

PHÂN TÍCH LƯỚI ĐIỆN KÍN VÀ ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ FACTS CHO ĐIỀU KHIỂN DÒNG CÔNG SUẤT

Ngô Đức Minh*

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Nỗ lực của bài báo là phối hợp giữa phương pháp phân tích lưới điện truyền thống với mô phỏng bằng Matlab để trình bày những hoạt động cơ bản của hệ thống điện thông qua một mô hình nghiên cứu tối giản nhưng vẫn đảm bảo tính tổng quát, trong đó có ứng dụng công nghệ FACTS. Nội dung chính gồm: Xây dựng một mô hình lưới điện kín điển hình được suy ra từ những sơ đồ chuẩn của IEEE để phục vụ chung cho nhiều hướng nghiên cứu; Phân tích lưới, đánh giá những yếu tố ảnh hưởng đến dòng công suất trong lưới và xét riêng cho một yếu tố cụ thể là điện áp nút; Ứng dụng công nghệ FACTS với thiết bị STATCOM-PWM bù công suất phản kháng để điều chỉnh điện áp nút và do đó điều khiển dòng công suất trong lưới; Mô hình mô phỏng bằng Matlab-Simulink lưới điện kín có STATCOM-PWM với cấu hình nghịch lưu Multi-level; Phân tích đánh giá các kết quả nghiên cứu thu được và đề xuất các nghiên cứu tiếp theo.

Từ khóa: Lưới điện kín, DCS, STATCOM-PWM, Điện áp nút, multi-level, FACTS

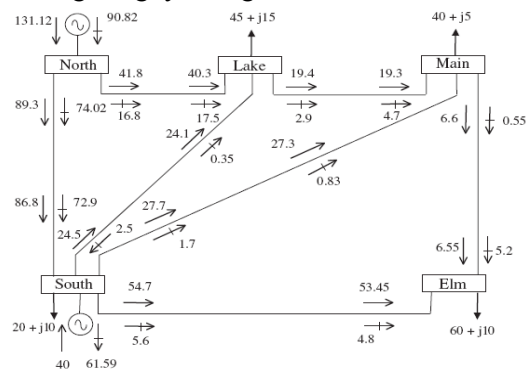
ĐẶT VẤN ĐỀ

FACTS (Flexible Alternating Current Transmission Systems) được đề xuất đầu tiên vào năm 1988 ở viện EPRI (Electric Power Research Institute) tại Hoa Kỳ. Đây là khái niệm về một hệ thống điện linh hoạt. Có nghĩa là các thông số của hệ thống được điều khiển, đáp ứng nhanh chóng theo đầu vào cũng như khi thay đổi điểm làm việc.

Công nghệ FACTS dựa trên cơ sở các bộ biến đổi VSI (Voltage Source Inverter), VCS (Voltage Source Converter) công suất lớn [1],[2]. Do sự phát triển của công nghệ sản xuất các thiết bị điện tử công suất lớn như GTO, IGTO, IGBT,... đã cho phép ứng dụng vào hệ thống điện nhằm nâng cao khả năng điều khiển dòng công suất (DCS) cả về độ lớn, phương chiều và chất lượng trong lưới điện kín. Đây là thế mạnh chính giúp cho FACTS ra đời và phát triển bền vững. Cho đến nay, FACTS đang ngày càng phát triển ở hầu hết các nước trên thế giới. Vì thế, vấn đề tiếp cận và ứng dụng công nghệ FACTS là tất yếu cho giảng dạy, nghiên cứu và ứng dụng trong hệ thống điện Việt Nam.

FACTS là tập hợp rất phong phú của nhiều thiết bị. Tuy nhiên, có thể chia ra thành các

nhóm chính theo hình thức kết nối: nối tiếp, song song, hỗn hợp. Đặc tính hoạt động của chúng được suy ra từ hai kiểu bù nối tiếp và bù song song lý tưởng.



