

# TỐI ƯU THAM SỐ ĐIỀU KHIỂN CỦA THIẾT BỊ ĐIỀU CHỈNH DÒNG CÔNG SUẤT HỢP NHẤT (UPFC) CHO LƯỚI ĐIỆN TRUYỀN TẢI

## OPTIMAL CONTROL PARAMETER SETTINGS OF UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER (UPFC) IN TRANSMISSION NETWORKS

Trần Anh Tùng, Nguyễn Nhất Tùng  
Trường Đại học Điện lực

### Tóm tắt:

Sự phát triển không ngừng của phụ tải điện trong giai đoạn hiện nay dẫn đến tình trạng quá tải thường xuyên của các đường dây truyền tải. Vấn đề này ảnh hưởng đến tính ổn định và độ tin cậy vận hành của hệ thống điện.

Một trong các giải pháp để tránh quá tải cho các đường dây là phân bố tối ưu dòng công suất trên lưới điện bằng cách sử dụng thiết bị điều chỉnh dòng công suất hợp nhất UPFC (Unified Power Flow Controller). Trong bài báo này, vấn đề lựa chọn vị trí đặt của thiết bị UPFC được tính toán trên mô hình lưới điện mẫu.

### Từ khóa:

UPFC, phân bố tối ưu công suất, quá tải, hệ thống điện.

### Abstract:

In recent years, the increase in loads has caused overload of several transmission lines. This could affect the stability and reliable operation of the power system. To avoid the overload of transmission lines, optimal power distribution is one of the best solutions, using unified power flow controller (UPFC). In this paper, the allocation of UPFC is calculated on a IEEE - 6 bus system. Optimal operation parameters of the device are also determined at the chosen location.

### Keywords:

UPFC, optimal power distribution, overload, power system.

## 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Sự phát triển nhanh chóng với phân bố

phụ tải xa trung tâm sản xuất điện đã làm cho sự quá tải trên các đường dây truyền tải ngày càng rõ nét. Mặt khác, biện pháp xây dựng lưới điện mới có rất nhiều hạn chế như: chi phí cao, thời gian lâu, vấn đề pháp lý và giải phóng

---

Ngày nhận bài: 02/09/2014; Ngày chấp nhận:  
04/11/2014; Phản biện: PGS.TS Nguyễn  
Văn Liên

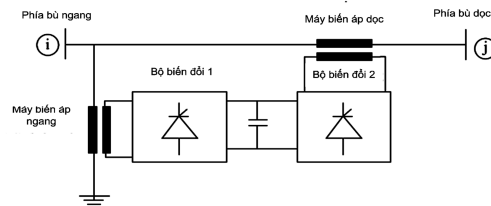
mặt bằng... Trong bối cảnh đó, các thiết bị truyền tải điện xoay chiều linh hoạt FACTS (Flexible Alternating Current Transmission System) được biết đến như giải pháp tối ưu cho phép nâng cao khả năng truyền tải, cải thiện ổn định của hệ thống điện [1, 2]. Trong số các thiết bị FACTS, UPFC là một thiết bị có tính khả thi cao nhất. Thiết bị này có thể cung cấp sự điều khiển đồng thời và độc lập đối với các tham số hệ thống quan trọng như: dòng công suất tác dụng, dòng công suất phản kháng, tổng trở và điện áp [3]. Thiết bị này còn cung cấp các chức năng linh hoạt cho các ứng dụng kết hợp điều khiển góc pha với các chức năng bù dọc và bù ngang. Các chế độ vận hành của UPFC có thể được thay đổi mà không phải tác động đến phần cứng cho phép thích ứng với các sự thay đổi đặc biệt của hệ thống điện. Chính vì vậy, bài toán quá tải của các đường dây có thể được loại trừ bằng cách phân bố tối ưu dòng công suất trên lưới điện thông qua việc sử dụng UPFC [4].

Tuy nhiên, vấn đề lựa chọn điểm đặt của UPFC trên lưới điện cần phải được nghiên cứu để tìm ra vị trí đặt phù hợp nhất thỏa mãn điều kiện tổn thất công suất tác dụng của lưới điện đạt cực tiểu. Bài báo này từ đó đề cập đến việc lựa chọn điểm đặt của thiết bị UPFC và xác định tham số điều khiển tối ưu của thiết bị sao cho đạt tiêu chí tổn thất công suất tác dụng trên lưới cực tiểu.

