ỨNG DỤNG MÔ HÌNH QUI HOẠCH NGẪU NHIÊN ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ BÙ CỦA LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI TIÊN DU

Vũ Văn Thắng*, Nguyễn Hiền Trung, Nguyễn Thị Hải Huyền

Tóm tắt: *Nghiên cứu này giới thiệu mô hình qui hoạch ngẫu nhiên nhằm lựa chọn vị trí, dung lượng bù tối ưu của tụ điện trong lưới điện phân phối (LĐPP) sau đó được ứng dụng để lựa chọn thông số bù tối ưu, đánh giá hiệu quả bù của LĐPP Tiên Du. Mô hình tối ưu xét đến tính ngẫu nhiên của phụ tải bằng hàm phân phối xác suất đã nâng cao được tính chính xác của kết quả đồng thời giảm được khối lượng tính toán. Thông số chế độ của LĐPP luôn được đảm bảo bởi các ràng buộc đồng thời dung lượng tụ được lựa chọn theo gam công suất tiêu chuẩn. Do đó, mô hình qui hoạch ngẫu nhiên có thể ứng dụng cho LĐPP lớn, với cấu trúc bất kỳ và đáp ứng gần hơn yêu cầu thực tiễn.*

Từ khóa: Qui hoạch ngẫu nhiên; Lưới điện phân phối; Bù công suất phản kháng.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bù công suất phản kháng (CSPK) là giải pháp cơ bản và đã được thực hiện rộng rãi để giảm tổn thất công suất, tổn thất điện năng và nâng cao chất lượng điện trong LĐPP nói chung và LĐPP trung áp nói riêng. Nhiều thiết bị bù CSPK đã được giới thiệu, trong đó, tụ điện có độ bền cao, chi phí đầu tư thấp, suất tiêu hao điện năng nhỏ và không bị hạn chế vị trí lắp đặt. Phương thức bù bằng tụ điện trong LĐPP thường sử dụng phương thức bù cứng trong LĐPP trung áp để tận dụng chi phí đầu tư thấp của tụ điện cao áp và bù có cấp trong LĐPP hạ áp nhằm điều chỉnh dung lượng bù đáp ứng sự thay đổi của tải.

Nhiều phương pháp tính toán lựa chọn vị trí và dung lượng bù đã được giới thiệu, trong đó, phương pháp được sử dụng phổ biến là phương pháp bù nâng cao hệ số công suất. Phương pháp này gặp sai số lớn khi tải không ổn định và có thể không đảm bảo độ lệch điện áp, khả năng tải của đường dây. Gần đây, nhiều phương pháp tính toán mới đã được giới thiệu cùng với các chương trình tính toán cho phép xét đến đồng thời nhiều thông số của LĐPP [1]. Mô hình tối ưu với hàm mục tiêu cực tiểu tổn thất điện năng được giới thiệu trong [2] và được bổ sung chi phí đầu tư của tụ điện trong [3], các ràng buộc về công suất truyền tải và điện áp nút đảm bảo thông số vận hành của LĐPP. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chưa xét đến thay đổi của tải, thường mang tính ngẫu nhiên.

Tính ngẫu nhiên của tải có thể được biểu diễn bằng mô hình xác suất cho phép giảm được trạng thái tính toán mà vẫn đảm bảo được sai số nhỏ. Phương pháp này cho phép giảm được khối lượng tính toán và có thể áp dụng cho các LĐPP lớn trong thực tiễn [4]. Mô hình tối ưu với hàm mục tiêu cực tiểu tổn thất điện năng dựa trên xác suất của tải được giới thiệu trong [5], thông số chế độ của LĐPP trung áp được đảm bảo trong mọi trạng thái vận hành bởi các ràng buộc. Vì vậy, độ chính xác của kết quả tính toán được nâng lên đồng thời đảm bảo được thông số chế độ của lưới điện trong mọi trạng thái vận hành. Tuy nhiên, trong LĐPP hiện nay dung lượng bù của tụ điện thường chỉ được lựa chọn theo phương pháp nâng cao hệ số công suất và vị trí được lựa chọn dựa trên kinh nghiệm của người thiết kế nên hiệu quả của giải pháp bù không cao [6]. Vì vậy, nghiên cứu này ứng dụng mô hình tối ưu xác suất lựa chọn vị trí và dung lượng bù tối ưu của tụ điện đồng thời đánh giá hiệu quả của tụ bù hiện trạng của LĐPP trung áp Tiên Du. Từ đó, đề xuất giải pháp bù tối ưu nhằm nâng cao hiệu quả bù của lưới điện này.