Hình 1. Mô hình lưới điện kín 2 nguồn, 5 nút

Khi phân tích một lưới điện kín, giả sử theo một mô hình đã được IEEE chuẩn hóa như trên hình 1, các thuật toán được áp dụng nhằm xác định chỉ ra độ lớn, phương chiều dòng công suất trên các tuyến đường dây và tối ưu hóa bài toán này theo một tiêu chí nào đó nhằm đáp ứng yêu cầu cụ thể trong vận hành hệ thống điện [3],[4].

Tuy nhiên, nếu không kể đến chế độ sự cố nặng có thể gây tan rã lưới (phạm vi bài báo này không xét đến chế độ sự cố nặng), trong thực tế các thông số vận hành hệ thống vẫn có thể vượt ra ngoài phạm vi các điều kiện đầu

* Tel: 0982 286428

của bài toán tối ưu đưa trạng thái hệ thống xa rời chế độ tối ưu đặt ra.

Những thông số thường bị thay đổi đó là:

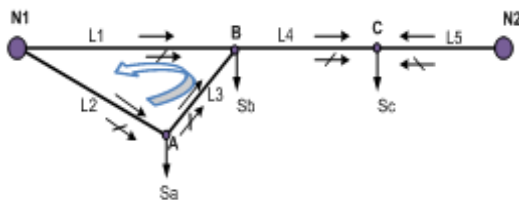
- Tổng trở đường dây bị thay đổi trong trường hợp đóng hoặc cắt một lộ trong cặp đôi đường dây song song;
- Thay đổi tải tại các nút;
- Điện áp nút thay đổi do các thao tác đóng cắt trong lưới: đóng cắt tải, đường dây, máy biến áp, nguồn... hoặc do ngắn mạch xa.

Các tác động trên đều làm thay đổi DCS trên đường dây, dịch chuyển điểm phân bố công suất ban đầu dẫn đến xuất hiện những trạng thái bất thường. Ví dụ như: xuất hiện những đường dây không mang tải, hoặc chỉ mang tải một thành phần P hoặc Q, hoặc đổi chiều DCS, hoặc DCS P và Q ngược chiều nhau.

Theo cách tiếp cận này, tác giả đề xuất hướng nghiên cứu của bài báo theo 2 nội dung chính:

- Phân tích lưới nhằm tường minh hóa bản chất vật lý của hoạt động lưới điện, những tác động làm thay đổi DCS.
- Ứng dụng công nghệ FACTS điều chỉnh dòng công suất trong lưới theo mong muốn.

PHÂN TÍCH LƯỚI



Hình 2. Sơ đồ cơ bản lưới điện kín

Nguyên lý chung

Trong lưới điện kín, một nút phụ tải bất kỳ đều có khả năng được cấp điện ít nhất là từ hai phía. Thực chất sơ đồ lưới trên hình 1 hay những lưới phức tạp hơn đều có thể được xem như là sự mở rộng từ một dạng sơ đồ cơ bản như sơ đồ trên hình 2 với 03 nút A, B, C ; 05 tuyến đường dây L1... L5; 02 nguồn cung cấp N1 và N2. Biểu thức tổng quát tính dòng công suất chạy trên các đường dây được xác định theo (1) và (2), [3]:

Nếu tính từ phía N1:

Hoặc tính từ phía N2:

$$\dot{S}_1 = \dot{S}_{N1} = \frac{3U_{pdm}(U_{N1} - U_{N2})}{Z_{\Sigma}} + \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i Z_i}{Z_{\Sigma}} \quad (1)$$

$$\dot{S}_4 = \dot{S}_{N2} = \frac{3U_{pdm}(U_{N2} - U_{N1})}{Z_{\Sigma}} + \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i Z'_i}{Z_{\Sigma}} \quad (2)$$

