

XÉT ĐẾN ĐẶC TRƯNG ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP TRONG LỰA CHỌN CẤU TRÚC LƯỚI ĐIỆN TRUNG ÁP

Consideration of voltage stability characteristics in the selection of medium voltage grid structure

GS.TS. Lã Văn Út

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

TS. Nguyễn Đức Hạnh

Viện Năng lượng, Bộ Công Thương

TÓM TẮT

Cùng với sự phát triển nhanh chóng của nền kinh tế quốc dân và nhu cầu sử dụng điện năng, yêu cầu về chất lượng cung cấp điện (CCĐ) ngày một tăng cao. Việc lựa chọn các thông số lưới điện nhằm nâng cao chất lượng CCĐ có vai trò quan trọng trong các bài toán quy hoạch, thiết kế, vận hành hệ thống cung cấp điện (HTCCĐ). Tuy nhiên, sự phát triển quá nhanh lưới điện phân phối theo nhu cầu tăng trưởng phụ tải có thể dẫn đến những thay đổi bất hợp lý ở sơ đồ lưới điện trung áp (LĐTA), trong đó có nguy cơ mất ổn định điện áp. Bài báo trình bày phương pháp lựa chọn cấu trúc LĐTA dựa trên việc nghiên cứu các chỉ tiêu ổn định, xác định những nút phụ tải, nhánh đường dây có vai trò quan trọng trong HTCCĐ để cải thiện các thông số. Kết quả nghiên cứu cho thấy việc lựa chọn cấu trúc LĐTA có xét đến đặc trưng ổn định điện áp thì khả năng tải của lưới và độ dự trữ ổn định các nút đều được cải thiện.

Abstract:

With the rapid development of the national economy and demand for electricity, the requirement for the quality of electricity supply is on a high. The selection of grid parameters to improve the quality of electricity supply has an important role in planning, designing and operating the electric power providing system (EPPS). However, the development of power distribution networks happens too quickly as load demand growth could lead to unreasonable changes in medium voltage grid (MVG), including the risk of voltage instability. This article introduces the method of selecting the MVG structure based on the researches on the stability criterias, therefore, it identifies the centers of loads and focuses on the branch lines that have important role in the whole EPPS and then it gives the variants to improve the parameters. Research results show that not only the network capability but also stability reserves of nodes are improved when considering the stability characteristics in the selection of medium voltage grid structure.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việc thiết kế LĐTA với yêu cầu hợp lý về cấu trúc, tối ưu về kinh tế, thỏa mãn các điều kiện giới hạn là bài toán rất phức tạp, đặc biệt khi xét đến giới hạn ổn định điện áp. Các tính toán đơn giản dễ dẫn đến một cấu trúc lưới có vốn đầu tư cao, trong khi vẫn kém an toàn, chất lượng điện năng thấp.

Vấn đề được đặt ra liên quan đến quy mô ngày càng rộng khắp của LĐTA, trong điều kiện phát triển phức tạp của HTĐ Việt Nam. Nhiều nút tải xa nguồn, công suất tới gần giới hạn ổn định, điện áp có thể dao động rất mạnh, trước nguy cơ điện áp sụp đổ [1.].

II. KHẢO SÁT GIỚI HẠN CCĐ LĐTA TRÊN MẶT PHẪNG CÔNG SUẤT

2.1. Các biểu thức tính giới hạn CCĐ đối với lưới điện đơn giản, một phụ tải

1. Theo điều kiện (ĐK) dòng phát nóng

Dây dẫn cần được lựa chọn sao cho dòng điện làm việc cưỡng bức (lớn nhất, kéo dài) nhỏ hơn dòng điện cho phép:

$$I \leq I'_{cp} = k_1 * k_2 * \dots * k_n * I_{cp}$$

Xét giới hạn theo công suất ta có:

$$S \leq \sqrt{3} U * I_{cp} * k_1 * k_2 * \dots * k_n = S_{gh} \quad (1)$$

Trong đó: I_{cp} dòng điện làm việc lâu dài chạy trong dây dẫn, đảm bảo nhiệt độ phát nóng ở giới hạn cho phép, trong điều kiện tiêu chuẩn; k_1, k_2, \dots, k_n là các hệ số hiệu chỉnh theo các điều kiện khác với tiêu chuẩn; S là công suất truyền tải; U là điện áp làm việc, có thể tính gần đúng theo trị số định mức.

