

TÍNH TOÁN VỊ TRÍ VÀ DUNG LƯỢNG BÙ TỐI ƯU TRONG LƯỚI ĐIỆN TRUNG ÁP XÉT ĐẾN TÍNH NGẪU NHIÊN CỦA PHỤ TẢI

Vũ Văn Thang*¹, Nguyễn Văn Viên², Triệu Đức Tung²
¹Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên,
²Công ty Điện lực Bắc Kạn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này giới thiệu phương pháp tính toán vị trí và dung lượng bù tối ưu của tụ điện xét đến tính ngẫu nhiên của phụ tải và thông số tiêu chuẩn của thiết bị bù trong lưới điện phân phối (LĐPP). Hàm mục tiêu cực tiểu tổn thất điện năng trong khoảng thời gian xét được đề xuất với các ràng buộc đảm bảo yêu cầu vận hành của LĐPP như giới hạn điện áp nút, giới hạn công suất truyền tải của đường dây và ràng buộc cân bằng công suất nút. Chương trình tính toán được lập bằng ngôn ngữ lập trình the general algebraic modeling system (GAMS) và tính toán kiểm tra trên LĐPP qui mô lớn. Kết quả tính toán được so sánh với phương pháp tính toán bù theo tải xác định để đánh giá hiệu quả của mô hình đề xuất.

Từ khóa: Tối ưu, Tụ điện, Tổn thất điện năng, Tải ngẫu nhiên, LĐPP, GAMS

Ngày nhận bài: 10/01/2019; Ngày hoàn thiện: 26/02/2019; Ngày duyệt đăng: 28/02/2019

OPTIMAL ALLOCATION AND SIZING OF CAPACITORS IN DISTRIBUTION SYSTEM CONSIDERING STOCHASTIC LOADS

Vu Van Thang*¹, Nguyen Van Vien², Trieu Duc Tung²
¹University of Technology (TNUT) – TNU,
²Power Company Bac Kan

ABSTRACT

In this research, a model selecting optimal allocation and sizing of capacitors in medium voltage distribution system is proposed which considers the stochastic loads and the standard capacities being discrete values of capacitors. The model includes objective function that is electrical energy loss minimizing during calculation period and constrains to guarantee operation of distribution system as bus power balance constrains, bus voltage limit, and capacity limit of feeders. The calculation is programmed by GAMS programming language and tested on large scale medium voltage distribution system. The calculation results by proposed model are compared with methods which utilize fix loads to evaluate effect of proposed method.

Keyword: Optimization, Capacitor, Electrical energy loss, Stochastic load, Distribution system, GAMS

Received: 10/01/2019; Revised: 26/02/2019; Approved: 28/02/2019

* Corresponding author: Tel: 0915 176569, Email: thangvvhdt@tnut.edu.vn

GIỚI THIỆU

Tổn thất công suất, tổn thất điện năng và tổn thất điện áp trong LĐPP thường rất lớn do điện áp vận hành nhỏ, tổng trở đường dây lớn, mật độ phụ tải cao và ít thiết bị điều chỉnh điện áp. Vì vậy, việc nghiên cứu các giải pháp giảm tổn thất, nâng cao hiệu quả của LĐPP đã được thực hiện từ rất sớm. Trong đó, bù công suất phản kháng (CSPK) bằng tụ điện là giải pháp đã được sử dụng phổ biến bởi chi phí đầu tư rẻ, suất tiêu hao điện năng nhỏ, không bị hạn chế vị trí lắp đặt đồng thời giảm tổn thất và trì hoãn nâng cấp hệ thống [1].