Giả thiết, thông số các đường dây của sơ đồ ghi trong bảng 1,

Bảng 1. Thông số đường dây

Thông số đường dây						
	km	ro	xo	R	jX	Z
Tổng	110			14.3	48.4	14.3+48.4i
L1	22	0.13	0.44	2.86	9.68	2.86+9.68i
L2	22	0.13	0.44	2.86	9.68	2.86+9.68i
L3	22	0.13	0.44	2.86	9.68	2.86+9.68i
L4	22	0.13	0.44	2.86	9.68	2.86+9.68i
L5	22	0.13	0.44	2.86	9.68	2.86+9.68i

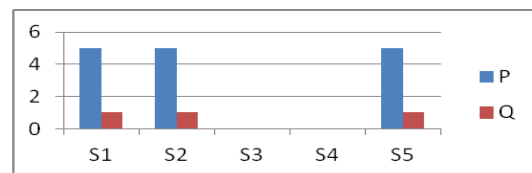
Xét chế độ đặc biệt, các phụ tải có giá trị giống nhau, cụ thể ghi trong bảng 2

Bảng 2. Phụ tải tại các nút

Phụ tải tại các nút			
S	P	Q	S
Sa	5	1	5+j1
Sb	5	1	5+j1
Sc	5	1	5+j1

Trường hợp thứ nhất: Thông số nguồn giống nhau cả về độ lớn và góc pha.

Áp dụng (1) và (2) tính được công suất chạy trên các đoạn đường dây và kết quả thu được thể hiện trên biểu đồ hình 3. Trong đó, chiều DCS đã quy ước theo chiều mũi tên trên sơ đồ hình 1. Nếu công suất âm sẽ được hiểu là dòng công suất thực trên đường dây đó ngược chiều mũi tên.

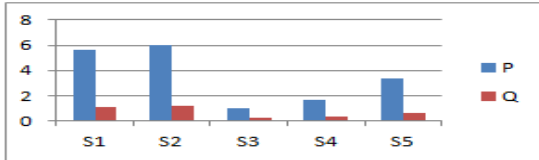


Hình 3. Biểu đồ dòng công suất

Quan sát hình 3 thấy hai đường dây L3 và L4 không mang tải. Nếu thay đổi thông số đường

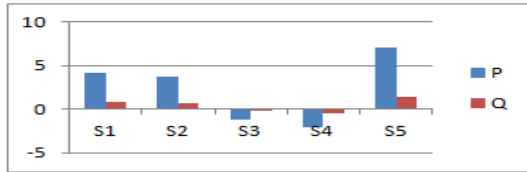
dây, DCS trên các đường dây sẽ thay đổi theo. Ví dụ:

- Thay đổi giảm một nửa chiều dài của L2=11km, tương đương chế độ chuyển từ một sang vận hành hai đường dây song song. Kết quả tính thể hiện trên biểu đồ hình 4 cho thấy DCS trên L3 và L4 khác không. DCS được tăng cường từ phía nguồn N1.



Hình 4. Giảm L2, DCS trên L3 dương

- Tăng gấp đôi chiều dài của L2=44km, kết quả tính thể hiện trên biểu đồ hình 5 cho thấy DCS trên L3 và L4 âm (đổi chiều), DCS được tăng cường từ phía nguồn N2.



Hình 5. DCS trên L3 và L4 đổi chiều

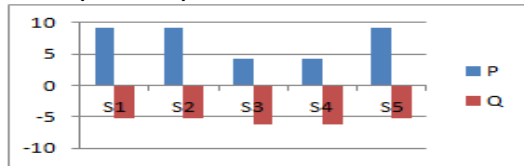
Trường hợp thứ hai: Thông số nguồn khác nhau cả về độ lớn và góc pha.

a) Hai nguồn cùng pha nhưng khác nhau về độ lớn, giả sử

$$U_{N1}=108 \text{ kV},$$

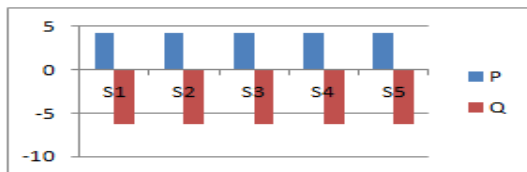
$$U_{N2}=106 \text{ kV}.$$

Theo (1), dòng công suất trên các đường dây tính được thể hiện trên biểu đồ hình 6.



