

## Chương 11: **TỰ ĐỘNG ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP VÀ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG**

### I. KHÁI NIỆM CHUNG:

Duy trì điện áp bình thường là một trong những biện pháp cơ bản để đảm bảo chất lượng điện năng của hệ thống điện. Điện áp giảm thấp quá mức có thể gây nên độ trượt quá lớn ở các động cơ không đồng bộ, dẫn đến quá tải về công suất phản kháng ở các nguồn điện. Điện áp giảm thấp cũng làm giảm hiệu quả phát sáng của các đèn chiếu sáng, làm giảm khả năng truyền tải của đường dây và ảnh hưởng đến độ ổn định của các máy phát làm việc song song. Điện áp tăng cao có thể làm già cỗi cách điện của thiết bị điện (làm tăng dòng rò) và thậm chí có thể đánh thủng cách điện làm hư hỏng thiết bị.

Điện áp tại các điểm nút trong hệ thống điện được duy trì ở một giá trị định trước nhờ có những phương thức vận hành hợp lí, chẳng hạn như tận dụng công suất phản kháng của các máy phát hoặc máy bù đồng bộ, ngăn ngừa quá tải tại các phân tử trong hệ thống điện, tăng và giảm tải hợp lí của những đường dây truyền tải, chọn tỷ số biến đổi thích hợp ở các máy biến áp ...

Điện áp cũng có thể được duy trì nhờ các thiết bị tự động điều chỉnh kích từ (TĐK) của các máy phát điện và máy bù đồng bộ, các thiết bị tự động thay đổi tỷ số biến đổi của máy biến áp, các thiết bị tự động thay đổi dung lượng của các tụ bù tĩnh ...

### II. THIẾT BỊ TĐK:

Thiết bị tự động điều chỉnh kích từ (TĐK) được sử dụng để duy trì điện áp theo một đặc tính định trước và để phân phối phụ tải phản kháng giữa các nguồn cung cấp trong tình trạng làm việc bình thường của hệ thống điện.

#### II.1. Các nguyên tắc thực hiện tự động điều chỉnh kích từ:

Máy phát được đặc trưng bằng sức điện động  $E_F$  và điện kháng  $X_F$  (hình 11.5). Áp đầu cực máy phát được xác định theo biểu thức :

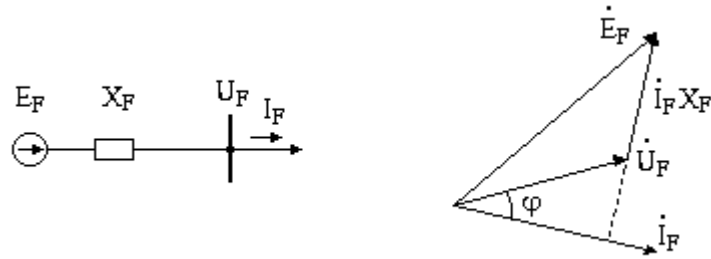
$$\dot{U}_F = \dot{E}_F - j\dot{I}_F X_F \quad (11.2)$$

Nếu  $E_F = \text{const}$ , khi  $I_F$  thay đổi thì  $U_F$  thay đổi, để giữ  $U_F = \text{const}$  thì phải thay đổi  $E_F$  tức là thay đổi kích từ máy phát.

Theo nguyên tắc tác động, thiết bị tự động điều chỉnh điện áp được chia thành 3 nhóm:

- Điều chỉnh điện áp theo độ lệch của đại lượng được điều chỉnh (ví dụ, theo độ lệch của  $U_F$ ).
- Điều chỉnh điện áp tùy thuộc vào tác động nhiễu (ví dụ, theo dòng điện của máy phát  $I_F$ , theo góc  $\varphi$  giữa điện áp và dòng điện của máy phát, ...).