Biểu diễn trên mặt phẳng công suất (P, Q) ta có giới hạn CCĐ theo điều kiện phát nóng là hình tròn tâm $(0,0)$ bán kính bằng S_{gh} .

2. Theo ĐK tổn thất điện áp

Tổn thất điện áp tính đến cuối đường dây

có thể tính gần đúng theo thành phần cùng pha với điện áp nút:

$$\Delta U \approx (PR + QX) / U.$$

Trong đó: $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ - là tổng trở đường dây; Điện áp U có thể lấy gần đúng theo trị số định mức.

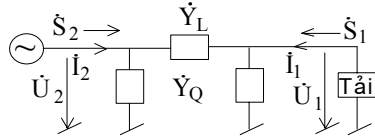
Gọi ΔU_{cp} là trị số tổn thất điện áp cho phép, S là công suất truyền tải, có góc công suất φ , ta có:

$$\Delta U = \frac{S(R \cos \varphi + X \sin \varphi)}{U} \leq \Delta U_{cp};$$

$$\text{hay } S(\varphi) \leq \frac{U}{R \cos \varphi + X \sin \varphi} \Delta U_{cp}; \quad (2)$$

Biểu diễn trên mặt phẳng (P,Q) ta có giới hạn CCD theo ĐK tổn thất điện áp (đường ellip).

3. Theo ĐK sụp đổ điện áp



Hình 1. Sơ đồ khảo sát

Theo [2.], mức độ ổn định điện áp có thể xác định theo chỉ số sụt áp nút tại (L-indicate):

$$L = \left| 1 + \frac{\dot{U}_0}{\dot{U}_1} \right| = \left| \frac{\dot{S}_1}{Y_{11}^* \dot{U}_1^2} \right| \quad (3)$$

$$\text{Với } \dot{U}_0 = \frac{\dot{Y}_{12}}{\dot{Y}_{11}} \dot{U}_2 = - \frac{\dot{Y}_L}{\dot{Y}_L + \dot{Y}_Q} \dot{U}_2 \quad (4)$$

Trong đó: S_1, S_2 là công suất truyền từ các nút (tải và nguồn); U_1, U_2 lần lượt là điện áp nút tải, nút nguồn; Y là ma trận tổng dẫn của mạng 2 cửa; \dot{Y}_L, \dot{Y}_Q là tổng dẫn ngang và dọc khi biểu diễn đường dây theo sơ đồ hình II.

Xét cho lưới trung áp ta có $\dot{Y}_Q = 0$ nên

$$\dot{U}_0 = - \dot{U}_2 \quad (5)$$

Trên hình 1, công suất nút tải có hướng bơm vào sơ đồ, trong thực tế thường lấy công suất tải dương với hướng ngược lại.

Chỉ số L có giá trị từ 0 tới 1. Giá trị L = 1 tương ứng với trạng thái giới hạn ổn định điện áp. Chỉ số L càng nhỏ thì mức độ ổn định điện áp càng cao.

Cũng trong [2.] đã chứng minh quan hệ giữa trị số S_1 với giá trị chỉ số L như sau:

$$S_1 = \frac{U_2^2 Y_{11}}{L + 1/L - 2 \cos(\Phi_{S_1} + \Phi_{Y_{11}})} \quad (6)$$

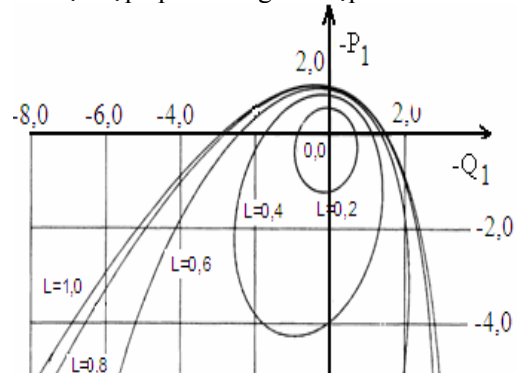
Trong đó: Φ_{S_1} là góc công suất phụ tải,

$\Phi_{Y_{11}}$ là góc tổng dẫn riêng của nút 1.

