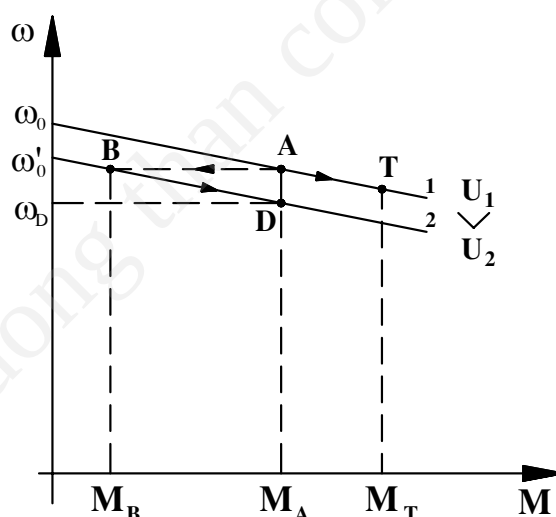


Ngày nay, đại đa số các máy sản xuất từ nhỏ đến lớn, từ đơn lẻ đến cả một dây chuyền sản xuất đều sử dụng truyền động điện (TĐĐ). Để đảm bảo những yêu cầu của các công nghệ phức tạp khác nhau, nâng cao mức độ tự động cũng như năng suất, các hệ TĐĐ thường phải điều chỉnh tốc độ, tức là cần phải điều chỉnh được tốc độ máy theo yêu cầu công nghệ. Có thể điều chỉnh tốc độ máy bằng phương pháp cơ khí hoặc bằng phương pháp điện qua việc điều chỉnh tốc độ động cơ điện. Ở đây, ta chỉ xem xét việc điều chỉnh tốc độ theo phương pháp điện.

Điều chỉnh tốc độ một động cơ điện khác với việc tự thay đổi tốc độ của động cơ đó.

**Ví dụ:** Một động cơ điện một chiều kích từ độc lập đang làm việc tại điểm làm việc A trên đặc tính cơ 1 ứng với mômen cản  $M_A$ . Đặc tính cơ 1 ứng với điện áp đặt vào động cơ là  $U_1$ . Vì một lý do nào đó, mômen cản tăng lên ( $M_T > M_A$ ) làm động cơ bị giảm tốc độ. Điểm làm việc sẽ dịch chuyển theo đoạn AT về phía tốc độ giảm. Nhưng tốc độ càng giảm thì dòng điện phản ứng  $I_r$  càng tăng và mômen càng tăng. Tới điểm T thì mômen động cơ sinh ra bằng mômen cản ( $M_D = M_T$ ). Động cơ sẽ làm việc ổn định tại điểm T với tốc độ thấp hơn ( $\omega_T < \omega_A$ ) và dòng phản ứng lớn hơn, động cơ nóng hơn.

Đây là hiện tượng tự thay đổi tốc độ của động cơ điện, điểm làm việc của động cơ dịch chuyển trên cùng một đường đặc tính cơ.



**Hình 3.1** - Sự thay đổi tốc độ động cơ khi tải thay đổi và sự điều chỉnh tốc độ động cơ ứng với cùng một mômen tải

Ở ví dụ trên, nếu mômen cản vẫn giữ nguyên giá trị  $M_A$ , động cơ đang làm việc ổn định tại điểm A trên đặc tính cơ 1, ta giảm điện áp phản ứng từ  $U_1$  xuống  $U_2$  (đặc tính cơ tương ứng là 2). Do quán tính cơ, động cơ chuyển điểm làm việc từ điểm A trên đường 1 sang điểm B trên đường 2 với cùng một tốc độ  $\omega_A$ . Mômen của động cơ tại điểm B nhỏ hơn mômen cản A ( $M_B < M_A$ ) nên động cơ bị giảm tốc độ. Điểm làm việc trượt xuống theo đường đặc tính cơ 2. Tốc độ động cơ càng giảm thì dòng điện phản ứng càng tăng. Tới điểm D thì mômen động cơ cân bằng với mômen cản  $M_A$  ( $M_D = M_A$ ). Động cơ sẽ làm việc ổn định tại điểm D với tốc độ thấp hơn ( $\omega_D < \omega_A$ ).

Đây không phải là hiện tượng tự thay đổi tốc độ do mômen cản tăng lên mà là sự điều chỉnh tốc độ động cơ (điều chỉnh giảm) trong khi mômen cản vẫn giữ nguyên. Điểm làm việc chuyển từ đặc tính cơ này sang đặc tính cơ khác do thay đổi thông số của mạch điện động cơ.

Có rất nhiều phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ. Tùy theo máy sản xuất, ta chọn một phương pháp điều chỉnh tốc độ cho phù hợp, đảm bảo quá trình sản xuất được thuận lợi, nâng cao chất lượng và năng suất.

