

ỨNG DỤNG LOGIC MỜ TÌM VỊ TRÍ ĐẶT TỤ BÙ TỐI ƯU TRONG LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI TRUNG ÁP

OPTIMAL PLACEMENT OF CAPACITOR BANKS IN POWER DISTRIBUTION NETWORKS USING FUZZY LOGIC

Đặng Việt Hùng, Nguyễn Phúc Huy

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 25/1/2018, Ngày chấp nhận đăng: 26/2/2018, Phản biện: TS. Nguyễn Văn Tiềm

Tóm tắt:

Hiện nay, có nhiều nghiên cứu và phương pháp khác nhau được phát triển nhằm tìm vị trí và dung lượng tụ bù tối ưu trên lưới điện phân phối. Bài báo tập trung trình bày ứng dụng của logic mờ trong bài toán tìm vị trí đặt tụ bù tối ưu nhằm thỏa mãn điều kiện hàm tiết kiệm là lớn nhất, đồng thời kiểm tra điều kiện điện áp nằm trong giới hạn cho phép. Bài toán sử dụng 02 biến vào là chỉ số tổn thất công suất tác dụng (PLI), điện áp nút của lưới trong hệ đơn vị tương đối (V_i^*) và 01 biến ra là chỉ số thích hợp để đặt tụ bù tại nút i ($CSI_{(i)}$) cho logic mờ, kiểm tra tính toán cho 01 xuất tuyến đường dây trung áp cho thấy lý thuyết logic mờ có thể giúp tìm vị trí đặt tụ bù tối ưu trên lưới điện phân phối.

Từ khóa:

Tụ điện, công suất phản kháng, bù tối ưu, logic mờ, lưới điện phân phối.

Abstract:

At present, various researches and with different methods have been developed to find the optimal placement and sizing of fixed capacitor banks in power distribution networks. This paper aims to apply fuzzy logic theory to allocate the capacitor banks to satisfy the objective maximum savings, and at the same time checking node voltages within the allowed limits. The problem uses Power Loss Index (PLI) and node voltage in per unit (V_i^*) as two input variables to give one output variable, Capacitor Suitability Index ($CSI_{(i)}$), through a fuzzy logic controller, a case study of a medium voltage distribution line is simulated. The results show that the fuzzy logic theory is satisfactory to find the optimal location of compensation capacitor banks on power distribution grids.

Keywords:

Capacitor, reactive power, optimal compensation, fuzzy logic, power distribution grid.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bài toán bù tối ưu công suất phản kháng lưới điện phân phối (LPP) là bài toán xác định vị trí và dung lượng cần thiết của các tụ điện bù được lắp vào lưới điện sao cho

chi phí hàng năm của lưới điện đó là nhỏ nhất [1-2] hoặc lượng tiền tiết kiệm được hàng năm do lắp đặt tụ điện bù là lớn nhất [3-5]. Đây là bài toán tối ưu và có thể được chia thành hai bài toán nhỏ như sau:

- Xác định vị trí tối ưu đặt tụ điện bù.
- Xác định dung lượng tối ưu của các tụ điện bù.

Đối với LPP, có những quy định đã được đặt ra cho việc đảm bảo giá trị $\cos \phi \geq 0,9$ [6,7], tức công suất phản kháng yêu cầu tại một nút nào đó không được quá lớn; và do vậy luôn tồn tại một vài nút thích hợp cho việc lắp đặt tụ điện bù. Tuy nhiên rất khó khăn để xác định lắp tụ điện bù vào nút nào là thích hợp nhất hoặc lắp tụ điện bù ở nút này sẽ thích hợp hơn ở nút kia. Nếu số nút của lưới lớn, bài toán sẽ trở nên cồng kềnh, phức tạp. Trong trường hợp tổng quát, các nút thích hợp để lắp đặt tụ điện bù được xác định là các nút thuộc các nhánh có tổn thất công suất tác dụng theo thành phần tác dụng của dòng điện hoặc theo thành phần phản kháng của dòng điện là lớn nhất. Theo các phương pháp này mỗi lần một nút thích hợp được lựa chọn, phải tiến hành lắp đặt tụ điện bù vào nút đó và tính toán lại chế độ xác lập của lưới, đồng thời kiểm tra để đảm bảo rằng điều kiện điện áp các nút của lưới được thỏa mãn.