## 2. CẤU TẠO VÀ MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA UPFC

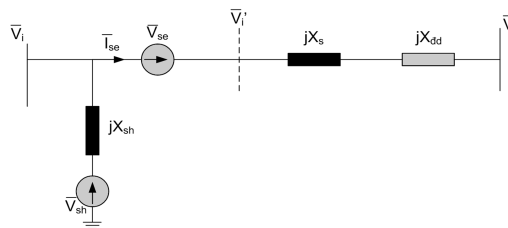
Thiết bị UPFC cấu tạo bao gồm hai

máy biến áp (MBA) và hai bộ biến đổi dạng nghịch lưu áp được kết nối theo kiểu lưng tựa lưng, liên kết với tụ DC dự trữ công suất như minh họa trên hình 1.



Hình 1. Cấu tạo của thiết bị UPFC

Bộ biến đổi 1 (CONV1) được kết nối ngang và bộ biến đổi 2 (CONV2) được kết nối dọc với đường dây. Bộ biến đổi ngang CONV1 được sử dụng chủ yếu để cung cấp công suất tác dụng được yêu cầu từ bộ biến đổi nối tiếp CONV2, thông qua một liên kết DC chung. Bộ CONV1 cũng có thể bơm hoặc tiêu thụ công suất phản kháng khi cần, và từ đó cung cấp một cách độc lập khả năng bù công suất phản kháng cho đường dây. Bộ CONV2 cung cấp chức năng chính của UPFC bằng cách đưa thêm vào một nguồn điện áp nối tiếp với đường dây, với biên độ và góc pha điều chỉnh được, minh họa trên mô hình hai nguồn điện áp của UPFC (hình 2).



Hình 2. Mô hình hai nguồn điện áp của UPFC

Điện kháng  $X_s$  mô tả điện kháng nhìn từ phía MBA dọc và được tính (trong đơn vị tương đối) như sau:

$$X_s = X_k r_{max}^2 \left( \frac{S_B}{S_S} \right) \quad (1)$$

Trong đó,  $X_k$ : điện kháng của máy biến áp dọc,  $r_{max}$ : giá trị cực đại đơn vị của điện áp được bơm thêm vào,  $V_{se}$ ,  $S_B$ : công suất cơ bản của hệ thống,  $S_S$ : công suất định mức của bộ biến đổi nối tiếp CONV2.

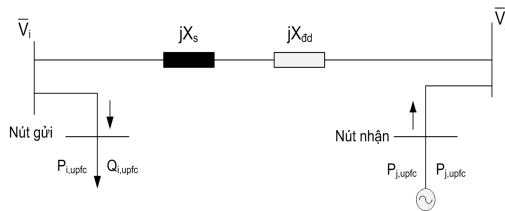
UPFC có thể được mô hình hóa thông qua ba tham số: công suất phản kháng  $Q_{conv1}$  của CONV1, biên độ  $r$  và góc pha  $\gamma$  của nguồn điện áp nối tiếp được bơm thêm vào  $V_{se}$ .

Nguồn điện áp nối tiếp được mô hình hóa bởi nguồn áp nối tiếp lý tưởng  $V_{se}$ , với biên độ và góc pha có thể điều khiển được.

$$\overline{V_{se}} = r \overline{V_i} e^{j\gamma}$$

Với  $0 \leq r \leq r_{max}$ , và  $0 \leq \gamma \leq 2\pi$ .

Mô hình toán học của UPFC được phát triển bởi việc thay thế các nguồn điện áp và các điện kháng bởi các nguồn công suất bơm vào các nút  $i$  và  $j$  như hình 3.



Hình 3. Mô hình toán học của UPFC

Trong đó  $i$  là nút gửi và  $j$  là nút nhận. Các dòng công suất bơm thêm vào các nút  $i$  và  $j$  do sự có mặt của UPFC lần lượt là  $P_{i,upfc}$ ,  $Q_{i,upfc}$ ,  $P_{j,upfc}$ ,  $Q_{j,upfc}$  có biểu thức như sau:

$$P_{i,upfc} = 0.02rb_{se}V_i^2 \sin \gamma - 1.02rb_{se}V_iV_j \sin(\delta_i - \delta_j + \gamma) \quad (2)$$