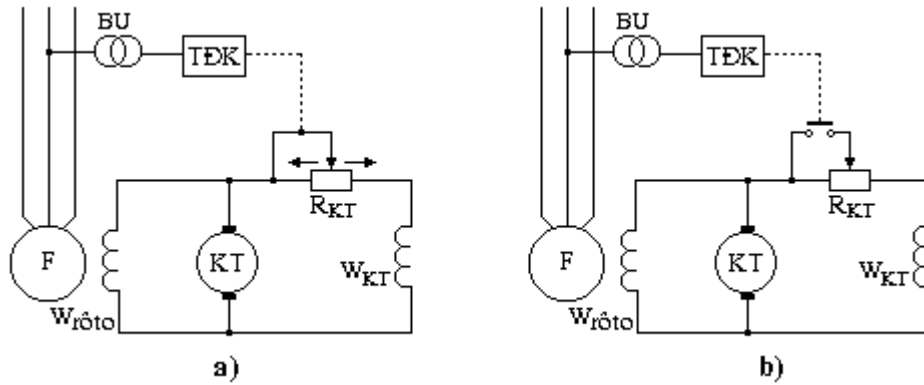
- Điều chỉnh điện áp theo độ lệch của đại lượng được điều chỉnh và theo tác động nhiễu.



**Hình 11.5 :** Sơ đồ thay thế và đồ thị vectơ điện áp của máy phát

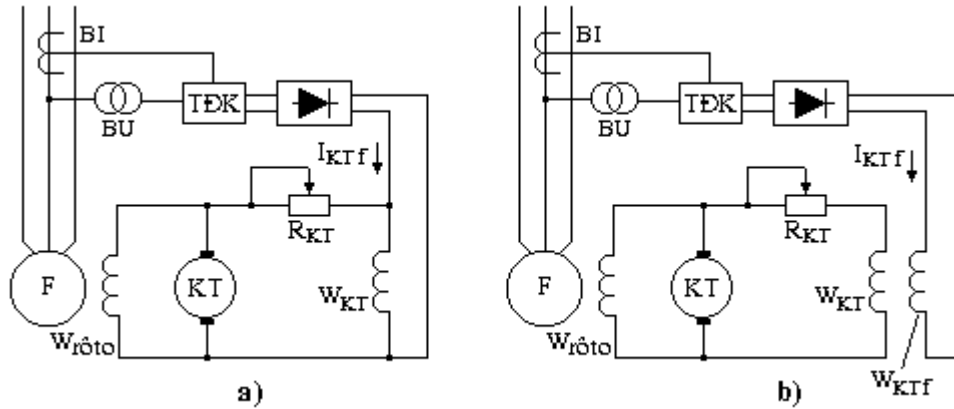
Đối với các máy phát điện dùng máy kích thích một chiều, các thiết bị điều chỉnh điện áp có thể chia thành 2 nhóm:

- Thay đổi kích từ máy phát nhờ thay đổi  $R_{KT}$  trong mạch cuộn kích từ  $W_{KT}$  của máy kích thích KT một cách từ từ nhờ con trượt (hình 11.6 a) hoặc nối tắt một phần  $R_{KT}$  theo chu kỳ (hình 11.6 b).



**Hình 11.6 :** Thay đổi kích từ máy phát nhờ thay đổi  $R_{KT}$

- Thay đổi kích từ máy phát nhờ dòng kích từ phụ  $I_{KTf}$  tỷ lệ với  $\Delta U$  hoặc  $I_f$  hoặc cả 2 đại lượng  $\Delta U$  và  $I_f$ . Dòng kích từ phụ có thể đưa vào cuộn kích từ chính  $W_{KT}$  (hình 11.7 a) hoặc cuộn kích từ phụ  $W_{KTf}$  (hình 11.7 b) của máy kích thích.



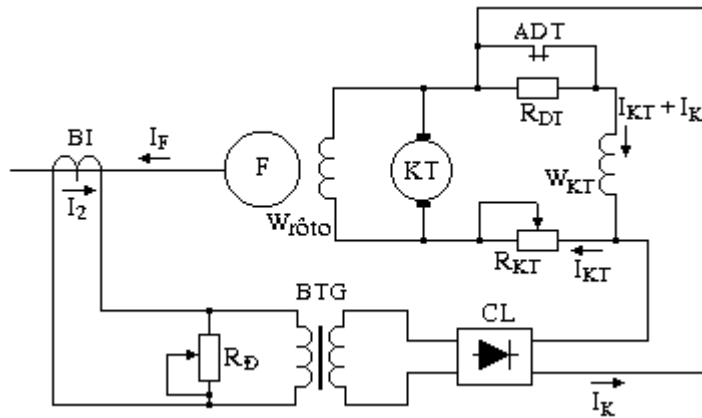
Hình 11.7 : Thay đổi kích từ máy phát nhờ dòng kích từ phụ