2. BÀI TOÁN BÙ TỐI ƯU CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

2.1. Nội dung bài toán

Bài toán bù tối ưu nhằm mục đích xác định vị trí và công suất bù hợp lý nhất, đảm bảo hiệu quả giữa chi phí đầu tư và lợi ích mang lại do việc giảm tổn thất điện năng.

Với một lượng giới hạn về công suất bù, các mức dung lượng tụ điện chuẩn là bội số của dung lượng tụ nhỏ nhất Q_0^C , và do

vậy mức dung lượng lớn nhất cho phép của bộ tụ điện bị giới hạn bởi:

$$Q_{\max}^C = L.Q_0^C \quad (1)$$

trong đó, L là một số nguyên. Khi đó, tại mỗi nút bù thích hợp được lựa chọn sẽ tồn tại L mức dung lượng $\{Q_0^C, 2.Q_0^C, \dots, L.Q_0^C\}$ để lựa chọn.

Chi phí cho 1 kVAR thường không đồng nhất cho các mức dung lượng khác nhau, mức dung lượng lớn thường rẻ hơn mức dung lượng nhỏ khi xét đến chi phí đầu tư cho 1 kVAR. Có thể chọn $\{K_1^C, K_2^C, \dots, K_L^C\}$ là vốn đầu tư cho 1 kVAR tương ứng với L mức dung lượng tụ trên.

Theo phương pháp của Hong-Chan Chin và Whei-Min Lin [1] thì hàm chi phí hàng năm được xác định:

$$COST = K^{AP} . \Delta P_{\Sigma} + \sum_{j=1}^k K_j^C . Q_j^C \quad (2)$$

Với:

K^{AP} là giá tổn thất công suất (\$/kW/năm);

ΔP_{Σ} là tổng tổn thất công suất trong một năm (kW);

$j = 1, 2, \dots, k$ các nút bù thích hợp đã được lựa chọn.

Theo phương pháp của H. N. Ng và cộng sự [2] thì hàm tiết kiệm hàng năm được xác định:

$$SAVING = K^{AE} . \Delta E + K^P . \Delta P - \sum_{j=1}^k K_j^C . Q_j^C \quad (3)$$

Với:

$\Delta E = \Delta E_{\Sigma,0} - \Delta E_{\Sigma,1}$, là lượng giảm tổn thất điện năng (kWh);

$\Delta P = \Delta P_{\Sigma,0} - \Delta P_{\Sigma,1}$, là lượng giảm tổn thất công suất (kW);

$K^{\Delta E}$ là giá của 1 kWh tổn thất điện năng trong một năm (\$/kWh);

K^P là giá của 1 kW công suất đỉnh giảm được (\$/kW);

$\Delta E_{\Sigma,0}, \Delta E_{\Sigma,1}$ tương ứng là tổn thất điện năng trên lưới khi không có thiết bị bù và có thiết bị bù.

$\Delta P_{\Sigma,0}, \Delta P_{\Sigma,1}$ tương ứng là tổn thất công suất trên lưới khi không có thiết bị bù và có thiết bị bù.