Hình 6. DCS trên đường dây khi $U_{N1} > U_{N2}$

Trong đó, thành phần DCS không cân bằng có thể được tách riêng và thể hiện trên biểu đồ hình 7.



Hình 7. DCS không cân bằng khi $U_{N1} > U_{N2}$

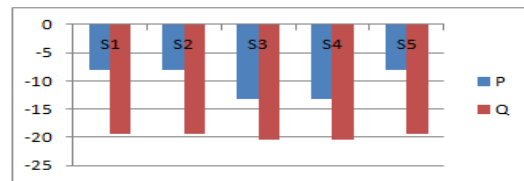
Từ biểu đồ hình 7 cho thấy DCS tác dụng P chạy từ nguồn có điện áp cao sang phía nguồn có điện áp thấp, còn đối với DCS phản kháng Q thì ngược lại (dòng chậm sau 90°). Trên đường dây dòng công suất P và Q chạy ngược chiều nhau.

b) Hai nguồn khác nhau cả về pha và độ lớn, giả sử:

$$U_{N1} = 108 \angle 0.137 \text{ kV},$$

$$U_{N2} = 106 \angle 0.194 \text{ kV}.$$

Kết quả tính toán thu được thể hiện trên biểu đồ hình 8.

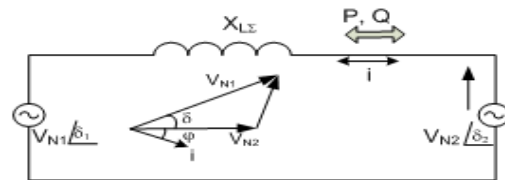


Hình 8. Dòng công suất P, Q

Nhận xét: Các biểu đồ trên đã làm rõ công thức (1) và (2). Xét trong trường hợp này, DCS trên một đoạn đường dây phụ thuộc vào hai yếu tố, đó là:

- Tổng trở của đường dây,
- Độ chênh thế giữa hai đầu đường dây.

Trong đó, sự khác nhau về góc pha thực chất là khác nhau về trị số điện áp xét theo thời gian tức thời (độ chênh thế). Rõ ràng, DCS tác dụng vẫn có chiều từ phía nguồn N2 có điện áp 106kV thấp hơn sang phía nguồn N1 có điện áp 108kV cao hơn vì N2 có góc phát sớm hơn. Hay có thể diễn đạt điều này theo cách khác thông qua mô hình lưới điện kín có sơ đồ như trên hình 9.



Hình 9. Mô hình lưới điện kín 2 nguồn

DCS tác dụng P và DCS phản kháng Q được xác định theo (3) và (4), [4].

$$P_{N2} = \frac{V_{N1} V_{N2}}{X_{L\Sigma}} \sin \delta \tag{3}$$

$$Q_{N2} = \frac{V_{N1} V_{N2}}{X_{L\Sigma}} \left(\cos \delta - \frac{V_{N2}}{V_{N1}} \right) \tag{4}$$

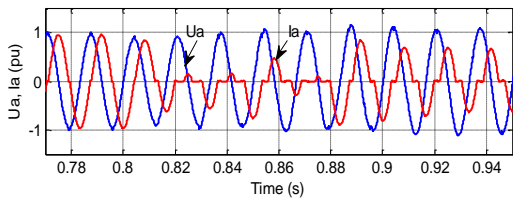
Trong đó, để chỉ giá trị điện áp dùng ký hiệu là chữ V; hiệu góc pha của điện áp của hai nguồn là $\delta = \delta_1 - \delta_2$.

