

NGHIÊN CỨU TỐI ƯU GIÁ TRỊ HỆ SỐ TĂNG TỐC TRONG PHƯƠNG PHÁP LẬP
GAUSS-SEIDEL CHO BÀI TOÁN PHÂN BỐ DÒNG CÔNG SUẤT
CỦA LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI

OPTIMIZATION OF ACCELERATION FACTOR IN GAUSS-SEIDEL METHOD
FOR DISTRIBUTION GRID LOAD FLOW

Nguyễn Ngọc Trung, Trần Anh Tùng

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 08/6/2022, Ngày chấp nhận đăng: 16/8/2022, Phản biện: PGS.TS. Lê Đức Tùng

Tóm tắt:

Bài toán phân bố dòng công suất là một trong những bài toán quan trọng và được ứng dụng phổ biến nhất trong ngành điện. Cho đến nay, các phương pháp lặp được sử dụng để giải bài toán này đã được đưa vào tất cả các phần mềm tính toán về hệ thống điện, phổ biến nhất là Gauss-Seidel và Newton-Raphson. Có nhiều công trình nghiên cứu nhằm tối ưu các phương pháp lặp này ở hai mục tiêu: độ chính xác và tốc độ hội tụ. Gauss-Seidel có điểm yếu là tốc độ hội tụ chậm, vì vậy, đã có nhiều nghiên cứu nhằm cải thiện việc này, điển hình là việc tối ưu hóa hệ số tăng tốc trong thuật toán. Tuy nhiên, giá trị của hệ số tăng tốc thường được đề nghị trong một khoảng số thực. Vì vậy, bài báo này hướng đến việc đưa ra một giá trị thực của hệ số tăng tốc cho từng lưới điện phân phối trước khi thực hiện tính toán phân bố dòng công suất.

Từ khóa:

Gauss-Seidel, phương pháp lặp, hệ số tăng tốc, phân bố dòng công suất.

Abstract:

The load flow calculation is one of the most important and commonly applied problems in the power system. To date, the iterative methods used to solve this problem have been incorporated into all power system software, most commonly Gauss-Seidel and Newton-Raphson. There are many research works to optimize these iterative methods in two objectives: accuracy and convergence speed. Gauss-Seidel has a weakness of slow convergence, so there have been many studies to improve this, typically optimizing the acceleration factor in the algorithm. However, the value of the acceleration factor is usually recommended in a range. Therefore, this article aims to give a fix value of the acceleration factor for each distribution grid before performing the power flow.

Keywords:

Gauss-Seidel, iterative method, acceleration factor, load flow.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Bài toán phân bố dòng công suất là một bài toán rất cơ bản của hệ thống điện. Bài

toán có nhiệm vụ xác định các thông số điện của lưới, bao gồm điện áp nút, dòng hay công suất nhánh (nút) và các đại

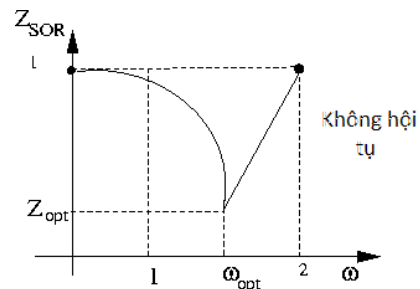
lượng dẫn xuất khác như tổn thất công suất, tổn thất điện áp, các đặc trưng về khả năng tải và ổn định... Bài toán này phục vụ công tác quy hoạch, thiết kế lưới điện, điều độ vận hành, và là cơ sở cho lớp bài toán phân tích hệ thống điện (power system analysis) bao gồm tính toán ngắn mạch, ổn định, phân tích sự cố (contingency analysis), hay tính toán các thông số điều chỉnh điều khiển chế độ, tối ưu hóa chế độ làm việc...

