

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA NGUỒN ĐIỆN PHÂN TÁN ĐẾN GIÁ ĐIỆN TẠI NÚT TRONG LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI

A RESEARCH ON IMPACTS OF DISTRIBUTED GENERATION
TO THE TARIFFS IN DISTRIBUTION NETWORKS

Phạm Ngọc Hùng
Trường Đại học Điện lực

Tóm tắt:

Bài báo tập trung nghiên cứu mô phỏng bài toán tính giá điện tại nút trong trường hợp có nguồn điện phân tán (DG) và không có DG để xét ảnh hưởng của DG đối với giá nút. Kết quả mô phỏng cho thấy: khi đưa DG vào mạng phân phối thì cho kết quả giá thành hiệu quả hơn và đồng thời tổn thất trong mạng điện giảm. Giá điện trong thị trường điện cạnh tranh không chỉ phụ thuộc vào không gian mà còn phụ thuộc theo thời gian; và giá điện có khả năng điều tiết phụ tải, điều chỉnh hành vi của các bên tham gia thị trường nhằm đảm bảo an ninh hệ thống. Kết quả mô phỏng giúp các nguồn phát DG có thêm thông tin thị trường để đưa ra chiến lược chào giá thành công.

Từ khóa:

Nguồn điện phân tán, giá điện, nút, điểm lagrang.

Abstract:

The article focuses on a simulation study in tariff calculation with or without distributed generation (DG) to consider the impacts of DG on tariffs. The simulation results show that with DG in the distribution networks, tariffs are more efficient and simultaneously power losses are reduced in the network. Tariffs in a competitive electricity market depend not only on space but also on time; and likely to regulate loads and adjust the behavior of market participants in order to ensure system security. The simulation results help DG sources provide further information to offer a successful bidding strategy.

Keywords:

Distributed generation, tariffs, node, Lagrangian point.

1. GIỚI THIỆU

Trong thực tế vận hành, các nguồn điện phân tán (Distributed generation - DG)

không những mang lại một số lợi ích kinh tế, mà còn mang lại một số lợi ích về mặt kỹ thuật, chẳng hạn có thể làm giảm tổn thất công suất, tăng độ tin cậy, tăng công suất dự phòng cho hệ thống... Thêm vào đó, với một số máy phát DG có thể tự điều chỉnh, nó có thể

Ngày nhận bài: 7/9/14; Ngày chấp nhận:
04/11/14; Phản biện: PGS.TS Phạm Văn Hòa

đưa ra chi phí thấp hơn vào hệ thống bởi không cần phải xây dựng công suất dự phòng cho nhiều năm, có khả năng nâng cao chất lượng điện năng đến khách hàng bằng cách giảm thiểu thời gian ngừng cung cấp điện đến khách hàng do sự cố về điện cũng như tăng khả năng đáp ứng công suất cho hệ thống do thiếu điện. Do đó, với những mạng điện có lắp đặt DG thì việc xây dựng cơ chế giá tại các nút sẽ mang lại một hiệu quả kinh tế. Việc nghiên cứu về DG và ảnh hưởng của DG đối với giá điện nút có ý nghĩa thực tiễn cao. Bài báo tập trung nghiên cứu mô phỏng cho bài toán tính giá nút trong trường hợp có DG và không có DG để xét ảnh hưởng của DG đối với giá nút. Kết quả mô phỏng cho thấy: khi đưa DG vào mạng phân phối thì cho tín hiệu giá hiệu quả hơn và đồng thời tổn thất trong mạng điện giảm. Giá điện trong thị trường điện cạnh tranh không chỉ phụ thuộc vào không gian mà còn phụ thuộc theo thời gian; và giá điện có khả năng điều tiết phụ tải, điều chỉnh hành vi của các bên tham gia thị trường nhằm đảm bảo an ninh hệ thống. Kết quả mô phỏng giúp các nguồn phát DG có thêm thông tin thị trường để đưa ra chiến lược chào giá thành công.

2. PHƯƠNG PHÁP LUẬN

2.1. Giá điện nút [1]

Theo ý nghĩa thị trường, giá thành sản xuất điện là toàn bộ chi phí bằng tiền của nhà máy điện bỏ ra trong quá trình sản xuất và tiêu thụ sản phẩm điện. Thông thường giá thành được tính theo yếu tố chi phí sản xuất hoặc tính theo khoản mục chi phí. Mỗi nhà máy điện

có chi phí sản xuất điện gồm chi phí cố định và chi phí biến đổi khác nhau. Dựa trên chi phí sản xuất điện của từng nhà máy, người ta xây dựng kế hoạch huy động phát của các nhà máy điện trong hệ thống.

