cầu hỗ trợ công suất phản kháng để giúp ngăn chặn vấn đề điện áp giảm thấp. Tổng công suất phản kháng sẵn sàng hỗ trợ thường được xác định theo giới hạn truyền tải công suất. Hệ thống có thể bị hạn chế đến mức thấp công suất tác dụng truyền tải hơn mong muốn bởi vì hệ thống không đáp ứng yêu cầu dự trữ công suất phản kháng đủ để hỗ trợ điện áp.

2.2.2. Giới hạn nhiệt

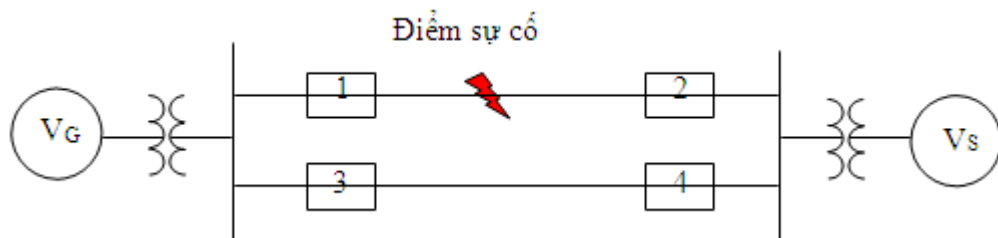
Các giới hạn nhiệt do khả năng chịu nhiệt của các thiết bị hệ thống điện. Ngay khi công suất truyền tải gia tăng, biên độ dòng điện gia tăng, dẫn đến hư hỏng quá nhiệt. Cho ví dụ, trong các nhà máy điện, việc vận hành liên tục các thiết bị ở mức giới hạn vận hành tối đa sẽ dẫn đến hư hỏng do nhiệt. Việc hư hỏng này có thể là cuộn dây stator hoặc cuộn dây rotor của máy phát điện. Cả công suất tác dụng và phản kháng đều tác động đến biên độ dòng điện. Ngoài ra trong hệ thống điện, các đường dây truyền tải và thiết bị liên quan cũng phải vận hành có các giới hạn nhiệt. Việc phải thường xuyên vận hành quá tải các đường dây trên không làm cho cấu trúc kim loại của dây dẫn bị phá vỡ, làm giảm khả năng dẫn điện của chúng. Không giống thuộc vào cách điện của chúng và hơn nữa là không khí làm mát lượng nhiệt năng phát ra. Các thiết bị này được hạn chế dòng điện để chúng mang tải

một cách an toàn. Đối với hai thiết bị loại này, quá tải liên tục sẽ làm giảm tuổi thọ của thiết bị do giảm cách điện. Hầu hết các thiết bị có thể được quá tải cho phép. Điều quan trọng là quá tải bao nhiêu và quá tải bao lâu.

2.2.3. Giới hạn ổn định

Ổn định hệ thống điện là khả năng của hệ thống để duy trì trạng thái vận hành cân bằng trong những điều kiện vận hành bình thường và trở lại trạng thái cân bằng sau khi chịu tác động của các nhiễu loạn. Mất ổn định trong hệ thống điện được thể hiện dưới nhiều dạng khác nhau phụ thuộc vào cấu trúc hệ thống và chế độ vận hành. Thông thường, ổn định là việc duy trì tất cả các máy phát đồng bộ trong hệ thống điện làm việc đồng bộ với nhau.

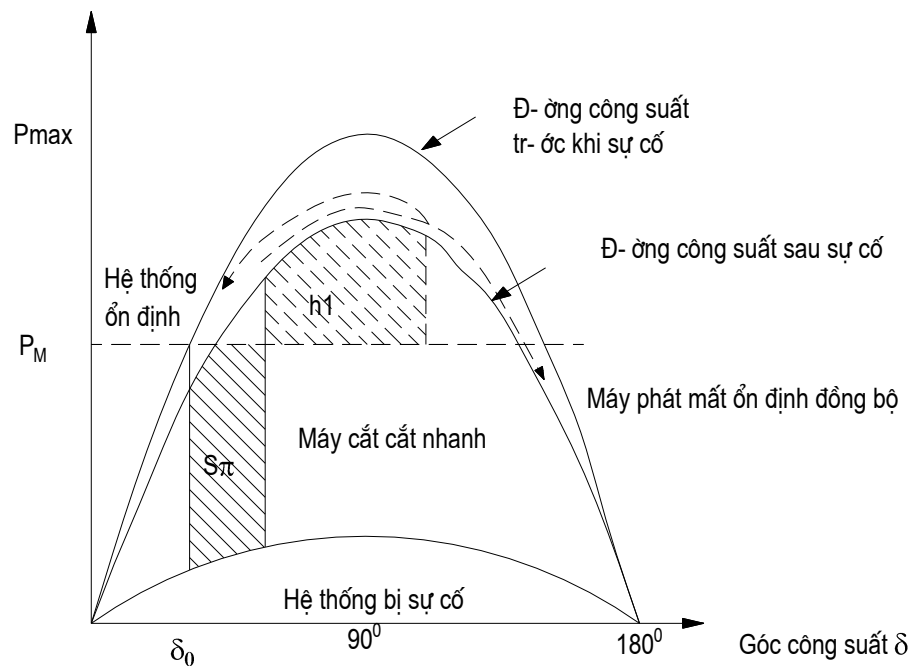
Xem xét giới hạn ổn định của hệ thống gồm 2 nguồn và hai đường dây song song với nhau như hình 2.3a.



Hình 2.3a : Hệ thống điện

Từ phương trình (2.1) và (2.2), công suất tác dụng truyền tải giữa hai thanh cái là phụ thuộc vào góc δ . Khi xảy ra sự cố trên đường dây 1-2 thì máy cắt 1 và máy cắt 2 cắt ra, điểm ngắn mạch được cô lập. Hệ thống điện đang làm việc ổn định tại điểm 1 với góc ban đầu δ_0 thì xảy ra ngắn mạch, đường công suất của hệ thống bị sự cố giảm thấp đột ngột do tổng trở của đường dây tăng lên, góc $\delta = \delta_0$, hệ thống bảo vệ role cắt nhanh sự cố tại điểm máy cắt cắt nhanh. Tại điểm 3 do công suất P điện lớn hơn công suất cơ PM của tua-bin nên máy phát bắt đầu hãm tốc cho đến điểm 4 và trở về lại điểm 5 xác lập một trạng thái ổn định mới với góc δ_{ss} . Nếu tại điểm 4 máy phát không được hãm tốc và tiếp tục trượt dài nữa thì làm cho mất ổn định đồng bộ.

Vậy giới hạn ổn định của hệ thống điện là phần diện tích S_{tt} phải nhỏ hơn phần diện tích hãm tốc S_{ht} . Phân tích góc ổn định công suất hệ thống điện là nghiên cứu đặc tính động của hệ thống điện. Đặc tính động liên quan đến sự thay đổi giá trị của dòng công suất, điện áp, góc, và tần số sau khi hệ thống chịu tác động của những nhiễu loạn lớn hoặc nhỏ. Ổn định góc công suất là được chia thành hai dạng: Ổn định quá độ và ổn định giao động bé.



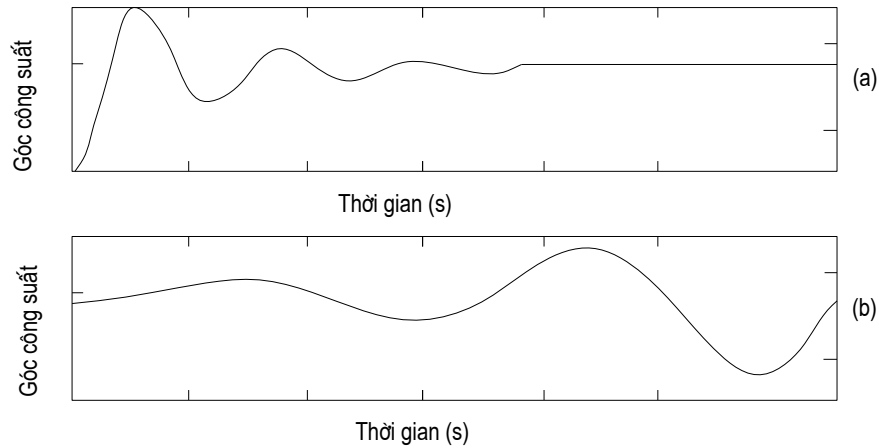
Hình 2.3b : Đường cong công suất-góc

. 2.2.3.1. Ổn định quá độ

Ổn định quá độ được định nghĩa là khả năng của hệ thống để duy trì sự đồng bộ khi chịu tác động của các nhiễu loạn lớn. Nó được xác định bằng cách hệ thống đáp ứng được các nhiễu loạn lớn. Hệ thống được gọi là ổn định quá độ nếu nó có thể vượt qua được nhiễu loạn ban đầu và trở lại ổn định, ngược lại hệ thống là không ổn định nếu nó không thể vượt qua được.

Đối với một hệ thống ổn định, khi bất ngờ xảy ra một nhiễu loạn lớn, giá trị góc hệ thống bắt đầu tăng nhưng đến đỉnh điểm và sau đó bắt đầu giảm, làm cho hệ thống ổn định quá độ. Kết quả là hệ thống đáp ứng độ lệch phức tạp của góc rotor máy phát. Ổn định phụ thuộc vào trạng thái vận hành ban đầu

của hệ thống và độ lớn của nhiễu loạn. Để minh họa sự ổn định và mất ổn định của hệ thống, xem Hình 2.4, hình này thể hiện góc lệch của hai hệ thống: ổn định quá độ và không ổn định, sau một nhiễu loạn lớn xảy ra.



Hình 2.4: Sự thay đổi góc của hệ thống ổn định quá độ(a) và hệ thống mất ổn định (b)

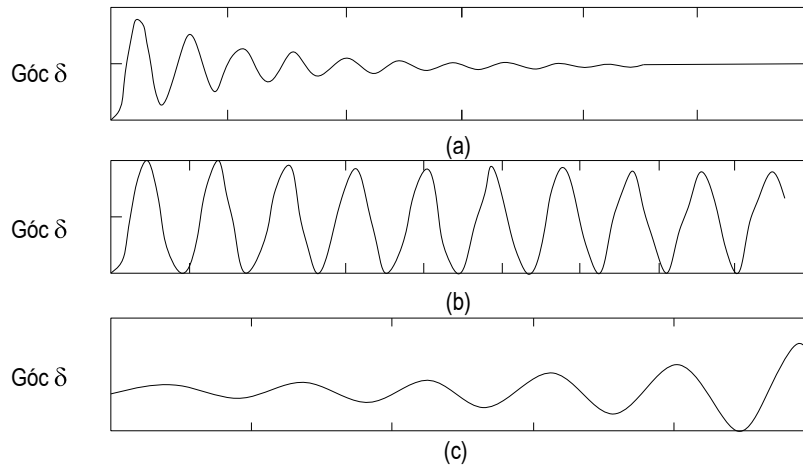
Nhiều hệ thống điện phải giới hạn truyền tải công suất của chúng để có lợi cho ổn định quá độ. Nói chung, hệ thống điện với đường dây truyền tải dài và nhà máy ở xa hầu như dễ bị mất ổn định quá độ. Phương pháp để phân tích giới hạn quá độ là nghiên cứu sự thay đổi góc rotor của tất cả các máy phát điện đồng bộ kết nối đến hệ thống sau khi hệ thống bị tác động bởi các nhiễu loạn lớn. Kỹ thuật sử dụng phần mềm máy tính tích hợp để phân tích ổn định quá độ của hệ thống.

2.2.3.2. Ổn định dao động bé

Ổn định dao động bé hoặc ổn định nhiễu loạn là khả năng của của hệ thống điện trở lại ổn định sau khi chịu tác động từ các nhiễu loạn bé. Ổn định dao động là đặc tính liên quan đến biên độ và độ dài của các nhiễu loạn hệ thống điện. Nhiễu loạn điện áp, tần số, góc và dòng công suất có thể được kích thích bởi nhiều sự kiện khác nhau. Điều này có thể trở thành vấn đề phức tạp khi hệ thống kích từ của máy phát bị sự cố. Các nhiễu loạn đó có thể phát triển thành lớn đến nỗi hệ thống trở thành nhiễu loạn mất ổn định.

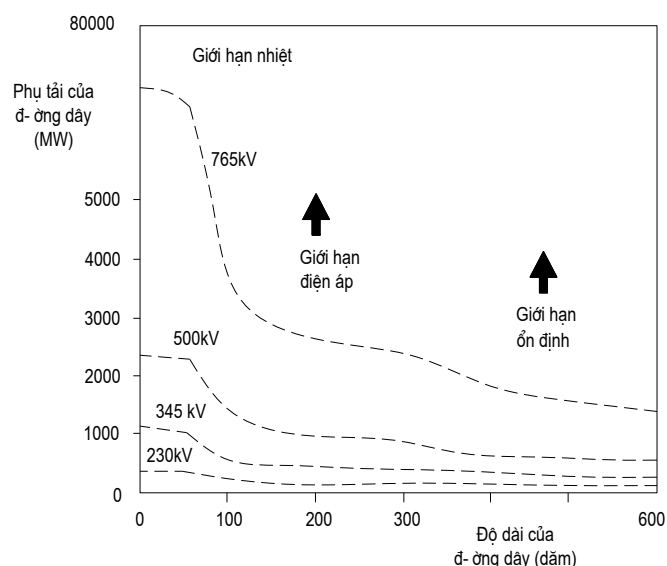
Dao động mất ổn định có thể bắt đầu khi biên độ dao động công suất nhỏ và vô hại. Tuy nhiên, dao động này có thể phát triển lớn lên đến nỗi hệ

thống bắt đầu tách ra. Đường dây truyền tải và máy phát điện có thể bị cắt do các dao động này. Dao động mất ổn định có thể kéo dài hàng giờ hoặc nó có thể xảy ra trong một vài giây sau khi có nhiễu loạn lớn. Hệ thống có thể phục hồi từ các nhiễu loạn lớn nhưng nó cũng có thể dần dần chuyển sang giai đoạn dao động lớn và trở thành dao động mất ổn định. Hình 2.5 thể hiện hệ thống, lần lượt là giao động bé ổn định, dao động ổn định và mất ổn định.



Hình 2.5: Độ thay đổi góc của HT ổn định dao động bé(a), HT ổn định dao động(b), HT mất ổn định (c)

Giới hạn nhiệt luôn luôn cao nhất và được quan tâm đối với các đường dây truyền tải đến 100 dặm. Giới hạn điện áp luôn cao hơn giới hạn ổn định (quá độ hoặc dao động bé), giới hạn ổn định điện áp được quan tâm đối với các đường dây truyền tải có độ dài trung bình từ 100 đến 300 dặm. Các giới hạn biến đổi ổn định động là thấp nhất và liên quan đến các đường dây truyền tải có độ dài hơn 300 dặm. Nâng cao công suất truyền tải, nghĩa là di chuyển các giới hạn khác của hệ thống điện sang giới hạn nhiệt.



Hình 2.6: Giới hạn vận hành của đường dây theo các mức điện áp

2.2.3.3. Các ứng dụng của STATCOM vào hệ thống điện để bù công suất phản kháng và nâng cao ổn định điện áp

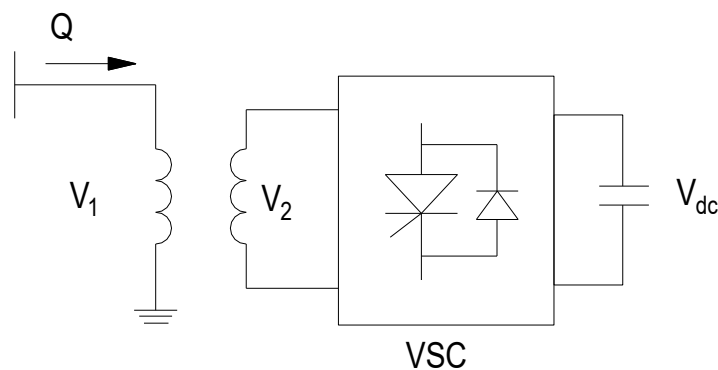
Điện áp là một trong những chỉ tiêu quan trọng để đánh giá chất lượng điện năng. Ổn định điện áp là khả năng duy trì điện áp tại tất cả các nút trong HTĐ ở trong một phạm vi cho phép (tùy thuộc vào tính chất mỗi nút mà phạm vi dao động cho phép của điện áp sẽ khác nhau) ở điều kiện vận hành bình thường hoặc sau các kích động.