### 3.1 Các chỉ tiêu đánh giá điều chỉnh tốc độ

Chất lượng của một phương pháp điều chỉnh tốc độ được đánh giá qua một số các chỉ tiêu sau đây.

#### 3.1.1 Dải điều chỉnh tốc độ

Dải điều chỉnh tốc độ (hay phạm vi điều chỉnh tốc độ) là tỉ số giữa các giá trị tốc độ làm việc lớn nhất và nhỏ nhất của hệ TĐĐ ứng với một mômen tải đã cho:

$$D = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}}$$

Dải điều chỉnh tốc độ của một hệ TĐĐ càng lớn càng tốt.

Mỗi một máy sản xuất yêu cầu một dải điều chỉnh nhất định và mỗi một phương pháp điều chỉnh tốc độ chỉ đạt được một dải điều chỉnh nào đó.

#### 3.1.2 Độ trơn điều chỉnh

Độ trơn điều chỉnh tốc độ khi điều chỉnh được biểu thị bởi tỉ số giữa 2 giá trị tốc độ của 2 cấp kế tiếp nhau trong dải điều chỉnh:

$$\gamma = \frac{\omega_{i+1}}{\omega_i}$$

Trong đó:  $\omega_i$  - Tốc độ ổn định ở cấp i.

$\omega_{i+1}$  - Tốc độ ổn định ở cấp i+1.

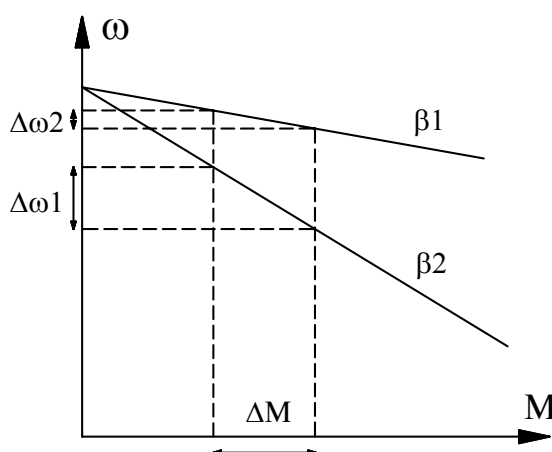
Trong một dải điều chỉnh tốc độ, số cấp tốc độ càng lớn thì sự chênh lệch tốc độ giữa 2 cấp kế tiếp nhau càng ít do đó độ trơn càng tốt.

Khi số cấp tốc độ rất lớn ( $k \rightarrow \infty$ ) thì độ trơn điều chỉnh  $\gamma \rightarrow 1$ . Trường hợp này hệ điều chỉnh gọi là hệ điều chỉnh vô cấp và có thể có mọi giá trị tốc độ trong toàn bộ dải điều chỉnh.

#### 3.1.3 Độ ổn định tốc độ (độ cứng của đặc tính cơ)

Để đánh giá và so sánh các đặc tính cơ, người ta đưa ra khái niệm độ cứng đặc tính cơ  $\beta$  và được tính:

$$\beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega}$$



Hình 3.2 - Độ cứng của đặc tính cơ

Nếu  $|\beta|$  bé thì đặc tính cơ là mềm ( $|\beta| < 10$ ).

Nếu  $|\beta|$  lớn thì đặc tính cơ là cứng ( $|\beta| = 10 \div 100$ ).

Khi  $|\beta| = \infty$  thì đặc tính cơ là nằm ngang và tuyệt đối cứng.

Đặc tính cơ có độ cứng  $\beta$  càng lớn thì tốc độ càng ít bị thay đổi khi mômen thay đổi. Ở trên hình 3.2, đường đặc tính cơ 1 cứng hơn đường đặc tính cơ 2 nên với cùng một biến động  $\Delta M$  thì đặc tính cơ 1 có độ thay đổi tốc độ  $\Delta\omega_1$  nhỏ hơn độ thay đổi tốc độ  $\Delta\omega_2$  cho bởi đặc tính cơ 2.

Nói cách khác, đặc tính cơ càng cứng thì sự thay đổi tốc độ càng ít khi phụ tải thay đổi nhiều. Do đó sai lệch tốc độ càng nhỏ và hệ làm việc càng ổn định, phạm vi điều chỉnh tốc độ sẽ rộng hơn.

### 3.1.4 Tính kinh tế

Hệ điều chỉnh có tính kinh tế khi vốn đầu tư nhỏ, tổn hao năng lượng ít, phí tổn vận hành không nhiều.

Các phương pháp điều chỉnh tốc độ qua mạch phản ứng luôn có tổn hao năng lượng lớn hơn điều chỉnh tốc độ qua mạch kích từ.

### 3.1.5 Sự phù hợp giữa đặc tính điều chỉnh và đặc tính tải

Khi chọn hệ điều chỉnh tốc độ với phương pháp điều chỉnh nào đó cho một máy sản xuất cần lưu ý sao cho các đặc tính điều chỉnh bám sát yêu cầu đặc tính của tải máy sản xuất. Như vậy hệ làm việc sẽ đảm bảo được các yêu cầu chất lượng, độ ổn định...