Giá nút được phân tích theo sự thay đổi của những thành phần phù hợp với những nhân tố liên quan, như sự phát điện, khả năng truyền tải, giới hạn điện áp và những ràng buộc khác. Thông tin đầy đủ cho giá nút không những cải tiến hiệu quả sử dụng lưới điện, khả năng phân bố công suất mà còn để thiết kế cấu trúc giá hợp lý trong hệ thống điện, hay để đưa ra những tín hiệu kinh tế cho việc đầu tư phát triển nguồn và lưới điện [2].

Giá nút là phương pháp xác định giá cung cấp cho thị trường, tính toán cho từng vị trí trên lưới truyền tải. Mỗi nút tương ứng với vị trí vật lý trên hệ thống truyền tải ở đó công suất được đưa vào bởi máy phát và lấy ra bởi tải. Giá tại mỗi nút tương ứng với giá điện theo vị trí, bao gồm chi phí sản xuất điện, chi phí phân phối và các ràng buộc [3].

Với một lưới điện phân phối có n nút, đặc trưng cho nút là công suất tác dụng P và công suất phản kháng Q .

$$P = (p_1 \dots p_n) \text{ và } Q = (q_1 \dots q_n)$$

ở đây p_k , q_k tương ứng là công suất tác dụng và công suất phản kháng yêu cầu của nút thứ k .

Nếu gọi các biến trong vận hành hệ thống điện là $X = (X_1 \dots X_n)$, là phần thực và phần ảo của điện áp mỗi nút (độ lớn điện áp và góc pha của nó) thì bài toán vận hành hệ thống điện với tải cho trước (P , Q) có thể xem như là bài

toán tối ưu dòng công suất OPF (Optimal Power Flow) [4].

$$\text{Min } f(X, P, Q) \text{ for } X \quad (1)$$

$$G(X, P, Q) = 0 \quad (2)$$

$$H(X, P, Q) \leq 0 \quad (3)$$

Trong đó: $G(X) = (g_1(X, P, Q), \dots, g_{n_1}(X, P, Q))^T$

Và $H(x) = (h_1(X, P, Q), \dots, h_{n_2}(X, P, Q))^T$ có n_1 và n_2 phương trình tương ứng.

$f(X, P, Q)$: hàm mục tiêu được diễn tả như là chi phí vận hành ngắn hạn;

$G(X, P, Q)$: đại lượng vector, những ràng buộc cân bằng (cân bằng công suất nút);

$H(X, P, Q)$: đại lượng vector, những ràng buộc không cân bằng;

X : vector giá trị điều khiển và các giá trị ổn định (điện áp nút và góc pha ở các nút tải).

2.2. Hàm mục tiêu

Mục tiêu chính để giải quyết bài toán phân bố tối ưu công suất là xác định các biến điều khiển và các biến trạng thái hệ thống mà tối ưu giá trị hàm mục tiêu. Lựa chọn hàm mục tiêu hàm mục tiêu sẽ dựa trên các phân tích thận trọng của các yếu tố về an toàn vận hành và kinh tế của hệ thống.

Hàm mục tiêu trong phân bố công suất tối ưu phản ánh các chi phí được liên kết với công suất phát trong hệ thống. Mô hình bình phương chi phí được dùng cho hàm mục tiêu. Hàm mục tiêu cho toàn hệ thống có thể được viết như là tổng cộng các mô hình bình phương chi phí của mỗi máy phát [5].

f : hàm chi phí nhiên liệu của hệ thống, biến thiên theo hàm số.

$$f(X, P, Q) = \sum f_i(X, P, Q) \\ = \sum (a_i + b_i p_{gi} + c_i p_{gi}^2); \$/h \quad (4)$$

f_i : chi phí nhiên liệu của máy phát thứ i ; với:

n : số tổ máy phát;

$i = 1, 2, 3 \dots n$

p_{gi} : công suất tác dụng của máy phát thứ i ;

a_i, b_i, c_i : hệ số chi phí của máy phát thứ i .