Biểu thức (6) thực chất là quan hệ giữa S_1 với Φ_{S_1} trong hệ tọa độ cực của mặt phẳng công suất khi giữ chỉ số L không đổi. Trên hình 2 cho thấy với chỉ số L khác nhau đường cong có dạng các elip khác nhau.

Khi chỉ số L=1 thì đường cong chính là giới hạn CCD theo điều kiện sụp đổ điện áp trên mặt phẳng công suất.

Hình 2 biểu diễn hệ trục tọa độ theo công suất tải với các trị số dương công suất tương ứng với góc phần tư thứ nhất trong mặt phẳng phức. Dễ dàng thấy miền giới hạn CCD theo điều kiện sụp đổ áp là tương đối hẹp.



Hình 2. Giới hạn mặt phẳng công suất S_1 theo chỉ số L

Nhận xét

- Thông qua các biểu thức giới hạn CCD trên mặt phẳng công suất có thể so sánh, đánh giá yếu tố có ý nghĩa quyết định đến khả năng CCD của LĐTÁ.

- Miền giới hạn CCD cho thấy ảnh hưởng của hệ số công suất $\cos \varphi$ đến khả năng truyền tải của LĐTÁ.

Đối với lưới điện phức tạp các giới hạn trên vẫn tồn tại và có ý nghĩa tương tự. Tuy nhiên, biểu thức xác định giới hạn sụp đổ

điện áp rất phức tạp, để tính toán cần sử dụng các công cụ riêng [3.].

2.2. Khảo sát cho ví dụ đơn giản

Đường dây 22kV cấp điện cho phụ tải $S_t = (9,3+j5,74)MVA$. Dây dẫn AC-150mm², $R_0=0,2\Omega/km$; $X_0=0,355\Omega/km$ (lựa chọn theo mật độ dòng điện kinh tế). Khảo sát các giới hạn CCD khi chiều dài tuyến dây thay đổi.

1. Theo ĐK dòng phát nóng

Sử dụng công thức (1), với $I_{cp} = 445A$, hệ số hiệu chỉnh theo nhiệt độ môi trường $k=0,9$ ta xác định được giới hạn công suất truyền tải $S_{gh} = 15,2MVA$.

Giới hạn CCD theo điều kiện phát nóng không phụ thuộc vào khoảng cách truyền tải công suất (xem hình 3 và 4).

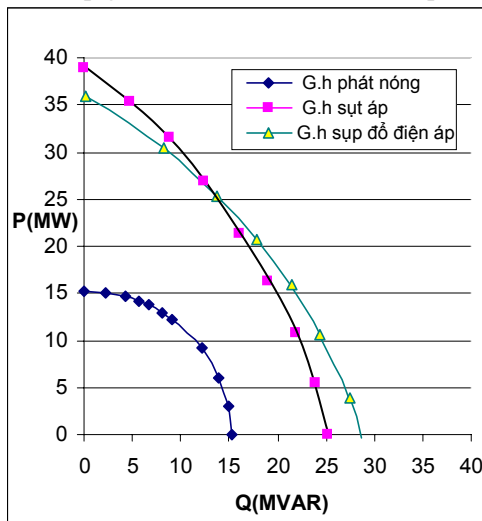
2. Theo ĐK tổn thất điện áp

Sử dụng công thức (2) tính toán, ta có giới hạn công suất truyền tải theo điều kiện tổn thất điện áp với $\Delta U=10\%$. Tính cho 2 trị số chiều dài đường dây: 10km và 20km.

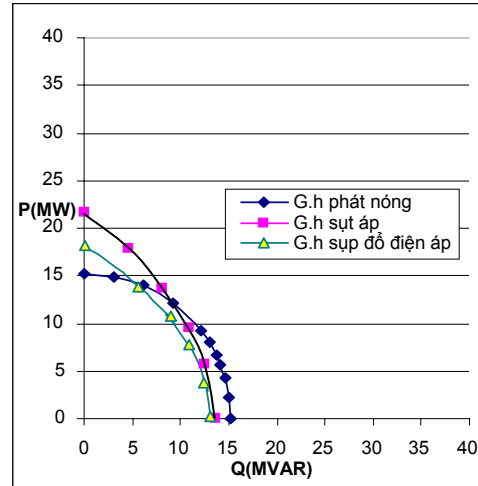
3. Theo ĐK sụp đổ điện áp

Sử dụng công thức (6), tính toán giới hạn CCD ứng với $L=0,8$ (dự trữ 20%). Khoảng cách truyền tải tính toán được lấy với chiều dài đường dây 10km và 20km.