2. MÔ HÌNH TOÁN

Mô hình tối ưu xét đến thay đổi ngẫu nhiên của phụ tải với hàm mục tiêu cực tiểu tổn thất điện năng của LĐPP cùng với các ràng buộc cho phép đảm bảo hiệu quả bù và thông số vận hành của LĐPP được trình bày như dưới đây.

2.1. Mô hình ngẫu nhiên của tải điện

Nhu cầu của tải điện luôn thay đổi theo thời gian, phụ thuộc vào nhiều yếu tố như nhu cầu của khách hàng, điều kiện thời tiết,... Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng, thay đổi của phụ tải mang tính ngẫu nhiên và được biểu diễn theo các mô hình xác suất [5]. Mô hình được sử dụng phổ biến là mô hình xác suất của phụ tải được phân bố theo hàm mật độ xác suất chuẩn và được biểu diễn như biểu thức (1).

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

trong đó, μ là giá trị trung bình của *x*, σ là độ lệch chuẩn và σ^2 là phương sai.

2.2. Mô hình toán

2.2.1. Hàm mục tiêu

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* năm, bao gồm tổn thất trên đường dây $\Delta A_{f.t}$ và bản thân tụ bù $\Delta A_{c.t}$ ở năm *t* như trình bày trong biểu thức (2) [5].

$$\Delta A_{\Sigma} = \sum_{t=1}^{T} (\Delta A_{f.t} + \Delta A_{c.t}) \quad (2)$$

Tổn thất điện năng trên đường dây của LĐPP khi xét đến tải ngẫu nhiên ở năm *t* được xác định theo biểu thức (3) với xác suất tải ở trạng thái *k* là λ_k và N_k là số trạng thái tính toán.

$$\begin{aligned} \Delta A_{f.t} &= 8760 . \sum_{k=1}^{N_k} \Delta P_{t.k} . \lambda_k \\ \Delta P_{t,k} &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} G_{ij} . \left[U_{i,t,k}^2 + U_{j,t,k}^2 - 2U_{i,t,k} . U_{j,t,k} \cos(\delta_{j,k} - \delta_{i,k}) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

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 LĐPP.

Tổn thất điện năng của bản thân tụ điện được xác định theo hệ số tổn thất phụ thuộc vào công suất của tụ như biểu thức sau:

$$\Delta A_{c.t} = 8760 . \sum_{i=1}^{N_c} Q_{b.i,t} . k_c \quad (4)$$

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.

2.2.2. Các ràng buộc

Thông số chế độ của LĐPP được tính toán bởi ràng buộc cân bằng công suất nút AC trong trạng thái tính toán *k* như biểu thức (5) [5].

$$\begin{aligned} P_{i,t,k}^S - k_c . Q_{b.i,t} - P_{i,t,k} &= \sum_{j=1}^{N} \left| Y_{ij} \right| . \left| U_{i,t,k} \right| . \left| U_{j,t,k} \right| . \cos(\theta_{ij} + \delta_{j,t,k} - \delta_{i,t,k}) \\ Q_{i,t,k}^S + Q_{b.i,t} - Q_{i,t,k} &= -\sum_{j=1}^{N} \left| Y_{ij} \right| . \left| U_{i,t,k} \right| . \left| U_{j,t,k} \right| . \sin(\theta_{ij} + \delta_{j,t,k} - \delta_{i,t,k}) \end{aligned} \quad (5)$$

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 (6) với hệ số tải trong trạng thái *k* là k_k; $P_{i,t}$, $Q_{i,t}$ là công suất của tải ở năm *t* với hệ số phát triển mỗi năm là k_{pt}.

$$P_{i,t,k} = P_{i,t}.k_k; \quad Q_{i,t,k} = Q_{i,t}.k_k; \quad P_{i,t} = P_{i,t-1}(1+k_{pt}); \quad Q_{i,t} = Q_{i,t-1}(1+k_{pt}) \tag{6}$$

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 (7). Trong đó, $Q^*_{c.j}$ là công suất tiêu chuẩn của loại thứ *j* và N_j là tổng số loại công suất tiêu chuẩn của tụ.

$$Q_{b.i,t} = \alpha_{j,i,t}.Q^*_{c.j}; \sum_{j=1}^{N_j}\sum_{t=1}^{T}\alpha_{j,i,t} \le 1 \tag{7}$$

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 (8) với công suất giới hạn của đường dây *ij* là $S^*_{ij,t}$.

$$S_{ij,t} \le S^*_{ij,t} \tag{8}$$

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 (9) với điện áp tại các nút nguồn giả thiết luôn là hằng số.

$$U_{\min} \le \left|U_{i,t,k}\right| \le U_{\max} \quad i \in N_L; \qquad \left|U_{i,t,k}\right| = constant \quad i \in N_S \tag{9}$$

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.