Mô hình bài toán sẽ là tối thiểu hóa chi phí hoặc tối đa hóa tiền tiết kiệm, thỏa mãn các ràng buộc kỹ thuật về điện áp nút:

$$\begin{cases} COST \rightarrow \min \\ SAVING \rightarrow \max \end{cases} \quad (4)$$

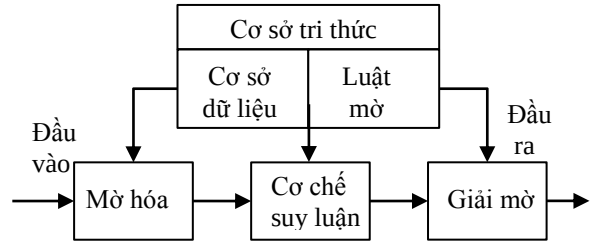
$$V_{\min} \leq |V_i| \leq V_{\max} \quad (5)$$

Trong đó: V_i là điện áp nút thứ i ; $V_{\min}, V_{\max}$ tương ứng là các giới hạn dưới và giới hạn trên cho phép của điện áp nút.

2.2. Ứng dụng logic mờ bù tối ưu

Logic mờ bao gồm 4 khâu chính: mờ hóa, cơ sở tri thức, cơ chế suy luận và giải mờ (hình 1). Trong đó, cơ sở tri thức bao gồm các cơ sở dữ liệu và luật mờ, cơ sở dữ liệu cung cấp các thông tin cần thiết cho quá trình mờ hóa, cơ chế suy luận và giải mờ. Luật mờ bao gồm các quy tắc ngôn ngữ

nhằm tạo ra các biến đầu ra mong muốn.



Hình 1. Sơ đồ khối chức năng logic mờ

Trong bài toán bù tối ưu công suất phản kháng, lý thuyết logic mờ được ứng dụng tìm vị trí thích hợp lắp đặt tụ bù nhằm đảm bảo hai tiêu chí: giảm tới mức tối thiểu tổn thất công suất tác dụng trên lưới và giữ điện áp các nút nằm trong giới hạn cho phép. Bài toán sử dụng 02 biến vào và 01 biến ra.

Biến vào 1: Chỉ số tổn thất công suất tác dụng PLI để đặc trưng cho tổn thất công suất tác dụng. PLI được xác định như sau:

$$PLI_{(i)} = \frac{\Delta P_{(i)} - \Delta P_{(\min)}}{\Delta P_{(\max)} - \Delta P_{(\min)}} \quad (6)$$

Trong đó:

$\Delta P_{(i)} = \Delta P_{\Sigma,0} - \Delta P_{\Sigma(i)}$: Độ giảm tổn thất công suất tác dụng trong lưới;

$\Delta P_{\Sigma,0}$: Tổng tổn thất công suất tác dụng trong lưới khi không bù;

$\Delta P_{\Sigma(i)}$: Tổng tổn thất công suất tác dụng trong lưới khi bù hết phụ tải phản kháng tại nút i ;

$\Delta P_{(\max)} = \max\{\Delta P_{(i)}\}$ giá trị lớn nhất của lượng giảm tổn thất công suất tác dụng trong lưới khi không bù và khi bù hết phụ tải phản kháng tại nút thứ i .

$\Delta P_{(min)} = \min\{\Delta P_{(i)}\}$ giá trị nhỏ nhất của lượng giảm tổn thất công suất tác dụng trong lưới khi không bù và khi bù hết phụ tải phản kháng tại nút thứ i .

Lượng giảm tổn thất công suất tác dụng trong lưới được tiêu chuẩn hóa một cách tuyến tính bằng các chỉ số PLI , nhận giá trị trong khoảng $[0, 1]$, với lượng giảm tổn thất công suất tác dụng lớn nhất nhận giá trị 1 và lượng giảm tổn thất công suất tác dụng nhỏ nhất nhận giá trị 0.