## II.2. Compun dòng điện:

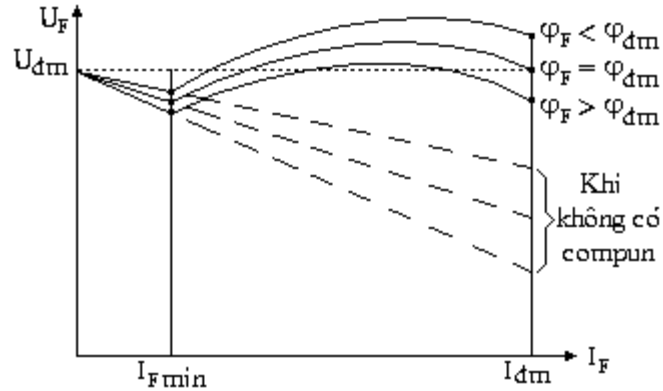
Thiết bị compun dòng điện tác động theo nhiều dòng điện  $I_F$  của máy phát. Sơ đồ cấu trúc của thiết bị compun kích từ máy phát như hình 11.8. Dòng thứ cấp  $I_2$  của BI tỷ lệ với dòng  $I_F$ . Dòng này biến đổi qua máy biến áp trung gian BTG, được chỉnh lưu và được đưa vào cuộn kích từ  $W_{KT}$  của máy kích thích. Dòng đã được chỉnh lưu  $I_K$  gọi là dòng compun đi vào cuộn  $W_{KT}$  cùng hướng với dòng  $I_{KT}$  từ máy kích thích. Như vậy dòng tổng ( $I_{KT} + I_K$ ) trong cuộn kích từ  $W_{KT}$  của máy kích thích phụ thuộc vào dòng  $I_F$  của máy phát.

Biến áp BTG để cách ly mạch kích từ của máy kích thích với mạch thứ BI có điểm nối đất, ngoài ra nhờ chọn hệ số biến đổi thích hợp có thể phối hợp dòng thứ  $I_2$  của BI với dòng compun  $I_K$ .

Biến trở đặt  $R_d$  để thay đổi một cách đều đặn dòng  $I_K$  khi đưa thiết bị compun vào làm việc, cũng như khi tách nó ra.



Hình 11.8 : Sơ đồ cấu trúc của thiết bị compun kích từ máy phát



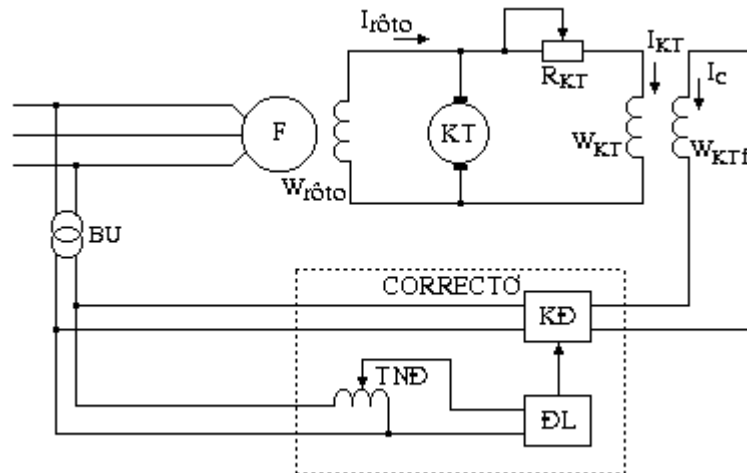
**Hình 11.9 :** Đặc tính thay đổi điện áp  $U_F$  của máy phát ứng với các  $\cos \varphi$  khác nhau

Ưu điểm của thiết bị compun là đơn giản, tác động nhanh. Nhưng có một số nhược điểm:

- Compun tác động theo nhiễu, không có phản hồi để kiểm tra và đánh giá kết quả điều chỉnh.

- Đối với sơ đồ nối compun vào cuộn kích từ  $W_{KT}$  của máy kích thích như hình 11.7a, khi  $I_F < I_{Fmin}$  thì  $U_F$  thay đổi giống như trường hợp không có compun (hình 11.9). Dòng  $I_{Fmin}$  gọi là *ngưỡng* của compun. Thường  $I_{Fmin} = (10 \div 30)\% I_{Fdm}$ . Tuy nhiên máy phát thường không làm việc với phụ tải nhỏ như vậy nên nhược điểm này có thể không cần phải quan tâm.