Hệ thống sẽ đi vào trạng thái không ổn định khi xuất hiện các kích động như tăng tải đột ngột hay thay đổi các thông số của hệ thống. Các thay đổi đó có thể làm cho quá trình giảm điện áp xảy ra và nặng nề nhất là có thể rơi vào tình trạng không thể điều khiển được, gọi là sụp đổ điện áp. Nguyên nhân chủ yếu dẫn đến sự mất ổn định và sụp đổ điện áp thường là do không đáp ứng đủ nhu cầu công suất phản kháng cần thiết khi phụ tải tăng bất thường và đột biến. Giải pháp kỹ thuật để khắc phục sự mất ổn định và sụp đổ điện áp mà luận văn này trình bày là áp dụng bộ điều khiển STATCOM thuộc nhóm thiết bị truyền tải điện xoay chiều linh hoạt FACTS. Với độ nhanh nhạy, chính xác, điều khiển linh hoạt, các thiết bị FACTS sẽ cải thiện độ ổn định điện áp và nâng cao khả năng truyền tải công suất trên hệ thống.

2.3. CẤU TRÚC VÀ NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CƠ BẢN CỦA STATCOM

2.3.1. Cấu trúc cơ bản của STATCOM

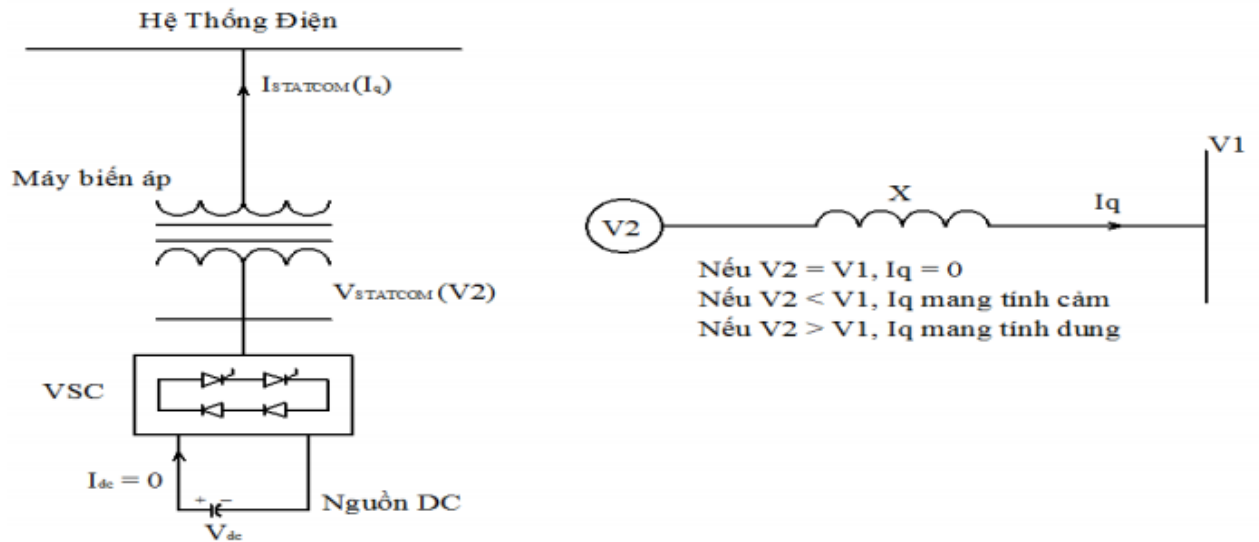
STATCOM là một thiết bị chuyển đổi nguồn điện áp, nó chuyển đổi nguồn điện áp một chiều thành điện áp xoay chiều để bù công suất phản kháng cho HTĐ. Cấu trúc cơ bản được thể hiện trong hình 2.7, bao gồm: một bộ biến đổi nguồn điện áp ba pha (VSC) được nối về phía thứ cấp của máy biến áp ghép; nguồn điện áp DC



Hình 2.7: Cấu trúc cơ bản của STATCOM

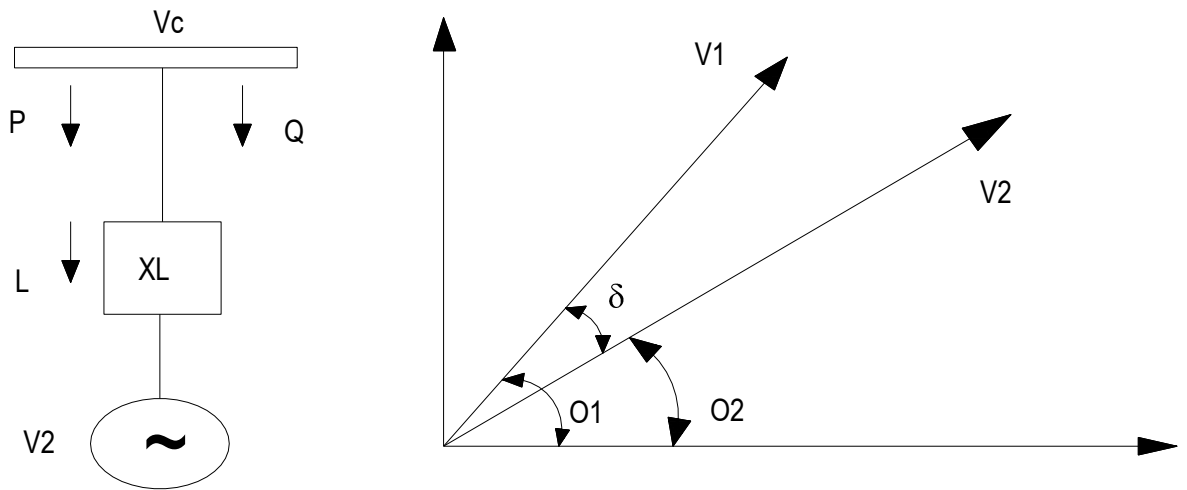
2.3.2. Nguyên lý hoạt động của STATCOM

Việc thay đổi CSPK được thực hiện bằng bộ VSC nối bên thứ cấp của máy biến áp. VSC sử dụng các linh kiện điện tử công suất (GTO, IGBT hoặc IGCT) để điều chế điện áp xoay chiều ba pha V_2 từ nguồn một chiều. Nguồn một chiều này được lấy từ tụ điện. Nguyên lý hoạt động của STATCOM được chỉ rõ trong hình 2.8, thể hiện công suất tác dụng và phản kháng truyền giữa điện áp hệ thống để điều khiển là V_1 và điện áp được tạo ra bởi VSC là V_2 . STATCOM là một thiết bị bù ngang, nó điều chỉnh điện áp tại vị trí nó lắp đặt đến giá trị cài đặt (V_{ref}) thông qua việc điều chỉnh biên độ và góc pha của điện áp rơi giữa STATCOM và HTĐ.



Hình 2.8: Nguyên lý hoạt động cơ bản STATCOM

Trong chế độ hoạt động ổn định điện áp phát ra bởi STATCOM V_2 là cùng pha với V_1 ($\delta = 0$), do đó chỉ có công suất phản kháng truyền tải. Bằng cách điều khiển điện áp V_2 tạo ra bởi VSC cùng pha với điện áp V_1 của hệ thống nhưng có biên độ lớn hơn khiến dòng phản kháng (I_q) chạy từ STATCOM vào hệ thống, lúc này dòng điện I_q hoạt động như một điện dung cung cấp công suất phản kháng đến hệ thống, qua đó nâng cao điện áp hệ thống lên. Ngược lại, nếu điện áp V_2 tạo ra bởi VSC có biên độ thấp hơn điện áp V_1 của hệ thống khiến dòng phản kháng (I_q) chạy từ hệ thống vào STATCOM, lúc này dòng điện I_q hoạt động như một điện cảm tiêu thụ công suất phản kháng từ hệ thống, qua đó hạn chế quá điện áp trên lưới điện. Nếu điện áp V_2 tạo ra bởi VSC và điện áp hệ thống V_1 bằng nhau thì không có trao đổi công suất phản kháng. hình 2.9 là sơ đồ nguyên lý trao đổi CSPK và CSTD giữa bộ bù và lưới.



Hình 2.9: Nguyên lý bù của bộ bù tích cực

Ta có CSTD và CSPK trao đổi giữa hai nguồn V1 (lưới) và V2 (bộ bù):

$$P = \frac{V_1 V_2 \sin \delta}{X_L} ; \quad Q = \frac{V_1}{X_L} (V_1 - V_2 \cos \delta) \quad (2.1)$$

Trong đó: V1 và θ_1 : Điện áp lưới cần điều chỉnh và góc lệch pha.

V2 và θ_2 : Điện áp tạo ra bởi VSC và góc lệch pha.

XL : Điện kháng kết nối giữa lưới và bộ bù.

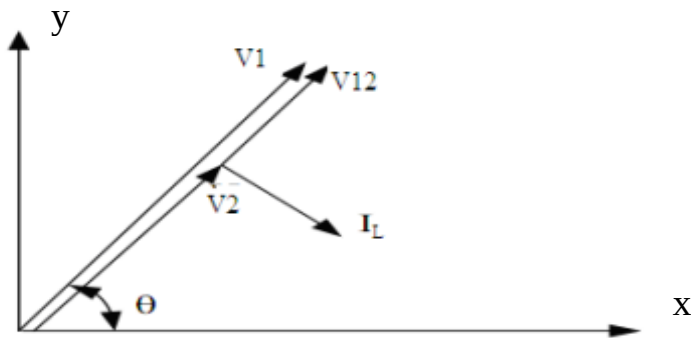
δ : Góc lệch pha giữa điện áp lưới và điện áp bộ bù.

Trong chế độ hoạt động chỉ bù CSPK thì $\delta = 0$ do đó từ (2.1) ta có:

$$P = 0 ; \quad Q = \frac{V_1}{X_L} (V_1 - V_2) \quad (2.2)$$

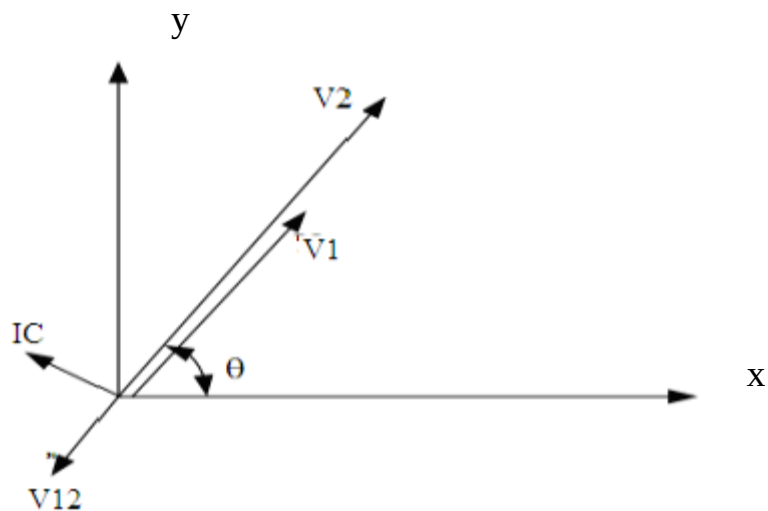
Từ (2.2) ta thấy Q tỉ lệ với hai điện áp ($V_1 - V_2$).

- Khi $V_1 = V_2$ thì $Q = 0$ bộ bù không phát ra hay hấp thụ CSPK.
- Khi $V_1 > V_2$ thì $Q > 0$ tồn tại thành phần điện áp V_{12} tương ứng dòng cảm kháng IL chậm sau V_1 , V_2 một góc 90° , lưới sẽ truyền CSPK vào bộ bù (STATCOM hấp thụ CSPK).



Hình 2.10: Trạng thái hấp thụ công suất phản kháng của bộ bù

- Khi $V_1 < V_2$ thì $Q < 0$ tồn tại thành phần điện áp V_{12} tương ứng dòng điện dung IC vượt trước V_1 , V_2 một góc bằng 90° bộ bù phát CSPK lên lưới điện.



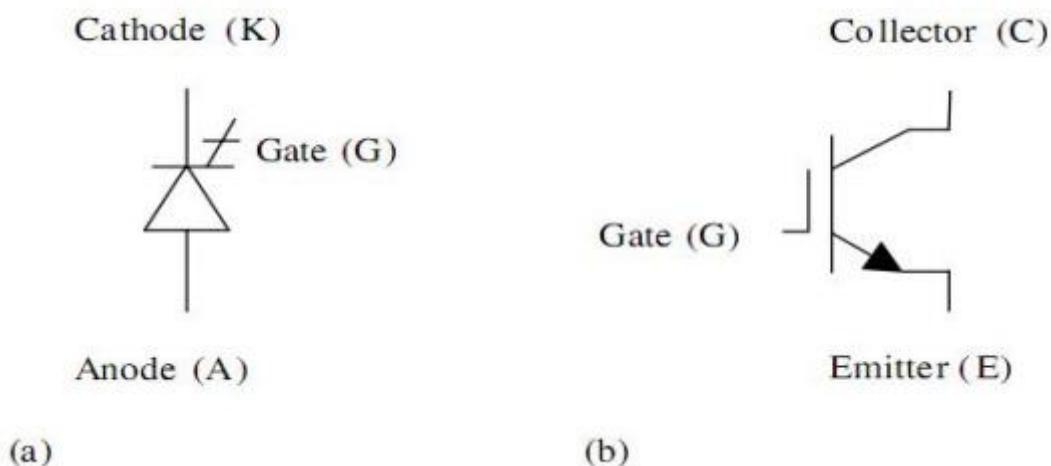
Hình 2.11: Trạng thái phát công suất phản kháng của bộ bù

Từ phân tích trên ta thấy rằng khi thay đổi biên độ điện áp đầu ra của bộ bù trong khi giữ góc lệch $\delta = 0$ ta có thể điều khiển dòng CSPK trao đổi giữa lưới và bộ bù.

2.4. BỘ ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG CÔNG SUẤT DỰA TRÊN CÁC THIẾT BỊ BÁN DẪN

Bộ điều khiển hệ thống điện hiện đại dựa trên chuyển đổi điện tử công suất có khả năng tạo ra công suất phản kháng mà không cần phải cho các yếu tố năng lượng phản kháng lưu trữ lớn, chẳng hạn như trong các hệ thống SVC. Điều này đạt được bằng cách làm cho các dòng điện lưu thông qua các pha của hệ thống AC với sự hỗ trợ của các thiết bị chuyển đổi nhanh. Các thiết bị bán dẫn được sử dụng trong thế hệ mới của bộ chuyển đổi điện tử công suất các loại hoàn toàn kiểm soát, chẳng hạn như transistor lưỡng cực có cổng cách

điện (IGBT) và khóa đóng mở (GTO). Các biểu tượng mạch tương ứng của chúng được thể hiện trong hình 2.12.



Hình 2.12: Thiết bị bán dẫn: (a) GTO và (b) IGBT

GTO là một phiên bản tiên tiến hơn của thyristor thông thường, với một tương tự như đóng mạch đặc trưng nhưng với khả năng ngắt mạch tại một thời điểm khác nhau khi dòng điện xuôi tự nhiên giảm xuống dưới mức dòng điện duy trì. Như vậy thêm chức năng đã cho phép lĩnh vực ứng dụng mới trong ngành công nghiệp được phát triển, ngay cả ở truyền tải điện số lượng lớn mà ngày nay nó có thể chuyển hướng công suất tác dụng ở mức MW. Tuy nhiên, có chỗ cho cải tiến trong xây dựng và thiết kế, nơi vẫn còn lớn xung tiêu cực là cần thiết để loại chúng. Hiện nay, tần số chuyển đổi tối đa đạt được là theo thứ tự của 1 kHz.