2.3. Công cụ tính toán

Mô hình tính toán được lập trình bằng ngôn ngữ lập trình The General Algebraic Modeling System (GAMS) [7] và được giải bởi BONMIN solver.

3. TÍNH TOÁN, ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ BÙ CỦA LỘ 478-E27.1 LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI TIÊN DU

3.1. Sơ đồ và thông số của lộ 478-E27.1

Lộ 478-E27.1 hiện sử dụng nhiều chủng loại dây dẫn gồm Cu-185 và AC-185 cho các trục chính, AC-95 và AC-70 cho các nhánh rẽ với tổng chiều dài là 20,3 km. Cung cấp điện cho 58 máy biến áp (MBA) với tổng công suất là 18,4 MVA, hệ số tải của các MBA khá thấp, trung bình là 0,68 và hệ số cosφ của tải trung bình chỉ là 0,83. Hiện trạng, lộ 478-E27.1 đã được lắp đặt các tụ bù cứng tại 2 vị trí với tổng dung lượng bù là 900 kVAR.

Bảng 1. *Vị trí và dung lượng bù hiện trạng.*

H. 1	H. 2 *Vị trí (nút)*	H. 3 *Dung lượng (kVAR)*
H. 4	H. 5 *9*	H. 6 *300*
H. 7	H. 8 *23*	H. 9 *600*
H. 10	H. 11 ***Tổng***	H. 12 ***900***

Công suất của các phụ tải thay đổi rất lớn trong mỗi giờ vận hành và thay đổi theo mùa trong

năm [6]. Từ dữ liệu phụ tải, biểu diễn theo các hàm phân phối xác suất chuẩn, xác định được giá trị của tải tương ứng với xác suất xuất hiện như bảng 2. Hệ số tải thay đổi từ 0,25 (trong giờ thấp điểm) đến 1 (giờ cao điểm) tương ứng xác suất thay đổi từ 0,001 đến 0,152 và hệ số tải 0,6 có xác suất lớn nhất là 0,152. Tốc độ phát triển của phụ tải của LĐPP trong giai đoạn 2021-2025 là 11.5%.

Bảng 2. *Xác suất của tải.*

H. 13 *TT*	H. 14 *Hệ số tải (k_k)*	H. 15 *Xác suất (λ_k)*	H. 16 *TT*	H. 17 *Hệ số tải (k_k)*	H. 18 *Xác suất (λ_k)*
H. 19 *1*	H. 20 *1*	H. 21 *0,001*	H. 22 *9*	H. 23 *0,6*	H. 24 *0,152*
H. 25 *2*	H. 26 *0,95*	H. 27 *0,006*	H. 28 *10*	H. 29 *0,55*	H. 30 *0,134*
H. 31 *3*	H. 32 *0,9*	H. 33 *0,012*	H. 34 *11*	H. 35 *0,5*	H. 36 *0,102*
H. 37 *4*	H. 38 *0,85*	H. 39 *0,031*	H. 40 *12*	H. 41 *0,45*	H. 42 *0,067*
H. 43 *5*	H. 44 *0,8*	H. 45 *0,056*	H. 46 *13*	H. 47 *0,4*	H. 48 *0,031*
H. 49 *6*	H. 50 *0,75*	H. 51 *0,092*	H. 52 *14*	H. 53 *0,35*	H. 54 *0,028*
H. 55 *7*	H. 56 *0,7*	H. 57 *0,126*	H. 58 *15*	H. 59 *0,3*	H. 60 *0,002*
H. 61 *8*	H. 62 *0,65*	H. 63 *0,149*	H. 64 *16*	H. 65 *0,25*	H. 66 *0,001*

3.2. Kết quả tính toán

3.2.1. Lựa chọn vị trí và dung lượng bù tối ưu

Tụ bù được chế tạo theo gam công suất tiêu chuẩn và rời rạc do đó công suất có thể lựa chọn được giả thiết như bảng 3 với hệ số tự tổn thất là 0,02%. Vị trí bù có thể lựa chọn ở tất cả các nút trên lưới. Thời gian tính toán kiểm tra là 3 năm.

Bảng 3*. Thông số của tụ bù.*

H. 67 *Gam công suất tiêu chuẩn của tụ (kVAR)*
H. 68 *60; 90; 120; 150; 300; 450; 900; 1200; 1500; 1800*

Kết quả tính toán lựa chọn được vị trí và dung lượng bù tối ưu như trên bảng 4, dung lượng bù được lựa chọn là 900 kVAR tại nút 28 và 47, và được lựa chọn ở ngay năm đầu tiên. Tổng dung lượng của tụ bù là 1800 kVAR và ở các vị trí xa nguồn, điều này sẽ nâng cao hiệu quả bù do giảm được CSPK truyền tải trên đường dây.