Nhiều công nghệ chế tạo tụ điện với tuổi thọ ngày càng cao, tổn thất nhỏ và chi phí ngày càng rẻ đã được giới thiệu và nghiên cứu sử dụng trong LĐPP nhằm nâng cao hiệu quả kinh tế cũng như cải thiện tổn thất và nâng cao điện áp của lưới [2] [3]. Tụ điện có thể vận hành với công suất cố định, chi phí đầu tư rẻ nhưng hiệu quả bù thấp do không đáp ứng được tất cả các trạng thái vận hành, đặc biệt khi phụ tải thay đổi lớn. Khắc phục nhược điểm trên, các bộ bù CSPK được vận hành với công suất thay đổi đã được giới thiệu. Bù có cấp được sử dụng trong lưới điện hạ áp do chi phí cho thiết bị đóng cắt nhỏ. Bù vô cấp (Static VAR Compensator - SVC) có hiệu quả bù lớn nhất do đáp ứng được mọi trạng thái vận hành của lưới tuy nhiên chi phí đầu tư của SVC rất lớn nên khó cạnh tranh trong thực tiễn. Vì vậy, trong LĐPP trung áp thường sử dụng thiết bị bù có công suất cố định.

Nhiều mô hình tính toán vị trí và dung lượng bù của tụ điện đã được giới thiệu. Phổ biến nhất hiện nay là mô hình dựa vào công suất tác dụng (CSTD) và nâng cao hệ số công suất $\cos\varphi$ hoặc cực tiểu chi phí ở chế độ phụ tải cực đại [1] [3]. Các mô hình trên không xét đến các ràng buộc vận hành của lưới nên có thể không đảm bảo cho LĐPP làm việc. Hàm mục tiêu cực tiểu chi phí tổn thất và đầu tư tụ điện được giới thiệu trong các nghiên cứu [4]-[6]. Tuy vậy, tổn thất trong LĐPP có giá trị lớn và yêu cầu về độ lệch điện áp cao nên

hàm mục tiêu cực tiểu tổn thất công suất hoặc tổn thất điện năng cũng được sử dụng rộng rãi như trong các nghiên cứu [7] [8]. Các ràng buộc độ lệch điện áp nút, giới hạn công suất của các đường dây và công suất bù trong chế độ phụ tải cực đại được đề xuất để đảm bảo yêu cầu vận hành của lưới. Tuy nhiên, thay đổi của phụ tải đã không được xem xét trong các nghiên cứu trên đồng thời công suất của tụ bù được giả thiết là liên tục nhưng chúng là những giá trị rời rạc theo tiêu chuẩn trong thực tế.

Vì vậy, nghiên cứu này đề xuất mô hình tính toán vị trí và dung lượng bù tối ưu trong LĐPP trung áp, sử dụng tụ bù tĩnh với hàm mục tiêu cực tiểu tổn thất điện năng trong thời gian tính toán. Các ràng buộc đảm bảo giới hạn vận hành của lưới được tổng hợp trong mô hình với công suất rời rạc của tụ bù và thay đổi của tải theo mô hình xác suất.

Phần tiếp theo của bài báo sẽ giới thiệu mô hình ngẫu nhiên của phụ tải và mô hình toán, kết quả tính toán và kết luận.

MÔ HÌNH XÁC SUẤT CỦA PHỤ TẢI

Phụ tải điện luôn thay đổi theo thời gian và mang tính ngẫu nhiên. Vì vậy, việc tính toán các bài toán trong hệ thống điện nói chung và LĐPP nói riêng theo thông số tải không đổi sẽ gặp sai số lớn. Trong những nghiên cứu gần đây, nhiều mô hình biểu diễn thay đổi của phụ tải theo các mô hình xác suất đã được giới thiệu và chỉ ra rằng, xác suất của phụ tải thường được phân bố theo hàm mật độ xác suất chuẩn [9] [10] và được biểu diễn như biểu thức (1).

$$P(X = x | \mu, \sigma^2) = f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (1)$$

Trong đó: μ là giá trị trung bình của đại lượng ngẫu nhiên x , σ là độ lệch chuẩn và σ^2 là phương sai.

MÔ HÌNH TỐI ƯU

Để đánh giá hiệu quả của phương pháp đề xuất, nghiên cứu này tính toán và so sánh

giữa mô hình được sử dụng phổ biến hiện nay, mô hình 1, với mô hình được đề xuất, mô hình 2. Chi tiết các mô hình toán được trình bày dưới đây.