2.3. Các ràng buộc cân bằng

Các ràng buộc cân bằng $g(x)$ trong phân bố công suất tối ưu được đưa ra cho các ràng buộc cân bằng công suất, mà tổng công suất của các máy phát phải đáp ứng toàn bộ tổng công suất nút tải và tổn thất công suất:

$$P_i = P_{gi} - P_{di} \\ = \sum_{j=1}^n U_i U_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (5)$$

$$Q_i = Q_{gi} - Q_{di} \\ = \sum_{j=1}^n U_i U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (6)$$

Trong đó:

$i = 1, 2, 3 \dots n$;

$\theta_{ij} = \theta_i - \theta_j$: góc lệch pha điện áp các nút

P_{gi}, Q_{gi} : công suất tác dụng và công suất phản kháng được đưa vào nút i ;

P_{di}, Q_{di} : công suất tác dụng và công suất phản kháng yêu cầu ở nút i ;

G_{ij}, B_{ij} : điện dẫn và dung dẫn của (i, j) thành phần trong ma trận tổng dẫn.

2.4. Các ràng buộc không cân bằng

Giới hạn trên và giới hạn dưới của công suất tác dụng và công suất kháng của máy phát.

$$P_{gi,min} \leq P_{gi} \leq P_{gi,max}$$

$$Q_{gi,min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi,max}$$

Giới hạn của dòng công suất P_{ij} trên đường dây ij phải thỏa mãn:

$$|P_{ij}| \leq |P_{ij,max}|$$

$$P_{ij} = -G_{ij}U_i^2 + G_{ij}U_iU_j\cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij}U_iU_j\sin(\theta_i - \theta_j)$$

Giới hạn trên và giới hạn dưới của tỉ số biến áp (t) và sự dịch pha (α) của máy biến áp.

$$t_{ij,min} \leq t_{ij} \leq t_{ij,max}$$

$$\alpha_{ij,min} \leq \alpha_{ij} \leq \alpha_{ij,max}$$

Giới hạn trên và giới hạn dưới của điện áp nút

$$U_{ij,min} \leq U_{ij} \leq U_{ij,max}$$

3. HÀM TOÁN VÀ CHƯƠNG TRÌNH MÔ PHỎNG

Trong bài báo này tác giả chọn phương pháp hàm Lagrangian để giải quyết bài toán tối ưu phân bố công suất trước khi hình thành giá điện nút. Nhược điểm của phương pháp này là khối lượng tính toán khá lớn. Tuy nhiên với tốc độ máy tính hiện nay thì nhược điểm này có thể bỏ qua. Ưu điểm của phương pháp này là có thể đưa các ràng buộc vào hệ các phương trình một cách dễ dàng, đơn giản trong tính toán. Hàm Lagrangian L khi đó được định nghĩa là:

$$L(X, \lambda, \rho, P, Q) = f(X, P, Q)$$

$$+ \lambda G(X, P, Q) + \rho H(X, P, Q)$$

Với $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_{n1})$ và $\rho = (\rho_1, \dots, \rho_{n1})$ là hệ số nhân tử Lagrangian. Như vậy:

$$\lambda G(X, P, Q) = \sum \lambda_i g_i(X, P, Q) \text{ và}$$

$$\rho H(X, P, Q) = \sum \rho_i h_i(X, P, Q); i = 1 \dots n_1$$

Ở điểm tối ưu (X, λ, ρ) với công suất (P, Q) giá nút của công suất P, Q ở mỗi nút từ $k=1, \dots, n$ có thể được biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned} \pi_{p,k} &= \frac{\partial L(X, \lambda, \rho, P, Q)}{\partial p_k} \\ &= \frac{\partial f}{\partial p_k} + \lambda \frac{\partial G}{\partial p_k} + \rho \frac{\partial H}{\partial p_k} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \pi_{q,k} &= \frac{\partial L(X, \lambda, \rho, P, Q)}{\partial q_k} \\ &= \frac{\partial f}{\partial q_k} + \lambda \frac{\partial G}{\partial q_k} + \rho \frac{\partial H}{\partial q_k} \end{aligned} \quad (8)$$

Trong đó:

$\pi_{p,k}$ và $\pi_{q,k}$ là giá nút tương ứng công suất P, Q ở nút thứ k ;

$\pi_{p,i} - \pi_{p,j}$ và $\pi_{q,i} - \pi_{q,j}$ là chi phí chuyển dịch công suất P, Q từ nút j tới i .

Tóm lại: Giá công suất tác dụng và công suất phản kháng là một hàm phụ thuộc vào biến số vận hành hệ thống, các hệ số nhân tử Lagrangian ứng với các ràng buộc cân bằng và không cân bằng, công suất tác dụng P , công suất phản kháng Q . Vì vậy khi các biến số này thay đổi thì giá nút sẽ thay đổi.