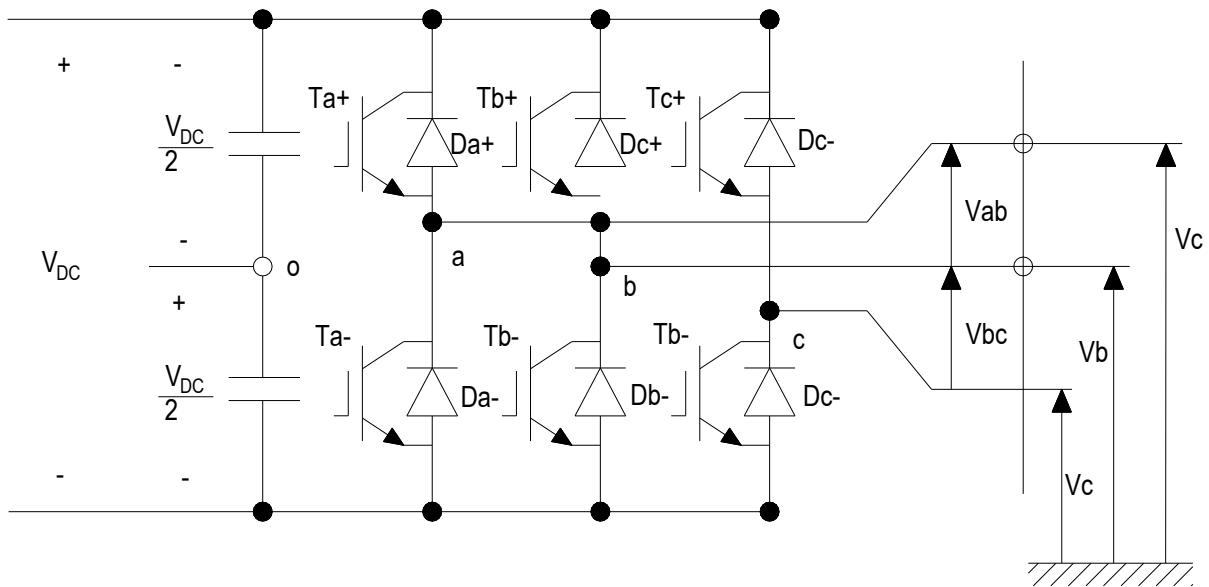
IGBT là một trong những phát triển tốt nhất các thành viên gia đình của transistor công suất. Nó là thiết bị phổ biến nhất được sử dụng trong lĩnh vực của truyền động AC và DC, đạt mức công suất của một vài trăm kW. Bộ biến đổi công suất nhằm vào các ứng dụng hệ thống điện đang bắt đầu sử dụng IGBT nhờ vào khả năng xử lý điện năng ngày càng tăng và tổn hao truyền dẫn tương đối thấp. Tiến bộ hơn nữa dự kiến trong ứng dụng và công nghệ IGBT, GTO. Trong bộ chuyển đổi DC-AC sử dụng thiết bị bán dẫn hoàn toàn kiểm soát chứ không phải là thyristors thông thường, các đầu vào DC có thể là một nguồn điện áp (thường là một tụ điện) hoặc một nguồn dòng điện (thường là một nguồn điện áp nối tiếp với điện cảm). Với tham chiếu đến nguyên tắc hoạt động cơ bản, bộ chuyển đổi có thể được phân loại như một trong hai chuyển đổi nguồn điện áp (VSC) hoặc chuyển đổi nguồn dòng điện. Đối với các lý do kinh tế và hiệu suất, bộ điều khiển công suất

phản kháng hầu hết được dựa trên cấu trúc liên kết của VSC. Tính sẵn có của các chất bán dẫn hiện đại với mức điện áp và dòng điện tương đối cao, chẳng hạn như GTO hoặc IGBT, đã thực hiện các khái niệm bù công suất phản kháng dựa trên bộ chuyển đổi chuyển mạch chắc chắn, ngay cả đối với các ứng dụng công suất cao đáng kể.

Một số bộ điều khiển hệ thống điện sử dụng VSC là khối xây dựng cơ bản của chúng đang hoạt động trong các bộ phận khác nhau trên thế giới. Phổ biến nhất là: STATCOM, SSSC, UPFC và HVDC-VSC.

2.4.1. Bộ Chuyển đổi nguồn điện áp (VSC: Voltage Source Converter)

Mục đích chính của VSC là để tạo ra một điện áp AC từ điện áp DC, đó được gọi là một bộ biến đổi DC-AC. Nó có thể tạo ra một điện áp AC cân đối với một cường độ và tần số mong muốn, có thể được cố định hoặc thay đổi theo ứng dụng. VSC là các khối xây dựng của STATCOM và các thiết bị FACTS. Mục tiêu chung của các cấu trúc liên kết là: để giảm thiểu tần số hoạt động của các chất bán dẫn bên trong VSC và để sản xuất một dạng sóng điện áp hình sin chất lượng cao với tối thiểu hoặc không có yêu cầu về bộ lọc. Bằng một ví dụ, cấu trúc liên kết của VSC ba pha hai cấp truyền thống sử dụng thiết bị chuyển mạch IGBT được minh họa trong hình 2.13. VSC được hiển thị trong hình 2.13 gồm có 6 IGBT, với hai IGBT đặt trên mỗi chân. Hơn nữa, mỗi IGBT được cung cấp với một diode kết nối đối song để thực hiện các quy định cho đảo chiều điện áp có thể do điều kiện mạch điện bên ngoài. Hai tụ điện có kích thước như nhau được đặt ở phía DC để cung cấp một nguồn công suất phản kháng. Mặc dù không được hiển thị trong mạch hình 2.13, các mô-đun điều khiển chuyển đổi là một phần không thể thiếu của VSC. Nhiệm vụ của nó là để kiểm soát trình tự chuyển đổi của các thiết bị bán dẫn khác nhau trong VSC,



Hình 2.13: Cấu trúc liên kết của một VSC ba pha hai cấp sử dụng IGBT

Nhằm tạo ra một dạng sóng điện áp đầu ra, đó là gần một dạng sóng hình sin cànghót, với khả năng điều khiển công suất cao và tổn thất chuyển đổi nhỏ nhất. Một tụ điện nối về phía DC của VSC hoạt động như một nguồn điện áp DC. Ở trạng thái xác lập điện áp V2 phải đảo pha trễ hơn điện áp V1 để bù cho máy biến áp và tổn thất VSC và giữ tụ điện được nạp. VSC chuyển đổi chiến lược hiện nay nhằm mục đích ứng dụng các tiện ích điện, hai công nghệ VSC có thể dùng:

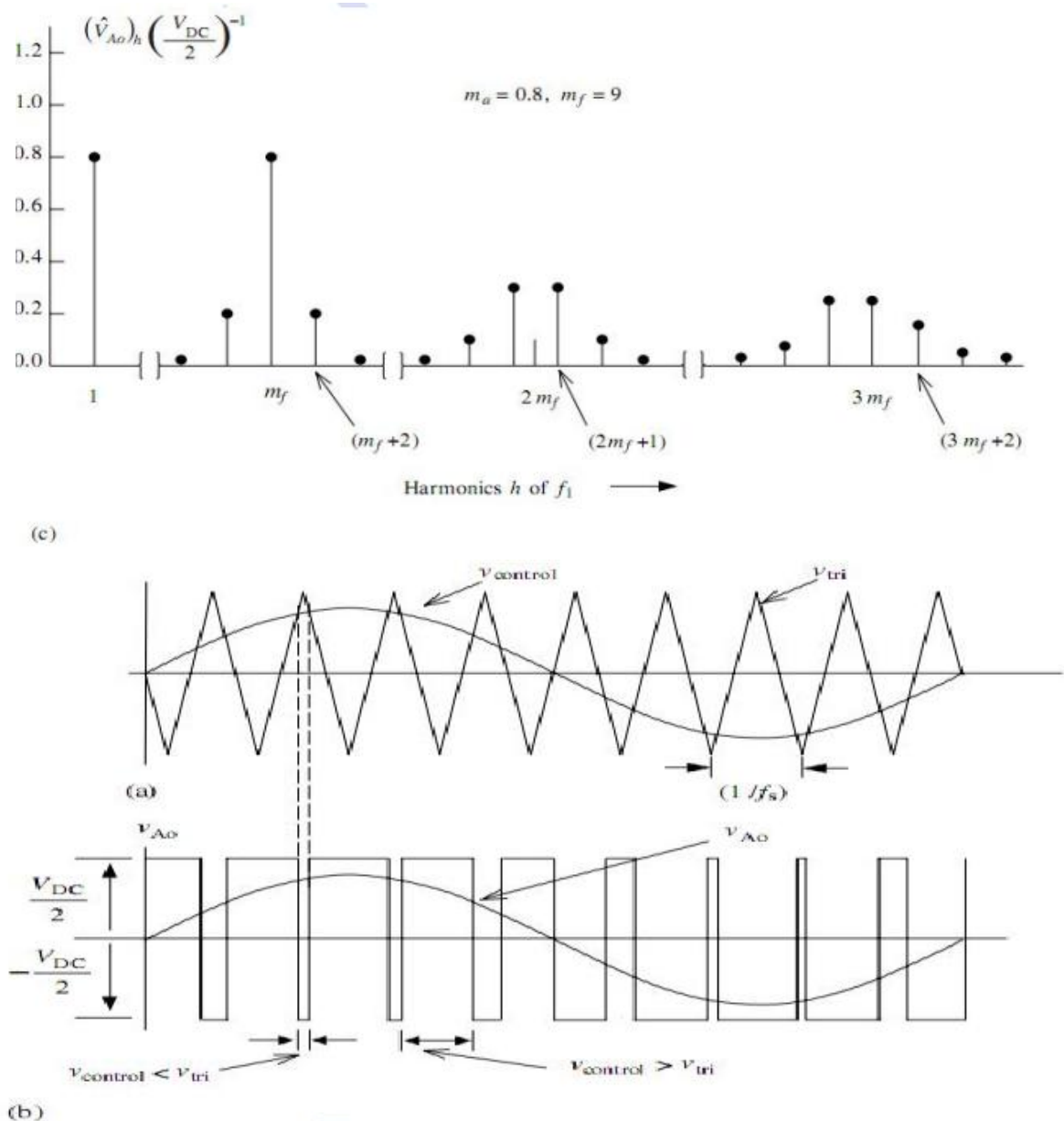
VSC dùng nghịch lưu sóng vuông: (Chuyển đổi tần số cơ bản) Dựa vào thiết bị GTO và máy biến áp ghép đặc biệt. Bốn bộ nghịch lưu 3 pha được dùng để tạo ra dạng sóng điện áp 48 bước. Máy biến áp ghép đặc biệt dùng để triệt tiêu sóng hài có trong dạng sóng vuông được tạo ra bởi các bộ nghịch lưu riêng lẻ. VSC kiểu này, thành phần điện áp V2 tỉ lệ với điện áp Vdc. Do đó, Vdc phải thay đổi theo sự điều chỉnh công suất phản kháng.

-VSC dùng nghịch lưu PWM: (Điều chế độ rộng xung) Dựa vào thiết bị IGBT, phương pháp này điều khiển cho phép các thiết bị chuyển mạch được đóng và ngắt với tốc độ cao hơn đáng kể so với tần số cơ bản. Các dạng sóng đầu ra được cắt nhỏ và độ rộng của các xung kết quả là điều chế. Bộ nghịch lưu này dùng công nghệ để tổng hợp dạng sóng sin từ một nguồn điện áp DC với tần số ngắt khoảng vài kHz. Điện áp sóng hài có thể được khử

bằng các bộ lọc nối về phía AC của VSC. VSC kiểu này dùng giá trị điện áp V_{dc} cố định. Điện áp V_2 được thay đổi bởi sự điều biến của bộ điều biến PWM.

2.4.2. Điều khiển điều chế độ rộng xung (PWM: Pulse Width Modulation)

Phương pháp điều khiển PWM cơ bản có thể được giải thích với tham khảo hình 2.14, trong đó một tín hiệu hình sin tần số cơ bản được so sánh với một tín hiệu tam giác tần số cao, sản xuất một tín hiệu sóng vuông, phục vụ mục đích kiểm soát bắn của các van riêng lẻ của một cấu trúc liên kết chuyển đổi nhất định, chẳng hạn như một trong những thể hiện trong hình 2.14.



Hình 2.14: Hoạt động của PWM:

- (a) so sánh của một tần số cơ bản hình sin với một tín hiệu tam giác tần số cao;
- (b) kết quả của tín hiệu sóng vuông;
- (c) quang phổ điện áp sóng hài.

Các tín hiệu hình sin và tam giác, và tần số liên quan của chúng, được gọi tương ứng là tín hiệu tham chiếu và tần số mang. Bằng cách thay đổi biên độ của tín hiệu hình sin so với biên độ cố định của tín hiệu sóng mang, thường là được giữ ở mức 1 pu, biên độ của các thành phần cơ bản của tín hiệu điều khiển thay đổi tuyến tính. Trong hình 2.14 (a) – 2.14 (c), tần số mang f_s là thực hiện được 9 lần tần số mong muốn f_l . Độ rộng của sóng vuông được điều chế một cách dạng hình sin, các thành phần cơ bản và sóng hài có thể được xác định bằng cách phân tích Fourier. Để xác định độ lớn và tần số của kết quả về cơ bản và sóng hài, nó rất hữu ích để sử dụng các khái niệm về tỷ lệ điều chế biên độ, m_a , và tỷ lệ điều chế tần số m_f

$$m_a = \frac{\hat{V}_{control}}{\hat{V}_{tri}} \quad (2.3)$$

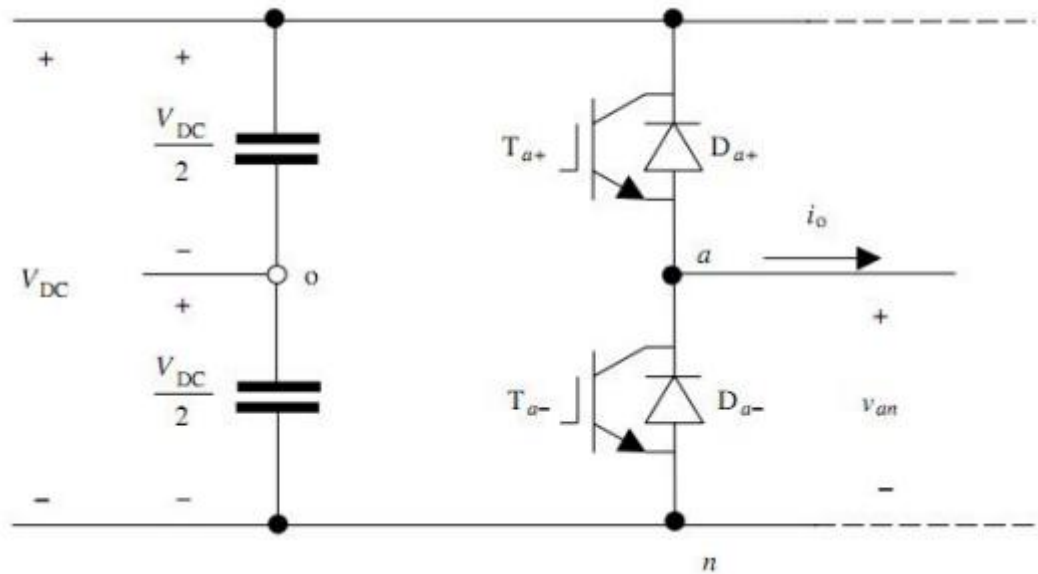
Trong đó: $V_{control}$ biên độ đỉnh của tín hiệu hình sin (điều khiển)

Và V_{tri} là biên độ đỉnh của tín hiệu tam giác (sóng mang) được giữ không đổi.