Mô hình 1 (MH1)

Như đã giới thiệu trong [1], phương pháp phổ biến được sử dụng trong thực tế hiện nay để tính toán dung lượng bù là xác định theo công suất không đổi và hệ số công suất $\cos\varphi$ ở chế độ cực đại như biểu thức (2).

$$Q_b = P_{\max} (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) \quad (2)$$

Trong đó: Q_b là dung lượng bù; P_{\max} là công suất tác dụng ở chế độ cực đại; $\tan\varphi_1, \tan\varphi_2$ là hệ số công suất trước và sau khi bù.

Mục tiêu của phương pháp này là nâng cao hệ số công suất $\cos\varphi$ từ đó giảm tổn thất công suất và tổn thất điện áp. Tuy nhiên, phương pháp này không đảm bảo được độ lệch điện áp tại các phụ tải cũng như không xác định được chính xác vị trí bù trong LDPP. Ngoài ra, ảnh hưởng của sự thay đổi của phụ tải bởi tính ngẫu nhiên và tăng trưởng theo thời gian không được xem xét nên hiệu quả của thiết bị bù sẽ giảm.

Mô hình 2 (MH2)

Trong mô hình này, ảnh hưởng của tải ngẫu nhiên được xét đến và được biểu diễn bởi công suất tải và xác suất tương ứng tại mỗi trạng thái xem xét. Hàm mục tiêu là cực tiểu tổng tổn thất điện năng trong thời gian tính toán T bao gồm tổn thất trên đường dây $\Delta A_{f,t}$ và trong bản thân tụ bù $\Delta A_{c,t}$ ở năm t như trình bày trong biểu thức (3).

$$\Delta A_{\Sigma} = \sum_{t=1}^T (\Delta A_{f,t} + \Delta A_{c,t}) \quad (3)$$

Tổn thất điện năng trên đường dây của LDPP khi xét đến tải ngẫu nhiên ở năm t được xác định theo biểu thức (4) với xác suất tải ở trạng thái k là λ_k và N_k là số trạng thái tính toán.

$$\Delta A_{f,t} = 8760 \cdot \sum_{k=1}^{N_k} \Delta P_{t,k} \cdot \lambda_k$$

$$\Delta P_{t,k} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N G_{ij} \cdot [U_{i,t,k}^2 + U_{j,t,k}^2 - 2U_{i,t,k} \cdot U_{j,t,k} \cdot \cos(\delta_{j,k} - \delta_{i,k})] \quad (4)$$

Trong đó: $\Delta P_{t,k}$ là tổn thất công suất trong trạng thái k ; $U_{i,t,k}, \delta_{i,t,k}$ là modul và góc pha của điện áp nút i tại mỗi trạng thái; G_{ij} là điện dẫn của đường dây ij và N là tổng số nút của LDPP.

Tổn thất điện năng của bản thân tụ điện được xác định theo hệ số tổn thất và phụ thuộc vào công suất của tụ như biểu thức sau [1] [11].

$$\Delta A_{c,t} = 8760 \cdot \sum_{i=1}^{N_c} Q_{b,i,t} \cdot k_c \quad (5)$$

Trong đó: $Q_{b,i,t}$ là công suất bù tại nút i , năm t ; k_c là hệ số tổn thất công suất của bản thân tụ và N_c là số nút có thể lựa chọn bù.

Thông số chế độ của LDPP được tính toán bởi ràng buộc cân bằng công suất nút AC trong trạng thái tính toán k như biểu thức (6).

$$P_{i,t,k} - k_c \cdot Q_{b,i,t} - P_{i,t,k} = \sum_{j=1}^N |Y_{ij}| \cdot |U_{i,t,k}| \cdot |U_{j,t,k}| \cdot \cos(\theta_{ij} + \delta_{j,t,k} - \delta_{i,t,k}) \quad (6)$$

$$Q_{i,t,k}^S + Q_{b,i,t} - Q_{i,t,k} = - \sum_{j=1}^N |Y_{ij}| \cdot |U_{i,t,k}| \cdot |U_{j,t,k}| \cdot \sin(\theta_{ij} + \delta_{j,t,k} - \delta_{i,t,k})$$