Năm 1823, Gauss đã đề cập đến một phương pháp để giải quyết hệ phương trình đại số tuyến tính. Phương pháp này được xem là phương pháp lặp đầu tiên được phát triển [1]. Năm 1847, Seidel công bố một nghiên cứu về việc cải tiến phương pháp lặp Jacobi [2]. Tuy nhiên, Seidel nhận ra đây chính là phương pháp lặp mà Gauss đã đưa ra trước đó, vì vậy phương pháp này còn được gọi là Gauss-Seidel. Phương pháp lặp Gauss-Seidel có ưu điểm là lặp trình đơn giản hơn, chỉ cần một vector x để chứa mọi xấp xỉ nghiệm. Về tốc độ hội tụ, phương pháp lặp Gauss-Seidel cho tốc độ hội tụ cao hơn phương pháp lặp Jacobi trong một số trường hợp. Phương pháp lặp Gauss-Seidel là sự khởi đầu cho hàng loạt các phương pháp lặp được hình thành ở nửa sau của thế kỉ XX (phương pháp Richardson, phương pháp Liebmann [3]). Tuy nhiên, một số nghiên cứu khi ứng dụng phương pháp Gauss-Seidel vào các lưới điện thực tế đã cho thấy tốc độ kém của phương pháp này đối với các lưới điện có số lượng nút lớn [4]. Các phương pháp Gauss-Seidel song song (Parallel Gauss-Seidel method) góp một

phần giải quyết điểm yếu này. Phương pháp này trước hết sẽ chia nhỏ ma trận tổng dẫn Y thành các khối ma trận nhỏ hơn nằm dọc theo đường chéo chính (Block-Diagonal-Bordered form) thông qua các phương pháp phân tích ma trận (Node-tearing method) như phương pháp Diakoptic [5], [6]. Sau đó phương pháp Gauss-Seidel được sử dụng để giải quyết từng ma trận con này. Một phương pháp cải thiện tốc độ thuật toán khác cũng đã được nghiên cứu là cách dùng hệ số tăng tốc. Kỹ thuật này còn có tên gọi là SOR (Successive Over Relaxation) [7]. Kỹ thuật này, ở bước lặp tiếp theo, thay vì sử dụng trực tiếp véc tơ xấp xỉ nghiệm vừa thu được ở bước lặp trước, véc tơ xấp xỉ sau được sử dụng:

$$x_{\alpha}^{r+1} = x_{\alpha}^r(1 - \alpha) + \alpha x^{r+1} \quad (1)$$

Kỹ thuật này chỉ giúp bài toán hội tụ khi giá trị α (hệ số tăng tốc) thỏa mãn $0 < \alpha < 2$. Trong khoảng giá trị này, nếu ta chọn $\alpha=1$ ta có thuật toán Gauss-Seidel gốc, $\alpha>1$ ta có kỹ thuật over-relaxation (SOR), $\alpha<1$ ta có kỹ thuật under-relaxation. Tuy nhiên kỹ thuật thường được sử dụng là SOR do khả năng tăng tốc cao hơn. Khả năng tăng tốc của 2 kỹ thuật được thể hiện qua hình 1.



Hình 1. Khả năng tăng tốc của các kỹ thuật

Eiermann và cộng sự [8] đã đưa ra một công thức thực nghiệm được coi là công thức nền tảng cho việc tối ưu hóa hệ số tăng tốc như sau:

$$\alpha = \frac{2}{1 + \sqrt{1 - [\rho(B)]^2}} \quad (2)$$

Trong đó,

$\rho(B)$: trị tuyệt đối lớn nhất của các giá trị riêng ma trận B;

$B = D^{-1} * (L + U)$: với D, L, U lần lượt là ma trận đường chéo, ma trận tam giác trên và ma trận tam giác dưới được tách ra từ ma trận tổng dẫn Y.

Tuy vậy, việc sử dụng công thức này cũng gây ra khá nhiều khó khăn, nên trong thực tế, hệ số tăng tốc thường được lựa chọn theo kinh nghiệm.

Phần tiếp theo của bài báo này sẽ được mô tả theo các phần như sau: phần 2 giới

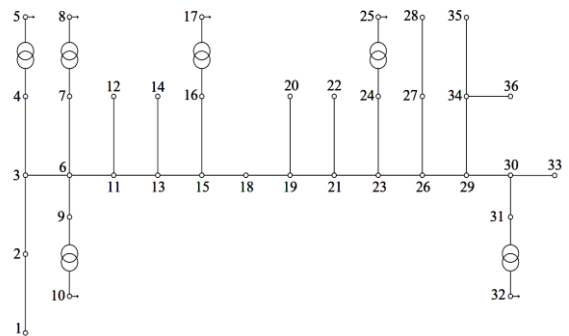
2.2. Thông số nút

thiệu dữ liệu lưới điện và công cụ lập trình thuật toán, phần 3 giới thiệu kết quả và thảo luận, và phần 4 kết luận cùng với đó là những hướng nghiên cứu trong tương lai.