Với tham chiếu đến bộ chuyển đổi "một chân" thể hiện trong hình 2.16, tương ứng với một chân của bộ chuyển đổi ba pha của hình 2.13, các thiết bị chuyển mạch $Ta+$ và $Ta-$ được kiểm soát bằng cách so sánh đơn giản của $v_{control}$ và v_{tri} dẫn đến điện áp đầu ra sau đây:

$$v_{ao} = \begin{cases} \frac{1}{2}V_{DC} \\ -\frac{1}{2}V_{DC} \end{cases} \quad (2.5)$$

Trong phương trình (4.5), nhận thấy $v_{ao} = V_{DC}/2$ khi T_{a+} trong đáp ứng $v_{control} > v_{tri}$, và $v_{ao} = -V_{DC}/2$ khi T_{a-} trong đáp ứng $v_{control} < v_{tri}$. Điện áp đầu ra v_{ao} dao động giữa $-V_{DC}/2$ và $V_{DC}/2$, như T_{a-} và T_{a+} không bao giờ ngắt cùng một lúc, và độc lập với sự chỉ đạo của i_o . Điện áp v_{ao} và thành phần tần số cơ bản của nó được thể hiện trong hình 2.14 (b), đối với trường hợp của $m_f = 9$ và $m_a = 0.8$. Quang phổ điện áp sóng hài tương ứng,

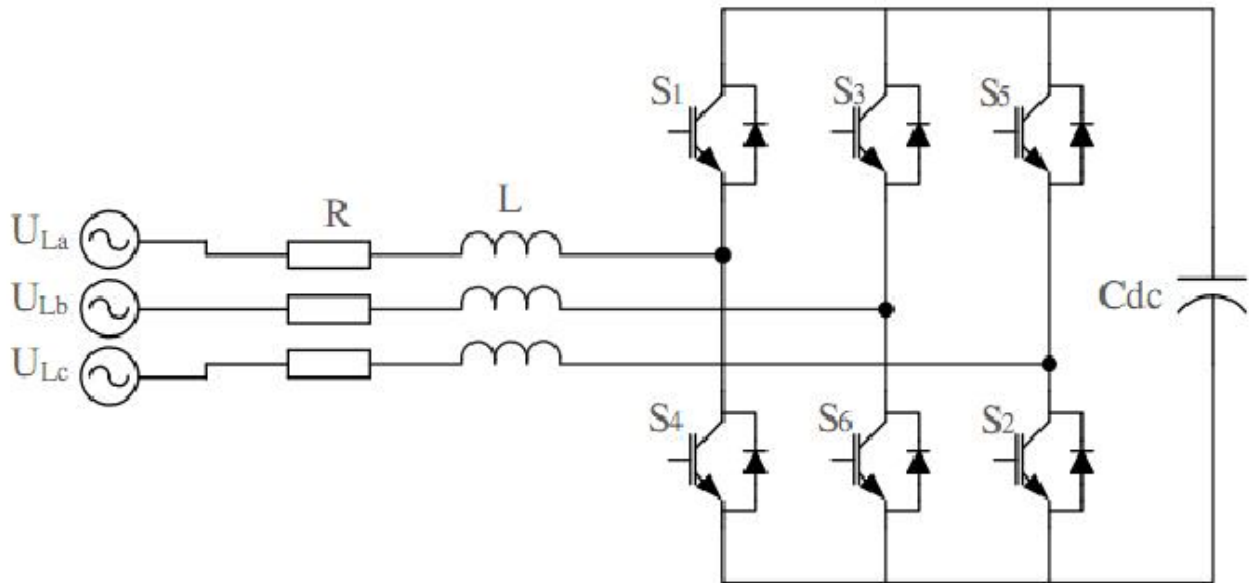


Hình 2.16: Chuyển đổi nguồn điện áp (VSC) “một chân”

Trong hình thức bình thường hóa, được thể hiện trong hình 2.14 (c). Đây là một trường hợp điều khiển điện áp tuyến tính, $m_a < 1$, nhưng điều này không phải là khả năng duy nhất. Các hình thức khác của điều khiển điện áp tồn tại, cụ thể là, sự quá điều biến và điều chế sóng vuông. Trước đây diễn ra trong khoảng $1 < m_a < 3.24$ và sau này được áp dụng khi $m_a > 3.24$.

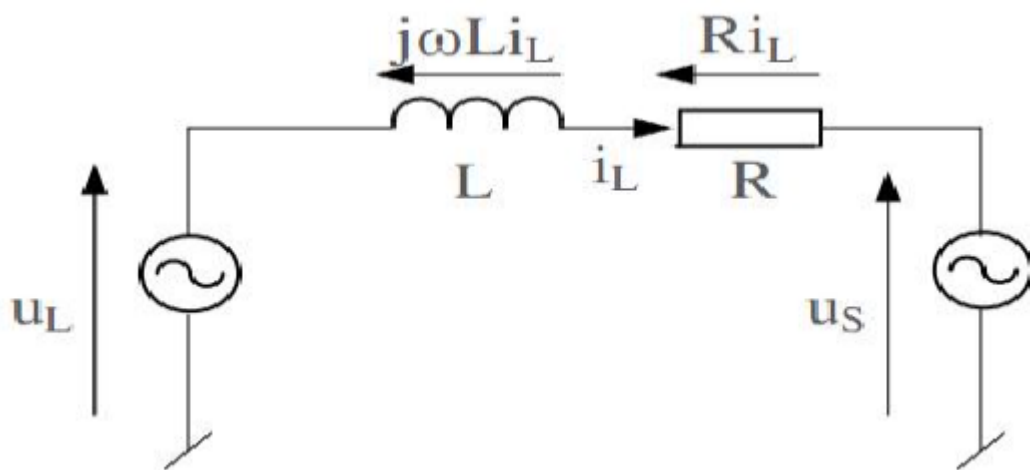
-Sơ đồ nguyên lý mạch động lực

Sơ đồ miêu tả nguyên lý làm việc của bộ nghịch lưu PWM:



Hình 2.17: Sơ đồ mạch lực nghịch lưu PWM

Sơ đồ thay thế một pha:



Hình 2.18: Sơ đồ thay thế một pha nghịch lưu PWM

Trong đó: L, R là điện trở và điện cảm đường dây.

U_L là điện áp nguồn.

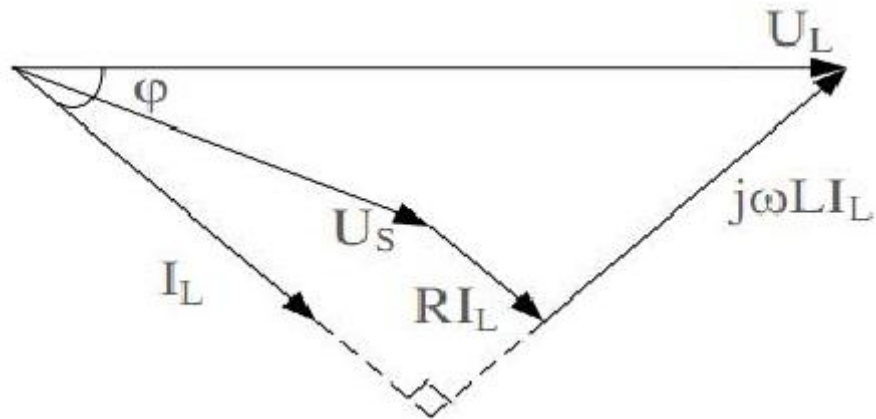
U_S là điện áp của bộ biến đổi.

Nhận thấy rằng nghịch lưu PWM có cấu trúc phân cứng giống như bộ nghịch lưu nguồn áp VSC do đó U_S phụ thuộc vào hệ số điều chế của VSC và điện áp trên tụ. Điện cảm L nối giữa lưới và nghịch lưu PWM là một phần không thể thiếu của mạch nghịch lưu đóng vai trò như thành phần tích phân của hệ và một nguồn dòng để tạo đặc tính nâng của nghịch lưu PWM. Điện áp

rơi trên cuộn cảm L là U_1 chính là hiệu giữa điện áp nguồn U_L và điện áp của bộ biến đổi U_S :

$$U_1 = U_L - U_S \quad (2.6)$$

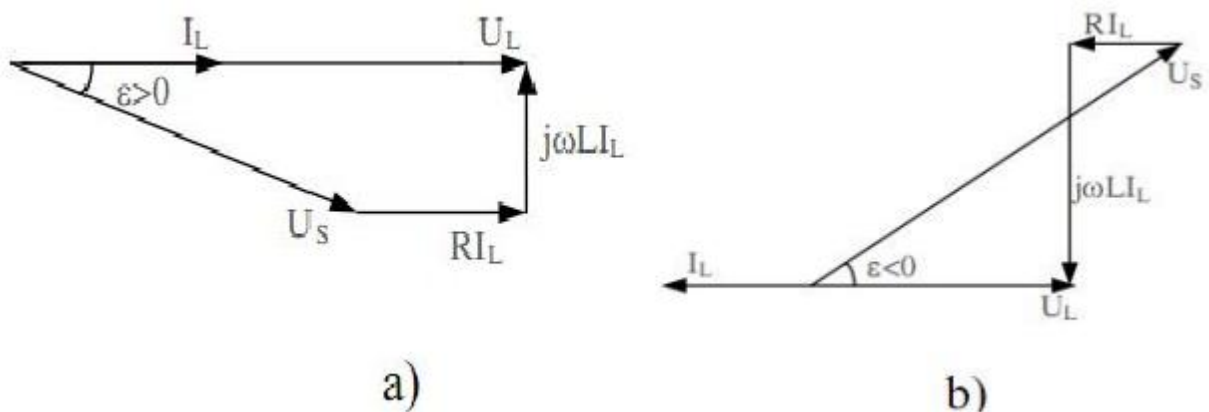
Với U_L không đổi do là điện áp nguồn do đó sẽ điều khiển được U_1 thông qua điều khiển U_S . Từ việc điều khiển được U_1 ta sẽ điều khiển được



dòng điện i_L chạy trên đường dây.

Hình 2.19: Giảm đồ vector nghịch lưu PWM

Khi điều khiển i_L trùng với U_L hoặc ngược với U_L thì $\cos\varphi = 1$ thể hiện dưới đồ thị vector như sau:



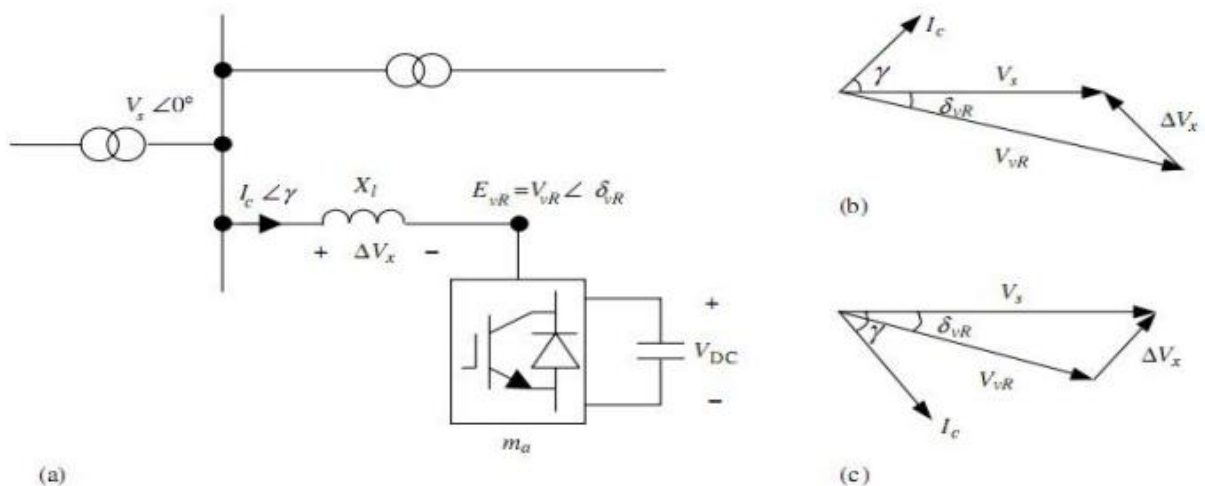
Hình 2.20: Giảm đồ vector nghịch lưu PWM

(a) Khi i_L trùng với U_L , (b) Khi i_L ngược với U_L

Khi i_L trùng với U_L thì công suất truyền từ lưới về tải, khi i_L ngược với U_L thì công suất truyền từ tải ra lưới và như vậy công suất có thể truyền theo hai chiều từ lưới về tải và từ tải về lưới. Với cấu trúc phần cứng gồm bộ nghịch lưu nguồn áp VSI và tụ C nên có thể sử dụng nghịch lưu PWM để thực hiện chức năng của mạch lọc tích cực với cùng thuật toán điều khiển như bộ lọc tích cực.

2.4.3 Nguyên tắc hoạt động của VSC: Static Var Compensator

Sự tương tác giữa VSC và hệ thống điện có thể được giải thích trong thuật ngữ đơn giản, bằng cách xem xét một VSC kết nối với nguồn điện AC thông qua một cuộn kháng, như được minh họa trong sơ đồ đơn tuyến trong hình 2.21 (a).



Hình 2.21: Hoạt động của VSC:

(a) VSC kết nối với một hệ thống thanh cái;

(b) hoạt động sớm pha và

(c) hoạt động chậm pha

Giả thiết là biên độ và góc pha của suất điện áp, $\square Ix$, trên cuộn kháng, X_L , có thể được kiểm soát, xác định lượng và hướng của dòng chảy công suất tác dụng và phản kháng qua X_L . Điện áp tại thanh cái cung cấp là dạng sóng hình sin, có giá trị $V_s \square 0^\circ$, và các thành phần tần số cơ bản của điện áp AC tạo ra bởi VSC được thực hiện $V_{vR} \square \delta_{vR}$. Trình tự đại diện tích cực tần số cơ bản vector được hiển thị tương ứng trong hình 2.21 (b) và hình 2.21 (c)

sớm và chậm bù Var. Theo hình 2.21, lượng công suất tác dụng và phản kháng có thể được diễn tả như: Với tham chiếu đến hình 2.21 và phương trình (4.7), lời nhận xét sau đây được rút ra:

Điện áp tạo ra bởi VSC, V_{VR} , chậm pha so với nguồn điện áp AC, V_s , bởi một góc δ_{VR} , và dòng điện đầu vào chậm pha so với sụt điện áp trên cuộn kháng $\square V_x$ một góc $\square/2$.

Dòng công suất tác dụng giữa nguồn AC và VSC được điều khiển bởi góc pha δ_{VR} . Công suất tác dụng chảy vào VSC từ nguồn AC chậm một góc δ_{VR} ($\delta_{VR} > 0$) và chảy ra của VSC từ nguồn AC sớm một góc δ_{VR} ($\delta_{VR} < 0$).

Dòng công suất phản kháng được xác định chủ yếu bởi biên độ của điện áp nguồn, V_s , và điện áp tạo ra bởi VSC, V_{VR} . Đối với $V_{VR} > V_s$, VSC cung cấp công suất phản kháng và tiêu thụ công suất phản kháng khi $V_{VR} < V_s$. Điện áp tụ điện DC là V_{DC} , được điều khiển bằng cách điều chỉnh dòng công suất tác dụng đi vào VSC. Trong quá trình hoạt động bình thường, một lượng nhỏ công suất tác dụng phải chảy vào VSC để bù cho các tổn thất điện năng bên trong VSC, và góc δ_{VR} hơi lớn hơn so với 0° (chậm).

