

ĐÁNH GIÁ TỔN THẤT ĐIỆN NĂNG TRONG MẠNG ĐIỆN PHÂN PHỐI CÓ XÉT ĐẾN CÁC ĐẶC TÍNH NGẪU NHIÊN CỦA PHỤ TẢI

TRẦN QUANG KHÁNH

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vấn đề xác định tổn thất trong mạng điện, đặc biệt đối với mạng điện đang vận hành, là một trong những bài toán phức tạp, vì trong thực tế các tham số chế độ như công suất, dòng điện, điện áp ..., phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố và luôn luôn biến đổi theo thời gian. Để có đủ lượng thông tin cần thiết cho việc tính toán tổn thất theo các phương pháp truyền thống, cần phải có nhiều thiết bị đo đếm mắc trên các điểm nút, điều đó gây tốn kém và khó có thể đảm bảo được độ chính xác cần thiết. Bởi vậy việc áp dụng phương pháp tính thích hợp không chỉ cho phép nâng cao độ chính xác của phép tính mà còn tiết kiệm được thời gian và cả công sức nữa. Bài viết này giới thiệu một phương pháp xác định tổn thất điện năng trên cơ sở kết hợp các thuật toán mô hình hoá và giải tích mạng điện với các nguyên lý xác suất thống kê nhằm khắc phục những khó khăn thường gặp trong mạng điện thực tế.

2. NỘI DUNG PHƯƠNG PHÁP

Như đã biết phụ tải điện là đại lượng ngẫu nhiên, chịu tác động của rất nhiều yếu tố, vì vậy tổn thất điện năng cũng là đại lượng ngẫu nhiên, do đó để có thể xác định được một cách chính xác và tin cậy chỉ có thể kết hợp các phương pháp giải tích với việc áp dụng các phương pháp phân tích xác suất thống kê. Xét một mạng điện phân phối bao gồm các đường dây và các trạm biến áp, chúng ta sẽ xây dựng phương pháp xác định tổn thất trong các phần tử của mạng điện này.

2.1. Tổn thất trên đường dây

Lượng tổn thất điện năng trên đường dây có thể xác định bằng lượng tổn thất tương đương gây ra bởi dòng điện trung bình không đổi trong suốt thời gian khảo sát chạy trong mạng điện đang trị theo biểu thức.

$$\Delta A_d = 3 M(I^2) R_{dt} \cdot T \cdot 10^{-3}, \text{ kWh}; \quad (1)$$

trong đó: $M(I^2)$ - kỳ vọng toán bình phương dòng điện; R_{dt} - điện trở đẳng trị của mạng điện, Ω ; T - khoảng thời gian xét, h.

Theo lý thuyết xác suất thống kê ta có:

$$M(I^2) = [M(I)]^2 + \sigma^2; \quad (2)$$

$M(I)$ và σ^2 - kỳ vọng toán và phương sai của dòng điện; σ - độ lệch trung bình bình phương hay độ lệch quân phương.

Giá trị của kỳ vọng toán dòng điện chạy trong mạng có thể xác định dễ dàng theo các chỉ số của các công tơ tại đầu lộ ra của trạm biến áp trung gian.

$$M(I) = \sqrt{\frac{A_r^2}{3U_{tb}^2 \cos^2 \varphi^2 T^2}}; \quad (3)$$

A_r - điện năng tác dụng xác định theo chỉ số của các công tơ đầu nguồn, kWh; $\cos \varphi$ - hệ số công suất trung bình; U_{tb} - điện áp trung bình của mạng điện, kV.

Theo quy tắc "Ba xích ma" thì giá trị dòng điện cực đại I_M được xác định theo biểu thức:

$$I_M = M(I) + 3\sigma \quad (4)$$

Từ đó suy ra:

$$\sigma = \frac{I_M - M(I)}{3}$$

Hệ số biến động:

$$k_v = \frac{\sigma}{M(I)} = \frac{I_M - M(I)}{3M(I)} \quad (5)$$

Phương sai dòng điện có thể biểu thị qua hệ số biến động k_v của phụ tải theo biểu thức:

$$\sigma^2 = [M(I)]^2 \cdot k_v^2; \quad (6)$$

Thay giá trị của các tham số tương ứng vào (1) với một vài biến đổi đơn giản ta được giá trị tổn thất điện năng tác dụng trên đường dây là:

$$\Delta A_d = 3[M(I)]^2 (1 + k_v^2) R_d \cdot T \cdot 10^{-3}, \text{ kWh}. \quad (7)$$