- Compun không phản ứng theo sự thay đổi của điện áp và  $\cos \varphi$ , do vậy không thể duy trì một điện áp không đổi trên thanh góp điện áp máy phát. Trên hình 1.19 là đặc tính thay đổi điện áp  $U_F$  theo  $I_F$ . Ta thấy với cùng một giá trị  $I_F$ , thiết bị compun sẽ điều chỉnh điện áp  $U_F$  đến những giá trị khác nhau ứng với các trường hợp  $\cos \varphi$  khác nhau.



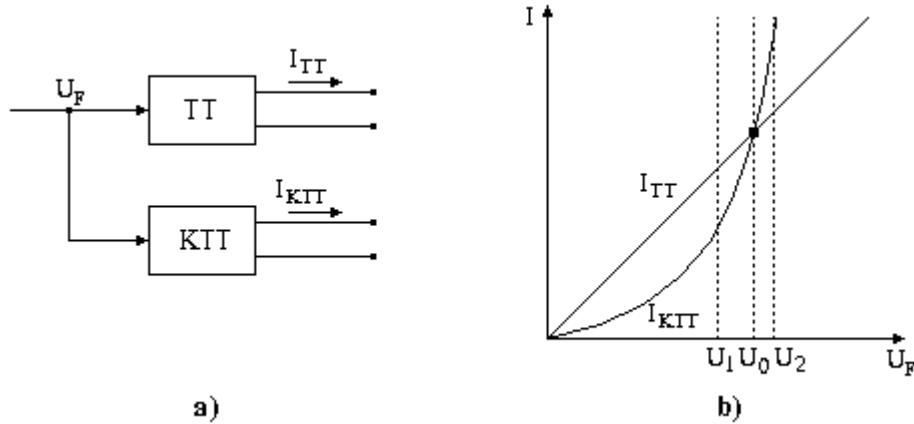
**Hình 11.10 :** Sơ đồ cấu trúc của corrector điện áp

### II.3. Correctơ điện áp:

Correctơ điện áp là thiết bị tự động điều chỉnh kích từ tác động theo độ lệch điện áp, thường được dùng kết hợp với thiết bị compun kích từ để điều chỉnh điện áp ở đầu cực máy phát một cách hiệu quả.

Hình 11.10 là sơ đồ cấu trúc của correctơ điện áp, trong đó bao gồm: bộ phận đo lường ĐL và bộ phận khuếch đại KĐ. Bộ phận đo lường ĐL nối với máy biến điện áp BU qua tụ ngẫu đặt TND. Khi điện áp thay đổi, bộ phận đo lường ĐL sẽ phản ứng và điều khiển sự làm việc của bộ phận khuếch đại KĐ. Tụ ngẫu đặt TND để thay đổi mức điện áp máy phát cần phải duy trì bởi correctơ. Bộ phận khuếch đại KĐ cũng được cung cấp từ BU và đưa dòng correctơ đã được chỉnh lưu  $I_C$  vào cuộn kích từ phụ  $W_{KTF}$  của máy kích thích. Dòng  $I_C$  đi qua cuộn kích từ phụ cùng hướng với dòng trong cuộn kích từ chính  $W_{KT}$  của máy kích thích.

Bộ phận đo lường gồm 2 phần tử (hình 11.11a): phần tử tuyến tính TT và phần tử không tuyến tính KTT. Phần tử tuyến tính TT tạo nên dòng điện tuyến tính  $I_{TT}$  tỷ lệ với điện áp  $U_F$  của máy phát, phần tử không tuyến tính KTT tạo nên dòng điện  $I_{KTT}$  phụ thuộc một cách không tuyến tính vào điện áp  $U_F$  của máy phát (hình 11.11b).



**Hình 11.11 :** Bộ phận đo lường

a) Sơ đồ khối chức năng b) Đặc tính quan hệ của dòng  $I_{TT}$  và  $I_{KTT}$  với áp đầu vào

Bộ phận đo lường làm việc theo nguyên tắc so sánh dòng  $I_{TT}$  và  $I_{KTT}$ . Từ đặc tính trên hình 11.11b ta thấy rằng: khi  $U_F = U_0$  ( $U_0$  là một điện áp xác định trên thanh góp nối máy phát), dòng  $I_{TT} = I_{KTT}$ , lúc ấy sẽ có dòng  $I_{Cmin}$  nhỏ nhất đưa ra từ correctơ. Khi  $U_F$  giảm, ví dụ giảm đến  $U_1$  thì  $I_{TT} > I_{KTT}$  và tín hiệu từ bộ phận đo lường ĐL sẽ điều khiển bộ phận khuếch đại KĐ làm tăng dòng  $I_C$  đưa vào cuộn kích từ phụ  $W_{KTF}$  của máy kích thích để tăng  $U_F$  lên.