Ngoài các chỉ tiêu trên, tùy trường hợp cụ thể mà ta có thể có những đòi hỏi khác buộc hệ điều chỉnh tốc độ cần phải đáp ứng.

## 3.2 Điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều kích từ độc lập (song song)

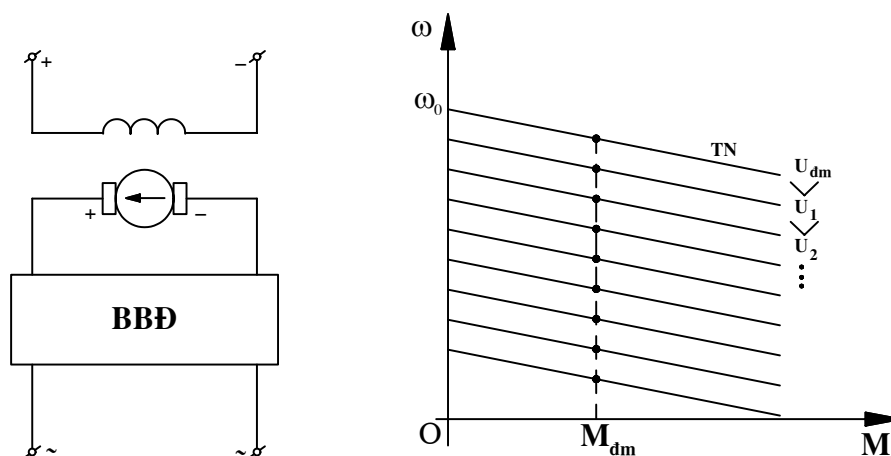
Khi xem xét phương trình đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ độc lập, ta đã biết quan hệ  $\omega=f(M)$  phụ thuộc các thông số điện  $U$ ,  $\phi$ ,  $R_{\Sigma}$ . Sự thay đổi các thông số này sẽ cho những họ đặc tính cơ khác nhau. Vì vậy, với cùng một mômen tải nào đó, tốc độ động cơ sẽ khác nhau ở các đặc tính cơ khác nhau. Như vậy, động cơ điện một chiều kích từ độc lập (hay kích từ song song) có thể được điều chỉnh tốc độ bằng các phương pháp sau đây:

### 3.2.1 Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp phản ứng

Sơ đồ nguyên lý được biểu diễn như trên hình 3.3. Từ thông động cơ được giữ không đổi. Điện áp phản ứng được cấp từ một bộ biến đổi.

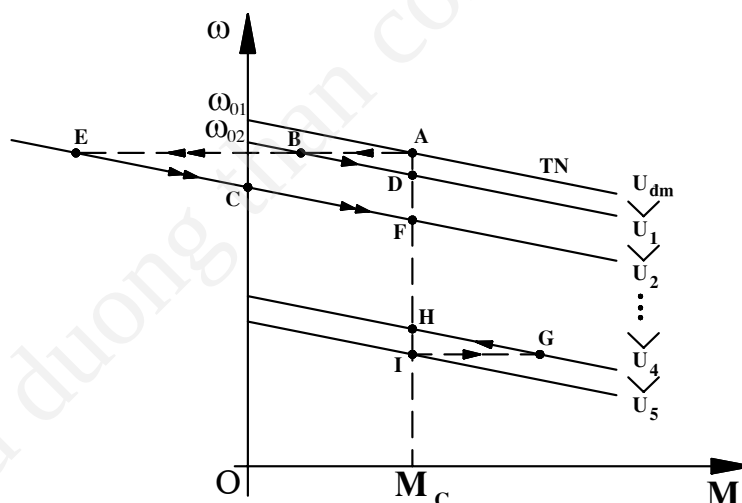
Khi thay đổi điện áp cấp cho cuộn dây phản ứng, ta có các họ đặc tính cơ ứng với các tốc độ không tải khác nhau, song song và có cùng độ cứng.

Điện áp  $U$  chỉ có thể thay đổi về phía giảm ( $U < U_{dm}$ ) nên phương pháp này chỉ cho phép điều chỉnh giảm tốc độ.



**Hình 3.3** - Điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều kích từ độc lập bằng phương pháp thay đổi điện áp phản ứng.

Giả sử động cơ đang làm việc tại điểm A trên đặc tính cơ 1 ứng với điện áp  $U_1$  trên phản ứng. Khi giảm điện áp từ  $U_1$  xuống  $U_2$ , động cơ thay đổi điểm làm việc từ điểm A có tốc độ lớn  $\omega_A$  trên đường 1 xuống điểm D có tốc độ nhỏ hơn ( $\omega_D < \omega_A$ ) trên đường 2 (ứng với điện áp  $U_2$ ).