Bảng 4. *Vị trí và dung lượng bù tối ưu.*

H. 69	H. 70 *Vị trí (nút)*	H. 71 *Dung lượng (kVAR)*
H. 72	H. 73 *28*	H. 74 *900*
H. 75	H. 76 *47*	H. 77 *900*
H. 78	H. 79 ***Tổng***	H. 80 ***1800***

3.2.2. So sánh hiệu quả bù hiện trạng và bù tối ưu của LĐPP

So sánh vị trí và dung lượng bù tối ưu với các thiết bị bù hiện trạng trong mục 3.1 cho thấy, vị trí được lựa chọn là các vị trí xa nguồn hơn và dung lượng cũng lớn hơn. Tổng dung lượng được lựa chọn là 1800 kVAR so với 900 kVAR hiện trạng, tăng tương ứng 200%. Dung lượng bù lớn hơn và ở xa nguồn có thể giảm được tổn thất công suất và tổn thất điện năng khi tải lớn. Tuy nhiên, trong giờ thấp điểm dung lượng bù lớn và ở xa nguồn có thể quá bù và làm tăng tổn thất do CSPK thừa truyền tải ngược về nguồn. Do đó, cần tính toán kiểm tra trong mọi chế độ vận hành và suốt thời gian tính toán.

Kết quả tính toán tổn thất điện năng trong thời gian 3 năm được trình bày trên bảng 5 cho thấy, tổn thất điện năng của lộ 478-E27.1 khá lớn, khoảng 4,89% khi không bù và khoảng 3,89% khi sử dụng tụ bù hiện trạng với dung lượng bù là 900 kVAR tại nút 9 và nút 23 là những nút gần

nguồn. Lượng tổn thất điện năng giảm được là 1% do tỷ lệ bù thấp và được lắp đặt ở những nút gần nguồn.

Bảng 5. *So sánh tổn thất điện năng.*

H. 81 *TT*	H. 82 *Không bù (%)*	H. 83 *Hiện trạng (%)*	H. 84 *Bù tối ưu (%)*
H. 85 *1*	H. 86 *4,89*	H. 87 *3,89*	H. 88 *3,65*

Trong trường hợp bù tối ưu, tổng dung lượng bù tăng lên là 1800 kVAR được lắp đặt tại nút 28 và nút 47 là những nút xa nguồn, mỗi vị trí sử dụng loại tụ thứ 7 với dung lượng là 900 kVAR. Khi đó, tổn thất điện năng chỉ còn 3,65% giảm được so với không bù là 1,24% và so với bù hiện trạng đã giảm được 0,24%.

Ngoài ra, điện áp nút trong mọi chế độ vận hành của LĐPP cũng được xác định, điện áp tại các nút trong mọi trạng thái phụ tải đều đảm bảo yêu cầu với điện áp thấp nhất luôn lớn hơn 0,9 pu. Một trong các yêu cầu để đảm bảo vận hành của lưới điện là phải đảm bảo công suất truyền tải của các thiết bị trong mọi giờ vận hành của suốt thời gian tính toán. Yêu cầu này được đảm bảo trong chương trình và kết quả tính toán kiểm tra cho thấy, công suất truyền tải trên tất cả các đường dây đều đảm bảo yêu cầu, công suất lớn nhất chỉ đạt 68,1% công suất giới hạn trên đoạn đường dây 1-2 trong khi công suất truyền tải trên đoạn 37-38 chỉ 0,87%.

Kết quả tính toán trên cho thấy, các thiết bị bù hiện trạng của lộ 478-E27.1 đã giảm được tổn thất điện năng của lưới điện, tuy nhiên, khi công suất tải tăng trong tương lai hiệu quả bù của thiết bị hiện trạng giảm. Khi áp dụng mô hình qui hoạch ngẫu nhiên để lựa chọn vị trí và dung lượng bù của tụ điện đã nâng cao được hiệu quả bù của lộ 478-E27.1. Kết quả này có được là do mô hình xét đến tất cả các trạng thái có thể xuất hiện của tải đồng thời xét đến sự tăng trưởng của tải trong tương lai. Ngoài ra, gam công suất tiêu chuẩn của tụ điện được lựa chọn tối ưu từ mô hình đã giảm sai số và đáp ứng được thiết bị trong thực tiễn, thông số chế độ và khả năng tải của LĐPP cũng được đảm bảo đồng thời bởi các ràng buộc, do đó, LĐPP luôn đảm bảo vận hành trong suốt thời gian tính toán.