$$P_{j,upfc} = rb_{se}V_iV_j \sin(\delta_i - \delta_j + \gamma) \quad (3)$$

$$Q_{i,upfc} = -rb_{se}V_i^2 \cos \gamma \quad (4)$$

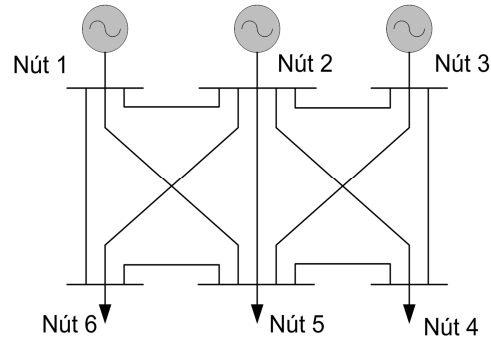
$$Q_{j,upfc} = rb_{se}V_iV_j \cos(\delta_i - \delta_j + \gamma) \quad (5)$$

với  $b_{se} = 1/X_s$

### 3. KẾT QUẢ

#### 3.1. Lựa chọn điểm đặt của UPFC

Bài toán được áp dụng trong một lưới mẫu chuẩn 6 nút của IEEE như hình 4. Các tính toán được thực hiện bằng chương trình viết trên phần mềm Matlab.



Hình 4. Sơ đồ lưới điện IEEE - 6 nút

Thông số các đường dây của lưới điện được giới thiệu trong bảng 1.

**Bảng 1.** Thông số đường dây của lưới điện

Từ nút	Tới nút	R (pu)	X (pu)	B/2 (pu)
1	2	0.1	0.2	0.02
1	5	0.08	0.3	0.03
1	6	0.05	0.2	0.02
2	3	0.05	0.25	0.03
2	4	0.07	0.2	0.025
2	5	0.1	0.3	0.02
2	6	0.05	0.1	0.01
3	4	0.02	0.1	0.01
3	5	0.12	0.26	0.025
4	5	0.1	0.3	0.02
5	6	0.2	0.4	0.04

Thông số các nút của lưới điện được giới thiệu trong bảng 2.

**Bảng 2.** Thông số đường dây của lưới điện

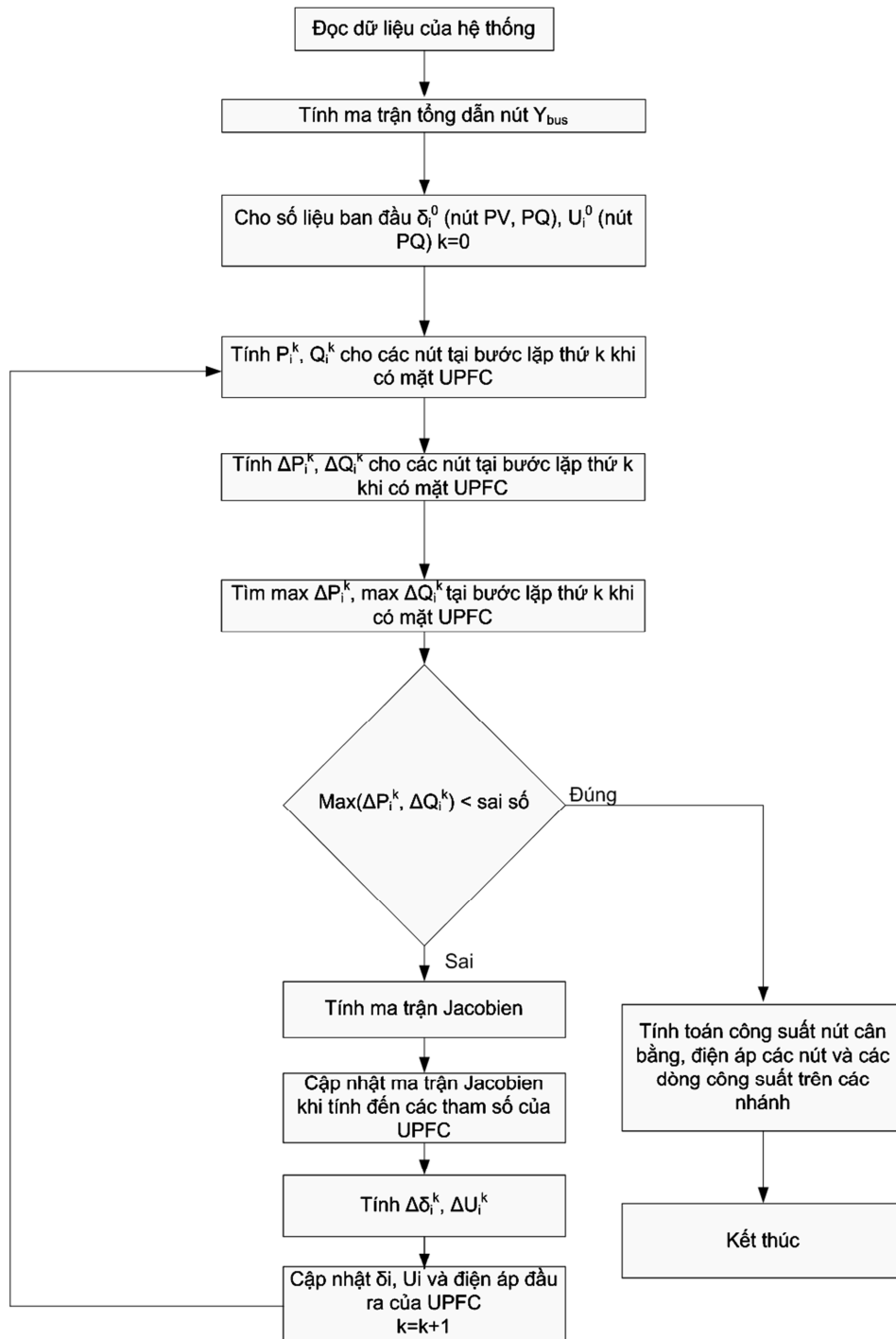
Số nút	Loại nút	Điện áp (pu)	$P_{gen}$ (pu)	$P_{load}$ (pu)	$Q_{load}$ (pu)
1	Nút cân bằng				
2	Nút nguồn PV	1.05	0.5	0	0
3	Nút nguồn PV	1.05	0.6	0	0
4	Nút tải	1.07	0	0.7	0.7
5	Nút tải		0	0.7	0.7
6	Nút tải		0	1.7	1.7