Như vậy, dòng công suất trên đường dây có thể thay đổi thông qua điều chỉnh giá trị điện áp nút hoặc thay đổi tổng trở đường dây. Bài báo này lựa chọn giải pháp điều chỉnh điện áp nút bằng thiết bị bù song song là STATCOM-PWM. Bởi lẽ, với một nút xa nguồn thì việc điều chỉnh điện áp thực hiện từ máy phát là bất cập (công nghệ cũ). Mặt khác trong một lưới phức tạp có nhiều nút, việc lựa chọn vị trí và số lượng STATCOM cũng là một bài toán khó mà các kỹ sư năng lượng phải đối mặt. Tuy nhiên, trong thực tế lưới điện thường có cấu trúc không quá phức tạp. Các nghiên cứu áp dụng cho sơ đồ trên hình 2 là hoàn toàn đảm bảo tính tổng quát.

ỨNG DỤNG STATCOM-PWM ĐIỀU CHỈNH DÒNG CÔNG SUẤT

Lựa chọn STATCOM

Thay cho cấu hình STATCOM trước đây thường sử dụng các van bán dẫn Thyristor có điều khiển góc mở chậm α nên DCS phản kháng do STATCOM phát ra có chất lượng thấp, độ méo dạng sin càng lớn khi góc α càng lớn, ví dụ như trên hình 10, [5].

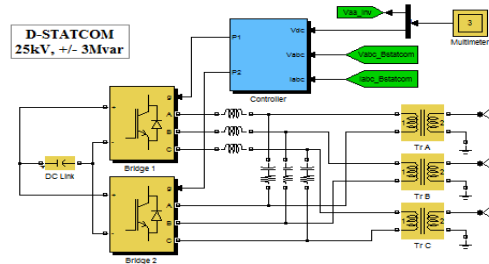


Hình 10. Dòng điện của STATCOM-PWM

Trong những năm gần đây, các STATCOM đã có nhiều tiến bộ về cả cấu trúc mạch lực và hệ điều khiển. Trong bài báo này, ứng dụng STATCOM-PWM có cấu hình cao được mô tả trên hình 11.

Trong đó:

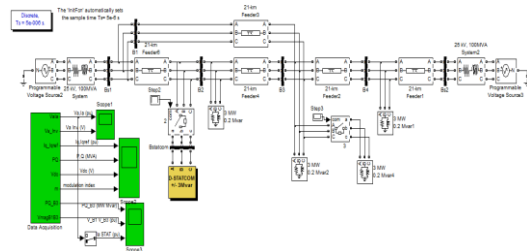
- Các Bridge1 và Bridge2 dùng van TGBT làm việc theo nguyên lý PWM,
- Hệ điều khiển được áp dụng phương pháp điều chế véc tơ không gian SVM, nghịch lưu multi-level, [5],[6],[7],[8].



Hình 11. Cấu trúc sơ đồ khối của STATCOM-PWM
Thiết kế sơ đồ mô phỏng STATCOM-PWM trong lưới điện kín

Mục tiêu đề ra cho STATCOM-PWM:

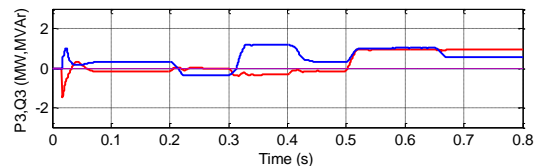
- Bù điện áp nút để điều chỉnh DCS trên đường dây;
 - Ổn định dao động công suất trong trường hợp điện áp bị kích động từ phía nguồn.
- Từ đó, cấu trúc mô phỏng bằng Matlab của lưới điện kín trên hình 2 có STATCOM-PWM được thiết kế như hình 12.



Hình 12. Cấu trúc sơ đồ mô phỏng bằng Matlab lưới điện kín có STATCOM-PWM

Trên hình 12, vị trí kết nối STATCOM-PWM được tính chọn tại nút A. Các mục tiêu của thiết kế đạt được thể hiện qua các kết quả mô phỏng như sau:

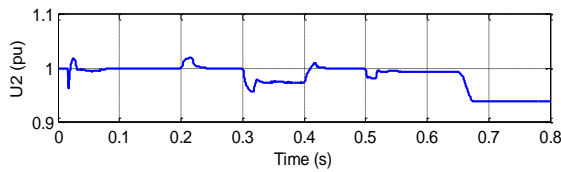
Hình 13: Khi STATCOM chưa hoạt động, ở chế độ đối xứng trong khoảng từ (0-5)s, đường dây L3 hầu như không tải.