Trong bài báo này tác giả đã sử dụng phần mềm Matlab để giải quyết bài toán tối ưu công suất, trên cơ sở đó xây dựng chương trình xác định giá điện nút trong hệ thống điện. Một số hàm

được viết sẵn trong Matlab cũng được sử dụng trong bài báo này và tập hợp một số file trong Matpower.

Một số file.M trong Matpower

Runopf: chạy chương trình tối ưu phân bố công suất dựa trên số liệu đầu vào. Ngoài ra kết quả còn cho biết giá trị hàm mục tiêu, thời gian thực hiện chương trình và cho biết chương trình có hội tụ hay không.

Idx_branch: Định nghĩa hằng số ma trận nhánh. Hàm “idx_branch” trả về các giá trị: f_bus, t_bus, br_r, br_b, rate_a, rate_b, rate_c, tap, shift, br_status.

Idx_bus: Định nghĩa cho hằng số ma trận nút. Hàm “idx_bus” trả về các giá trị: pq, pv, ref, none, bus_i, bus_type, pd, gs, bs, vm, va, base_kv, vmax, vmin, lam_p, lam_q.

Idx_cost: Định nghĩa hằng số cho ma trận chi phí. Hàm “idx_cost” trả về các giá trị: pw_linear, polynomial, model, startup, shutdown, ncost, cost.

Idx_gen: Định nghĩa hằng số cho ma trận máy phát. Hàm “idx_gen” trả về

các giá trị: gen_bus, pg, qg, qmax, qmin, vg, mbase, gen_status, pmax, pmin, mu_pmax, mu_pmin, mu_qmax, mu_qmin, pc1, pc2, qc1max, qc2min, qc2max, ramp_agc, ramp_10, ramp_30, ramp_q, apf.

Makesbus: Xây dựng vector ma trận phức Sbus = makeSbus(baseMVA, bus, gen)

Makeybus: xây dựng ma trận tổng dẫn nút và ma trận tổng dẫn nhánh [Ybus, Yf, Yt]=make Ybus (make MVA, bus, branch).

Trên nền tảng các file.M của Matpower, tác giả thực hiện chạy chương trình tính toán giá điện tại các nút và phân tích ảnh hưởng của DG đối với giá nút của mạng phân phối 23 nút.

4. THÔNG SỐ ĐẦU VÀO BÀI TOÁN

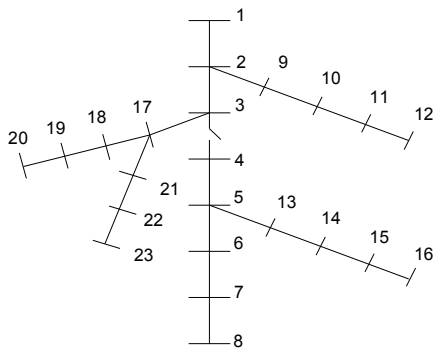
Giả sử nguồn DG có sẵn và luôn luôn hoạt động trong lưới. Khảo sát giá nút với cùng một thời điểm tải có DG và không có DG. Với mạng điện 23 nút như hình 1, đồ thị phụ tải 24 bậc của mạng 23 nút cho trong hình 2 [6, 7].

Bảng 1. Dữ liệu máy phát

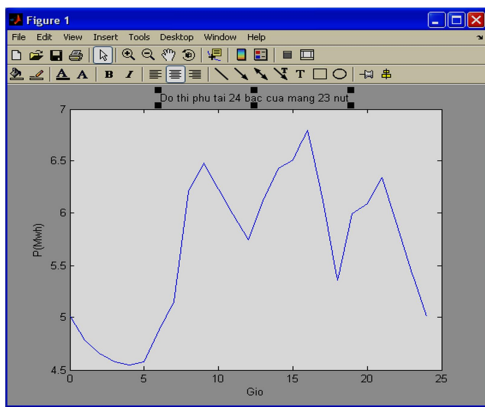
Bus	Pg	Qg	Q _{max}	Q _{min}	Vg	mBase	Status	P _{max}	P _{min}
1	0	0	50	0	1.06	100	1	110	0
5	5	0	5	0	1.06	100	0	5	0