Thiết bị UPFC sẽ được đặt lần lượt tại các nút tải (kết nối với nút tải và nằm trong các nhánh khác nhau). Với mỗi vị trí đặt UPFC, trào lưu công suất được tính toán sử dụng phương pháp Newton-Raphson. Lưu đồ thuật toán giải tích lưới điện khi có mặt UPFC được minh họa trên hình 5.

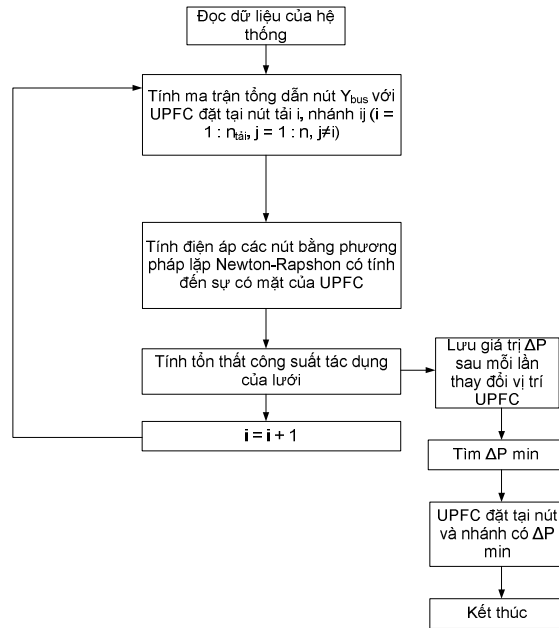
Tổn thất công suất tác dụng của lưới điện được xác định sau khi tính toán trào lưu công suất đối với vị trí đặt UPFC đang xét. Sau đó, quá trình được lặp lại khi UPFC được đặt tại một vị trí mới. Quá trình tính toán kết thúc khi xác định được vị trí đặt UPFC nào cho phép đạt được tổn thất công suất tác dụng của lưới điện cực tiểu. Thuật toán xác định vị trí đặt của UPFC được minh họa trên hình 6.

Trong các tính toán kể trên, các tham số vận hành  $r$  và góc pha  $\gamma$  của nguồn điện áp nối tiếp  $V_{se}$  của UPFC được chọn như sau:  $r = 0.01$  ( $r$  có thể nằm trong khoảng  $0 \leq r \leq 0.05$ ),  $\gamma = 240^\circ$ , điện kháng của CONV2 của UPFC  $X_k = 0.8$ ,  $r_{max} = 0.05$ ,  $S_{conv2} = 50$  MVA.