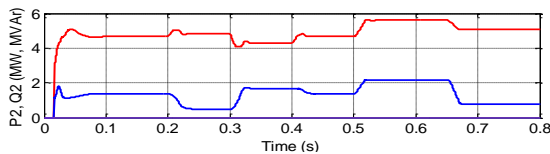
Hình 13. DCS trên L3

Hình 14a: Sau thời điểm 5s, khi phụ tải Sb (hoặc Sc) có biến động (giả thiết đóng tải 5MVA), điện áp tại các nút thay đổi, tương ứng DCS trên các đường dây thay đổi. Khi đó

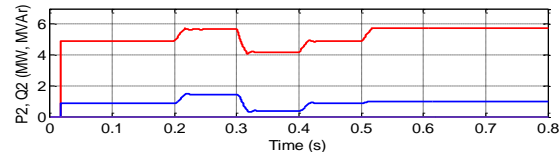
STATCOM sẽ bù công suất phản kháng Q trên đường dây L2 để bù (tăng) áp tại nút A, do đó sẽ tăng thêm khoảng 1,5MW lượng DCS tác dụng P truyền tải trên L3 từ A đến B, công năng thiết kế của đường dây L3 được đưa vào khai thác. Kết quả mô phỏng thấy rõ khi so sánh với hình 14b không có STATCOM. Tuy nhiên, mức bù của STATCOM đã được tính theo giới hạn phát nóng của đường dây L2, đồng thời có kế tới sự phối hợp của L1.



Hình 14a. Điện áp trên L2



Hình 14b. DCS trên L2 khi có STATCOM-PWM



Hình 14c. DCS trên L2 khi không có STATCOM

Mặt khác, STATCOM còn có ý nghĩa ổn định điện áp nút và do đó ổn định DCS khi điện áp bị kích động từ phía nguồn. Giả sử điện áp nguồn N1 thay đổi như bảng 3

Bảng 3. Điện áp nguồn N1 thay đổi

Thời gian (s)	0	0.20	0.30	0.4
Điện áp nguồn N1 (pu)	1.0	1.08	0.92	1.0

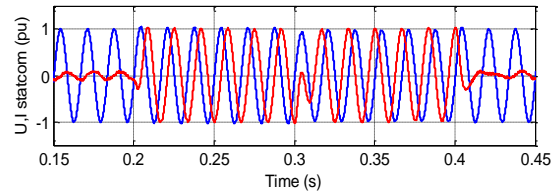
Kết quả mô phỏng thu được chỉ ra trên hình 14a, hình 14b và hình 14c. Số liệu cụ thể đo được trên bảng 4 cho thấy mức dao động điện áp tại điểm A khi không có STATCOM lớn hơn 5 lần so với khi có STATCOM (0,13/0,025), hình 14a. tương ứng so sánh mức dao động DCS trên đường dây L2 là 3 lần (1,57/0,5) hình 14b,c.

Hình 15: Dòng điện bù của STATCOM luôn có dạng sin (không bị méo) kể cả khi đổi chiều dòng bù tại thời điểm 0.3s chuyển từ

dòng điện cảm chậm sau điện áp 90^0 sang dòng điện dung vượt trước điện áp 90^0 .