2.5. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN CỦA STATCOM

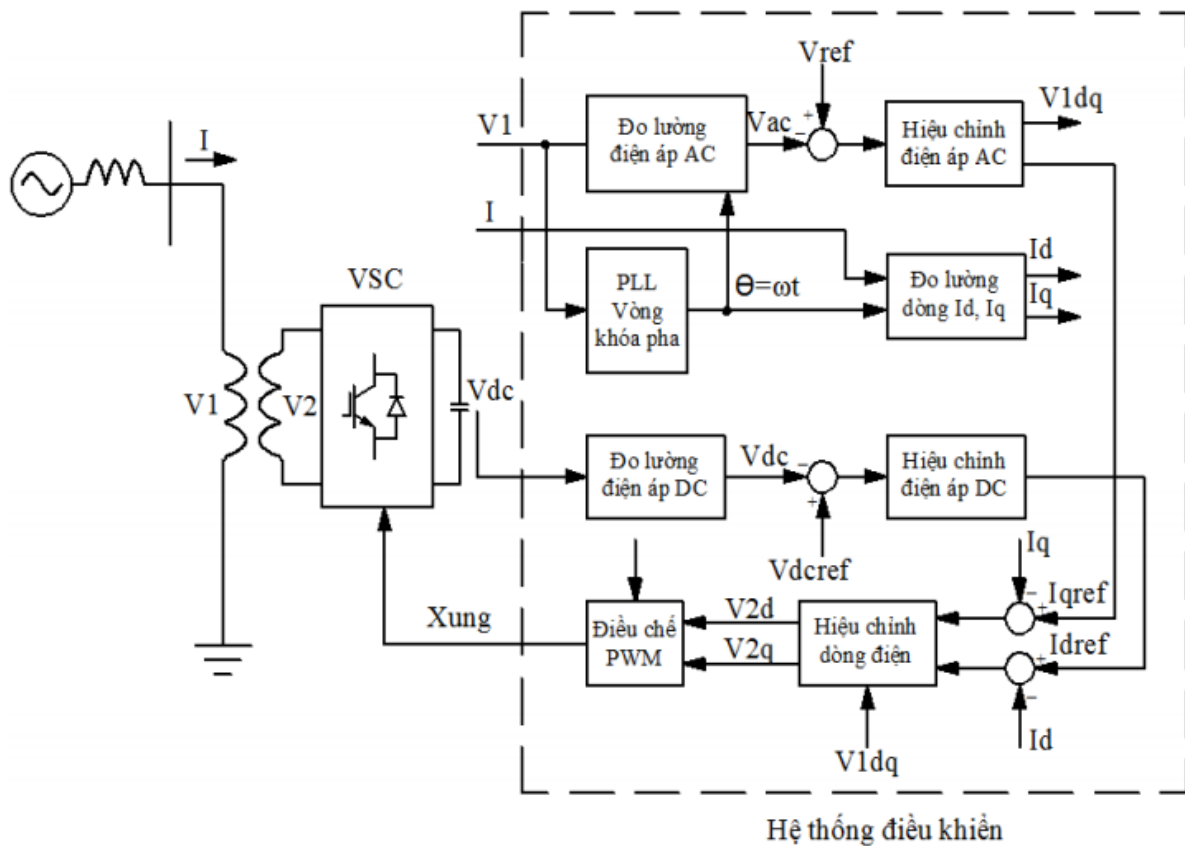
hình 2.22, thể hiện sơ đồ đơn tuyến của STATCOM và sơ đồ khối hệ thống điều khiển của nó. Hệ thống điều khiển bao gồm:

Một vòng khóa pha (PLL) đồng bộ hóa trên các thành phần thứ tự dương của điện áp ba pha sơ cấp V_1 . Đầu ra của PLL (góc $\theta = \omega t$) được sử dụng để tính toán các thành phần dọc trục và ngang trục của điện áp và dòng điện ba pha AC (được ghi nhãn là V_d , V_q hoặc I_d , I_q trên sơ đồ).

Các hệ thống đo lường đo các thành phần d và q của điện áp và dòng điện thứ tự dương AC được điều khiển cũng như điện áp DC, V_{dc} .

Một vòng lặp điều chỉnh bên ngoài bao gồm một bộ điều chỉnh điện áp AC và bộ điều chỉnh điện áp DC. Các đầu ra của bộ điều chỉnh điện áp AC là dòng điện quy chiếu I_{qref} cho điều chỉnh dòng điện (I_q = dòng điện vuông góc với điện áp mà điều khiển dòng chảy công suất phản kháng). Các đầu ra

của bộ điều chỉnh điện áp DC là dòng điện quy chiếu I_{dref} cho điều chỉnh dòng điện (I_d = dòng điện cùng pha với điện áp mà điều khiển dòng công suất tác dụng).



Hình 2.22: Hệ thống điều khiển của STATCOM

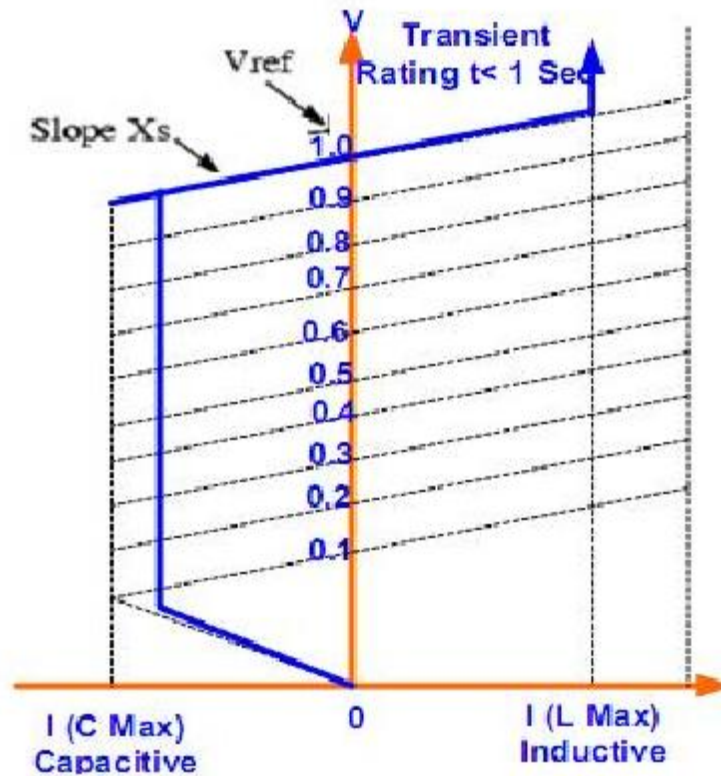
Một vòng lặp điều chỉnh dòng điện bao gồm bộ điều chỉnh dòng điện. Điều chỉnh dòng điện điều khiển độ lớn và pha của điện áp được tạo ra bởi bộ chuyển đổi PWM (V_{2d} V_{2q}) từ những dòng điện quy chiếu I_{dref} và I_{qref} tạo ra tương ứng bằng cách điều chỉnh điện áp DC và điều chỉnh điện áp AC (trong chế độ điều khiển điện áp). Điều chỉnh dòng điện được hỗ trợ bởi một nguồn cấp dữ liệu về phía trước điều chỉnh loại dự báo điện áp đầu ra V_2 (V_{2d} V_{2q}) từ đo V_1 (V_{1d} V_{1q}) và điện kháng rò rỉ biến áp.

2.6. Các đặc tính của STATCOM

STATCOM có thể hoạt động ở hai chế độ khác nhau, có thể phụ thuộc vào chất bán dẫn công suất được sử dụng: [10],[11].

Trong chế độ điều chỉnh điện áp (điện áp được quy định trong giới hạn như được giải thích dưới đây).

Trong chế độ điều khiển var (đầu ra công suất phản kháng STATCOM được giữ không đổi). Khi STATCOM được vận hành trong chế độ điều chỉnh điện áp, nó thực hiện các đặc tính V-I sau đây:



Hình 2.23: Đặc tính V-I của STATCOM

Miễn là dòng phản kháng trong phạm vi giá trị dòng điện ($-I_{max}$, I_{max}) áp đặt bởi các đánh giá chuyển đổi, điện áp được quy định tại điện áp tham chiếu V_{ref} . Tuy nhiên, một droop điện áp thường được sử dụng (thường là giữa 1% và 4% đầu ra tối đa công suất phản kháng), và đặc tính V-I có độ dốc chỉ ra trong hình 2.22. Trong chế độ điều chỉnh điện áp, đặc tính V-I được mô tả bởi phương trình sau:

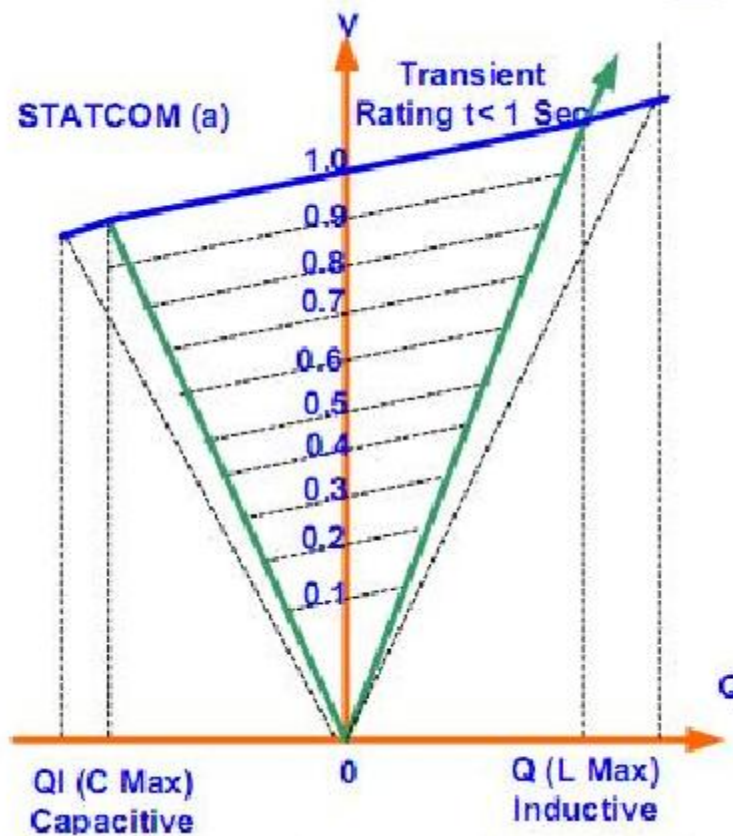
$$V = V_{ref} + X_s I \quad (2.8)$$

Trong đó: V - điện áp thứ tự dương (pu).

I - dòng phản kháng (pu/ P_{nom}) ($I > 0$ cho thấy một dòng điện cảm).

X_s - kháng dọc (pu/ P_{nom}).

P_{nom} - công suất tiêu chuẩn 3 pha của bộ chuyển đổi.



Hình 2.24: Đặc tính V-Q của STATCOM

2.7. Mô hình hóa STATCOM

2.7.1. Mô hình mạch

Chuyển đổi nguồn điện áp dựa trên STATCOM là cấu trúc liên kết chiếm ưu thế trong thực tế. hình 2.25 là sơ đồ mạch của một STATCOM điển hình.

Trong đó: i_a, i_b, i_c : Dòng điện đường dây.

V_a, V_b, V_c : Pha điện áp chuyển đổi.

e_a, e_b, e_c : Điện áp pha nguồn AC.

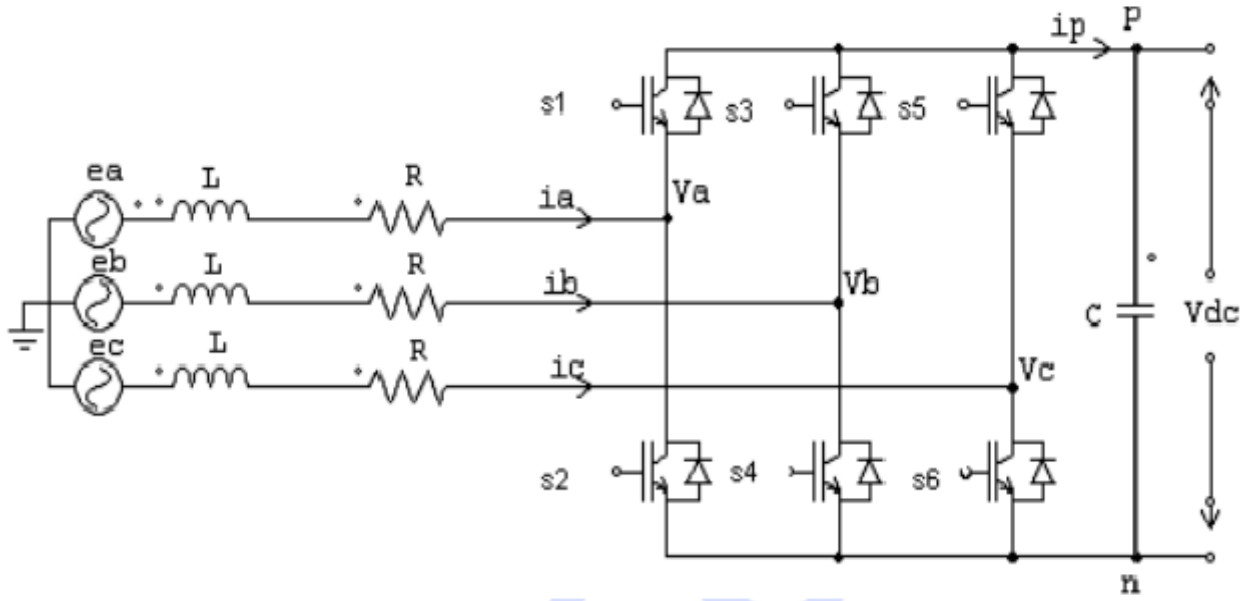
$V_{dc} = V_{pn}$: Điện áp phía DC.

I_p : Dòng điện phía DC.

L : Điện cảm của bộ điện kháng đường dây.

R : Điện trở của bộ điện kháng đường dây.

C : Tụ điện phía DC.