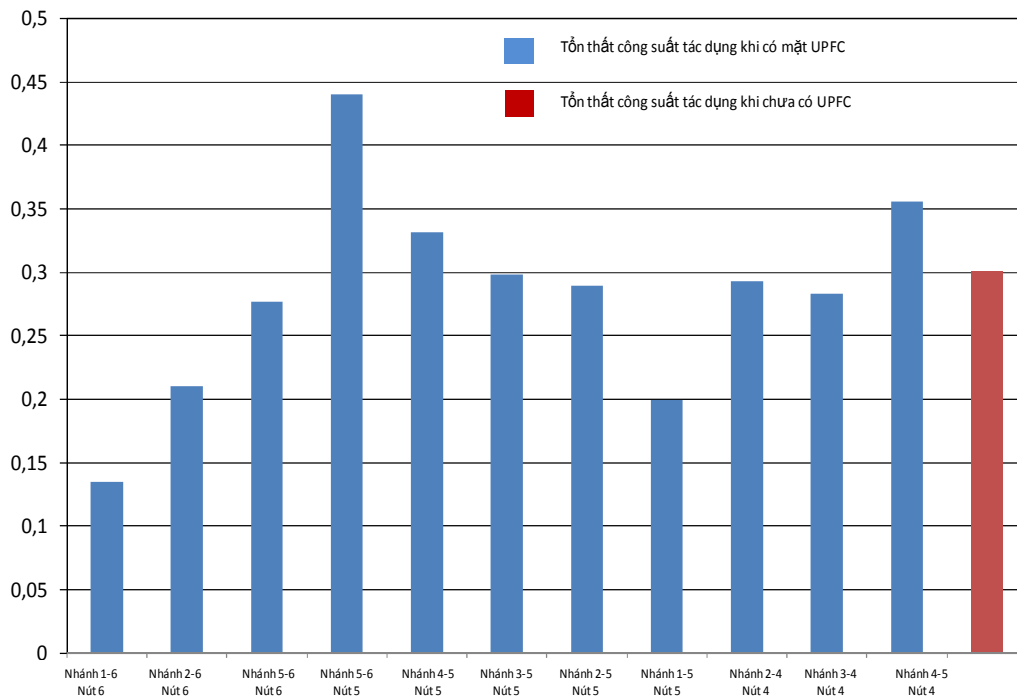
Kết quả tính toán tổn thất công suất tác dụng của lưới điện với các vị trí đặt khác nhau của UPFC được giới thiệu trên hình 7. Từ kết quả này ta thấy, phần lớn các trường hợp tổn thất công suất tác dụng của lưới điện được giảm sút khi có mặt thiết bị UPFC trên lưới. Trong đó, vị trí đặt UPFC tại nút 6 trong nhánh 1-6 cho phép đạt được tổn thất công suất tác dụng của lưới nhỏ nhất (0.1346 pu). Do đó, vị trí này được lựa chọn để đặt UPFC.



**Hình 5.** Lưu đồ thuật toán Newton-Raphson trong giải tích lưới điện khi có mặt thiết bị UPFC trên lưới



Hình 6. Thuật toán tìm điểm đặt của UPFC trên lưới điện

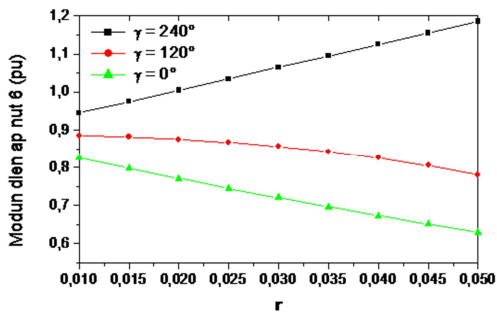


Hình 7. Tổn thất công suất tác dụng của lưới điện khi đặt UPFC ở các vị trí khác nhau

### 3.2. Lựa chọn tham số điều khiển của UPFC

Với vị trí lựa chọn đặt tại nút 6 trong nhánh 1-6, ảnh hưởng của tham số điều khiển của UPFC đến điện áp của nút 6 được nghiên cứu. Kết quả tính toán sự thay đổi của điện áp nút 6 với sự biến thiên tham số điều khiển  $r$  từ 0.01 đến 0.05 tương ứng với 3 trường hợp góc  $\gamma = 0^\circ$ ,  $120^\circ$  và  $240^\circ$  được thể hiện trên hình 8.