Hình 3 và 4 thể hiện sự thay đổi giới hạn công suất truyền tải theo các điều kiện khác nhau. Dễ thấy giới hạn theo ĐK sụt áp và sụp đổ điện áp giảm nhanh theo bán kính cấp điện.



Hình 3. Giới hạn CCD theo các điều kiện với $L=0,8$, bán kính $l=10km$



Hình 4. Giới hạn CCD theo các điều kiện với $L=0,8$, bán kính $l=20km$.

2.3. Nhận xét

- Các giới hạn công suất truyền tải theo điều kiện sụt áp và sụp đổ điện áp giảm nhanh theo bán kính cấp điện và trở thành các yếu tố quyết định trong thiết kế CCD khi khoảng cách lớn.

- Giới hạn theo điều kiện sụp đổ điện áp phụ thuộc phức tạp vào cấu trúc toàn lưới do đó rất cần xét đến trong điều kiện LDTA phát triển ngày càng phức tạp.

III. CÁC CHỈ TIÊU ĐÁNH GIÁ MỨC ĐỘ ỔN ĐỊNH HTCCĐ PHỨC TẠP

Ổn định là một thuộc tính mang đặc trưng hệ thống: một nguyên nhân bất kỳ gây ra mất ổn định đều dẫn đến sự làm việc không bình thường của toàn hệ thống [4.]. Sụp đổ điện áp xảy ra ở một nút thì mọi nút đều có dao động điện áp rất lớn [1.]. Như vậy, LDTA được thiết kế phải đảm bảo cho mọi nút đều nằm đủ xa giới hạn mất ổn định. Hơn nữa nút yếu nhất cần được đảm bảo độ dự trữ cần thiết. Một phương án phát triển không hợp lý LDTA, có nguy cơ xảy ra sụp đổ điện áp tại một nút nào đó sẽ có thể ảnh hưởng chung đến giới hạn cung cấp điện của toàn lưới.

Để phân tích, đánh giá ổn định HTCCĐ cần sử dụng các chương trình tính toán riêng cho phép thiết lập được các chỉ tiêu đánh giá mức độ ổn định [3.]. Nhiều chương trình phân tích chế độ HTĐ hiện

nay cũng đã được tích hợp thêm chức năng phân tích các chỉ tiêu ổn định hệ thống, có thể sử dụng hiệu quả trong tính toán thiết kế lưới điện. Các chỉ tiêu chủ yếu (áp dụng cho LĐTĐ) có thể kể đến như sau:

3.1. Hệ số dự trữ ổn định:

Bao gồm:

- Hệ số dự trữ công suất tính theo kịch bản điển hình:

$$K_{dt} = \frac{P_{\Sigma gh} - P_{\Sigma 0}}{P_{\Sigma 0}} 100\%$$

Với $P_{\Sigma 0}$ tổng công suất tải hiện hành;

$P_{\Sigma gh}$ tổng công suất tải đến giới hạn.

Ý nghĩa: đánh giá "độ mạnh" của toàn lưới về phương diện ổn định (yêu cầu $K_{dt} \geq 20\%$ [1.]).

- Hệ số dự trữ công suất theo yêu cầu vận hành (phương thức quan tâm):

$$K_{dt} = \frac{P_{igh} - P_{i0}}{P_{i0}} 100\%$$

Trong đó: P_i là thông số nút tải quan tâm. Hệ số có ý nghĩa kiểm tra riêng cho tình huống tăng thêm đáng kể phụ tải của một nút theo yêu cầu phát triển.

3.2. Hệ số sụt áp:

$$k_u\% = \frac{U_0 - U_{gh}}{U_0} 100\%$$

Trong đó: U_0, U_{gh} , tương ứng trị số điện áp nút ở chế độ đang xét và chế độ giới hạn.