Hình 2.25: Mạch tương đương mô hình hóa của STATCOM

2.7.2. Mô hình toán STATCOM

Dựa vào mạch tương đương của STATCOM được hiển thị trong hình 2.25, chúng ta có thể lấy được các mô hình toán học STATCOM như sau:

Từ nguyên lý điện tử công suất chúng ta có được

$$i_p = \begin{bmatrix} D_{ap} - D_{bp} \\ D_{bp} - D_{cp} \\ D_{cp} - D_{ap} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} i_{ab} \\ i_{bc} \\ i_{ca} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Trong đó:

Dkp: là chuyển đổi chức năng và k = a, b, c.

$$i_{ab} = \frac{1}{3}(i_a - i_b), i_{bc} = \frac{1}{3}(i_b - i_c), i_{ca} = \frac{1}{3}(i_c - i_a)$$

$$\text{Và} \quad \begin{bmatrix} V_a - V_b \\ V_b - V_c \\ V_c - V_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{ap} - D_{bp} \\ D_{bp} - D_{cp} \\ D_{cp} - D_{ap} \end{bmatrix} V_{dc} \quad (2.10)$$

Từ nguyên lý mạch chúng ta có:

$$Ri_a + L \frac{di_a}{dt} = e_a - V_a \quad (2.11)$$

$$Ri_b + L \frac{di_b}{dt} = e_b - V_b \quad (2.12)$$

$$Ri_c + L \frac{di_c}{dt} = e_c - V_c \quad (2.13)$$

Và

$$L \frac{di_{ab}}{dt} = \frac{1}{3} L \left(\frac{di_a}{dt} - \frac{di_b}{dt} \right) \quad (2.14)$$

Phương trình này có thể được mở rộng như sau:

$$\begin{aligned} L \frac{di_{ab}}{dt} &= \frac{1}{3} [(e_a - V_a) - (e_b - V_b)] - i_{ab} R \\ &= \frac{1}{3} [(e_a - e_b) - (V_a - V_b)] - i_{ab} R \end{aligned} \quad (2.15)$$

Tương tự, chúng ta có thể được:

$$L \frac{di_{bc}}{dt} = \frac{1}{3} [(e_b - e_c) - (V_b - V_c)] - i_{bc} R \quad (2.16)$$

$$L \frac{di_{ca}}{dt} = \frac{1}{3} [(e_c - e_a) - (V_c - V_a)] - i_{ca} R \quad (2.17)$$

Đặt phương trình (4-15), (4-16) và (4-17) cùng nhau chúng ta có:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{ab} \\ i_{bc} \\ i_{ca} \end{bmatrix} = \frac{1}{3L} \begin{bmatrix} e_a - e_b \\ e_b - e_c \\ e_c - e_a \end{bmatrix} - \frac{1}{3L} \begin{bmatrix} V_a - V_b \\ V_b - V_c \\ V_c - V_a \end{bmatrix} - \frac{R}{L} \begin{bmatrix} i_{ab} \\ i_{bc} \\ i_{ca} \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Áp dụng phương trình (4-10) vào phương trình (4-18):

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{ab} \\ i_{bc} \\ i_{ca} \end{bmatrix} = \frac{1}{3L} \begin{bmatrix} e_a - e_b \\ e_b - e_c \\ e_c - e_a \end{bmatrix} - \frac{1}{3L} \begin{bmatrix} D_{ap} - D_{bp} \\ D_{bp} - D_{cp} \\ D_{cp} - D_{ap} \end{bmatrix} V_{dc} - \frac{R}{L} \begin{bmatrix} i_{ab} \\ i_{bc} \\ i_{ca} \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

$$C \frac{dV_{dc}}{dt} = i_p = \begin{bmatrix} D_{ap} - D_{bp} \\ D_{bp} - D_{cp} \\ D_{cp} - D_{ap} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} i_{ab} \\ i_{bc} \\ i_{ca} \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Nó được phổ biến thực tế trong ứng dụng hệ thống điện để biến đổi 3 pha AC động lực học vào các thành phần trục giao (thẳng góc) trong một khung tham chiếu quay. Ở đây các thành phần được gọi là các thành phần hiệu dụng và phản kháng. Từ lý thuyết hệ thống điện, chúng ta nhận được các dòng điện hiệu dụng và phản kháng liên quan đến một khung tham chiếu quay với tần số góc ω như:

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ 0 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

(2.21)

Và

$$P = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & \cos\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) & \cos\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right) \\ -\sin(\omega t) & -\sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) & -\sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

(2.22)

Trong đó: i_d - thành phần dòng điện tác dụng.

i_q - thành phần dòng điện phản kháng.

Sau đó chúng ta có:

$$\begin{bmatrix} i_{ab} \\ i_{bc} \\ i_{ca} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} i_a - i_b \\ i_b - i_c \\ i_c - i_a \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \left(\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} i_b \\ i_c \\ i_a \end{bmatrix} \right) = \bar{T}^{-1} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ 0 \end{bmatrix}$$

(2.23)

Trong đó:

$$\bar{T}^{-1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} -\sin\left(\omega t - \frac{1}{3}\pi\right) & \cos\left(\omega t - \frac{1}{3}\pi\right) & 1 \\ \sin(\omega t) & -\cos(\omega t) & 1 \\ -\sin\left(\omega t + \frac{1}{3}\pi\right) & \cos\left(\omega t + \frac{1}{3}\pi\right) & 1 \end{bmatrix}$$

(2.24)

Nếu chúng ta thiết lập T là không gian con của ma trận T , chúng ta có thể nhận

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} i_{ab} \\ i_{bc} \\ i_{ca} \end{bmatrix}$$

(2.25)

Tương tự chúng ta có thể nhận được

$$\begin{bmatrix} e_d \\ e_q \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} e_{ab} \\ e_{bc} \\ e_{ca} \end{bmatrix}$$

(2.26)

$$\begin{bmatrix} D_d \\ D_q \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} D_{ab} \\ D_{bc} \\ D_{ca} \end{bmatrix}$$

(2.27)

Áp dụng phương trình (2.25) với phần bên trái của phương trình (2.19).

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{ab} \\ i_{bc} \\ i_{ca} \end{bmatrix} = \frac{d(T^{-1} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix})}{dt} = \frac{dT^{-1}}{dt} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + T^{-1} \begin{bmatrix} \frac{di_d}{dt} \\ \frac{di_q}{dt} \end{bmatrix}$$

(2.28)

Áp dụng phương trình (2.26) và (2.27) để phương trình (2.19).

$$\frac{dT^{-1}}{dt} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + T^{-1} \begin{bmatrix} \frac{di_d}{dt} \\ \frac{di_q}{dt} \end{bmatrix} = \frac{1}{3L} T^{-1} \begin{bmatrix} e_d \\ e_q \end{bmatrix} - \frac{1}{3L} T^{-1} \begin{bmatrix} D_d \\ D_q \end{bmatrix} V_{dc} - \frac{R}{L} T^{-1} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix}$$

(2.29)

Từ nguyên lý hệ thống điện, chúng ta có được:

$$e_d = V_m \quad ; \quad e_q = 0$$

$$\text{và} \quad T \frac{dT^{-1}}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega \\ \omega & 0 \end{bmatrix}$$

(2.30)

Nhân T cho cả hai bên của phương trình (4-29) và áp dụng phương trình (4-30),

$$\begin{bmatrix} \frac{di_d}{dt} \\ \frac{di_q}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & \omega & -\frac{D_d}{3L} \\ -\omega & -\frac{R}{L} & -\frac{D_q}{3L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ V_{dc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{3L} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} V_m$$

(2.31)

Áp dụng phương trình (2.25) và (2.27) để phương trình (4.20), chúng ta có:

$$\frac{dV_{dc}}{dt} = \frac{1}{C} i_p = \frac{1}{C} \begin{bmatrix} D_{ap} - D_{bp} \\ D_{bp} - D_{cp} \\ D_{cp} - D_{ap} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} i_{ab} \\ i_{bc} \\ i_{ca} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_d \\ D_q \end{bmatrix}^T T^{-T} T^{-1} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \frac{3}{2C} \begin{bmatrix} D_d \\ D_q \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix}$$

(2.32)

Dẫn đến:

$$\frac{dV_{dc}}{dt} = \frac{dV_{pn}}{dt} = \frac{1}{C} i_p = \frac{3}{2C} \begin{bmatrix} D_d \\ D_q \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix}$$

(2.33)

Sắp xếp lại phương trình (2.30) và (2.31) chúng ta có được:

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{-R}{L} i_d + i_q \omega - \frac{V_{dc}}{3L} D_d + \frac{1}{3L} V_m$$

(2.34)

$$\frac{di_q}{dt} = -i_d \omega - \frac{R}{L} i_q - \frac{V_{dc}}{3L} D_q$$

(2.35)

$$\frac{dV_{dc}}{dt} = \frac{3}{2C} i_d D_d + \frac{3}{2C} i_q D_q$$

(2.36)

Cuối cùng, nhận thấy rằng chúng ta có thể đại diện cho vòng ngoài năng động

của STATCOM, kết quả năng động từ bất kỳ chuyển đổi chức năng D_k tùy ý, thể hiện trong phương trình (2.35) trong hình thức không gian tiêu chuẩn của trạng thái)

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ V_{dc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-R}{L} & \omega & \frac{-D_d}{3L} \\ -\omega & \frac{-R}{L} & \frac{-D_q}{3L} \\ \frac{3}{2C}D_d & \frac{3}{2C}D_q & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ V_{dc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{3L} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} V_m$$

(2.37)

Điều này hoàn thành mô hình năng động của STATCOM như phương trình (2.36). Từ mô hình chúng ta có thể thấy trạng thái của các vòng lặp năng động của STATCOM là i_d , i_q và V_{dc} có thể được coi là một tham số hệ thống không đổi. Các biến điều khiển là D_d , D_q . Lưu ý rằng đây là một hệ thống song tuyến tính và được ứng dụng, trạng thái điều khiển đầy đủ phản hồi của STATCOM, đại diện cho một hệ thống phi tuyến.

Chương 3.

STATCOM HÃNG ABB

3.1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Để hệ thống điện hoạt động linh hoạt ở mọi chế độ, kể cả tình huống sự cố nghiêm trọng nhất thì phải có thiết bị để điều khiển các đại lượng trong hệ thống điện. Một trong những đại lượng đó chính là đại lượng điện áp, theo nhận định thực tế, các sự cố tan rã hệ thống điện gần đây đều có liên quan đến sự sụp đổ điện áp hoặc là mất ổn định điện áp, mà nguyên nhân chủ yếu dẫn đến sự sụp đổ điện áp thường là do sự không đáp ứng đủ nhu cầu công suất phản kháng cho hệ thống điện một cách kịp thời. Theo các kết quả nghiên cứu của các nhà khoa học đã cho ta thấy rằng việc đáp ứng hiệu quả của STATCOM trong mọi chế độ của hệ thống điện phụ thuộc vào tính năng làm việc của bộ điều khiển STATCOM. Tuy nhiên, việc đánh giá, lựa chọn bộ STATCOM như thế nào là hợp lý, cũng như dung lượng bù tối ưu trong phân tích ở chế độ xác lập, chế độ quá độ là mối quan tâm hàng đầu trong việc đáp ứng nhu cầu về công suất phản kháng và nâng cao ổn định điện áp cho hệ thống điện.

3.2. GIỚI THIỆU VỀ STATCOM CỦA HÃNG ABB

3.2.1. Energy Storage Systems (ESS) hệ thống lưu trữ năng lượng.

Trong truyền tải và cung cấp năng lượng điện, một trong những yêu cầu cần thiết là giữ ổn định các đại lượng và thông số của hệ thống. Tuy nhiên, phụ tải thay đổi là ngẫu nhiên và những sự cố trong quá trình vận hành khai thác cũng hoàn toàn không chủ động. Mặt khác, trên biểu đồ năng lượng người ta phân chia ra: Thời gian cao điểm, thời gian thấp điểm theo năm, theo mùa, theo ngày... Vì vậy để năng lượng ổn định trên hệ thống người ta cần phải có các thiết bị dự trữ năng lượng. Việc dự trữ năng lượng sẽ giúp cho người vận hành hệ thống chủ động trong rất nhiều tình huống và là một khâu rất cần thiết trong kỹ thuật.

ESS có thể là phụ tải khi năng lượng lưới ở thời gian thấp điểm dư thừa.

ESS có thể là trạm phát khi năng lượng trên lưới thiếu hụt và ESS là một bộ giảm chấn “ khi có những xung năng lượng phát sinh trên hệ thống lưới điện”.

Xuất phát từ các lý do cơ bản này nên hãng ABB đã đưa ra mô hình lưới điện với các ESS trên tất cả hệ thống trong các vai trò quan trọng trên.

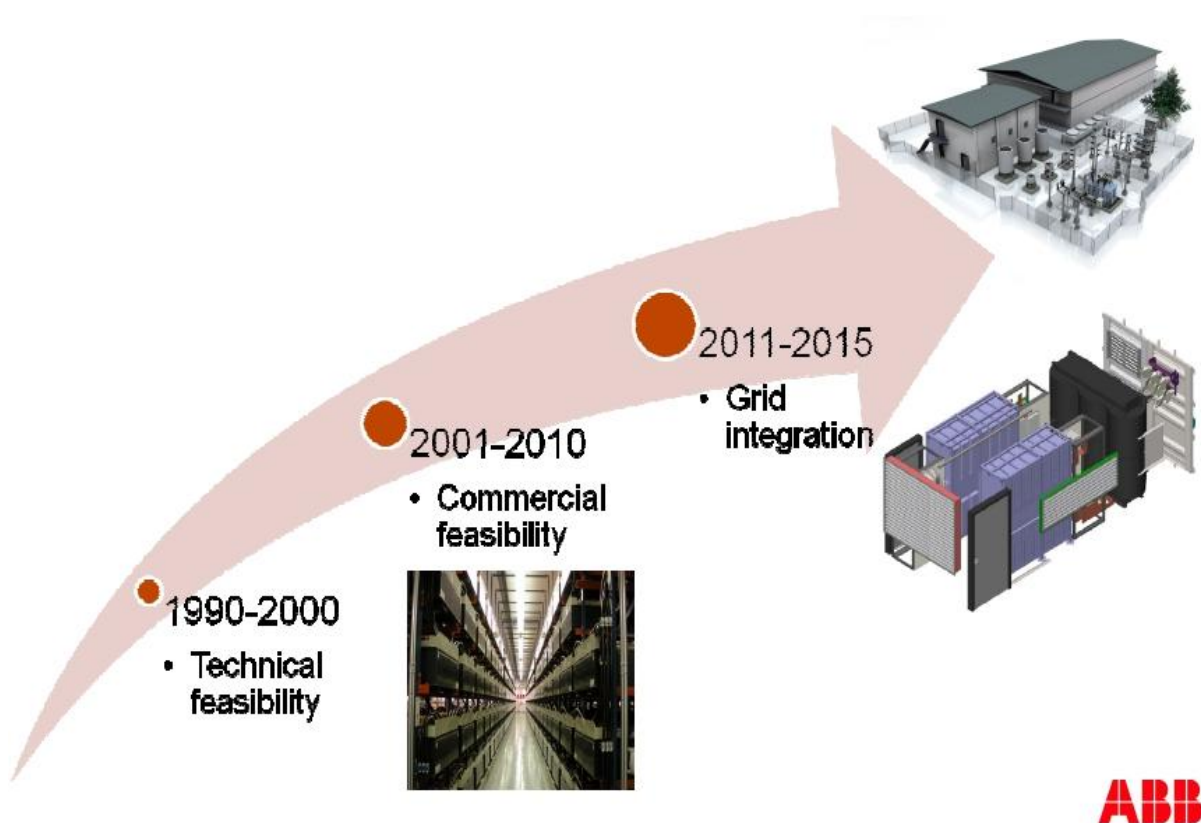
Hình 3.2 trình bày hệ thống cung cấp năng lượng với sự có mặt của ESS.