2. DỮ LIỆU, THUẬT TOÁN VÀ CÔNG CỤ THỰC HIỆN

2.1. Lưới điện thử nghiệm

Lưới điện dùng để mô phỏng tính toán là lưới điện 36 nút như hình 2.



Hình 2. Sơ đồ mô phỏng lưới điện 36 nút

Bảng 1. Thông số các nút

Nút	Điện áp (kV)	Loại nút	$P_{nguồn}$ (kW)	$Q_{nguồn}$ (kVAr)	$P_{tải}$ (kW)	$Q_{tải}$ (kVAr)	T_{max} (h)
1	22	0	0	0	0	0	4183
2	22	2	0	0	0	0	4183
3	22	2	0	0	0	0	4183
4	22	2	0	0	0	0	4183
5	0,4	2	0	0	30,6	10,1	4183
6	22	2	0	0	0	0	4183
7	22	2	0	0	0	0	4183
8	0,4	2	0	0	601,1	197,6	4183
9	22	2	0	0	0	0	4183
10	0,4	2	0	0	127,9	42,1	4183
11	22	2	0	0	0	0	4183

Nút	Điện áp (kV)	Loại nút	$P_{nguồn}$ (kW)	$Q_{nguồn}$ (kVAr)	$P_{tải}$ (kW)	$Q_{tải}$ (kVAr)	T_{max} (h)
12	22	2	0	0	143,5	47,2	4183
13	22	2	0	0	0	0	4183
14	22	2	0	0	62,2	20,5	4183
15	22	2	0	0	0	0	4183
16	22	2	0	0	0	0	4183
17	0,4	2	0	0	12,5	4,1	4183
18	22	2	0	0	0	0	4183
19	22	2	0	0	0	0	4183
20	22	2	0	0	26,9	8,9	4183
21	22	2	0	0	0	0	4183
22	22	2	0	0	355,5	116,8	4183
23	22	2	0	0	0	0	4183
24	22	2	0	0	0	0	4183
25	0,4	2	0	0	52,2	57,2	4183
26	22	2	0	0	0	0	4183
27	22	2	0	0	0	0	4183
28	22	2	0	0	2540,8	835,1	4183
29	22	2	0	0	0	0	4183
30	22	2	0	0	0	0	4183
31	22	2	0	0	0	0	4183
32	0,4	2	0	0	672,6	221,1	4183
33	22	2	0	0	26,5	8,7	4183
34	22	2	0	0	0	0	4183
35	22	2	0	0	777,8	255,7	4183
36	22	2	0	0	0	0	4183

2.3. Thông số đường dây

Bảng 2. Thông số các đường dây

Nhánh	Nút đầu	Nút cuối	Chiều dài (km)	R_0 (Ω/km)	X_0 (Ω/km)	G_0 ($\mu S/km$)	B_0 ($\mu S/km$)
1	1	2	0,55	0,0905	0,181	0	91,6
2	2	3	0,5	0,204	0,408	0	0
3	3	4	0,025	0,78	1,56	0	0
4	3	6	0,5	0,204	0,408	0	0
5	6	7	0,01	0,78	1,56	0	0