**Hình 3.4** - Quá trình thay đổi tốc độ khi điều chỉnh điện áp

Trong khi giảm tốc độ theo cách giảm điện áp phản ứng, nếu giảm mạnh điện áp, nghĩa là chuyển nhanh từ tốc độ cao xuống tốc độ thấp thì cùng với quá trình giảm tốc có thể xảy ra quá trình hãm tái sinh. Chẳng hạn, cũng trên hình 3.4, động cơ đang làm việc tại điểm A với tốc độ lớn  $\omega_A$  trên đặc tính cơ 1 ứng với điện áp  $U_1$ . Ta giảm mạnh điện áp phản ứng từ  $U_1$  xuống  $U_3$ . Lúc này động cơ chuyển điểm làm việc từ điểm A trên đường 1 sang điểm E trên đường 3 (chuyển ngang với  $\omega_A = \omega_E$ ). Vì  $\omega_E$  lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng  $\omega_{03}$  của đặc tính cơ 3 nên động cơ sẽ làm việc ở trạng thái hãm tái sinh trên đoạn EC của đặc tính 3.

Quá trình hãm giúp động cơ giảm tốc nhanh. Khi tốc độ xuống thấp hơn  $\omega_{03}$  thì động cơ lại làm việc ở trạng thái động cơ. Lúc này do mômen  $M_D = 0$  nên động cơ tiếp tục giảm tốc cho tới điểm làm việc mới tại F, vì tại F mômen động cơ sinh ra cân bằng với mômen cản  $M_C$ . Động cơ chạy ổn định tại F với tốc độ  $\omega_F < \omega_A$ .

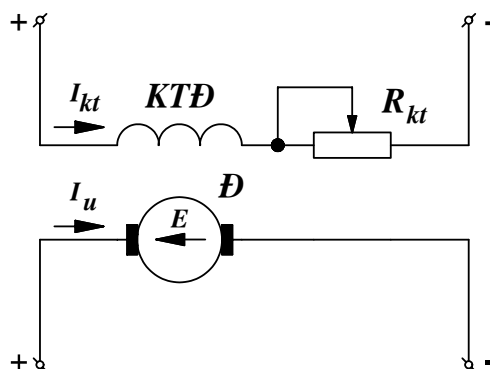
Khi tăng tốc, diễn biến của quá trình được giải thích tương tự. Giả sử động cơ đang làm việc tại điểm I có tốc độ  $\omega_I$  nhỏ trên đặc tính cơ 5, ứng với điện áp  $U_5$  trên phần ứng. Tăng điện áp từ  $U_5$  lên  $U_4$ , động cơ chuyển điểm làm việc từ I trên đặc tính 5 sang điểm G trên đặc tính 4. Do mômen  $M_G$  lớn hơn mômen cản  $M_C$  nên động cơ tăng tốc theo đường 4 (đoạn GH). Đồng thời với quá trình tăng tốc, mômen động cơ bị giảm và quá trình tăng tốc chậm dần. Tới điểm H thì mômen động cơ cân bằng với mômen tải  $M_H = M_C$  và động cơ sẽ làm việc ổn định tại điểm H với tốc độ  $\omega_H > \omega_I$ .

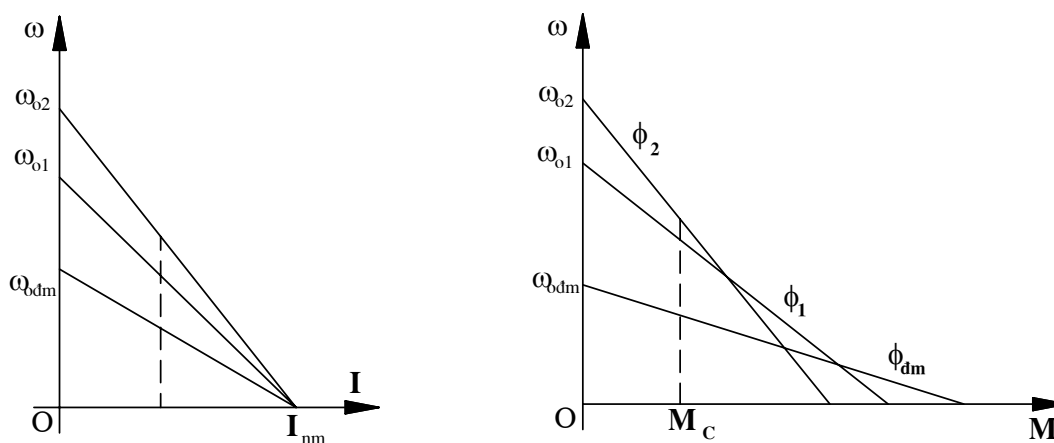
Điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều kích từ độc lập bằng biện pháp thay đổi điện áp phần ứng có các đặc điểm sau:

- Điện áp phần ứng càng giảm, tốc độ động cơ càng nhỏ.
- Điều chỉnh trơn trong toàn bộ dải điều chỉnh.
- Độ cứng đặc tính cơ giữ không đổi trong toàn bộ dải điều chỉnh.
- Độ sụt tốc tuyệt đối trên toàn dải điều chỉnh ứng với một mômen là như nhau. Độ sụt tốc tương đối sẽ lớn nhất tại đặc tính cơ thấp nhất của dải điều chỉnh. Do vậy, sai số tốc độ tương đối (sai số tĩnh) của đặc tính cơ thấp nhất không vượt quá sai số cho phép cho toàn dải điều chỉnh.
- Dải điều chỉnh của phương pháp này có thể:  $D \sim 10:1$ .
- Chỉ có thể điều chỉnh tốc độ về phía giảm (vì chỉ có thể thay đổi với  $U_u \leq U_{dm}$ ).
- Phương pháp điều chỉnh này cần một bộ nguồn để có thể thay đổi trơn điện áp ra.

### 3.2.2 Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông

Muốn thay đổi từ thông động cơ, ta tiến hành thay đổi dòng điện kích từ của động cơ qua một điện trở mắc nối tiếp ở mạch kích từ. Rõ ràng phương pháp này chỉ cho phép tăng điện trở vào mạch kích từ, nghĩa là chỉ có thể giảm dòng điện kích từ ( $I_{kt} \leq I_{kt\text{dm}}$ ) do đó chỉ có thể thay đổi về phía giảm từ thông. Khi giảm từ thông, đặc tính dốc hơn và có tốc độ không tải lớn hơn. Họ đặc tính giảm từ thông như hình 3.5.





**Hình 3.5** - Điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều kích từ độc lập bằng phương pháp thay đổi từ thông kích từ.

Phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi từ thông có các đặc điểm sau:

- Từ thông càng giảm thì tốc độ không tải lý tưởng của đặc tính cơ càng tăng, tốc độ động cơ càng lớn.
- Độ cứng đặc tính cơ giảm khi giảm từ thông.
- Có thể điều chỉnh trong dải điều chỉnh:  $D \sim 3:1$ .
- Chỉ có thể điều chỉnh thay đổi tốc độ về phía tăng.
- Do độ dốc đặc tính cơ tăng lên khi giảm từ thông nên các đặc tính sẽ cắt nhau và do đó, với tải không lớn ( $M_1$ ) thì tốc độ tăng khi từ thông giảm. Còn ở vùng tải lớn ( $M_2$ ) tốc độ có thể tăng hoặc giảm tùy theo tải. Thực tế, phương pháp này chỉ sử dụng ở vùng tải không quá lớn so với định mức.
- Phương pháp này rất kinh tế vì việc điều chỉnh tốc độ thực hiện ở mạch kích từ với dòng kích từ là  $(1 \div 10)\%$  dòng định mức của phần ứng. Tổn hao điều chỉnh thấp.

### 3.2.3 Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở ở mạch phản ứng

Sơ đồ nguyên lý nối dây như hình 3.6. Khi tăng điện trở phần ứng, đặc tính cơ dốc hơn nhưng vẫn giữ nguyên tốc độ không tải lý tưởng. Họ đặc tính cơ khi thay đổi điện trở mạch phản ứng như hình 3.6.

Đặc điểm của phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở ở mạch phản ứng:

- Điện trở mạch phản ứng càng tăng, độ dốc đặc tính cơ càng lớn, đặc tính cơ càng mềm và độ ổn định tốc độ càng kém, sai số tốc độ càng lớn.
- Phương pháp chỉ cho phép điều chỉnh thay đổi tốc độ về phía giảm (do chỉ có thể tăng thêm điện trở).
- Vì điều chỉnh tốc độ nhờ thêm điện trở vào mạch phản ứng cho nên tổn hao công suất dưới dạng nhiệt trên điện trở càng lớn.
- Dải điều chỉnh phụ thuộc vào trị số mômen tải. Tải càng nhỏ ( $M_1$ ) thì dải điều chỉnh

$D_1 = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}}$  càng nhỏ. Nói chung, phương pháp này cho dải điều chỉnh:  $D \approx 5:1$



- K : Máy phát tự kích, để cấp nguồn điện cho các cuộn kích từ CKF và CKĐ.

Điện áp ra của bộ biến đổi cấp cho động cơ Đ:

$$u_F = u_D = E_F - I.R_{uF} = K.\phi.\omega_{DT} - I.R_{uF}$$

Khi ta thay đổi giá trị của biến trở RKF thì sẽ làm cho dòng điện qua cuộn kích từ CKF thay đổi, do đó từ thông kích từ  $\phi_F$  của máy phát thay đổi (giảm), dẫn đến điện áp  $u_F$  thay đổi, do đó tốc độ động cơ Đ thay đổi:  $\omega < \omega_{cb}$ . Như vậy, bằng cách điều chỉnh biến trở RKF, ta điều chỉnh điện áp phản ứng động cơ Đ trong khi giữ từ thông không đổi:  $\phi_D = \phi_{dm}$ .