Đây là dự án thí điểm của hãng ABB về hệ thống STATCOM:

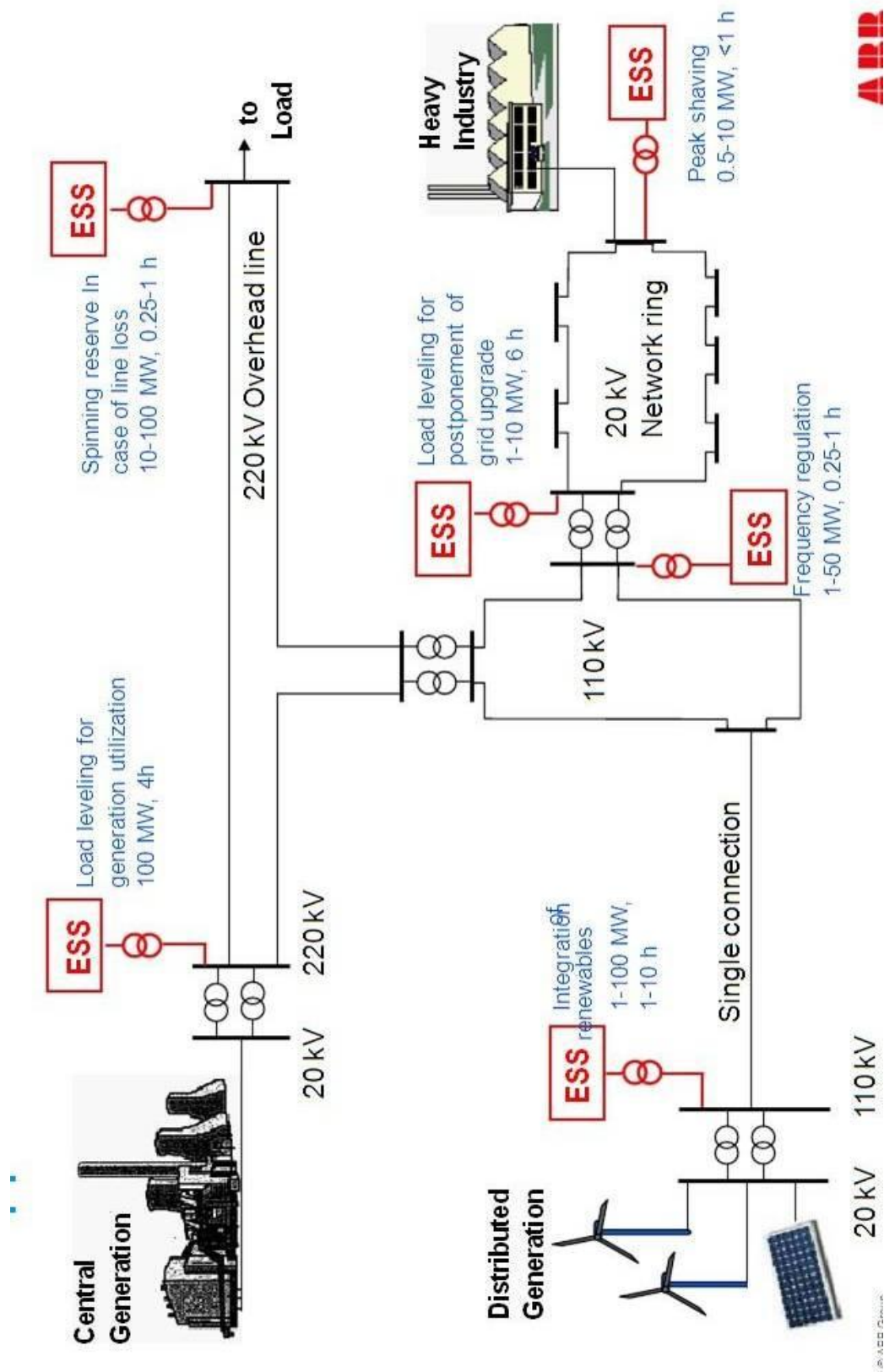
Trong giai đoạn từ 1990 – 2000 hoàn thành dự án thí điểm về tính khả thi kỹ thuật

Từ 2001 – 2010 hoàn thành dự án thí điểm về tính khả thi thương mại

Từ 2011 – 2015 hoàn thành dự án thí điểm tích hợp lưới điện.



Hình 3.1 Các giai đoạn thực hiện dự án thí điểm của ABB



Hình 3.2 Sơ đồ bố trí lắp đặt hệ thống ESS

Điện năng được sản xuất từ các nhà máy điện được và được truyền tải đến trạm biến áp tăng áp 20kV/220kV. Trên thanh cái thứ cấp của máy biến áp tăng áp, công ty lắp một trạm ESS, trạm này là nơi tích lũy năng lượng và dùng như

tải để san phẳng khi công suất phát lớn ở lưới điện 220kV. Trên đường dây 220kV đi đến các tải người ta lắp đặt trạm ESS. Trạm này có tác dụng cấp điện trở lại khi hệ thống mất điện lưới 220kV

Từ các nhà máy điện chạy bằng sức gió hoặc năng lượng mặt trời sẽ có những trạm biến áp tăng áp 20kV/110kV. Tại thanh cái thứ cấp trạm biến áp này người ta lắp đặt một trạm ESS nữa, trạm này có tác dụng là nơi lưu trữ năng lượng để phục hồi công suất lưới.

Tại các thanh cái 110kV người ta lắp đặt những trạm ESS, những trạm này dùng để điều chỉnh tần số lưới điện,

Tại thanh cái thứ cấp của trạm biến áp hạ áp 110kV/20kV người ta lắp đặt thêm trạm ESS làm tải giữ ổn định cho lưới điện 20kV.

Và tại các thanh cái cấp nguồn cho tải ở điện áp 20kV người ta đặt trạm ESS vào làm tải dùng để chống đỉnh xung công suất.

Tại các vị trí hệ thống ESS đều được lắp đặt tại thanh cái đặt ngay tại các trạm biến áp nhằm mục đích bù công suất kháng cho toàn hệ thống mà trạm biến áp đó cung cấp.

3.2.2 Điều khiển năng lượng lưu trữ Energy Storage Drivers (ESD)

Năng lượng dự trữ trên lưới cần phải được điều khiển một cách hợp lý và khoa học. Ở đây, việc điều khiển phải mang tính hệ thống vì thực tế dù ở lưới nào thì các đại lượng chính: Điện áp, tần số cần phải được ổn định.

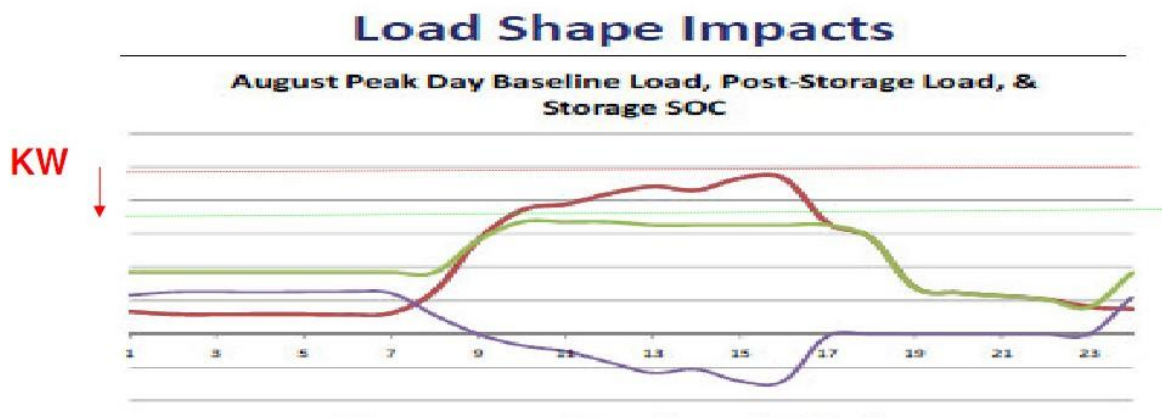
Năng lượng tiêu thụ của hệ thống phụ thuộc vào phụ tải và ở mỗi một thời điểm lại yêu cầu một mức năng lượng khác nhau. Hệ thống ESS trên lưới thường được thiết kế hoàn toàn có thể làm việc độc lập nhưng cũng đồng thời phải được ghép nối tổng thể với hệ thống chung.

Vấn đề điều khiển hoàn toàn không đơn giản, ở mỗi một trạm lại có một đặc thù và yêu cầu riêng vì vậy thiết kế điều khiển hệ thống là cần thiết.

Tuy nhiên, có một thuận lợi cho khả năng điều khiển là vấn đề sử dụng thiết bị đồng bộ - Trong hệ thống đều sử dụng các bộ converter – Inverter nên thiết kế điều khiển có những đồng nhất mà ABB hoàn toàn làm chủ.

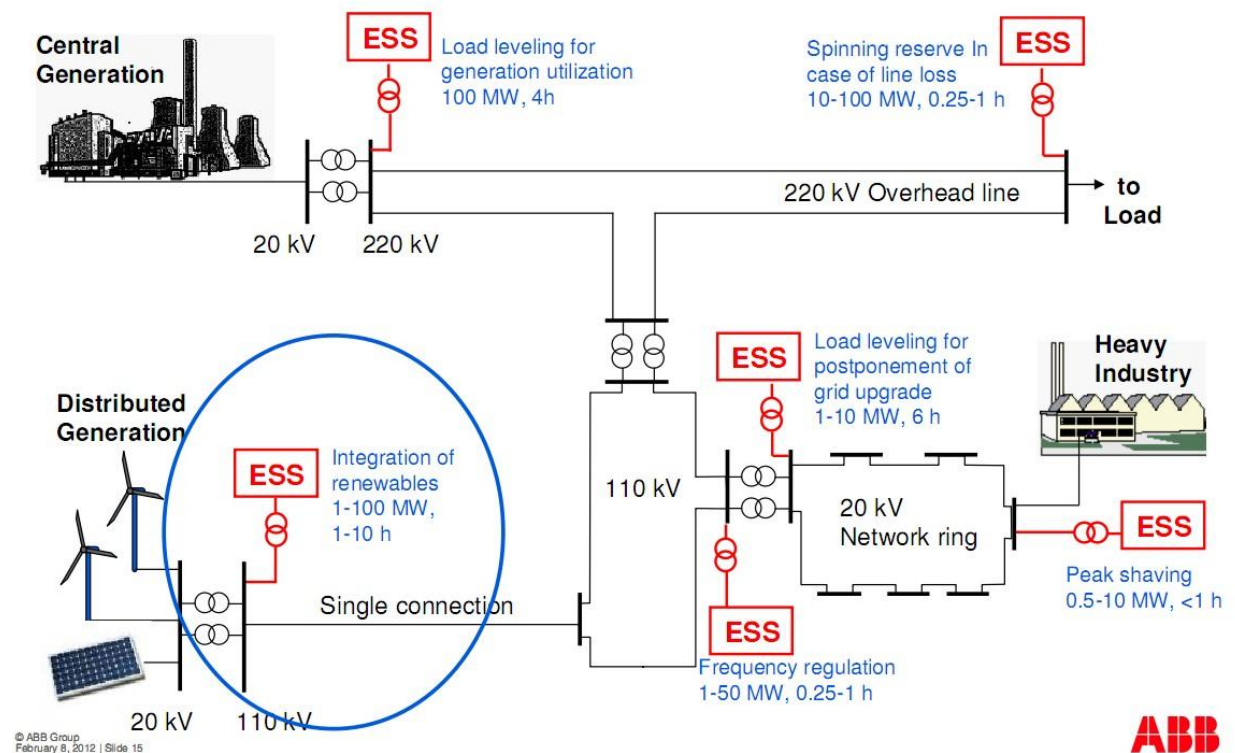
Nghiên cứu ở biểu đồ năng lượng bên trên ta thấy có sự dao động của công suất tiêu thụ và tần số lưới. Khi công suất tiêu thụ tăng thì tần số lưới sẽ theo xu hướng giảm dần. Như vậy khi công suất tiêu thụ tăng đột biến thì tần số lưới sẽ giảm đột biến, chính từ sự giảm đột biến hoặc tăng đột biến dẫn đến hàng loạt các sự cố về điện, và đó cũng là nguyên nhân gây ra sụt áp.

Tác dụng của ESS là: Nâng cao chất lượng điện năng, bảo vệ ngắn hạn các phụ tải điện trong khi xảy ra sự cố về điện

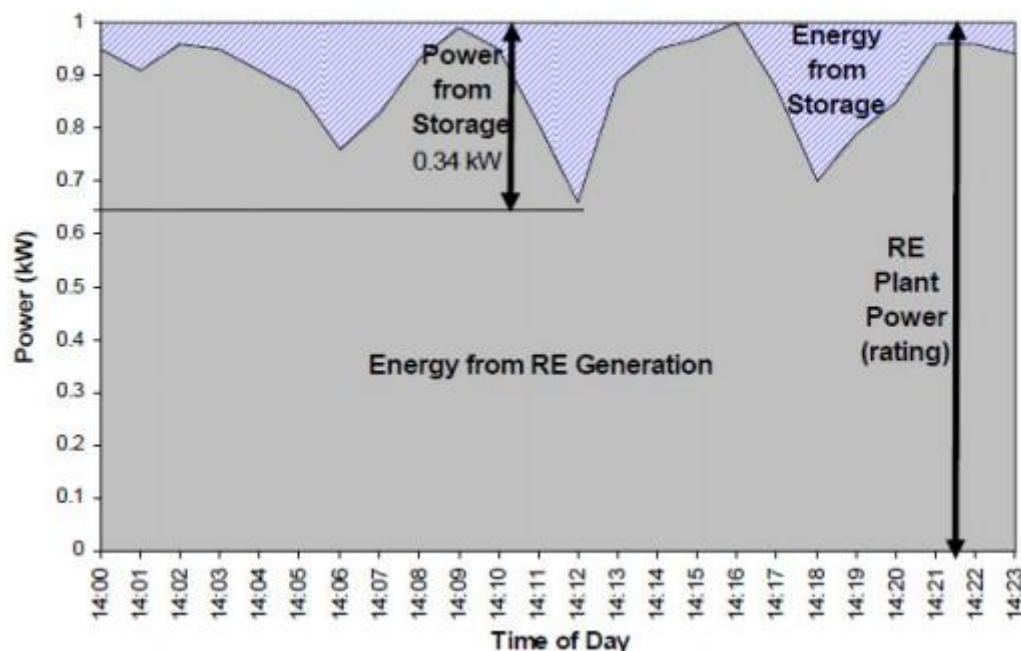


Hình 3.3. Biểu đồ năng lượng

Vấn đề chuyển tải - là việc thực hiện thay đổi khai thác sử dụng năng lượng để tăng năng lượng vào giờ cao điểm, tại thời điểm đó không những không để tiêu thụ năng lượng mà chuyển sang giai đoạn ngoài giờ cao điểm. - Năng lượng chênh lệch đáp ứng việc tiết kiệm chi phí. Thực hiện giải quyết giảm đỉnh này lượng ở những thời điểm cao điểm.



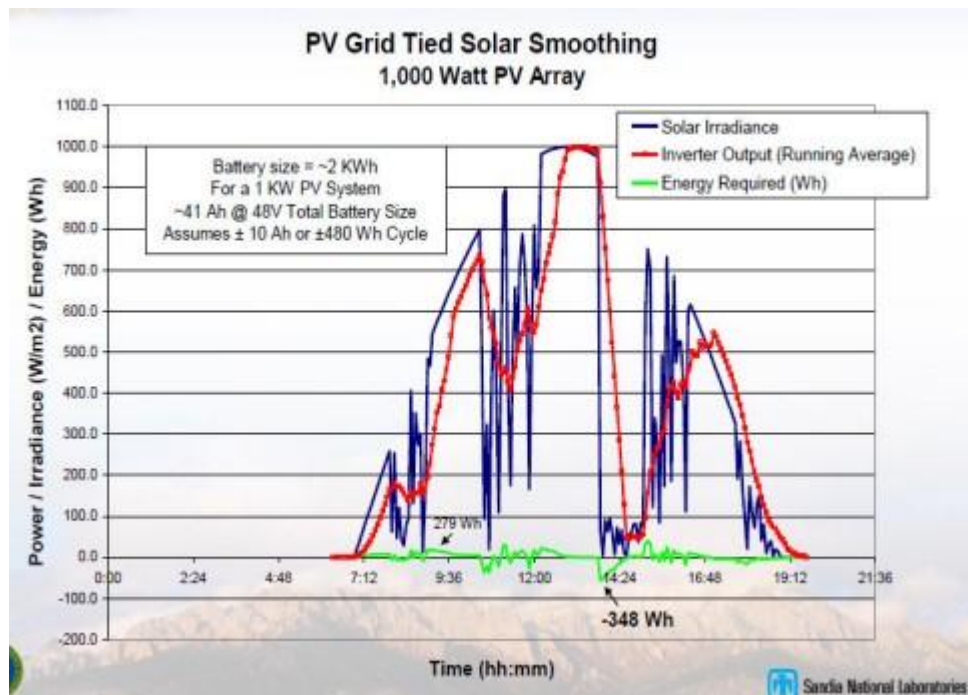
Hình 3.4. Nguyên lý điều khiển năng lượng gió, mặt trời và nguồn năng lượng bổ sung khác



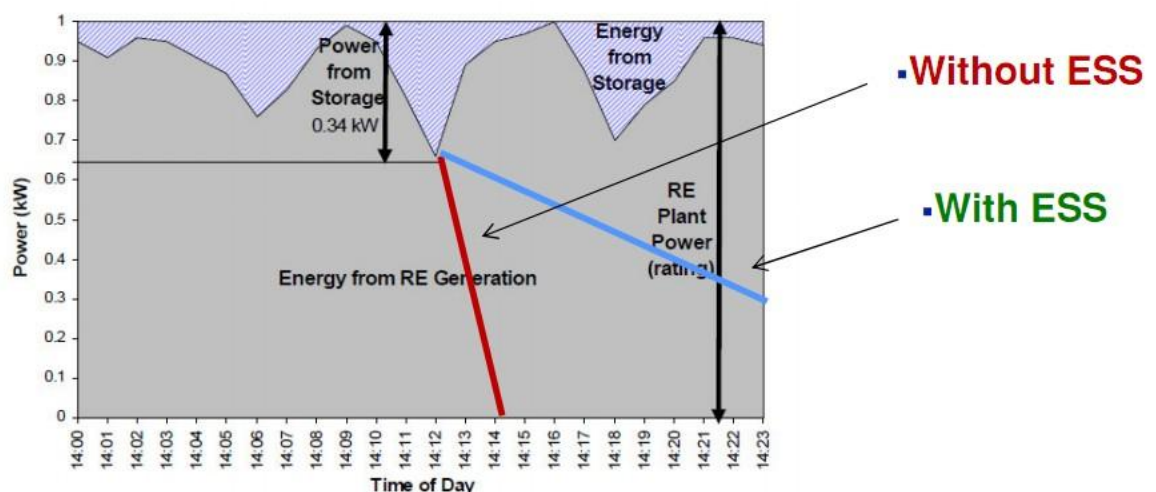
Thời điểm sử dụng năng lượng sạch, năng lượng tái tạo như gió, mặt trời cũng góp phần tạo nên sự ổn định cho hệ thống vì vấn đề năng lượng.