Bảng 2. Dữ liệu hàm chi phí máy phát DG

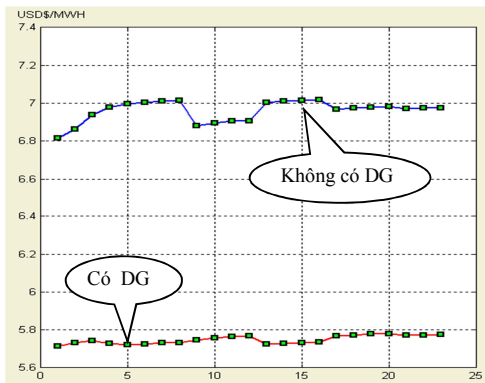
Bậc của đa thức	Số hệ số	Chi phí khởi động	Chi phí tắt	C2	C1	C0
2	3	0	0	0.185	5	600
2	3	0	0	0.1225	5	335



Hình 1. Sơ đồ mạng điện 23 nút



Hình 2. Đồ thị phụ tải 24 bậc



Hình 3. Đồ thị so sánh giá điện tại các nút ở trường hợp không có DG và có DG

Kết quả tính toán cho trong hình 3. Trong đó:

Khi không có DG: $\Delta P = 0.046(\text{MW})$;
 $\Delta Q = 0.08(\text{MVAR})$

Khi có DG: $\Delta P = 0.012(\text{MW})$;
 $\Delta Q = 0.02(\text{MVAR})$.

Nhận xét kết quả nhận được: Khi công suất tải tại một nút lớn và nút ở xa nguồn phát thì giá điện cực đại. Khi công suất tải tại một nút nhỏ và nút ở gần nguồn phát thì giá điện đạt cực tiểu. Khi đưa DG vào nút số 5, với chi phí phát của DG nhỏ hơn chi phí phát tại nút 1, ta thấy:

- Nút 5 là nút được đưa vào DG với chi phí phát thấp nên giá điện tại nút 5 thấp nhất. Giá điện tại các nút giảm đi so với khi chưa đưa DG vào nút 5;
- Giá điện toàn bộ hệ thống cũng giảm đi. Tổn thất công suất tác dụng và công suất phản kháng giảm.

Giá điện tại các nút giảm thực chất là do giá điện tại các nút phụ thuộc vào hàm chi phí và phụ thuộc vào tổn thất. Như vậy khi đưa DG vào thì tổn thất giảm, như vậy chi phí cho tổn thất giảm dẫn đến giá điện giảm, đồng thời hàm chi phí phát của DG nhỏ hơn hàm chi phí của máy phát tại nút 1 nên P được bơm vào các nút với chi phí thấp nên giá điện tại các nút nhỏ hơn so với trường hợp chưa có DG. Trong trường hợp khi đưa DG vào với chi phí phát của DG cao hơn chi phí phát của máy phát tại nút 1. Khi thay đổi hàm chi phí máy phát (bảng 2), kết quả tính toán các thành phần tổn thất nhận được là:

Tổn thất $\Delta P = 0.012\text{MW}$;
 $\Delta Q = 0.02\text{(MVAR)}$

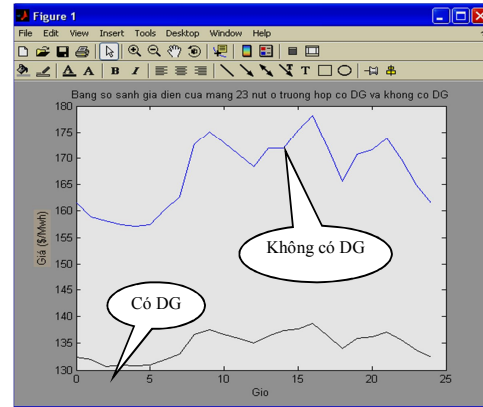
Nhận xét kết quả: Khi đưa DG vào nút số 5, với chi phí phát của DG lớn hơn chi phí phát tại nút 1, ta thấy:

- Giá điện tại các nút giảm đi so với khi chưa đưa vào bus 5 nhưng so với trường hợp hàm chi phí phát nhỏ hơn thì cao hơn;
- Giá điện toàn bộ hệ thống cũng giảm đi. Tổn thất công suất tác dụng và công suất phản kháng giảm.

Giá điện tại các nút giảm thực chất là do giá điện tại các nút phụ thuộc vào hàm chi phí và phụ thuộc vào tổn thất. Như vậy khi đưa DG vào thì tổn thất giảm, như vậy chi phí cho tổn thất giảm dẫn đến giá điện giảm, đồng thời hàm chi phí phát của DG lớn hơn hàm chi phí của máy phát tại nút 1 nên công suất được bơm vào các nút với chi phí cao hơn nhưng do chi phí tổn thất giảm nhiều hơn so với việc chi phí phát công suất tăng của DG nên giá điện tại các nút vẫn giảm so với trường hợp chưa có DG.