Với cùng kịch bản thay đổi công suất, nút có $k_u\%$ lớn là "nút yếu".

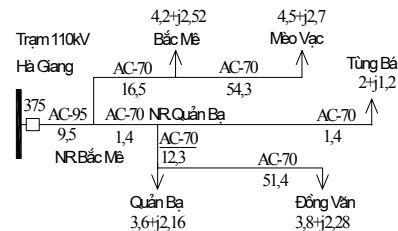
3.3. Miền ổn định của các nút tải:

Khảo sát miền ổn định theo không gian công suất nút (tương tự miền giới hạn hình 4 của sơ đồ đơn giản) có thể biết được giới hạn phát triển tối đa phụ tải nút theo điều kiện ổn định. Nút có miền hẹp là nút yếu, không được phép tăng thêm phụ tải nếu không có biện pháp cải tạo sơ đồ lưới.

IV. TÍNH TOÁN LỰA CHỌN CẤU TRÚC LĐTĐ CÓ XÉT TỚI ĐẶC TRƯNG ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP

Xét một ví dụ thực tế, quy hoạch cải tạo sơ đồ LĐTĐ thuộc trạm 110kV Hà Giang [5.].

Sơ đồ 1 sợi của lưới điện và nhu cầu phụ tải tính đến năm 2015 như ghi trên hình 5. Cần kiểm tra các điều kiện giới hạn CCD và đưa ra phương án cải tạo hợp lý đảm bảo an toàn CCD cho các phụ tải.



Hình 5. Sơ đồ lưới điện và nhu cầu phụ tải năm 2015

4.1. Kiểm tra các ĐK kỹ thuật cơ bản

1. Theo điều kiện phát nóng:

Nhánh thanh cái 35kV-nút rẽ Bắc Mê, công suất tải lớn hơn công suất phát nóng của dây dẫn (P_{gh} theo điều kiện phát nóng = 14,8MW, P truyền tải= 19,9MW).

2. Theo điều kiện tổn thất điện áp:

Hai nút có tổn thất điện áp vượt quá tiêu chuẩn cho phép đó là: nút Mèo Vạc ($U_0=26,4kV, \Delta U=24,4\%$), nút Đồng Văn ($U_0=29,3kV, \Delta U=16,2\%$).

Như vậy đến năm 2010 khả năng tải của lưới điện sẽ không đáp ứng được yêu cầu, cần có biện pháp cải tạo.

4.2. Các phương án cải tạo lưới điện trung áp

1. Phương án 1

Để thỏa mãn các điều kiện phát nóng, tổn thất điện áp có thể sử dụng biện pháp thay đổi tiết diện dây dẫn. Áp dụng cách tính thông thường có thể chọn được các tiết diện sau: mạch trục chính và nhánh rẽ từ đường trục chính đến Bắc Mê từ AC-95,70 tăng lên AC-240; mạch Bắc Mê - Mèo Vạc và Quán Bạ - Đồng Văn từ AC-70 tăng thành AC-185. Kiểm tra lại, các điều kiện phát nóng và tổn thất điện áp đều thỏa mãn.

2. Phương án 2

Kiểm tra thêm các chỉ tiêu ổn định phương án 1 không thỏa mãn: hệ số dự trữ

ổn định chỉ đạt 17,7%. Giới hạn công suất tối đa có thể nhận về cung cấp cho LĐTÀ là 21,3 MW. Nút Mèo Vạc mất ổn định đầu tiên khi hệ số sụt áp qua ngưỡng 29,6%. Lúc diễn ra mất ổn định, các nút tải còn lại có hệ số sụt áp tương ứng là: Đồng Văn 21,34%, Bắc Mê 16,01%, Quán Bạ 13,96%, Tùng Bá 11,34% (xem bảng 1). Như vậy nút yếu thuộc về Mèo Vạc.

Để nâng cao ổn định không thể chỉ tăng tiết diện dây dẫn, bởi ổn định điện áp chủ yếu phụ thuộc điện kháng và chiều dài đường dây. Hơn nữa hệ số dự trữ ổn định còn phụ thuộc vào điện kháng phía hệ thống tính từ thanh cái hạ áp của trạm 110kV trở về nguồn. Từ nhận xét này, phương án cải tạo được đưa ra là xây dựng mới đường dây từ thanh cái trạm 35 kV tới nút Bắc Mê để giảm khoảng cách cung cấp đến các nút Bắc Mê, Mèo Vạc (hình 6); vẫn nâng tiết diện các nhánh đi Bắc Mê-Mèo Vạc, Quán Bạ-Đồng Văn (theo điều kiện tổn thất điện áp).