Khi thay đổi giá trị của biến trở RKĐ ta có thể thay đổi từ thông kích từ động cơ Đ. Khi  $\phi_D$  giảm thì tốc độ động cơ Đ tăng:  $\omega < \omega_{cb}$ . Trong khi điều chỉnh từ thông  $\phi_D$ , ta giữ điện áp phản ứng động cơ không đổi:  $U_{uD} = U_{dm}$ .

**Đảo chiều:** Cặp tiếp điểm T đóng hoặc N đóng, dòng điện kích từ máy phát  $I_{CKF}$  đảo chiều, do đó đảo chiều từ thông  $\phi_F$ , do đó  $U_F$  đảo dấu, dẫn đến  $\omega$  đảo chiều.

Khi thực hiện hãm thì động cơ Đ sẽ qua 2 giai đoạn hãm tái sinh:

- + Tăng  $\phi_D$  về định mức.
- + Giảm điện áp phản ứng động cơ về 0.

#### Nhận xét về hệ F-Đ:

- **Ưu điểm:** + Điều chỉnh tốc độ đơn giản, ít tổn năng lượng vì chỉ thực hiện trong mạch kích từ.

+ Dễ dàng đảo chiều quay bằng cách đảo chiều từ thông máy phát hoặc đảo chiều từ thông động cơ. Tuy nhiên trong thực tế thường dùng cách đảo chiều từ thông máy phát vì không thể để  $\phi_D = 0$  ( $\omega \rightarrow \infty$ ).

- **Nhược điểm:**

+ Nhược điểm quan trọng nhất của hệ F-Đ là dùng nhiều máy điện quay, trong đó ít nhất là 2 máy điện một chiều, gây ồn lớn, công suất lắp đặt máy ít nhất gấp 3 lần công suất động cơ chấp hành, dẫn đến giá thành tăng, hiệu suất thấp.

+ Ngoài ra, do các máy phát một chiều có từ dư, đặc tính từ hóa có trễ nên khó điều chỉnh sâu tốc độ.

Phạm vi điều chỉnh tốc độ:

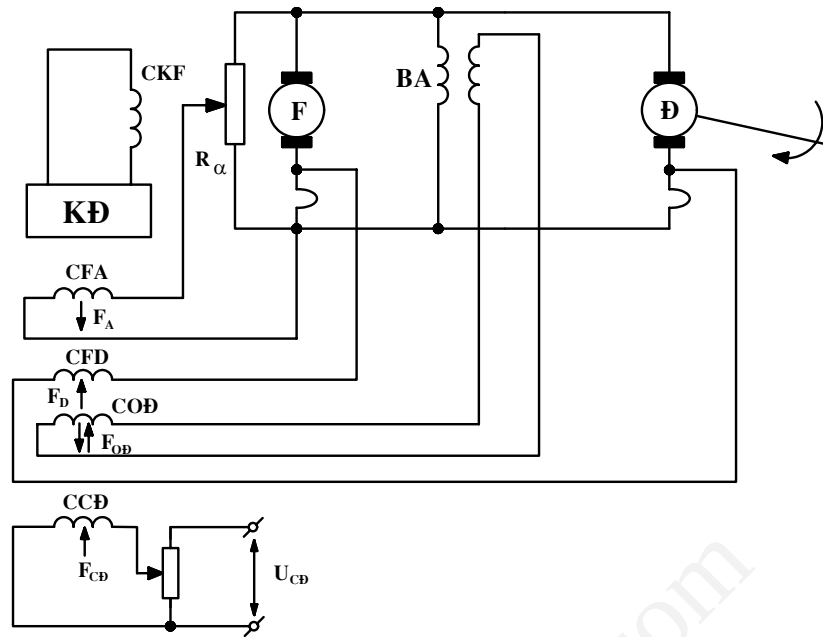
$$D = D_u.D_\phi = 10.(2 \div 3)/1 = (20 \div 30)/1$$

Phạm vi điều chỉnh tốc độ bị chặn dưới bởi điện áp dư  $U_{du}$ . Bị chặn trên bởi giới hạn cơ học.

Khi dòng kích từ  $I_{CKF} = 0$  thì  $U_F = U_{du} \neq 0$ , do đó tồn tại giá trị tốc độ  $\omega \neq 0$ . Vì vậy để giảm nhanh tốc độ động cơ về 0 ta phải thực hiện hãm động năng.

#### 3.4.1.2 Hệ F - Đ có phản hồi âm áp, dương dòng.

Sơ đồ chỉ quan tâm đến việc cấp điện cho cuộn CKF. Cuộn CKF được cấp điện bởi một tần khuếch đại KĐ. KĐ có thể là dùng bán dẫn (Thyristor), dùng máy điện hoặc khuếch đại từ.