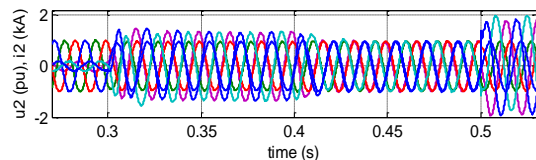
Bảng 4. Mức dao động điện áp và DCS

Đường dây L2	Không có STATCOM	Có STATCOM
Dao động điện áp		
Điện áp max (pu)	1,07	1,00
Điện áp min (pu)	0,94	0,975
Biên độ dao động	0,13	0,025
Dao động DCS		
DCS max (pu)	5,67	4,8
DCS min (pu)	4,20	4,3
Biên độ dao động	1,57	0,5



Hình 15. Dòng điện bù của STATCOM-PWM

Hình 16: Dòng và áp trên L3 thay đổi liên tục nhưng vẫn không méo dạng, đảm tốt tiêu chuẩn chất lượng điện năng trong truyền tải.



Hình 16. Điện áp và dòng điện trên L3

KẾT LUẬN

Nội dung bài báo đã cô đọng khối lượng kiến thức tổng hợp rộng rãi từ nhiều nguồn tài liệu chuyên ngành Hệ thống điện thông qua việc phân tích một số hoạt động cơ bản của một lưới điện kín, những ứng dụng của FACTS. Mô hình nghiên cứu đơn giản nhưng lại đảm bảo tính tổng quát, tính kế thừa và tính phát triển.

Tác giả hy vọng đây là sản phẩm đóng góp thêm cho nguồn tài liệu tham khảo đối với các sinh viên, học viên chuyên ngành hệ thống điện. Qua đây đó cũng có nhiều câu hỏi có thể

được đặt ra, ví dụ: Trong thực tế, nếu những đoạn đường dây cao áp Uđm ≥ 110 kV với chiều dài hàng trăm km ($L_4 \geq 100$ km), khi DCS tác dụng bằng 0 thì điều gì xảy ra? Tính kinh tế - kỹ thuật như thế nào?

Phạm vi bài báo này tác giả mới chỉ đề cập đến một yếu tố ảnh hưởng đến phân bố DCS trong lưới điện kín là điện áp nút. Những yếu tố khác sẽ được đề cập trong bài báo tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Xiao-Ping Zhang, Christian Rehtanz, Bikash Pal. Flexible AC Transmission Systems: Modelling and Control.
2. Narain G. Hingorani, Laszlo Gyugyi. Understanding FACTS_ Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems.

3. Enrique Acha, Claudio R. Fuente-Esquivel, Hugo Ambriz-Pérez, César Angeles-Camacho. FACTS Modelling and Simulation in Power Networks.

4. P.Kundur, Power System Stability and Control.
5. E. Acha, V.G. Agelidis, O. Anaya Lara, T.J.E. Miller. Power Electronic Control in Electrical Systems.

6. Ngoducminh, Letienphong. Application of bidirectional power converters to overcome some disadvantages of SVC substation. Journal of Energy and Power Engineering, USA

7. Giroux P., Sybille G., Power System simulation Laboratory, IREQ Hydro-Quebec.

8. Ph.D. Thesis, M.Sc. Mariusz Malinowski. Sensorless Control Strategies for Three - Phase PWM Rectifiers. Warsaw, Poland - 2001.

SUMMARY

ANALYSE CLOSED GRID AND APPLY FACTS TECHNOLOGY TO CONTROL POWER FLOW

Ngô Đức Minh*

College of Technology - TNU

This paper combines the traditional method to analyse grid and Matlab simulation that present basic operations of power system in a simple model using FACTS technology. Main contents include: Building a typical closed grid model provided from standard diagram of IEEE to serve many different researches; Analysing grid, evaluating factors that affect on power flow in grid, and considering a particular factor being node voltage; Using STATCOM-PWM in FACTS technology to compensate reactive power in grid to adjust node voltage and power flow on the line; Simulating closed grid in Matlab/Simulink having STATCOM-PWM in forming multilevel inverter; Analysing and evaluating received research results and proposing further researches.

Keywords: *Closed grid, DCS, STATCOM-PWM, node voltage, multi-level, FACTS*

Ngày nhận bài: 01/7/2014; Ngày phản biện: 21/7/2014; Ngày duyệt đăng: 25/8/2014

Phản biên khoa học: TS. Nguyễn Đức Tường – Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐHTN

* Tel: 0982 286428