Để xác định điện trở đẳng trị của mạng điện trước hết ta biểu thị:

$$\Delta P = 3I^2 r_0 l \cdot 10^{-3}, \text{ kW} \quad (8)$$

Hao tổn điện áp trên đường dây được xác định theo công thức:

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} I (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) l}{10 \cdot U}; \quad (9)$$

trong đó: U - Điện áp của mạng điện, kV; r_0, x_0 - Suất điện trở tác dụng và phản kháng của đường dây; l - Chiều dài đường dây, km.

Nếu đặt

$$k_s = \cos \varphi + \frac{x_0}{r_0} \sin \varphi; \quad (10)$$

Thì biểu thức (9) có thể viết là:

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} I l r_0 k_s}{10 \cdot U};$$

hay:

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} I \cdot R \cdot k_s}{10 \cdot U} \quad (11)$$

Từ đó ta rút ra:

$$\Delta P = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U \% \cdot U I \cdot 10^{-2}}{k_s} \quad (12)$$

Đối với đường dây phân nhánh (hình 1):

Thay các giá trị $r_0 = \frac{\rho}{F}$; $l = j \cdot F$

và
$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cos \varphi}; \quad (13)$$

Với một vài biến đổi đơn giản (8) sẽ trở thành

$$\Delta P = \frac{\sqrt{3} \cdot j P l \rho 10^{-3}}{U \cos \varphi}; \quad (14)$$

trong đó:

- ρ - Điện trở suất của dây dẫn,
- j - Mật độ dòng điện, A/mm²;
- F - Tiết diện dây dẫn, mm²;
- P - Công suất truyền tải, kW.

Tổng hao tổn công suất trong toàn mạng sẽ là:

$$\Delta P_{\Sigma} = \frac{\sqrt{3} \cdot j \rho \cdot 10^{-3} \sum^n P_i l_i}{U \cos \varphi}, \text{ kW}; \quad (15)$$

trong đó: P_i, l_i - Công suất truyền tải và độ dài của đoạn dây thứ i ; n - Số đoạn dây trong mạng.

Tổng mô men tải của mạng điện được xác định theo biểu thức [4]:

$$M = \sum^n P_i l_i = \psi \cdot \gamma \cdot a^3 = \psi \cdot P_M \cdot a; \quad (16)$$

$P_M = \gamma a^2$ - Tổng công suất tính toán của toàn mạng [4], kW; γ - Mật độ phụ tải, kW/km²;
 a - Cạnh hình vuông đẳng trị (hình có diện tích bao trùm mạng điện), km; ψ - Hệ số phân nhánh đường dây, phụ thuộc vào cấu trúc của lưới và sự phân bố phụ tải, có thể xác định

$$\psi = \frac{\sqrt{2} M}{P_M L};$$

M - Tổng mô men tải của toàn bộ mạng điện, $M = \sum P_i \cdot l_i$; L - Chiều dài đường trục chính, km.

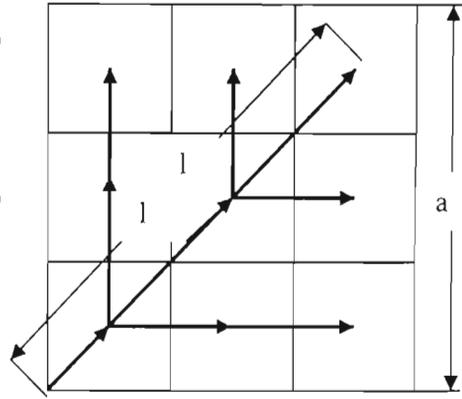
Thay (16) vào (15) ta sẽ được:

$$\Delta P_{\Sigma} = \frac{\sqrt{3} \cdot \psi \cdot j \rho \cdot 10^{-3} P_M a}{U \cos \varphi}; \quad (17)$$