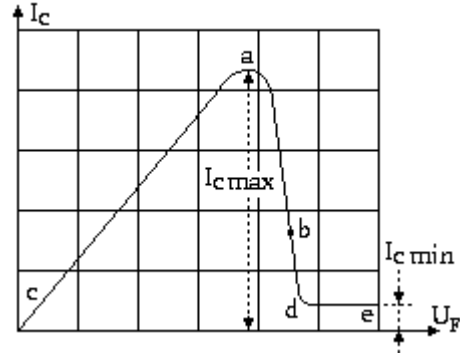
Khi điện áp  $U_F$  tăng, ví dụ tăng tới  $U_2$  thì  $I_{KTT} > I_{TT}$ , lúc này cũng xuất hiện dòng  $I_C > I_{Cmin}$  làm tăng  $U_F$  thêm nữa. Để ngăn ngừa correctơ tác động không đúng như vậy, trong sơ đồ của correctơ có bố trí một phần tử khóa khi  $I_{KTT} > I_{TT}$ .

Đặc tính của correctơ là quan hệ giữa dòng  $I_C$  với điện áp trên thanh góp nối máy phát như hình 11.12.

Điểm **a**, tương ứng với khi  $I_C = I_{Cmax}$ , xác định khả năng tăng cường kích từ lớn nhất có thể đảm bảo bởi correctơ. Dòng  $I_{Cmin}$  tại điểm **d** xác định khả năng giảm kích từ thấp

nhất khi  $U_F$  tăng. Sự giảm thấp của đặc tính ở đoạn **ac** là do điện áp nguồn cung cấp cho correctơ bị giảm thấp cùng với sự giảm thấp  $U_F$ . Đoạn **de** nằm ngang do tác dụng của phần tử khóa khi  $I_{KTT} > I_{TT}$ .

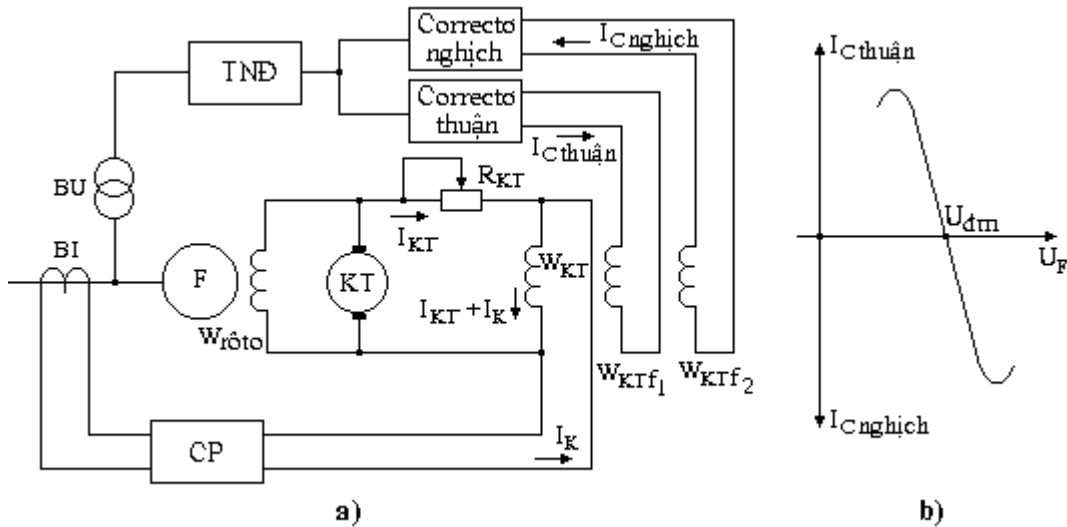
Sơ đồ correctơ đã khảo sát trên là loại một hệ thống. Đầu ra của correctơ một hệ thống thường nối như thế nào để  $I_C$  đi qua cuộn kích từ phụ  $W_{KTF}$  thuận chiều với dòng  $I_{KT}$  trong cuộn kích từ chính  $W_{KT}$ . Correctơ nối như vậy được gọi là *correctơ thuận*. Trong một số trường hợp người ta nối đầu ra của correctơ thế nào để dòng  $I_C$  đi qua cuộn  $W_{KTF}$  ngược hướng với dòng  $I_{KT}$  trong cuộn kích từ chính  $W_{KT}$ . Correctơ nối như vậy được gọi là *correctơ nghịch*.