**Hình 3.8** - Hệ truyền động F-Đ có phản hồi âm áp, dương dòng.

Giả sử KĐ là một máy điện khuếch đại từ trường ngang, gồm 4 cuộn kích từ: CCĐ, CFA, CFD, COĐ. Trong đó vai trò của các cuộn như sau:

+ **CCĐ**: Gọi là cuộn chủ đạo hay cuộn điều khiển, được cấp điện từ nguồn một chiều ổn định. Điện áp đặt vào cuộn này thay đổi được nhờ biến trở  $R_{CB}$ . Điện áp này tạo ra sức từ động  $F_{CB}$  định giá trị sức điện động máy phát, cũng là điện áp đặt lên động cơ, do đó quyết định tốc độ đặt động cơ.

+ **CFA**: Là cuộn phản hồi âm áp. Cuộn CFA nối song song với điện trở  $R_\alpha$  (là một phần của điện trở  $R_1$ ). Khi hệ F-Đ làm việc thì trên  $R_1$  có điện áp tỉ lệ với  $U_F$ , do đó dòng điện trên cuộn CFA cũng tỉ lệ với điện áp máy phát:  $I_{CFA} \sim U_F$ , do đó  $F_A \sim U_F$ . Chiều của  $F_A$  ngược với chiều của  $F_{CB}$ , vì vậy cuộn CFA gọi là cuộn phản hồi âm áp.

+ **CFD**: Là cuộn phản hồi dương dòng. Cuộn CFD nối song song với 2 cuộn phụ của máy phát và động cơ: CPF & CPĐ. Khi hệ F-Đ làm việc thì tổng sụt áp trên CPF & CPĐ là:  $\Delta U = R_{cf} \cdot I$ . Trong đó:  $R_{cf} = R_{CPF} + R_{CPĐ}$  là tổng trở của 2 cuộn phụ,  $I$  là dòng điện đi qua động cơ. Do đó sức từ động của cuộn CFD tỉ lệ với dòng điện qua động cơ:  $F_{CFD} \sim \Delta U$  hay  $F_{CFD} \sim I$ ,  $F_{CFD}$  cùng chiều với  $F_{CB}$ . Vì vậy cuộn CFD được gọi là cuộn phản hồi dương dòng.

+ **COĐ**: Là cuộn ổn định hay cuộn phản hồi mềm. Cuộn COĐ lấy dòng trên thứ cấp máy biến áp BA, sơ cấp của BA nối song song với máy phát. Khi hệ thống ở chế độ tĩnh thì trong cuộn sơ cấp không có phản ứng. Khi hệ thống ở chế độ động, dòng điện biến thiên, trong máy biến áp BA có tín hiệu, cuộn COĐ xuất hiện dòng điện, sinh ra sức từ động  $F_{OD}$ . Chiều của  $F_{OD}$  có xu hướng chống lại sự biến thiên đó, làm cho hệ nhanh chóng ổn định. Phản hồi này gọi là phản hồi mềm.

Sức từ động tổng kích từ của bộ khuếch đại KĐ là:

$$F_\Sigma = F_{CB} - F_{CFA} + F_{CFD} \pm F_{OD}$$

Ở chế độ tĩnh thì  $F_{OD} = 0$ .

Giả sử động cơ đang làm việc ổn định ở một tốc độ nào đó, vì một nguyên nhân khách quan nào đó làm cho động cơ nặng tải, tốc độ của động cơ giảm xuống, dòng điện qua động cơ tăng lên ( $I = \frac{U_F - U_D}{R_\Sigma}$ ), vì thế  $F_{CFD}$  tăng,  $F_{CFA}$  giảm, dẫn đến sức từ động tổng  $F_\Sigma$  tăng, do đó  $U_F$  tăng làm tốc độ động cơ lại tăng lên bù lại phần sụt giảm tốc độ.

Phương trình đặc tính cơ - điện:

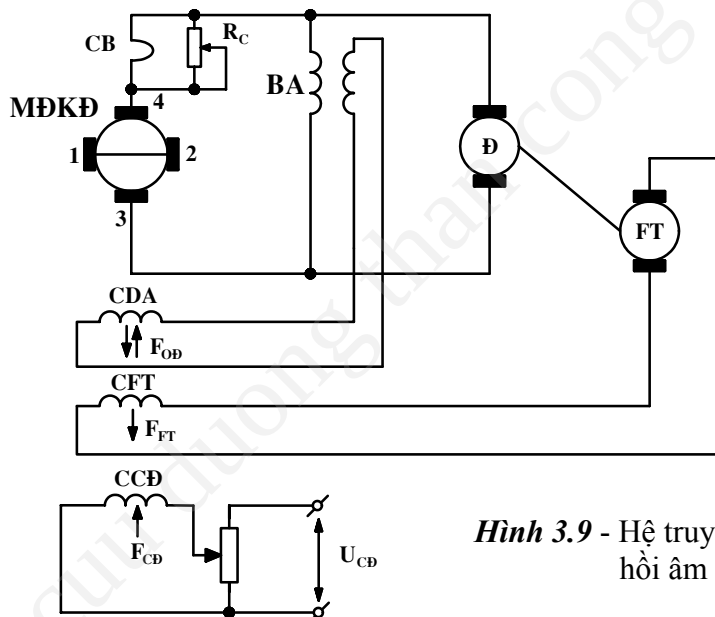
$$\omega = K_1 \cdot U_{CD} - K_1 \cdot [R_u - f(R_{cf}, R_{uD}, R_{uF}, \alpha)] = \omega_0 - \Delta\omega$$