Mặt khác, hao tổn điện áp cục đại từ đầu lộ ra đến điểm cuối của đường trục chính được xác định theo biểu thức (9) với l là chiều dài của đường trục. Nếu thay các giá trị của l và r_0 ở (13) vào (11) ta sẽ được:

$$\Delta U_{\Sigma} \% = \frac{\sqrt{3} \cdot j \rho \cdot l k_s}{10 \cdot U} \% ; \quad (18)$$

Từ đây rút ra
$$l = \frac{\Delta U_{\Sigma} \% \cdot U \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot j \rho k_s}, \text{ km}; \quad (19)$$



Hình 1. Sơ đồ mạng điện phân nhánh

Có thể coi giá trị: $a \cong \frac{l}{\sqrt{2}}$; (20)

Thay (19) và (20) vào (17) với một vài biến đổi đơn giản ta sẽ được:

$$\Delta P_{\Sigma} = \frac{\psi \cdot P_M \Delta U_{\Sigma} \% \cdot 10^{-2}}{\sqrt{2} \cdot k_s \cos \varphi}; \quad (21)$$

Thay $P_M = \sqrt{3}U \cdot I_M \cos \varphi$ vào (21);

và đặt $k_p = \frac{\sqrt{3} \cdot \psi}{\sqrt{2} \cdot k_s}$; (22)

I_M - Dòng điện cực đại chạy trên đầu lộ ra. A.

Hao tổn công suất trong mạng điện. khi đó được xác định theo biểu thức:

$$\Delta P_{\Sigma} = k_F U_{tb} \cdot I_M \Delta U_{\Sigma} \% \cdot 10^{-2}, \text{ kW}; \quad (23)$$

Với: $k_F = \sqrt{1.5} \frac{\psi}{k_s}$; (24)

Nếu giả thiết mạng điện đẳng trị có điện trở R_{dt} với dòng điện đầu lộ I_M gây tổn thất công suất đúng bằng giá trị thực tế: $\Delta P_{\Sigma} = 3I_M^2 R_{dt} \cdot 10^{-3}, \text{ kW}$

Từ đó ta có thể biểu thị giá trị điện trở đẳng trị theo biểu thức:

$$R_{dt} = \frac{k_F U_{tb} \cdot \Delta U_{\Sigma} \% \cdot 10}{3I_M}, \Omega. \quad (25)$$

Như vậy với việc áp dụng biểu thức (7) ta có thể xác định được giá trị tổn thất điện năng trên đường dây với lượng thông tin tối thiểu, mà có thể thu thập rất dễ dàng trong điều kiện thực tế ở mạng điện phân phối của nước ta.

2.2. Tổn thất trong các máy biến áp

Để đơn giản trong tính toán ta thay tất cả các máy biến áp bằng một máy đẳng trị có công suất bằng tổng các công suất định mức của các máy. Tổn thất trong các máy biến áp tiêu thụ gồm 2 thành phần: thay đổi và cố định. Thành phần thay đổi được xác định tương tự như đối với đường dây theo biểu thức (7) với kỳ vọng toán dòng điện chạy qua biến áp đẳng trị là:

$$M(I)_{ba} = \sqrt{\frac{A_{r2}^2}{3U_{tb2}^2 \cos^2 \varphi T^2}}; \quad (26)$$

trong đó: A_{r2} , - Điện năng tác dụng ở cuối mạng đẳng trị;

$$A_{r2} = A_r - \Delta A_d; \quad (27)$$

U_{tb2} , - Điện áp trung bình ở cuối đường dây, kV.

Điện trở đẳng trị của các máy biến áp được xác định theo biểu thức:

$$R_{dtH} = \frac{U_n^2 \sum_{r=1}^m \Delta P_{kr} \cdot 10^3}{\left(\sum_{r=1}^m S_{nr} \right)^2}, \quad (28)$$

U_n - Điện áp định mức của các máy biến áp, kV; S_{ni} - Công suất định mức của điện áp thứ i , kVA; ΔP_{ki} - Hao tổn ngắn mạch của biến áp thứ i ; m - Số lượng máy biến áp tiêu thụ.