Sử dụng phần mềm phân tích hệ thống xác định hệ số dự trữ ổn định cho phương án 2 và giới hạn công suất cung cấp cho các phụ tải LĐTÀ ta thấy các chỉ tiêu cải thiện đáng kể. Hệ số dự trữ ổn định 46%, tương ứng với giới hạn cung cấp 26,4MW.

Ví dụ trên thể hiện phương pháp thiết kế quy hoạch HTCCĐ có xét đến chỉ tiêu ổn định điện áp. Hệ số dự trữ ổn định và giới hạn công suất cung cấp tối đa cho LĐTÀ được sử dụng như một chỉ tiêu bổ sung, đặc trưng cho mức độ ổn định, thể hiện "độ mạnh" của phương án CCD cần phải đảm bảo. Sử dụng hệ số sụt áp có thể xác định

được các nút yếu, giúp đưa ra phương án cấu trúc hợp lý. Miền ổn định trong không gian công suất nút cũng là một thông tin hữu ích để đánh giá khả năng tăng thêm công suất từ một vị trí cụ thể của lưới điện hiện hành. Miền giới hạn CCD một số nút tải của 2 phương án trong ví dụ trên được thể hiện trên hình 6 (xét đến tăng trưởng phụ tải năm 2015).

Sử dụng các chỉ tiêu nói trên tính toán kiểm tra cho sơ đồ LĐTÀ thuộc một số dự án cải tạo thực tế lưới 35 kV miền Bắc [5.] đã cho thấy rất nhiều sơ đồ không đảm bảo chỉ tiêu ổn định sau khi tính toán cải tạo theo cách thông thường.

V. KẾT LUẬN

- Sự phát triển lưới điện phân phối theo nhu cầu tăng trưởng quá nhanh của phụ tải có thể dẫn đến những thay đổi bất hợp lý sơ đồ LĐTÀ, trong đó có nguy cơ mất ổn định điện áp. Trước yêu cầu ngày càng cao về an toàn CCD và chất lượng điện năng việc xét đến các chỉ tiêu đánh giá ổn định khi thiết kế cải tạo LĐTÀ là nội dung rất cấp thiết đối với thực tế hiện nay.

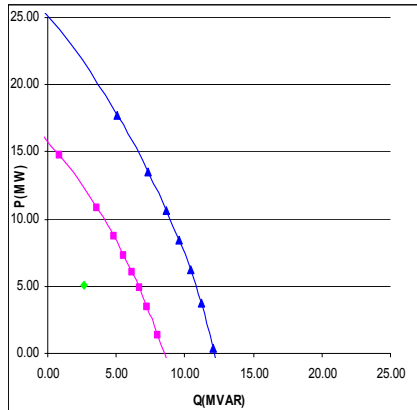
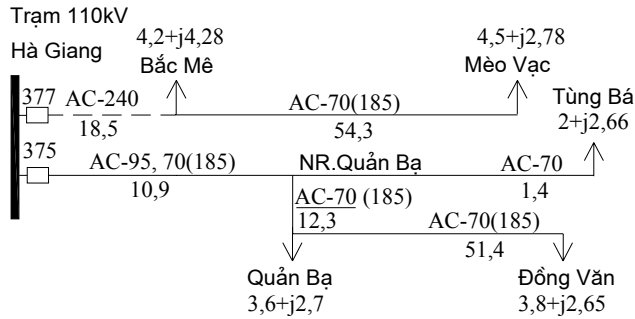
- Khi xét đến chỉ tiêu ổn định, cấu trúc của LĐTÀ có thay đổi đáng kể liên quan đến bán kính cấp điện và sự phân bố phụ tải các nút. Cải thiện ổn định cho các "nút yếu" là biện pháp hữu hiệu để nâng cao khả năng CCD của LĐTÀ.