4. KẾT LUẬN

Dựa trên phương pháp qui hoạch ngẫu nhiên, nghiên cứu này đã tính toán áp dụng cho lộ 478-E27.1 thuộc LĐPP Tiên Du, từ đó đánh giá hiệu quả của các thiết bị bù hiện trạng và đề xuất giải pháp lựa chọn vị trí, dung bù tối ưu nhằm nâng cao hiệu quả vận hành của đường dây này. Kết quả tính toán đã cho thấy, mô hình bù tối ưu xét đến thông số ngẫu nhiên của tải phù hợp với LĐPP, đảm bảo yêu cầu của hệ thống, công suất và vị trí bù được lựa chọn tối ưu, chương trình tính toán đơn giản, dễ áp dụng. Thiết bị bù hiện trạng có thể giảm tổn thất công suất và tổn thất điện năng của LĐPP. Tuy nhiên, hiệu quả bù không cao do dung lượng bù nhỏ và vị trí bù được lựa chọn ở gần nguồn. Vị trí cần lựa chọn xa nguồn hơn, dung lượng bù lớn hơn có thể nâng cao được hiệu quả của giải pháp bù đồng thời khả năng tải của máy biến áp nguồn và đường dây luôn được đảm bảo, độ lệch điện áp tại tất cả các nút trong mọi giờ vận hành, trong mọi mùa và ở tất cả các năm tính toán được đảm bảo theo yêu cầu.

Tuy vậy, mô hình trên sử dụng hàm mục tiêu là cực tiểu tổn thất điện năng mà chi phí đầu tư tụ điện là một chỉ tiêu quan trọng chưa được xét đến, vì vậy, trong các nghiên cứu tiếp theo cần xét đến chi phí của tụ điện cũng như giá điện nhằm nâng cao hiệu quả kinh tế của phương án bù.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. S.M.G.Mostafa, J.G.Singh, H.M. E.Haque, *"An Extensive Literature Review and New Proposal on Optimal Capacitor Placement in Distribution Systems"*, Journal of Engineering Advancements, Vol.01(2020), pp.150-169.

[2]. M.Dixit, P.Kundu, H. R.Jariwala, *"Optimal Allocation and Sizing of Shunt Capacitor in Distribution System for Power Loss Minimization*", 2016SCEECS, India (2016).

[3]. T.Jayabarathia, T.Raghunathana, Xin-SheYang, *"Optimal capacitor placement in radial distribution systems using flower pollination algorithm",* Alexandria Engineering Journal, Vol.57 (2018), pp.2775-2786.
[4]. Vũ Văn Thắng, Bạch Quốc Khánh, *"Ảnh hưởng của tải ngẫu nhiên tới tổn thất điện năng trong lưới điện phân phối"*, Tạp chí KH&CN, Đại học Thái Nguyên, Số 176(2017), tr.97-102.
[5]. Vũ Văn Thắng, Nguyễn Văn Viên, Triệu Đức Tụng, *"Tính toán vị trí và dung lượng bù tối ưu trong lưới điện trung áp xét đến tính ngẫu nhiên của phụ tải",* Tạp chí KH&CN, Đại học Thái Nguyên, Số 195(2019), tr.55-60.
[6]. Báo cáo kỹ thuật, Điện lực Tiên Du, Bắc Ninh (2019).
[7]. GAMS 20.5, *"A User's Guide",* GAMS Development Corporation (1998).

ABSTRACT

APPLICATIONS OF STOCHASTIC PROGRAMMING MODEL TO EVALUATE THE EFFICIENCY OF CAPACITORS IN TIEN DU DISTRIBUTION SYSTEM

This study introduces a stochastic programming model, which can select the optimal placement and capacity of the capacitors, applied to evaluate the reactive power compensation efficiency of the Tien Du distribution system. This model has improved the accuracy of the calculation results by considering the uncertain of the loads represented by the probability distribution function while reducing the computational burden. The operation parameters of the distribution system are always guaranteed by constraints while the capacity of the capacitors selected under the standard values. Therefore, the stochastic programming model can be applied to large-scale systems which are consistent with distribution systems in reality.

Keywords: Stochastic programming model; Distribution system; Reactive power compensation.

Nhận bài ngày 30 tháng 3 năm 2021
Hoàn thiện ngày 05 tháng 8 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 05 tháng 9 năm 2021

Địa chỉ: Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp.
*Email: thangvvhtd@tnut.edu.vn.