Vậy tổn thất điện năng tác dụng trong các cuộn dây của các máy biến áp là:

$$\Delta A_{cu} = 3[M(I)_b]^2 (1 + k_v^2) R_{dB} T \cdot 10^{-3}, \text{ kWh.} \quad (29)$$

Thành phần tổn thất cố định hay tổn thất trong lõi thép của các biến áp được xác định theo biểu thức:

$$\Delta A_{Fe} = \frac{U_{th2}^2}{U_n^2} T \sum_{i=1}^m \Delta P_{0i} \cdot \text{kWh} \quad (30)$$

ΔP_{0i} - hao tổn không tải của biến áp thứ i , kW.

Tổng tổn thất điện năng tác dụng trong mạng phân phối là:

$$\Delta A_{\Sigma} = \Delta A_d + \Delta A_{cu} + \Delta A_{Fe}. \quad (31)$$

Như vậy việc tính toán tổn thất điện năng ở đây chỉ cần dựa vào các dữ kiện về lượng điện năng tiêu thụ tại đầu vào, dòng điện cực đại của mạng và mức chênh lệch điện áp giữa đầu và cuối đường trục chính. Các thông số này có thể xác định rất dễ dàng bằng các thiết bị đo thông dụng. Điều đó cho phép giảm đáng kể thời gian thu thập và xử lý số liệu đồng thời nâng cao độ chính xác của phép tính.

3. BÀI TOÁN ÁP DỤNG

Để thấy rõ ưu điểm của phương pháp xác định tổn thất điện năng vừa trình bày, chúng ta áp dụng tính toán tổn thất cụ thể cho một mạng điện thực tế hình 2, với số liệu đo đếm tại lộ ra một trạm biến áp như sau: điện năng tiêu thụ trong một năm (8760 h) là $A_T = 6037115$ kWh, dòng điện lớn nhất tại đầu lộ ra $I_{\max} = 140.78$ A; Điện áp định mức $U_n = 10$ kV, hao tổn điện áp tính đến điểm cuối đường trục (điểm 4) là $\Delta U\% = 5.64\%$, hệ số công suất trung bình $\cos\varphi = 0.815$. Chiều dài và mã hiệu dây dẫn của các đoạn cho trong bảng 1, công suất đặt và hệ số mang tải trung bình của các máy biến áp được thể hiện trong bảng 2 sau:

Bảng 1. Các số liệu về đường dây

đoạn	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	1 - 5	5 - 6	2 - 7	7 - 8	8 - 9	3 - 10	10 - 11	10 - 12	4 - 13
l, km	2,2	1,6	2,8	2,5	2,3	1,8	2,1	2,2	1,8	2,1	3,2	2,6	3,7
AC	120	120	95	95	50	50	70	70	50	50	35	35	35

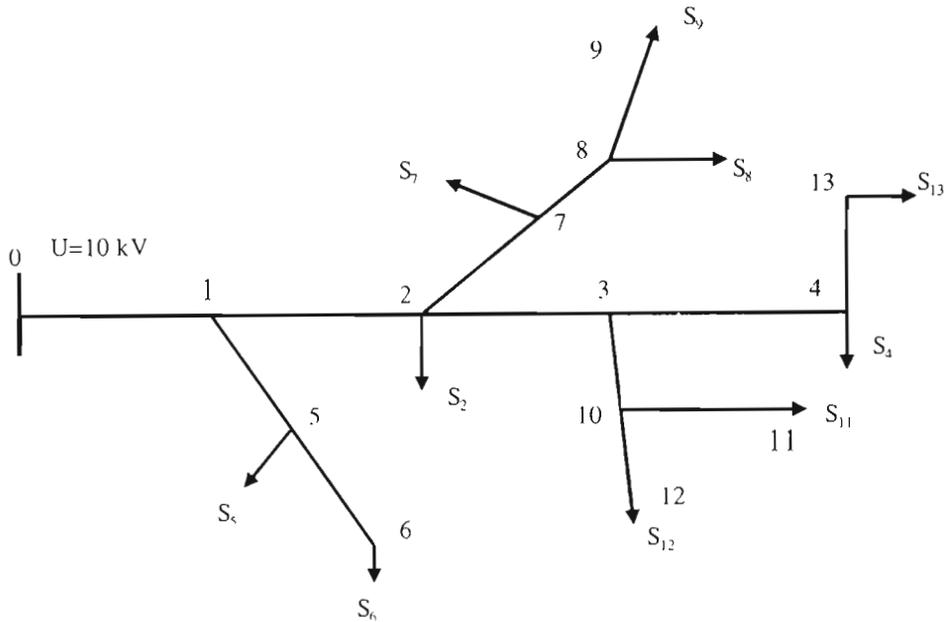
Bảng 2. Công suất đặt và hệ số mang tải của các trạm biến áp tiêu thụ