Trong đó: $P_{i,t,k}^S$ và $Q_{i,t,k}^S$ là công suất nhận từ nguồn; Y_{ij}, θ_{ij} là modul và góc lệch của tổng dẫn nhánh. $U_{i,t,k}, \delta_{i,t,k}$ là modul và góc pha của điện áp nút; $P_{i,t,k}$ và $Q_{i,t,k}$ là công suất của phụ tải i , xác định theo biểu thức (7) với hệ số tải trong trạng thái k là k_k . $P_{i,t}$ và $Q_{i,t}$ là công suất của tải ở năm t với hệ số phát triển mỗi năm là k_{pt} .

$$P_{i,t,k} = P_{i,t} \cdot k_k; \quad Q_{i,t,k} = Q_{i,t} \cdot k_k \quad (7)$$

$$P_{i,t} = P_{i,t-1} (1 + k_{pt}); \quad Q_{i,t} = Q_{i,t-1} (1 + k_{pt})$$

Công suất của tụ bù là những giá trị rời rạc, tiêu chuẩn hóa để giảm chi phí sản xuất. Do đó, nghiên cứu này đề xuất ràng buộc lựa chọn công suất bù theo các giá trị rời rạc với biến nhị phân $\alpha_{j,i,t}$, tại mỗi tải chỉ lựa chọn đầu tư một lần để giảm chi phí lắp đặt với ràng buộc như biểu thức (8). Trong đó, $Q_{c,j}^*$ là công suất tiêu chuẩn thứ j và N_j là tổng số công suất tiêu chuẩn của tụ.

$$Q_{b,i,t} = \alpha_{j,i,t} Q_{c,j}^* ; \quad \sum_{j=1}^{N_j} \sum_{t=1}^T \alpha_{j,i,t} \leq 1 \quad (8)$$

Để đảm bảo vận hành an toàn LĐPP, tránh quá tải, công suất truyền tải trên đường dây $S_{ij,t}$ cần thỏa mãn điều kiện giới hạn của đường dây như biểu thức (9) với công suất giới hạn của đường dây ij là $S_{ij,t}^*$.

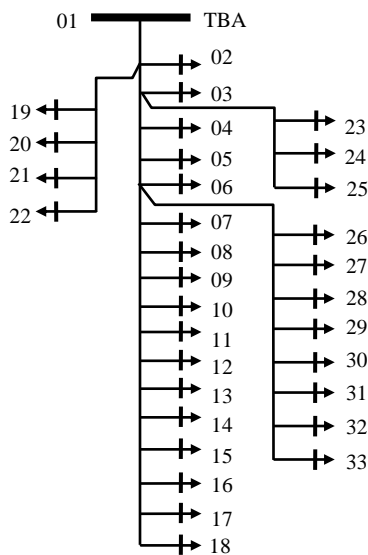
$$S_{ij,t} \leq S_{ij,t}^* \quad (9)$$

Ngoài ra, điện áp tại mỗi phụ tải thay đổi rất lớn theo chế độ làm việc của lưới và giá trị của phụ tải. Vì vậy, độ lệch điện áp ở tất cả các nút được giới hạn như biểu thức (10) với điện áp tại các nút nguồn giả thiết luôn là hằng số.

$$\begin{aligned} U_{\min} &\leq |U_{i,t,k}| \leq U_{\max} & i \in N_L \\ |U_{i,t,k}| &= \text{cons} \tan t & i \in N_S \end{aligned} \quad (10)$$

Trong đó: $U_{i,t,k}$ là điện áp nút ở mỗi trạng thái tính toán; U_{\min}, U_{\max} là giới hạn điện áp; N_S, N_L là tổng số nút nguồn và nút tải.

Các mô hình tính toán trên được lập chương trình tính toán bằng ngôn ngữ lập trình GAMS [12] và được tính toán áp dụng trong LĐPP qui mô lớn như dưới đây.