- Sử dụng công cụ tính toán ổn định, thiết lập và phân tích các chỉ tiêu khác nhau về ổn định của HTCCĐ, kết hợp với các chỉ tiêu kỹ thuật cơ bản có thể đưa ra được cấu trúc hợp lý khi thiết kế, cải tạo LĐTÀ.

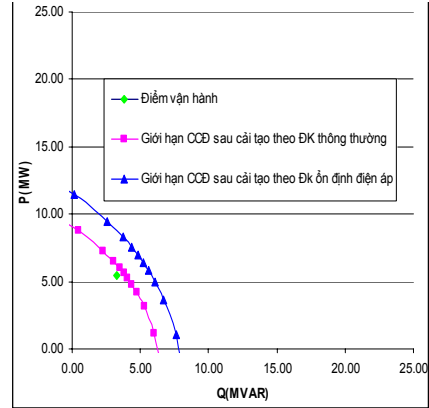
Bảng 1. Kết quả phân tích ổn định phương án 1 (hệ số dự trữ 17,7%)

Tên nút	$U_0(kV)$	$U_{gh}(kV)$	$K_u(\%)$	dQ/dU	$dP/d\delta$
NR.Bắc Mê	31,6	28,08	11,03	-38,4	16,39
NR.Quán Bạ	31,3	27,8	11,38	-37,05	15,62
Tùng Bá	31,3	27,75	11,34	-34,48	15,62
Bắc Mê	29,5	24,8	16,01	-45,45	11,36
Mèo Vạc	25,5	17,9	29,6**	-55,55	6,3
Quán Bạ	30	25,8	13,96	-24,99	12,34
Đồng Văn	27	21,2	21,34**	-14,7	6,66

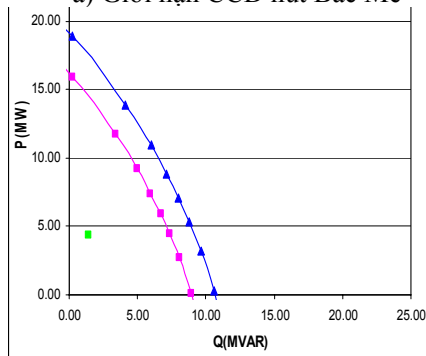
Trong bảng: U_0 , U_{gh} là trị số điện áp nút ở chế độ đang xét và chế độ giới hạn; K_u - hệ số sụt áp nút; dQ/dU , $dP/d\delta$ - tốc độ biến thiên công suất theo điện áp, góc lệch.



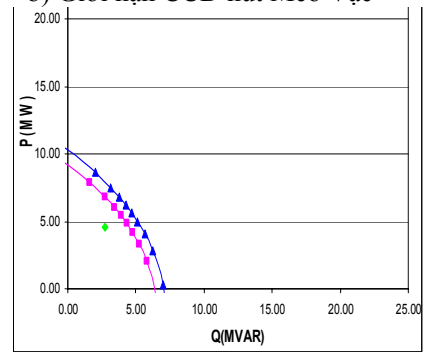
a) Giới hạn CCD nút Bắc Mê



b) Giới hạn CCD nút Mèo Vạc



c) Giới hạn CCD nút Quán Bạ



d) Giới hạn CCD nút Đồng Văn

Hình 6. Sơ đồ lưới điện sau cải tạo có xét đến đặc tính ổn định

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *I.Dobson, T.Van Cutsen, ...*; Voltage Stability Assessment: Concepts, Practices and Tools; IEEE Power Engineering Society Power System Stability Subcommittee Special Publication, August 2002.
2. *P.Kessel, H.Glavitch*; Estimating the Voltage Stability of power System; IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.1, No.3, 346-354 (1986).
3. *Trần Đình Long, Lê Minh Khánh*; Phân tích ổn định của hệ thống điện phức tạp theo các chỉ số an toàn; Tạp chí Khoa học & Công nghệ các trường ĐHKT, số 65, tr. 6-10, (2008).
4. *Lã Văn Út*; Phân tích và điều khiển ổn định hệ thống điện; Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, Hà Nội 2001.
5. *Viện Năng lượng*; Quy hoạch phát triển điện lực tỉnh Hà Giang giai đoạn 2011-2015, có xét đến năm 2020, Hà Nội 2010.