TBA	2	4	5	6	7	8	9	11	12	13
S, kVA	320	180	100	180	180	560	320	560	320	180
k_{mt}	0,74	0,65	0,68	0,68	0,72	0,75	0,76	0,68	0,81	0,84
$\cos\varphi$	0,82	0,85	0,80	0,78	0,83	0,84	0,80	0,78	0,82	0,85

Giải: Hệ số phân nhánh xác định theo giá trị mô men tải: $\Psi = 1,42$. ($M = \sum P_i \cdot l_i = 18206,67$ kW.km);

Các kết quả tính toán các tham số được biểu thị trong bảng sau:

k_s	k_F	k_v	ΔP_{Σ} , kW	$R_{dt\ dd}$, Ω	$R_{dt\ BA}$, Ω	$M(I)_{dd}$, A	$M(I)_{BA}$, A
1,20	1,45	0,60	115,28	1,94	0.568	50,21	51,717



Hình 2. Sơ đồ mạng điện phân phối

Áp dụng chương trình MATLAB với cú pháp hết sức đơn giản để giải bài toán, các kết quả tính toán tổn thất điện năng theo hai phương pháp được ghi trong bảng 3 sau:

Bảng 3. Kết quả tính toán tổn thất điện năng theo các phương pháp khác nhau

Tổn thất ở các phần tử, kWh	ΔA_d	ΔA_{cu}	ΔA_{Fe}	ΔA_{Σ}	$\Delta A\%$
Phương pháp xác suất	166420	46930	154670	368020	6,09
Phương pháp truyền thống	181753,85	43491,79	173710,80	398956,4	6,61

4. ĐÁNH GIÁ PHƯƠNG PHÁP

Để đánh giá mức độ chính xác của phương pháp, chúng ta so sánh với kết quả tính toán theo phương pháp truyền thống (bảng 4).

Căn cứ vào hệ số điền kín đồ thị: $k_{dk} = I_b/I_M = 50,21/140,78 = 0,36$ có thể xác định thời gian sử dụng công suất cực đại là: $T_M = k_{dk} \cdot 8760 = 0,36 \cdot 8760 = 3130$ h.

Thời gian tổn thất cực đại: $\tau = (0,124 + T_M \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = (0,124 + 0,313)^2 \cdot 8760 = 1673$ h.

Bảng 4. Kết quả tính toán tổn thất theo phương pháp truyền thống

Đoạn dây	Đường dây					Máy biến áp				
	l	P	Q	ΔP	$\Delta A = \Delta P \cdot \tau$	S	Hao tổn c. suất kW		Tổn thất điện năng, kWh	
0-1	2,2	1987,53	1397,25	35,06	58665,90	S kVA				
1_2	1,6	1519,93	1367,70	18,06	30219,80					
2_3	2,8	820,30	702,11	10,77	18021,44	S_n	ΔP_o	ΔP_k	ΔA_{cu}	ΔA_{Fe}
3_4	2,5	290,55	203,41	1,04	1740,23	320	1,9	6,2	5665,11	16644
1_5	2,3	210,29	184,80	1,17	1957,76	180	1,6	3	2114,955	14016
5_6	1,8	145,00	129,82	0,44	736,25	100	0,73	2,4	1851,75	6394,8
2_7	2,1	746,19	602,36	8,88	14858,90	180	1,6	3	2314,687	14016
7_8	2,2	687,11	536,61	7,69	12867,68	180	1,6	3	2595,012	14016
8_9	1,8	264,10	224,57	1,41	2359,35	560	3,5	7,4	6945,563	30660
3_10	2,1	656,14	576,72	10,42	17435,79	320	1,9	6,2	5975,47	16644
10_11	3,2	447,70	401,08	9,83	16448,54	560	3,5	7,4	5709,561	30660
10_12	2,6	264,10	224,57	2,66	4450,98	320	1,9	6,2	6787,579	16644
4_13	3,7	157,60	114,41	1,19	1991,23	180	1,6	3	3532,1	14016
Σ	32	8196,54	6665,4	108,6	181753,85	2900	19,83	47,8	43491,79	173710,8