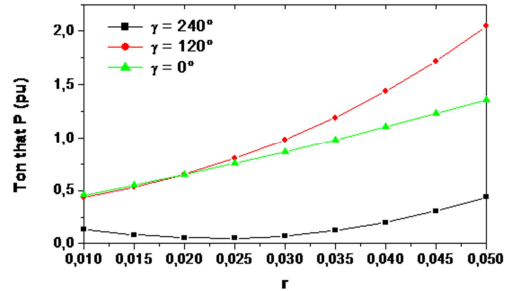
Tổn thất công suất tác dụng của lưới điện khi thay đổi các giá trị của tham số điều khiển  $r$  từ 0.01 đến 0.05 ứng với các góc điều khiển  $\gamma = 0^\circ$ ;  $120^\circ$  và  $240^\circ$  được thể hiện trên hình 9.



Hình 8. Sự thay đổi của mô đun điện áp nút 6 khi thay đổi các tham số điều khiển của UPFC

Các kết quả (hình 8 và hình 9) cho thấy tham số điều khiển  $r$  chọn bằng giá trị 0.025 và  $\gamma = 240^\circ$  cho phép cải thiện

điện áp của nút 6 (bằng 1.04pu) và tổn thất công suất tác dụng của lưới điện là thấp nhất (bằng 0.1pu).



Hình 9. Tổn thất công suất tác dụng của lưới điện khi thay đổi các tham số điều khiển của UPFC

### 4. KẾT LUẬN

Việc nghiên cứu lựa chọn điểm đặt và các tham số điều khiển tối ưu của UPFC cho phép cải thiện điện áp của nút được kết nối và làm giảm tổn thất công suất tác dụng của lưới điện đã được thực hiện trên một mô hình lưới điện chuẩn IEEE.

Tiếp theo, kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của tham số điều khiển tới điện áp của nút được lựa chọn và tổn thất công suất tác dụng của toàn lưới điện được thực hiện. Đây là các kết quả bước đầu hết sức khả quan, cho thấy tính ứng dụng cao nếu được sử dụng trong lưới điện thực tế.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ramirez, J.M., D'avalos, R.J., and Valenzuela Coronado, I.A.: 'FACTS based stabilizers coordination', *Electr. Power Energy Syst.*,02, pp.233–243.

- [2] DGaliana, K. Almeida, M.Toussaint, J.Griffin, D. Atanackovice, "Assessment and Control of the FACTS Devices on Power Performance", System IEEE Trans. Power Systems, vol.11, Nov.96, no.4, pp.1931-1936.
- [3] L. Gyugyi, "A unified power flow control concept for flexible AC transmission systems", IEE Proc., Part-C, Vol.139, No.4, Jul.92, pp.323-331.
- [4] S. N. Singh, I. Erlich, "Locating unified power flow controller for enhancing power system loadability", International Conference on Future Power System, 16 -18, Nov. 2005, pp.1-5.
- [5] C. R. Puerle-Esquivel and E. Acha, "A Newton-type algorithm for the control of power flow in electrical power networks", IEEE Trans. Power System, Vol. 12, no. 4, Nov. 1997, pp. 1474-1480.
- [6] Fang, W.L., and Ngan, H.W.: 'Control setting of unified power flow controllers through a robust load flow calculation', IEE Proc., Gener.Transm.Distrib., 1999, 146, (4), pp. 365-369.

### **Giới thiệu tác giả:**



Tiến sĩ Trần Anh Tùng sinh năm 1984 tại Hà Nội, tốt nghiệp chuyên ngành Hệ thống điện Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội năm 2007, tốt nghiệp Thạc sĩ Kỹ thuật điện tại Học viện Công nghệ Grenoble, Pháp năm 2008, nhận bằng Tiến sĩ Kỹ thuật điện tại Đại học Toulouse III, Pháp năm 2011. Tác giả hiện nay đang công tác tại Khoa Hệ thống điện - Trường Đại học Điện lực. Lĩnh vực quan tâm nghiên cứu bao gồm các thiết bị FACTS, vật liệu cách điện cho cáp điện lực, kỹ thuật điện cao áp.



Tiến sĩ Nguyễn Nhật Tùng sinh năm 1982, tốt nghiệp Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2005, nhận bằng Thạc sĩ năm 2006, Tiến sĩ năm 2009 tại Grenoble-INP - Pháp chuyên ngành Hệ thống điện và thiết bị điện. Tác giả có nhiều năm kinh nghiệm trong việc tính toán các phần tử hạn chế dòng điện ngắn mạch, đặc biệt là phần tử hạn chế dòng điện ngắn mạch có sử dụng tính chất của vật liệu siêu dẫn, đồng thời nghiên cứu phát hiện sự cố trong máy điện và sử dụng điện thông minh, năng lượng mới. Hiện tác giả đang công tác tại Khoa Hệ thống điện - Trường Đại học Điện lực.