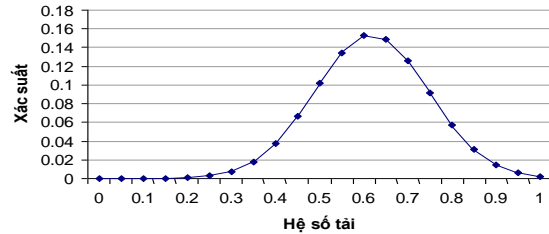
Hình 1. Sơ đồ LĐPP

TÍNH TOÁN ÁP DỤNG

Những giả thiết và tham số của thiết bị

Mô hình và chương trình tính toán được kiểm tra trên sơ đồ LĐPP 33 nút, điện áp 22 kV như trên hình 1. Phụ tải cực đại và thông số của lưới điện trong PL1 và PL2.

Giả thiết, xác suất của tải tuân theo hàm phân bố chuẩn như hình 2. Từ đồ thị phân bố xác suất cho thấy, số lượng các trạng thái là rất lớn và việc lựa chọn số trạng thái tính toán là rất quan trọng. Số lượng trạng thái nhỏ sẽ gây sai số lớn và ngược lại số trạng thái lớn sẽ làm tăng khối lượng tính toán. Do đó, để đảm bảo giữa tính chính xác và khối lượng tính toán nghiên cứu lựa chọn số lượng trạng thái là 15, tương ứng với hệ số tải thay đổi từ 0,3 đến 1 với mỗi bước tăng là 0,05.



Hình 2. Phân bố xác suất của tải

Công suất tiêu chuẩn của tụ bù bao gồm 150, 225, 300, 400, 450, 500, 600, 750, 900, 1200, 1500, 1800 kVAR với $k_c = 0,15$ W/kVAR [1] [11]. Điện áp $U_l = 1,1$ pu, $U_{\min} = 0,9$ pu, $U_{\max} = 1,1$ pu. Hệ số phát triển của tải $k_{pt} = 3\%$ và thời gian tính toán là 5 năm.

Kết quả tính toán

Tính toán trong 3 trường hợp, trường hợp không bù (TH0), trường hợp bù theo MH1 (TH1) và trường hợp bù theo MH2 (TH2) xác định được thông số bù của LĐPP như trên bảng 1. Trong TH1, tổng công suất bù là 8000 kVAR nhưng không xác định được vị trí bù với giả thiết đặt tại nút 18 và 33 mỗi nút 4000 kVAR thì tổn thất điện năng giảm được 0,33%. Tương tự, TH2 lựa chọn được vị trí bù tối ưu là nút 18 ở năm đầu tiên và nút 33 năm thứ 2 với công suất tại mỗi nút là 1800 kVAR. Tổn thất điện năng chỉ còn 2,92% tương ứng giảm được tới 1,02% so với TH0.

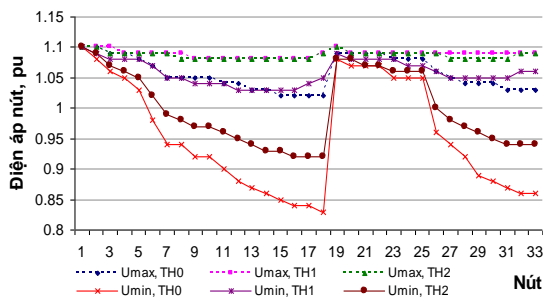
So sánh trên cho thấy, khi xét đến thay đổi của tải theo mô hình đề xuất tổn thất đã giảm

được 0,74% so với TH1 trong khi công suất bù cần đầu tư giảm được 4400 kVAR tương ứng 55%. Kết quả trên có được do TH2 xét đến thay đổi của tải đã giảm được hiện tượng quá bù trong những khoảng thời gian thấp điểm. Hơn nữa, mô hình cho phép lựa chọn được công suất của thiết bị bù là những giá trị rời rạc theo thông số của nhà sản xuất.