Tổng tổn thất $\Delta A_{\Sigma} = \Delta A_d + \Delta A_{cu} + \Delta A_{Fe} = 181753,85 + 43491,79 + 173710,8 = 398956,4$ kWh

Dựa trên các kết quả thu được từ 2 phương pháp ta tiến hành đánh giá sai số giữa các phương pháp:

$$s\% = \frac{|\Delta A_1 - \Delta A_2|}{\Delta A_2} \cdot 100 = \frac{|368020 - 398956,4|}{398956,4} \cdot 100 = 7,63\%$$

Kết quả tính toán trên cho thấy sai số giữa 2 phương pháp là không đáng kể, điều đáng nói là khối lượng tính toán theo phương pháp truyền thống lớn hơn rất nhiều so với phương pháp xác suất thống kê. Trên cơ sở phân tích chúng ta thấy để giải bài toán theo phương pháp này chỉ cần có số liệu về lượng điện năng tiêu thụ trong thời gian xét, giá trị cực đại của dòng điện tại đầu tuyến dây và độ chênh lệch điện áp giữa điểm đầu và điểm cuối của đường trục. Đây là những thông tin có thể nhận được khá dễ dàng trong quá trình vận hành mạng điện. Các thông tin về mã hiệu dây dẫn và máy biến áp đã được lưu trữ sẵn đối với mỗi mạng điện. Như vậy phương pháp xác định tổn thất theo các đặc tính xác suất thống kê cho phép tiết kiệm rất đáng kể

về công sức, chi phí và thời gian. Để nâng cao độ chính xác của phương pháp các dữ liệu về cấu trúc mạng điện và sự phân bố phụ tải phải được cập nhật thường xuyên.

5. KẾT LUẬN

Vấn đề xác định tổn thất điện năng trong mạng điện đang vận hành là bài toán phức tạp, đòi hỏi phải có lượng thông tin đủ lớn và chính xác, do đó việc xây dựng một phương pháp tính toán thích hợp là hết sức cần thiết.

Bài toán xác định hao tổn công suất trong mạng điện phân phối dựa trên cơ sở so sánh mức chênh lệch điện áp tại điểm đầu và điểm cuối của đường trục cho phép giảm đáng kể lượng thông tin ban đầu mà vẫn đảm bảo được độ chính xác cần thiết.

Phương pháp xác định tổn thất điện năng theo các đặc tính ngẫu nhiên chỉ cần sử dụng lượng thông tin tối thiểu về công suất, dòng điện và điện áp ở chế độ phụ tải cực đại, vì vậy cho phép giảm đáng kể khối lượng tính toán và khối lượng dữ kiện ban đầu, điều đó cho phép tiết kiệm công sức, thời gian và chi phí.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Hadi Saada - Power System Analysis, WCB/McGraw-Hill International Edition, 1999.
2. James J. Burke - Power Distribution Engineering: Fundamentals and Applications, Marcel Dekker, Inc., 1994.
3. Gonen T. - Electrical Power Distribution Systems Engineering, McGraw-Hill Book Company, New York, 1986.
4. Будзко И. А., Левин М. С. - Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий и населенных пунктов. М., Агропромиздат, 1985.
5. Trần Quang Khánh - Quy hoạch điện nông thôn, Đại học Nông nghiệp I Hà Nội, 2003.

SUMMARY

EVALUATING THE LOSS OF THE ELECTRIC POWER IN DISTRIBUTION NETWORKS BASING ON THE RANDOM CHARATERS OF ELETRIC LOADS

The paper presents the method of evaluating the loss of the electric power in distribution networks that bases on the random charaters of eletric loads. This method requires the minimum information about the current, capacity and vottage which are measured at the maximum regime of load. It allows to reduce the bias, at the same time to reduce the time and cost for collecting data and data processing. By applying MATLAB software, the method becomes much easier to be used. The results of applying this method in reality shows that the problems is not only solved in a very short time but also at high accuration.

Địa chỉ:

Nhận bài ngày 15 tháng 5 năm 2008

Khoa Điện, Trường Đại học Điện lực.