Nhánh	Nút đầu	Nút cuối	Chiều dài (km)	R_0 (Ω/km)	X_0 (Ω/km)	G_0 ($\mu\text{S}/\text{km}$)	B_0 ($\mu\text{S}/\text{km}$)
6	6	9	0,06	0,78	1,56	0	0
7	6	11	0,1	0,204	0,408	0	0
8	11	12	0,135	0,396	0,792	0	0
9	11	13	0,3	0,204	0,408	0	0
10	13	14	0,118	0,552	1,104	0	0
11	13	15	0,2	0,204	0,408	0	0
12	15	16	0,075	0,78	1,56	0	0
13	15	18	0,118	0,204	0,408	0	0
14	18	19	0,1	0,252	0,504	0	0
15	19	20	0,17	0,4644	0,9288	0	0
16	19	21	0,1	0,252	0,504	0	0
17	21	22	0,114	0,396	0,782	0	0
18	21	23	0,3	0,252	0,504	0	0
19	23	24	0,175	0,78	1,56	0	0
20	23	26	0,07	0,252	0,504	0	0
21	26	27	0,121	0,384	0,768	0	0
22	27	28	0,01	0,78	1,56	0	0
23	26	29	0,07	0,252	0,504	0	0
24	29	30	0,1	0,78	1,56	0	0
25	29	34	0,046	0,252	0,504	0	0
26	30	31	0,05	0,78	1,56	0	0
27	30	33	0,12	0,78	1,56	0	0
28	34	35	0,653	0,324	0,648	0	0
29	34	36	0,198	0,324	0,648	0	0

2.4. Thông số các máy biến áp

Bảng 3. Thông số các máy biến áp

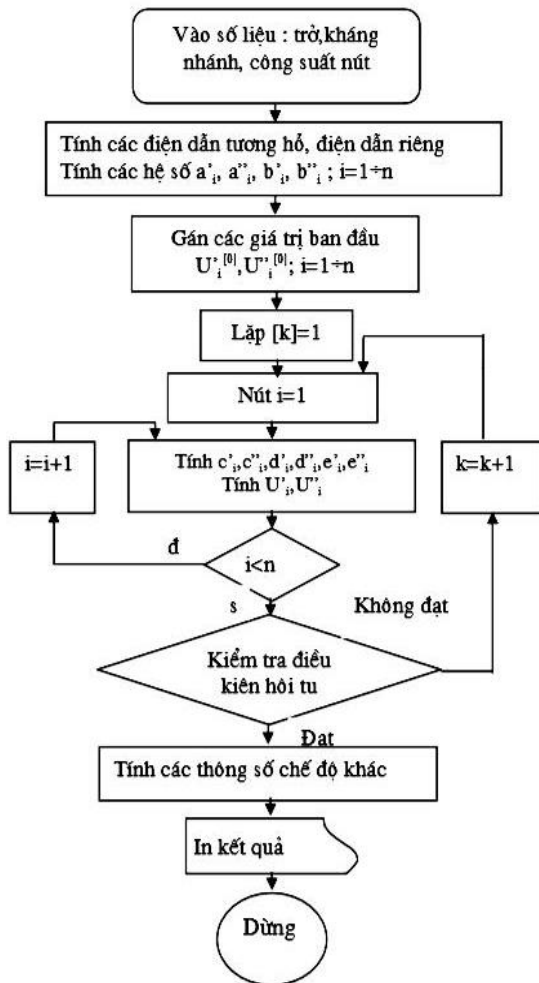
Nhánh	Nút CA	Nút HA	S_{dm} (kVA)	U_{cdm} (kV)	U_{hdm} (kV)	U_n (%)	ΔP_n (kW)	ΔP_0 (kW)	I_0 (%)
1	4	5	250	22	0,4	4	3,05	0,65	6
2	7	8	320	22	0,4	4	3,67	0,7	6
3	9	10	1250	22	0,4	5,5	12,91	1,72	6
4	16	17	1000	22	0,4	5	9,5	1,57	6
5	24	25	1250	22	0,4	5,5	12,91	1,72	6
6	31	32	750	22	22	0,4	4,5	6,68	6

Các thông số máy biến áp được cho theo bộ thông số tiêu chuẩn bao gồm vị trí, tổn thất không tải, có tải, dòng không tải phần trăm, điện áp ngắn mạch phần trăm.

2.5. Công cụ thực hiện

Nghiên cứu được thực hiện bằng phần mềm Matlab phiên bản R2018a với cấu hình máy tính: Intel(R) Core(TM) i7-6820HQ CPU @ 2.70GHz 2.70 GHz; RAM 16.0 GB.