Bảng 1. So sánh thông số bù

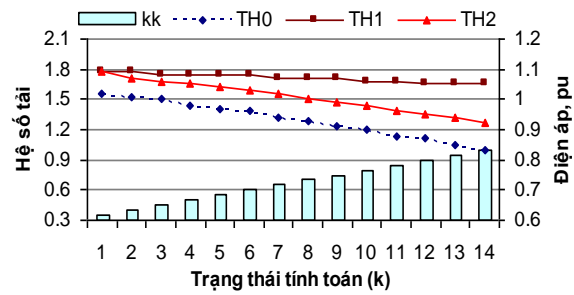
TT	Chỉ tiêu	TH0	TH1	TH2
1	Công suất bù $Q_{b,i,t}$ (nút i, năm t), kVAR	-	8000	1800 (18, 1) 1800 (33, 2)
2	Tổn thất điện năng, %	3,99	3,66	2,92
3	So sánh tổn thất TH1 với TH0, %		0,33	
4	So sánh tổn thất TH2 với TH0, %		1,02	

Điện áp lớn nhất và nhỏ nhất khi thực hiện bù trong cả 2 trường hợp đều đảm bảo yêu cầu với giá trị nhỏ nhất là 0,92 pu ở nút 18, năm thứ 5 và điện áp lớn nhất là 1.1pu như trình bày trên hình 3. Điện áp được hỗ trợ lớn nhất ở nút 18 là 21% từ 0,83 pu trong TH0 lên 1,05 pu ở TH1.



Hình 3. Điện áp nút cực đại và cực tiểu

Hình 4 trình bày điện áp tại nút 18, nút xa nguồn và được lựa chọn bù, năm thứ 5 với 14 trạng thái của phụ tải cho thấy, điện áp nút đều được cải thiện trong mọi trạng thái và đảm bảo trong giới hạn cho phép. Điện áp được nâng cao từ 6,4% đến 21% trong TH1 và từ 6,4% đến 8,6% trong TH2.



Hình 4. Điện áp nút 18, năm thứ 5 ở trạng thái vận hành k

Kết quả tính toán kiểm tra cho thấy, mô hình và chương trình tính toán phù hợp với LDPP qui mô lớn trong thực tiễn. Khi xét đến tính ngẫu nhiên của phụ tải, tổn thất điện năng giảm đồng thời điện áp nút luôn đảm bảo độ lệch cho phép mặc dù công suất bù cần đầu tư giảm dẫn đến chi phí đầu tư giảm. Vì vậy, hiệu quả bù đã được nâng cao. Hơn nữa, vị trí và công suất bù được lựa chọn với thông số tiêu chuẩn của thiết bị đã tăng khả năng ứng dụng trong thực tiễn.

KẾT LUẬN

Mô hình tính toán vị trí, dung lượng bù tối ưu đã được đề xuất trong nghiên cứu này cho phép xét đến tính ngẫu nhiên của phụ tải và công suất tiêu chuẩn của tụ bù. Công suất bù được lựa chọn đồng thời với vị trí lắp đặt, tổn thất điện năng cực tiểu trong thời gian tính toán được xác định đồng thời đảm bảo giới hạn điện áp tại các nút và công suất truyền tải của đường dây. Tính toán kiểm tra bằng chương trình tính toán được lập bởi ngôn ngữ lập trình GAMS cho thấy, phương pháp đề xuất là phù hợp với LDPP lớn trong thực tiễn, các chỉ tiêu kỹ thuật được nâng cao. Tuy nhiên, chi phí đầu tư của tụ bù chưa được xem xét vì vậy trong các nghiên cứu tiếp theo cần phải bổ sung chỉ tiêu này để nâng cao hiệu quả kinh tế của phương án bù.