Hình 11.12 : Đặc tính của correctơ

Ở những máy phát thủy điện công suất lớn, người ta dùng correctơ 2 hệ thống (hình 11.13a) bao gồm 2 correctơ một hệ thống. Một hệ thống là correctơ thuận đưa dòng vào cuộn  $W_{KTF1}$  thuận chiều với dòng trong cuộn  $W_{KT}$ . Hệ thống thứ 2 là correctơ nghịch đưa dòng vào cuộn  $W_{KTF2}$  theo hướng ngược lại.

Đặc tính của correctơ 2 hệ thống (hình 11.13b) được lựa chọn thế nào để khi  $U_F$  giảm thì correctơ thuận làm việc, còn khi  $U_F$  tăng thì correctơ nghịch làm việc.

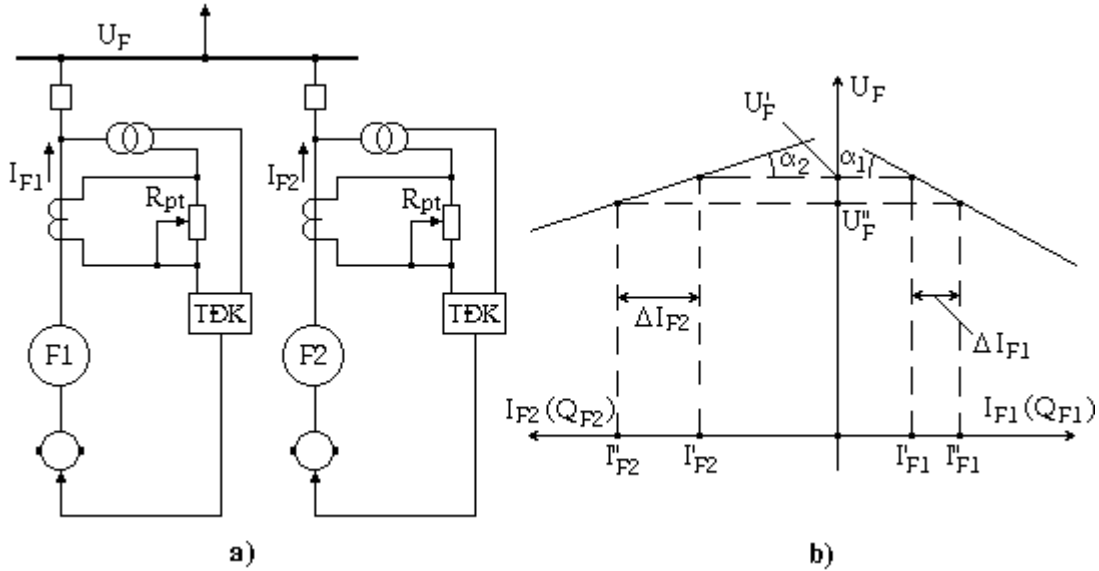


Hình 11.13 : Sơ đồ nguyên lí của correctơ 2 hệ thống  
 CP : thiết bị compun      TNE : tự ngẫu đặt  
 a) Sơ đồ nối      b) Đặc tính của correctơ

**II.4. Compun pha:**

Phần tử chính của compun pha là một máy biến áp đặc biệt có từ hóa phụ BTP (hình 11.14). Trên lõi của BTP bố trí 2 cuộn sơ cấp (cuộn dòng  $W_1$  và cuộn áp  $W_U$ ), một cuộn thứ cấp  $W_T$  và một cuộn từ hóa phụ  $W_p$ .