2.6. SƠ ĐỒ THUẬT TOÁN



Hình 3. Lược đồ tổng quát thuật toán Gauss-Seidel

Thuật toán tính toán là Gauss-Seidel cải tiến với hệ số tăng tốc. Sơ đồ thuật toán thực hiện như hình 3. Thông số đầu vào của thuật toán chính là thông số của các phần tử trong lưới điện đã mô tả trong phần dữ liệu trên. Trong đó, thông số nút bao gồm công suất phụ tải ($P_{tài}, Q_{tài}$), loại nút (SL, PV, PQ), $Q_{max}, Q_{min}, T_{max}$, điện áp định mức $U_{đm}$; thông số đường dây bao gồm vị trí nút đầu-nút cuối, chiều dài, R_0, X_0, G_0, B_0 ; thông số trạm biến áp bao gồm vị trí nút đặt, điện áp các cấp, $Un\%, \Delta P_N, \Delta P_0, I_0\%$.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mô phỏng và tính toán với sai số cho phép $\epsilon = 10^{-10}$. Trước khi áp dụng kỹ thuật tăng tốc, kết quả thời gian hội tụ của thuật toán được ghi lại như bảng sau. Để tìm giá trị hệ số tăng tốc tối ưu, thuật toán được thực hiện lặp lại với từng giá trị hệ số tăng tốc trong khoảng từ 0 đến 2, trong đó với giá trị $\alpha = 1$ thì phương pháp lặp trở về phương pháp Gauss-Seidel nguyên bản. Thời gian hội tụ (thực thi) của thuật toán đối với từng giá trị hệ số tăng tốc sẽ được ghi lại trong bảng 4.

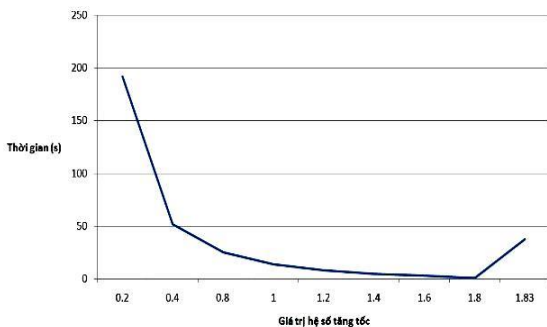
Bảng 4. Kết quả chạy kiểm tra thời gian thực thi với các giá trị hệ số tăng tốc khác nhau

α	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Thời gian (s)	NA	191,739	51,838	24,778	13,678	8,133
Số bước lặp	NA	33056	15840	9685	6460	4449
α	1,2	1,4	1,6	1,8	2	
Thời gian (s)	4,346	2,663	1,472	0,652	NA	
Số bước lặp	3060	2030	1224	581	NA	

Bảng 5. Kết quả hội tụ khi chưa áp dụng kỹ thuật tăng tốc

Nút	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Điện áp	22,000	21,979	21,936	21,936	0,398	21,893	21,892	0,377	21,892	0,397	21,885	21,885
Nút	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Điện áp	21,864	21,864	21,850	21,850	0,397	21,842	21,833	21,833	21,824	21,823	21,801	21,800
Nút	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Điện áp	0,396	21,795	21,786	21,785	21,793	21,789	21,787	0,387	21,789	21,792	21,780	21,792
Thời gian	8,133844 (s)											

Kết quả này có thể được biểu thị dưới dạng trực quan như hình 4.



Hình 4. Hiện thị trực quan so sánh tốc độ thực thi thuật toán tương ứng các giá trị hệ số tăng tốc

Với kết quả trên, một số nhận xét sau đây có thể nhận thấy:

- Hệ số tăng tốc α làm giảm đáng kể thời gian thực hiện của thuật toán (từ 8,133 giây xuống còn 0,652 giây).
- Để thuật toán hội tụ thì hệ số tăng tốc α phải nằm trong khoảng giá trị từ 0 đến 2 (không khuyến cáo sử dụng giá trị 0 và 2).
- Mỗi một lưới điện cụ thể có thể sẽ có một hệ số tăng tốc α tối ưu và cần phải được lựa chọn trước khi thực hiện nhiều tác vụ tính toán khác.