Năng lượng gió cũng phụ thuộc vào thiên nhiên và việc khai thác loại năng lượng này cũng rất quan trọng.

Hệ thống có thể thực hiện điều khiển để tận dụng công suất gió tích lũy vào ESS làm năng lượng dự trữ cho hệ.



Hình 3.5. Biểu đồ năng lượng

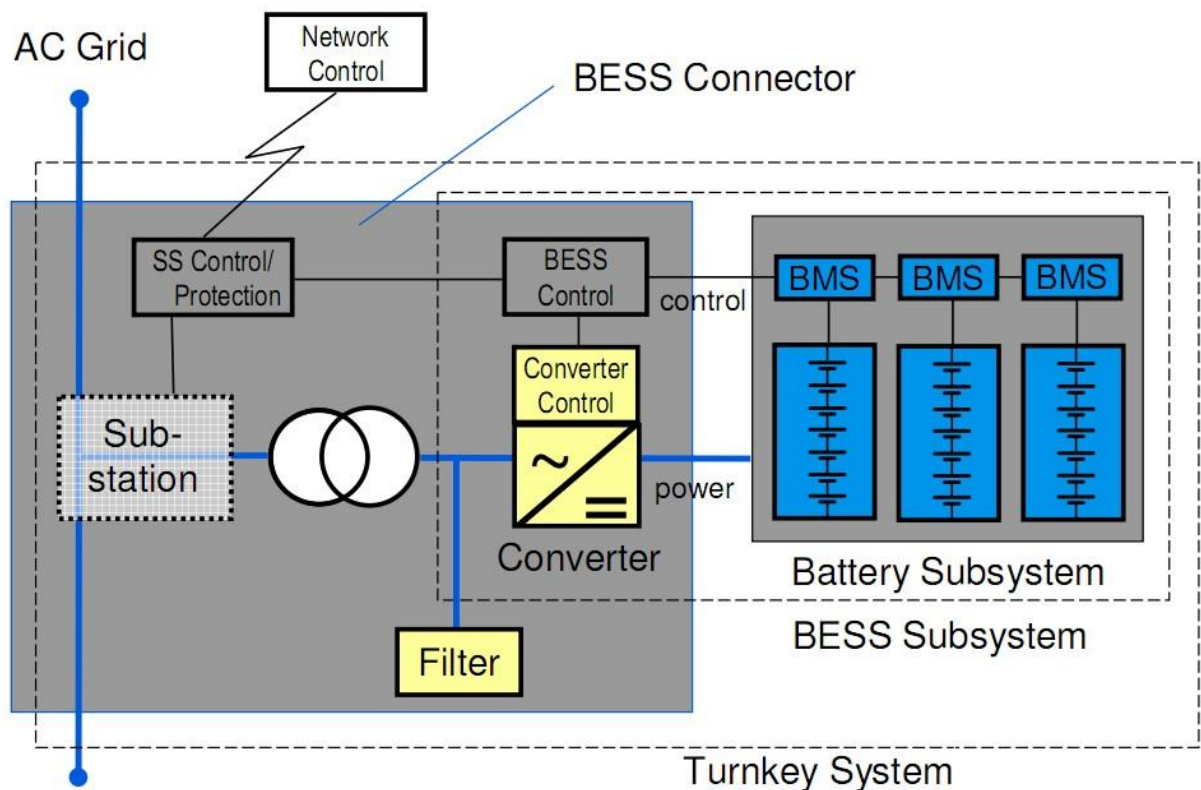


Đồ thị trên vì cho những ứng dụng với những thời điểm khác nhau và tác dụng của ESS trong hệ thống. Nếu không có ESS hệ thống sẽ gặp phải những xung

dòng, xung năng lượng và hậu quả sẽ rất lớn nếu không có được các bộ ESS trong hệ thống tham gia vào quá trình vận hành và khai thác hệ thống.

Năng lượng gió lúc lớn, lúc nhỏ cộng với ESS sẽ tạo nên một đường biểu đồ trơn hơn và an toàn hơn.

3.2.3 Ắc quy lưu trữ năng lượng thành phần Battery Energy Storage Components (BESC)



Hình 3.6. Ắc quy lưu trữ năng lượng

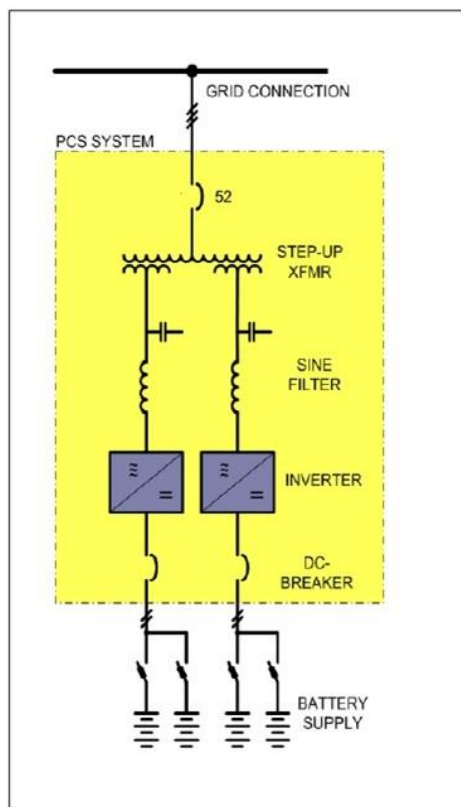
Chức năng

Bộ Sub-station có tác dụng so sánh và phát hiện chênh lệch điện áp trên lưới điện

Bộ SScontrol protection có tác dụng khuếch đại tín hiệu và chuyển về bộ BESS control

Bộ BESS control có tác dụng nhận tín hiệu của SS control protection phân tích tín hiệu điều khiển, lấy tín hiệu từ battery subsystem sau đó điều khiển bộ biến tần

Bộ filter là bộ lọc, lọc tín hiệu điện áp



AC Grid Voltage

Battery DC Voltage & Application

Battery Type

PCS SYSTEM

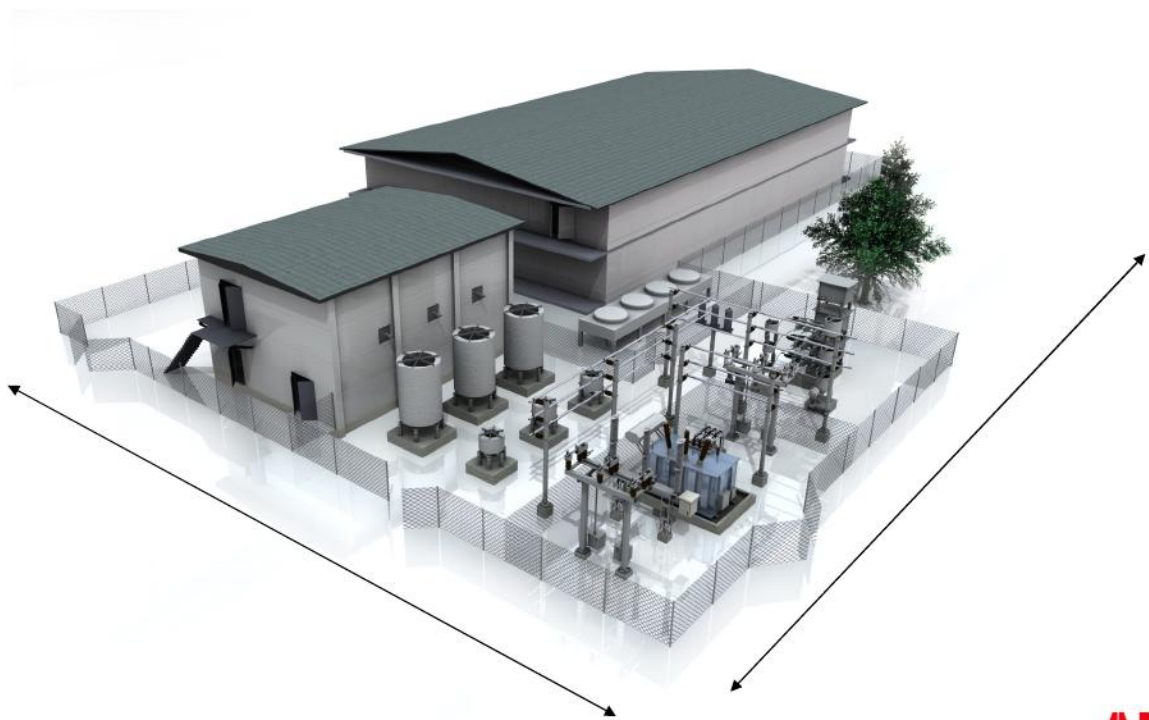


Hình 3.7. Thiết kế cầu ESS



1MW / 6.5MWHr

Hình 3.8: Hình ảnh thực tế của ESS



ABB

Hình 3.9: Mô hình hệ thống ESS

KẾT LUẬN

Sau một thời gian là ba tháng tìm hiểu và nghiên cứu về STATCOM, tuy vấn đề này là mới mẻ với bản thân em nhưng em đã cố gắng tìm hiểu nhiều vấn đề liên quan đến việc chuyển đổi nguồn áp. Tuy đã rất cố gắng hoàn thành đồ án nhưng em không thể tránh được một số thiếu sót, em mong các thầy cô cùng các bạn đóng góp và đưa ra một số ý kiến để cho đồ án của em thực hiện tốt hơn.

Dưới sự hướng dẫn tận tình của thầy PGS.TS Nguyễn Tiến Ban cùng sự giúp đỡ của nhiều quý thầy cô trong khoa em đã hoàn thành luận văn theo đúng yêu cầu và thời gian quy định. Trong luận văn em đã thực hiện được vấn đề sau:

- Nghiên cứu về hệ thống STATCOM.
- Đi sâu nghiên cứu tìm hiểu về chuyển đổi nguồn áp
- Nghiên cứu ứng dụng của hãng ABB

Em xin chân thành cảm ơn thầy PGS.TS Nguyễn Tiến Ban cùng toàn thể các thầy cô trong khoa Điện-Điện Tử trường Đại học Dân Lập Hải Phòng đã tận tình giúp đỡ em hoàn thành đồ án này.

Hải Phòng, ngày...tháng...năm 2013

Sinh viên thực hiện:

Phạm Văn Huy

TÀI LIỆU THAM KHẢO

MỤC LỤC

LỜI MỞ ĐẦU	LỜI CẢM ƠN	1
LỜI CẢM ƠN		1
Chương 1: TỔNG QUAN VỀ STATCOM VÀ BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG		2
1.1. TỔNG QUAN VỀ STATCOM		2
1.1.1. Các thế hệ bù công suất phản kháng		4
1.1.1.1. Thế hệ đầu tiên là các thiết bị bù đóng ngắt bằng cơ học		4
1.1.1.2. Thế hệ thứ hai là các thiết bị bù đóng ngắt dựa trên Thyristor		4
1.1.1.3. Thế hệ thứ ba là các thiết bị bù dựa trên bộ chuyển đổi		5
1.1.2. Chức năng ứng dụng của STATCOM		5
1.2. TỔNG QUAN VỀ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG		6
1.2.1. Giới thiệu chung		6
1.2.2. Hiệu quả của việc bù công suất phản kháng		7
1.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG		8
1.3.1. Các thiết bị bù công suất phản kháng		8
1.3.1.1. Tự điện tĩnh		8
1.3.1.2. Máy bù đồng bộ		8
1.3.2. Một số thiết bị bù trong Flexible Alternating Current Transmission System		8
1.3.2.1. Bộ bù đồng bộ tĩnh nối tiếp Static Synchronous Series Compensator		8
1.3.2.2. Bộ bù bằng tụ mắc nối tiếp điều khiển bằng thyristor controlled series capacitor (TCSC)		10
1.3.2.3. Bộ điều khiển đồng thời dòng công suất hợp nhất Unified Power Flow controller		10
1.3.2.4. Bộ bù tĩnh (SVC :Static Var Compensator)		11
1.3.2.5. Bộ bù đồng bộ tĩnh (STATCOM: Static Synchronous Compensator)		12
1.4. NGUYÊN LÝ BÙ TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN		13
1.4.1 Bù song song		14
1.4.2. Bù nối tiếp		16
Chương 2: ĐIỀU KHIỂN ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP HỆ THỐNG ĐIỆN		18
2.1. ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN		19
2.2. CÁC GIỚI HẠN ỔN ĐỊNH TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN		21

2.2.1. Giới hạn điện áp.....	21
2.2.2. Giới hạn nhiệt	22
2.2.3. Giới hạn ổn định	23
. 2.2.3.1. Ổn định quá độ.....	24
2.2.3.2. Ổn định dao động bé	25
2.2.3.3. Các ứng dụng của STATCOM vào hệ thống điện để bù công suất phản kháng và nâng cao ổn định điện áp.....	27
2.3. CẤU TRÚC VÀ NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CƠ BẢN CỦA STATCOM	28
2.3.1. Cấu trúc cơ bản của STATCOM	28
2.3.2. Nguyên lý hoạt động của STATCOM	28
2.4. BỘ ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG CÔNG SUẤT DỰA TRÊN CÁC THIẾT BỊ BÁN DẪN	31
2.4.1. Bộ Chuyển đổi nguồn điện áp (VSC: Voltage Source Converter).....	33
2.4.2. Điều khiển điều chế độ rộng xung (PWM: Pulse Width Modulation)	35
2.4.3 Nguyên tắc hoạt động của VSC: Static Var Compensator.....	40
2.5. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN CỦA STATCOM	41
2.6. Các đặc tính của STATCOM	42
2.7. Mô hình hóa STATCOM	44
2.7.1. Mô hình mạch.....	44
2.7.2. Mô hình toán STATCOM	45
Chương 3: STATCOM HÃNG ABB.....	52
3.1. ĐẶT VẤN ĐỀ.....	52
3.2. GIỚI THIỆU VỀ STATCOM CỦA HÃNG ABB	52
3.2.1. Energy Storage Systems (ESS) hệ thống lưu trữ năng lượng.	52
3.2.2 Điều khiển năng lượng lưu trữ Energy Storage Drivers (ESD).....	55
3.2.3Ắc quy lưu trữ năng lượng thành phần Battery Energy Storage Components (BESC).....	59
KẾT LUẬN	62
TÀI LIỆU THAM KHẢO	63