Biến vào 2: Điện áp nút của lưới trong hệ đơn vị tương đối (p.u) V_i :

$$V_i^* = \frac{V_i}{V_n} \quad (7)$$

$$0,9 \leq V_i^* \leq 1,1 \quad (8)$$

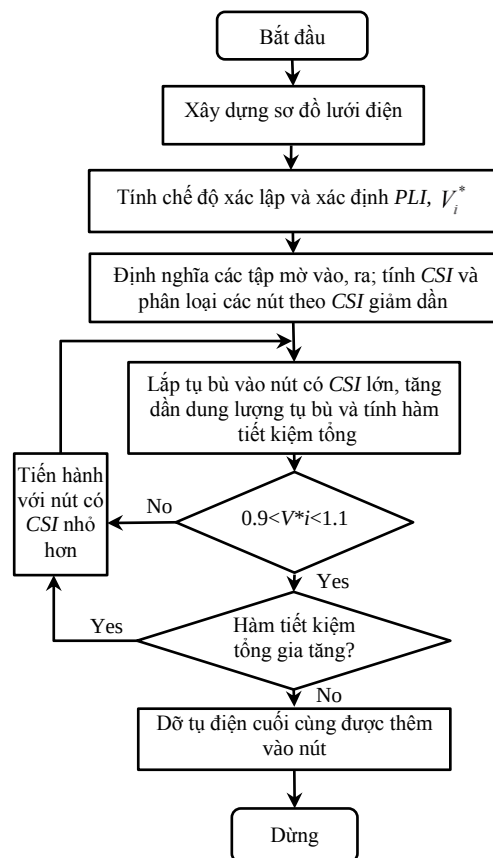
Trong đó: V_i là điện áp nút i ; V_n là điện áp định mức của lưới.

Biến ra: Chỉ số thích hợp để đặt tụ bù tại nút i là $CSI_{(i)}$ nhận giá trị trong khoảng $[0, 1]$. CSI của nút nào càng lớn thì nút đó càng thích hợp để lắp đặt tụ bù.

Để xác định dung lượng bù cho từng nút, ta sử dụng thuật toán tìm kiếm thực nghiệm. Bù cho từng nút theo thứ tự CSI giảm dần với dung lượng bù tăng dần theo từng bước nguyên Q_0^C . Với mỗi giá trị của Q_0^C , tiến hành tính chế độ xác lập để xác định dòng điện, tổn thất công suất tác dụng, hàm tiết kiệm và điện áp tại các nút.

Sau mỗi lần tăng dung lượng bù theo bước Q_0^C , phải kiểm tra ràng buộc điện áp nút theo điều kiện (8) và sự gia tăng của hàm tiết kiệm (3). Dung lượng bù tối

ưu tại nút là dung lượng bù làm cho hàm tiết kiệm đạt giá trị cực đại. Khi không có sự gia tăng của hàm tiết kiệm, dung lượng bù tại nút đã đạt giá trị tối ưu, tiếp tục chuyển sang tính toán cho các nút thích hợp tiếp theo. Nếu hàm tiết kiệm khi tính toán ở nút sau mà không có sự gia tăng so với nút trước và ràng buộc điện áp thoả mãn thì bài toán đã có lời giải tối ưu (hình 2).