Mặt khác, với dữ liệu của lưới điện đã cho, khi áp dụng công thức thực nghiệm (2), giá trị hệ số tăng tốc $\alpha=1,7662$. Giá trị này khá sát với giá trị $\alpha=1,8$ tìm được

bằng thực nghiệm ở trên. Tuy nhiên, xung quanh giá trị 1,8, các lần mô phỏng chạy thử cho kết quả không khác biệt và bị ảnh hưởng rất nhiều bởi cách thức thực hiện (ví dụ việc có khởi động lại máy tính hay không trước khi thực hiện chạy thử giá trị mới).

4. KẾT LUẬN

Ngày nay, mặc dù đã có nhiều thuật toán tính trào lưu công suất, tuy nhiên Gauss-Seidel vẫn là một trong hai thuật toán tin cậy được tích hợp trong tất cả các phần mềm tính toán lưới điện phổ biến. Tuy vậy, tất cả các phần mềm này đều không cho phép lựa chọn tích hợp kỹ thuật tăng tốc đơn giản cũng như thay đổi giá trị hệ

số tăng tốc phù hợp mỗi đối tượng tính toán. Chính vì vậy, thời gian hội tụ luôn là cản trở của Gauss-Seidel đối với các lưới điện nhiều nút, nhất là các lưới điện phân phối khu vực thành thị. Việc tích hợp kỹ thuật tăng tốc và cho phép tùy biến giá trị hệ số tăng tốc α sẽ là một giải pháp tốt cho vấn đề này. Người vận hành có thể lựa chọn theo công thức thực nghiệm (2) hoặc (trong trường hợp tối ưu) có thể thiết lập một quy trình thử nghiệm hệ số tăng tốc để tự lựa chọn giá trị tối ưu trước khi thực hiện các bài toán phân tích tiếp theo. Việc lựa chọn giá trị α trước này sẽ giúp tăng hiệu suất lao động cũng như giảm được thời gian chết không đáng có trong quá trình phân tích, xử lý sự cố.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] E. Bodewig, *Matrix Calculus*. Elsevier, 1959.
- [2] Alston S. Householder, *Theory of matrices in numerical analysis*. Dover Publications, 2006.
- [3] Michele Benzi, "The early history of matrix iterations: with a focus on the Italian Contribution," 2009.
- [4] R. A. Saleh, K. A. Gallivan, M.-. Chang, I. N. Hajj, D. Smart, and T. N. Trick, "Parallel circuit simulation on supercomputers," *Proc. IEEE*, vol. 77, no. 12, pp. 1915–1931, 1989, doi: 10.1109/5.48832.
- [5] P. W. Aitchison, "Diakoptics as a general approach in engineering," *J. Eng. Math.*, vol. 21, no. 1, pp. 47–58, 1987, doi: 10.1007/BF00127693.
- [6] M. M. El-Marsafawy, R. W. Menzies, and R. M. Mathur, "New diakoptic technique for load-flow solution of very large power systems using the bus admittance matrix," *Proc. Inst. Electr. Eng.*, vol. 126, no. 12, pp. 1301–1302, 1979, doi: 10.1049/piee.1979.0226.
- [7] Richard L. Burden, *Numerical Analysis*, 10th ed. Cengage Learning, 2015.
- [8] M. Eiermann and R. S. Varga, "Is the optimal ω best for the SOR iteration method?," *Linear Algebra Appl.*, vol. 182, pp. 257–277, 1993, doi: [https://doi.org/10.1016/0024-3795\(93\)90503-G](https://doi.org/10.1016/0024-3795(93)90503-G).

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Ngọc Trung tốt nghiệp đại học ngành hệ thống điện, nhận bằng Thạc sĩ ngành kỹ thuật điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội vào các năm 2003 và 2006, nhận bằng Tiến sĩ ngành kỹ thuật điện năm 2014 tại Đại học Palermo, Cộng hòa Italia.

Lĩnh vực nghiên cứu: lưới điện thông minh - SmartGrid, giám sát điều khiển, bảo vệ và tự động hóa trong hệ thống điện, ổn định hệ thống điện.



Tác giả Trần Anh Tùng nhận bằng Tiến sĩ ngành kỹ thuật điện tại Đại học Toulouse III năm 2012. Hiện nay tác giả là Trưởng Bộ môn Mạng và Hệ thống điện, Trường Đại học Điện Lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: tối ưu khả năng tải của cáp ngầm cao thế, lưới điện thông minh, vật liệu cách điện nanocomposites.