PL1. Thông số của tải

Nút tải	$P_{i,0}$ kW	$Q_{i,0}$ kVAr	Nút tải	$P_{i,0}$ kW	$Q_{i,0}$ kVAr
2	240	192	17	432	384
3	348	288	18	588	528
4	384	300	19	228	168
5	192	156	20	348	264
6	432	372	21	228	168
7	360	360	22	468	408
8	360	360	23	468	420
9	192	144	24	504	420
10	264	192	25	264	240
11	174	132	26	792	630
12	192	162	27	672	630
13	552	522	28	432	372
14	264	216	29	504	444
15	672	552	30	360	240
16	312	240	31	660	564
Tổng			12,810 10,040		

PL2. Thông số của đường dây

Nút ij	$S_{ij,t}^*$ MVA	R_{ij} Ω	X_{ij} Ω	Nút ij	$S_{ij,t}^*$ MVA	R_{ij} Ω	X_{ij} Ω
1,2	26	0,15	0,38	17,18	8	2,37	1,67
2,3	26	0,31	0,75	2,19	8	1,78	1,25
3,4	26	0,08	0,19	19,20	8	1,18	0,84
4,5	26	0,23	0,57	20,21	8	1,48	1,05
5,6	26	0,69	1,70	21,22	8	1,18	0,84
6,7	10	1,89	1,84	3,23	8	1,60	1,13
7,8	10	0,46	0,45	23,24	8	1,18	0,84
8,9	10	0,63	0,61	24,25	8	1,48	1,05
9,10	10	0,50	0,49	6,26	10	1,18	1,14
10,11	10	0,84	0,82	26,27	10	1,39	1,35
11,12	10	1,26	1,22	27,28	10	1,47	1,43
12,13	8	1,07	0,75	28,29	10	1,89	1,84
13,14	8	0,83	0,59	29,30	8	1,18	0,84
14,15	8	1,12	0,79	30,31	8	2,07	1,46
15,16	8	1,84	1,30	31,32	8	2,37	1,67
16,17	8	0,95	0,67	32,33	8	2,13	1,50

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Xuân Phú, Nguyễn Công Hiền, Nguyễn Bội Khuê (2003), *Cung cấp điện*, Nxb Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.

- M. Jayalakshmi, K. Balasubramanian (2008), *Simple Capacitors to Supercapacitors-An Overview*, International Journal of Electrochemical Science, Vol. 3.
- Trần Vinh Tịnh, T. V. Chương (2008), *Bù tối ưu công suất phản kháng trong LPP*, Tạp chí KH&CN Đại học Đà Nẵng, số 2.
- M. Dixit, P. Kundu, H. R. Jariwala (2016), *Optimal Allocation and Sizing of Shunt Capacitor in Distribution System for Power Loss Minimization*, 2016SCEECS, India.
- A. A. A. El-Ela, A. M. Kinawy, M.T. Mouwafi, R. A. El-Sehiemy (2015), *Optimal siting and sizing of capacitors for voltage enhancement of distribution systems*, 2015UPEC, UK.
- A.A. Eajal, M.E.El-Hawary (2010), *Optimal capacitor placement and sizing in distorted radial distribution systems part III: Numerical results*, ICHQP2010, Italy.
- K. R. Devabalaji, A. M. Imranb, T. Yuvaraj, K. Ravi (2015), *Power Loss Minimization in Radial Distribution System*, Energy Procedia 79 (2015), pp. 917-923.
- N. Rugthaicharoencheep, S. Nedphograw, W. Wanaratwijit (2011), *Distribution system operation for power loss minimization and improved voltage profile with distributed generation and capacitor placements*, 2011DRPT, China.
- Y. M. Atwa, E. F. El-Saadany, M. M. A. Salama, and R. Seethapathy (2010), *Optimal Renewable Resources Mix for Distribution systems Energy Loss Minimization*, IEEE Tran, on Power Sytems, Vol. 25, No.1.
- S. Pazouki, M. Haghifamb, A. Moser (2014), *Uncertainty modeling in optimal operation of energy hub in presence of wind, storage and demand response*, *Electrical Power and Energy Systems*, 61.
- Solutions for power factor correction at medium voltage, CIRCUTOR. S.A. (2013)
- Richard E., Rosenthal (2010), *GAMS - A User's Guide*, GAMS Development Corporation, Washington, USA, 2010.