Hình 2. Lưu đồ thuật toán

3. BÀI TOÁN ÁP DỤNG

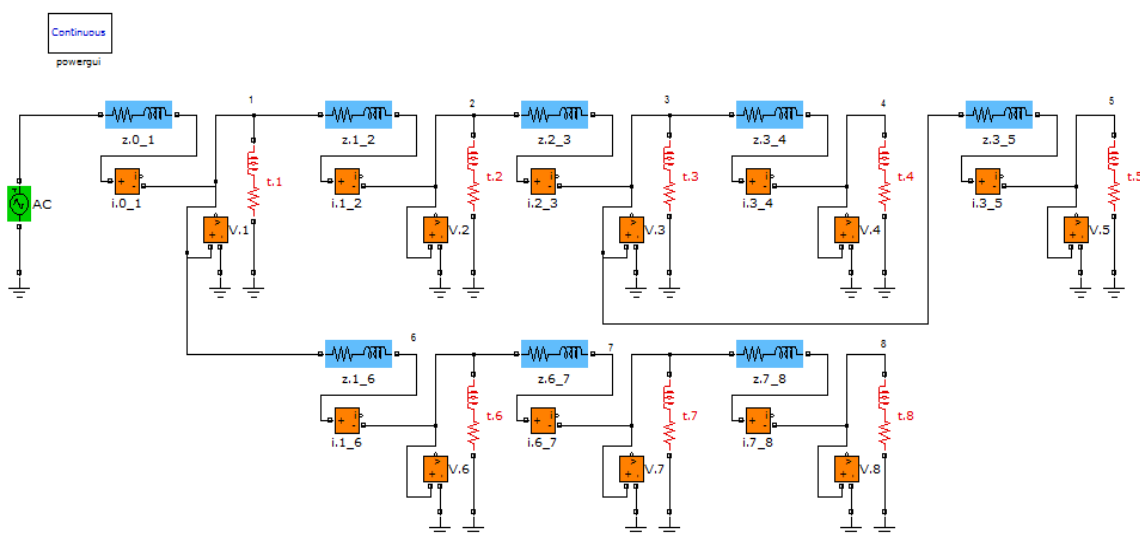
Để xác định vị trí đặt tụ bù tối ưu công suất phản kháng bằng logic mờ, một phần lưới điện trung áp xuất tuyến 22kV lộ E973 điện lực Đan Phượng sẽ được xem xét, tính toán [8].

Sơ đồ lưới điện được xây dựng trên phần mềm Matlab/Simulink (hình 3) nhằm thuận lợi khi áp dụng công cụ FIS (*Fuzzy Inference System*) tính toán bài toán logic mờ trong Matlab.

Bảng 1. Kết quả tính toán PLI và V_i^*

Nút	PLI	V_i^*	CSI
0		1	
1	0,01913369	0,99530142	0,117

Nút	PLI	V_i^*	CSI
2	0,204954	0,99453538	0,245
3	0,12354464	0,99445035	0,217
4	0,24880184	0,99430549	0,25
5	0	0,99444484	0,08
6	0,25135536	0,99130275	0,25
7	1	0,99001237	0,5
8	0,82485962	0,98983208	0,5



Hình 3. Sơ đồ lưới điện

Sau khi xây dựng sơ đồ lưới điện và tính toán chế độ xác lập, ta xác định được các biến đầu vào PLI và V_i^* (bảng 1). Chọn 5 hàm thuộc cho các biến vào là chỉ số tổn thất công suất tác dụng PLI , điện áp tương đối của nút V_i^* và chỉ số thích hợp đặt tụ bù CSI gồm T (thấp), TBT (trung bình thấp), TB (trung bình), TBC (trung bình cao) và C (cao). Miền giá trị biến đầu vào 1 là $PLI = \{0 \div 1\}$, miền giá trị của biến đầu vào 2 là $V_i^* = \{0.9 \div 1.1\}$, miền giá trị của biến đầu ra là $CSI = \{0 \div 1\}$. Luật hợp thành mờ mô tả mối quan hệ giữa các

biến vào - ra được thể hiện trong bảng 2 và hình 4.

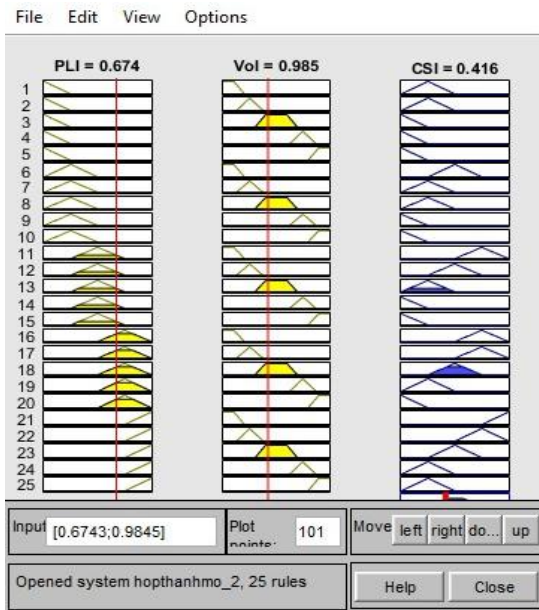
Để xác định các biến đầu ra CSI theo các biến đầu vào PLI và V_i^* , ta tiến hành xây dựng mối quan hệ các biến bằng ứng dụng FIS trong Matlab trong đó sử dụng các hàm thuộc có dạng hình tam giác và hình thang chuẩn kiểu Mamdani.