Như vậy, giá điện nút phụ thuộc vào hàm chi phí phát và tổn thất. Khi DG phát công suất tác dụng P , nếu việc giảm chi phí do giảm tổn thất khi gắn thêm DG lớn hơn so với việc tăng chi phí khi DG phát công suất P thì giá nút sẽ giảm so với trường hợp khi có DG, tổn thất cũng giảm. Tính toán tương tự với các khoảng thời gian từ 1h-24h, ta có đồ thị so sánh giá điện của mạng 23

nút ở trường hợp có DG và không có DG, có kết quả như hình 4.



Hình 4. Biểu đồ so sánh giá điện của mạng 23 nút trong khoảng thời gian từ 1-24 giờ ở trường hợp có DG và không có DG

Ngoài ra ta thấy giá điện nút không những thay đổi theo không gian, mà còn thay đổi theo thời gian, khi phụ tải thay đổi thì giá điện nút cũng thay đổi. Khi tham gia thị trường điện, việc dự báo giá điện và phụ tải chính xác góp phần rất quan trọng trong việc xây dựng chiến lược chào giá thành công. Để tối ưu hóa lợi nhuận, nhà máy cần chào giá cao vào những thời điểm tăng tải hoặc thiếu nguồn. Từ hình 4 ta thấy, nguồn phát DG có thể chào giá cao vào các thời điểm 9h, 16h, 21h để tăng lợi nhuận.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu ảnh hưởng của DG đối với giá điện nút có ý nghĩa thực tiễn cao. Bài báo đã sử dụng phần mềm Matpower lập trình mô phỏng cho bài toán tính giá nút trong trường hợp có DG và không có DG để xét ảnh hưởng

của DG đối với giá nút. Kết quả mô phỏng cho thấy khi đưa DG vào mạng phân phối thì cho tín hiệu giá hiệu quả hơn và đồng thời tổn thất trong mạng điện giảm. Giá điện trong thị trường điện cạnh tranh không chỉ phụ thuộc vào không gian mà còn phụ thuộc theo

thời gian; và giá điện có khả năng điều tiết phụ tải, điều chỉnh hành vi của các bên tham gia thị trường nhằm đảm bảo an ninh hệ thống điện. Kết quả mô phỏng giúp các nguồn phát DG có thêm thông tin thị trường để đưa ra chiến lược chào giá thành công.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Drew Phillips; Nodal Pricing Basics; Market Evolution Program.
- [2] Vignolo, M. and Zeballos; R. Economic Operation of Power Systems. Proceedings Latin America IEEE T &D 2002, N 19, 127, 2002.
- [3] P. M. Sotkiewicz, J. M. Vignolo Nodal Prices for Distribution Networks: Efficient Pricing for Efficiency DG Enhancing, Letters to IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 21, N 2, May 2006, pp. 1013-1014.
- [4] P. M. Sotkiewicz, J. M. Vignolo Allocation of Fixed Costs in Distribution Networks with Distributed Generation, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 21, N 2, May 2006, pp. 639-652.
- [5] Luonan Chen, Hideiki. Components of Nodal Prices for Electric Power Systems. Trans. Power Syst., vol. 17, no.1, 2002.
- [6] M. L. Baughman, S. N. Siddiqi, and J. W. Zarnikau. Advanced pricing in electrical systems. Part I: Theory, IEEE Trans. Power Syst., vol. 12, no. 1, pp. 489-495, Feb. 1997.
- [7] Martin L. Baughman, Shams N. Siddiqi. Real Time Pricing of Reactive Power: Theory and Case Study Results, IEEE Trans. Power Syst., Vo1.6, No.1, February 1991.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Phạm Ngọc Hùng sinh năm 1976 tại Hải Dương, tốt nghiệp Trường Đại học Bách khoa Hà Nội và nhận bằng Thạc sĩ Kỹ thuật điện năm 2006. Tác giả hiện là giảng viên, giảng dạy tại Bộ môn Nhà máy điện và Trạm biến áp - Khoa Hệ thống điện - Trường Đại học Điện Lực. Các lĩnh vực nghiên cứu chính của tác giả: nhà máy điện, quá trình quá độ và năng lượng mới.