**Hình 11.16 :** Hai máy phát làm việc song song tại thanh góp điện áp máy phát  
a) Sơ đồ                      b) Đặc tính điều chỉnh

### III.1. Trường hợp 2 máy phát làm việc song song nối chung ở thanh góp điện áp máy phát:

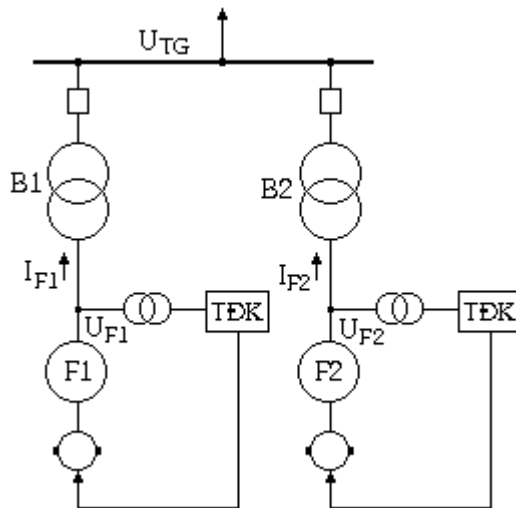
Giả thiết các máy phát có đặc tính điều chỉnh như hình 11.16, hai máy phát có chung  $U'_F$  ứng với  $I'_{F1}$  và  $I'_{F2}$ . Khi tải tăng thì  $U_F$  giảm đến  $U''_F$  ứng với  $I''_{F1}$  và  $I''_{F2}$ . Để đảm bảo giữ không đổi sự phân phối công suất phản kháng giữa các máy phát làm việc song song theo một tỷ lệ định trước thì điều kiện cần và đủ là ở điểm nối chung các máy phát phải có đặc tính điều chỉnh phụ thuộc.

$$\frac{\Delta I_{F1}}{\Delta I_{F2}} = \frac{\operatorname{tg}\alpha_1}{\operatorname{tg}\alpha_2} = \frac{K_{PT1}}{K_{PT2}}$$

$K_{PT}$  : Hệ số phụ thuộc, đặc trưng cho độ dốc của đặc tính.  $K_{PT}$  nhỏ thì độ dốc đặc tính ít và  $\Delta I_F$  lớn, tức công suất phản kháng phân phối tỷ lệ nghịch với  $K_{PT}$

### III.2. Trường hợp hai máy phát làm việc song song nối chung qua máy biến áp:

Nếu các máy phát làm việc song song nối chung qua máy biến áp (hình 11.17) thì mặc dù đặc tính điều chỉnh của chúng là độc lập, tỷ lệ phân phối công suất phản kháng giữa chúng vẫn ổn định vì ở điểm nối chung đặc tính điều chỉnh



**Hình 11.17 :** Hai máy phát làm việc song song nối chung qua máy biến áp



của chúng là phụ thuộc.

$$U_{F1} = U_{F2} = \text{hằng số}$$

$$U_{TG} = U_{F1} - I_{F1} \cdot X_{B1} = U_{F2} - I_{F2} \cdot X_{B2} \neq \text{hằng số}$$

Khi công suất phản kháng thay đổi, tức khi  $I_{F\Sigma}$  và tương ứng  $I_{F1}$  và  $I_{F2}$  thay đổi thì  $U_{TG}$  thay đổi, do vậy chỉ cần tại điểm nối chung của các máy phát có đặc tính phụ thuộc thì sự phân bố công suất phản kháng giữa chúng là ổn định.

#### IV. ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP TRONG MẠNG PHÂN PHỐI:

Điện áp trên thanh góp hạ áp của trạm (hình 11.18) là:

$$U_B = \left( U_F - \frac{Pr + Qx}{U'_B} \right) \frac{1}{k}$$

trong đó:  $U_F$  : điện áp trên thanh góp đầu cực của máy phát.

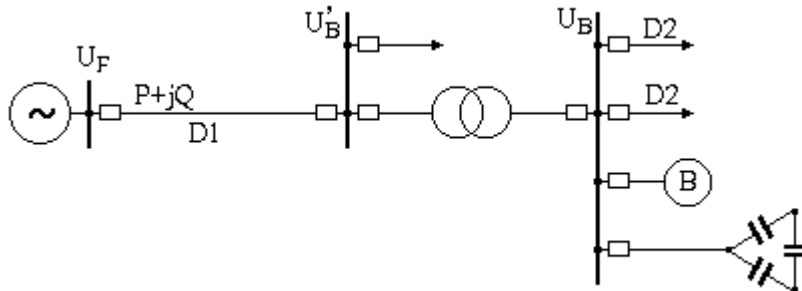
$U'_B$  : điện áp trên thanh góp cao áp của trạm.