Từ kết quả tính toán CSI (bảng 1), ta sắp xếp các nút theo thứ tự giảm dần của CSI đó là: 7, 8, 6, 4, 2, 3, 1, 5. Tiến hành bù lần lượt theo thứ tự từng nút, trong đó sắp xếp với dung lượng bù tăng dần theo từng

bước số nguyên $Q^c_0 = 150$ kVAr. Sau mỗi lần tăng dung lượng bù phải kiểm tra các điện áp nút có nằm trong giới hạn cho phép hay không đồng thời kiểm tra sự gia tăng của hàm tiết kiệm hàng năm theo (3), trong đó chọn $K_e = 0.1$ \$/kWh, $K_p = 120$ \$/kW, $K_c = 5$ \$/kVAr.

Bảng 2. Luật hợp thành mờ

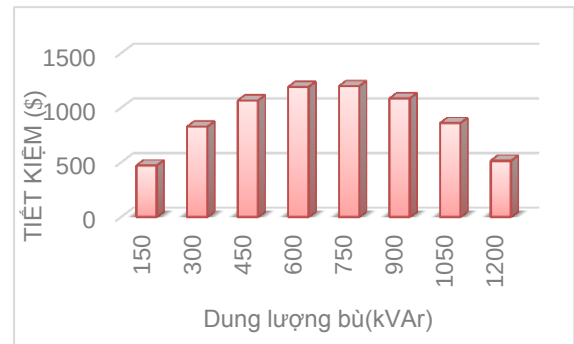
VÀ		V^*_i				
		T	TBT	TB	TBL	L
PLI	T	TBT	TBT	T	T	T
	TBT	TB	TBT	TBT	T	T
	TB	TBC	TB	TBT	T	T
	TBC	TBC	TBC	TB	TBT	T
	C	C	TBC	TB	TBT	TBT



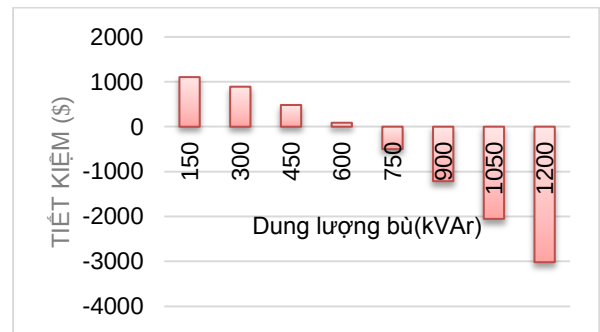
Hình 4. Mô tả quan hệ giữa các biến vào - ra trong FIS

Kết quả tính toán bù tại nút 7 cho thấy khi bù với dung lượng 750 kVAr thì hàm tiết kiệm tăng cực đại và khi tăng thêm dung lượng bù thì hàm tiết kiệm giảm (hình 5).

Đồng thời kiểm tra điều kiện điện áp các nút đều nằm trong giới hạn cho phép. Do vậy dung lượng bù 750 kVAr là tối ưu cho nút 7. Tiến hành bù cho nút tiếp theo là nút 8, từ kết quả tính toán (hình 6) ta thấy rằng hàm tiếp kiệm hàng năm không tăng mà giảm dần khi tăng dung lượng bù nên dừng bài toán.



Hình 5. Tính toán bù cho nút 7



Hình 6. Tính toán bù cho nút 8

5. KẾT LUẬN

Bài toán bù công suất phản kháng là bài toán kinh tế với việc tìm vị trí và dung lượng tụ bù thích hợp, sao cho chi phí là nhỏ nhất hoặc tiết kiệm hàng năm là lớn nhất, có nhiều phương pháp khác nhau giải bài toán trên, trong đó ứng dụng lý thuyết logic mờ có thể giúp tìm vị trí lắp đặt tối ưu tụ bù trên lưới.

Bài báo ứng dụng lý thuyết logic mờ cho bài toán xác định vị trí bù tối ưu công suất

phản kháng cho 01 xuất tuyến đường dây trung áp với hai biến vào (PLI và V_i^*) và một biến ra (CSI), kết quả cho thấy ứng dụng lý thuyết logic mờ giúp tìm vị trí đặt

tối ưu tụ bù tại nút 7 với dung lượng bù 750kVAr, đồng thời đảm bảo điều kiện điện áp các nút nằm trong giới hạn cho phép.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] H. Chin, W. Lin, Capacitor placement for distribution systems with fuzzy algorithm, in Proceeding of 1994 IEEE Region 10's Ninth Annual International Conference, vol. 2, pp. 1025-1029.
- [2] H.N. Ng, and others, Classification of capacitor allocation techniques, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 15, pp. 387-392, 2000.
- [3] S.F. Mekhamer and others, Application of Fuzzy Logic for Reactive-Power Compensation of Radial Distribution Feeders, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.18, No.1, pp.206-213, 2003.
- [4] Benemar Alencar de Souza, and others, Microgenetic Algorithms and Fuzzy Logic Applied to the Optimal Placement of Capacitor Banks in Distribution Networks, IEEE transaction on power system, Vol.19, No.2, pp. 942-947, 2004.
- [5] Marjan Ladjavardi, and others, Genetically Optimized Fuzzy Placement and Sizing of Capacitor Banks in Distorted Distribution Networks, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 23, No.1, pp. 449-456, 2008.
- [6] Nghị định 137/2013/NĐ-CP ngày 21/10/2013 của Thủ tướng Chính phủ, Quy định chi tiết thi hành một số điều của Luật Điện lực và Luật sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Điện lực.
- [7] Thông tư số 15/2014/TT-BCT ngày 28/5/2014 của Bộ công thương, Quy định về mua bán công suất phản kháng.
- [8] Bùi Mạnh Hương, Sử dụng logic mờ tính toán bù tối ưu công suất phản kháng trong lưới điện phân phối - Áp dụng cho xuất tuyến trong lưới điện phân phối Hà Nội, Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Điện lực, 2015.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Đặng Việt Hùng tốt nghiệp đại học và nhận bằng Thạc sĩ ngành hệ thống điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội vào các năm 2002 và 2004; nhận bằng Tiến sĩ ngành kỹ thuật điện năm 2010 tại Trường École Centrale de Lyon (Cộng hòa Pháp); tham gia nghiên cứu sau tiến sĩ (postdoctorat) tại Lab. Ampère (Lyon, Cộng hòa Pháp) từ 2011 đến 2012.

Lĩnh vực nghiên cứu: chất lượng điện năng, vật liệu điện, ứng dụng điện tử công suất.



Tác giả Nguyễn Phúc Huy tốt nghiệp đại học và nhận bằng Thạc sĩ ngành hệ thống điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội vào các năm 2003 và 2010; năm 2015 nhận bằng Tiến sĩ hệ thống điện và tự động hóa tại Trường Đại học Điện lực Hoa Bắc, Bắc Kinh, Trung Quốc.

Lĩnh vực nghiên cứu: chất lượng điện năng, ứng dụng điện tử công suất, độ tin cậy của hệ thống điện.