$r, x$  : tổng điện trở tác dụng, phản kháng của đường dây và máy biến áp.

$k$  : tỷ số biến đổi của máy biến áp.

Từ biểu thức trên có thể kết luận rằng, việc điều chỉnh điện áp  $U_B$  cung cấp cho các hộ tiêu thụ có thể thực hiện được bằng cách:

- thay đổi  $U_F$  (nhờ sử dụng TĐK).
- thay đổi tỷ số biến đổi  $k$  của máy biến áp
- thay đổi công suất phản kháng  $Q$  truyền trên đường dây bằng cách điều chỉnh kích từ của máy bù hay động cơ đồng bộ, hoặc đóng cắt bộ tụ bù ở trạm.

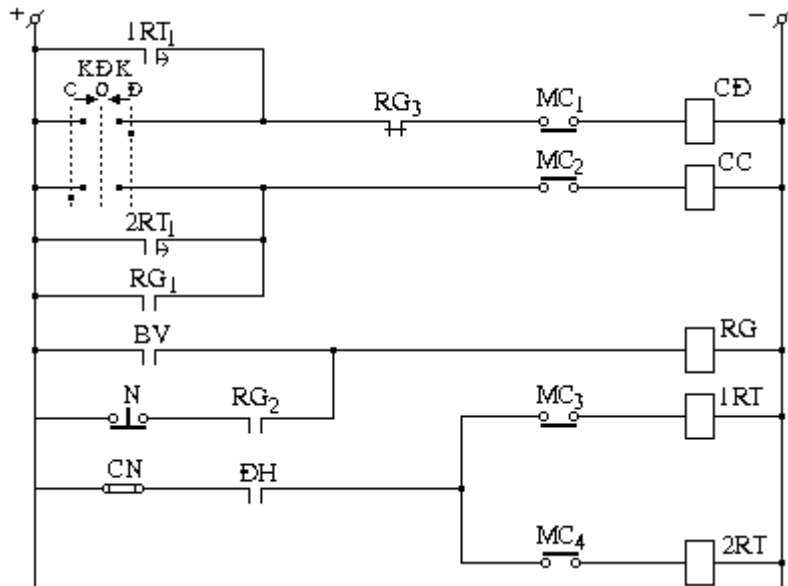


Hình 11.18 : Sơ đồ mạng để giải thích nguyên tắc điều chỉnh điện áp

#### \* Tự động điều khiển bộ tụ bù ở trạm:

Xét một sơ đồ điều chỉnh điện áp bằng bộ tụ bù đặt ở trạm giảm áp. Việc điều khiển các bộ tụ được thực hiện theo một chương trình định trước, ví dụ nhờ đồng hồ điện. Trên hình 11.20, khi tiếp điểm của đồng hồ điện ĐH đóng vào một thời điểm đặt trước thì role thời gian 1RT tác động đóng tiếp điểm 1RT<sub>1</sub>, cuộn đóng CĐ có điện, máy cắt đóng lại đưa bộ tụ bù vào làm việc.

Khi đóng máy cắt thì các tiếp điểm phụ liên động của nó cũng chuyển mạch để mở mạch cuộn dây role 1RT và đóng mạch cuộn dây role 2RT sẵn sàng cho thao tác cắt bộ tụ ra sau đó.



**Hình 11.20 :** Sơ đồ tự động đóng cắt bộ tụ bù

Đến thời điểm công suất phản kháng tiêu thụ giảm xuống thì tiếp điểm ĐH lại khép, rơle thời gian 2RT làm việc và máy cắt sẽ cắt ra.

Hai rơle thời gian 1RT và 2RT cần có thời gian đóng trễ nhằm mục đích mỗi lần đóng tiếp điểm ĐH chỉ kèm theo một thao tác đóng hoặc cắt bộ tụ.

Khi bảo vệ BV của bộ tụ tác động thì rơle RG có điện, tiếp điểm RG<sub>2</sub> đóng lại để tự giữ, tiếp điểm RG<sub>3</sub> mở mạch cuộn đóng CĐ của máy cắt, tiếp điểm RG<sub>1</sub> đóng đưa điện vào cuộn cắt CC và máy cắt sẽ cắt bộ tụ ra. Nút ấn N để giải trừ tự giữ của rơle RG.