Muốn cho hệ ổn định thì ta phải có  $\Delta\omega \rightarrow 0$ . Do đó cần chỉnh định giá trị  $\alpha$  sao cho  $f(R_{cf}, R_{uD}, R_{uF}, \alpha) \rightarrow R_u$ . Trong đó:

$$\alpha = \frac{R_\alpha}{R_l}$$

### 3.4.1.3 Hệ F - Đ có phản hồi âm tốc độ

Động cơ Đ được cấp điện từ máy điện khuếch đại từ trường ngang MĐKĐ.



Hình 3.9 - Hệ truyền động F-Đ có phản hồi âm tốc độ.

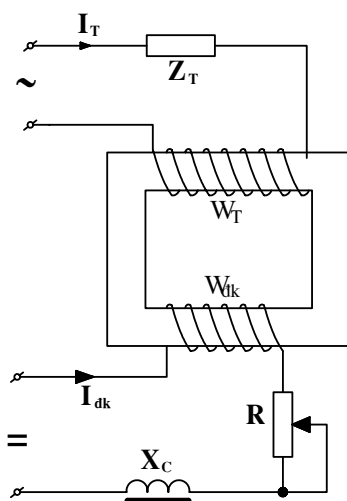
Máy phát tốc FT được nối trực với động cơ Đ. Điện áp ra:  $U_{FT} = K \cdot \omega$ , điện áp này tạo ra sức từ động:  $F_{FT} = c \cdot \omega$ .

Sức từ động tổng:  $F_\Sigma = F_{CD} - c \cdot \omega \pm F_{OD}$

Máy phát tốc được sử dụng rộng rãi vì nó không liên quan về mặt điện với mạch động lực và có nhiều kiểu tín hiệu ra.

### 3.4.2 Hệ truyền động khuếch đại từ - động cơ (KĐT - Đ)

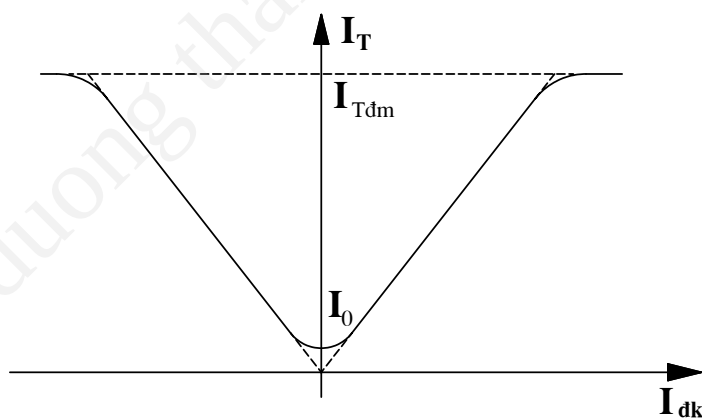
Khuếch đại từ là khí cụ điện mà tín hiệu đầu ra được khuếch đại nhờ sự thay đổi điện kháng bằng cách thay đổi dòng điều khiển. Sơ đồ nguyên lý của một khuếch đại từ đơn giản được trình bày ở hình 3.10.



**Hình 3.10** - Khuếch đại từ.

Trên mạch từ không có khe hở không khí được quấn hai cuộn dây: cuộn điều khiển ( $w_{dk}$ ) và cuộn tải ( $w_T$ ). Cuộn dây  $w_T$  được đầu nối tiếp với phụ tải và đầu vào nguồn điện xoay chiều, còn cuộn dây  $w_{dk}$  được nối nối tiếp với biến trở  $R$ , với điện kháng chặn  $X_C$  (để hạn chế ảnh hưởng của dòng điện xoay chiều cảm ứng từ phía mạch xoay chiều) và nối với nguồn điện áp một chiều.

Mạch từ bão hòa ứng với trường hợp  $I_{dk} = I_{dkdm}$  là vùng giới hạn trên và trường hợp  $I_{dk} = 0$  là giới hạn dưới hoạt động của khuếch đại từ. Giữa hai vùng giới hạn trên, khi tăng dần  $I_{dk}$  thì dòng tải tăng dần từ  $I_0$  đến  $I_{Tdm}$ .



**Hình 3.11** - Đặc tính điều khiển của khuếch đại từ.

Đặc tính điều khiển của khuếch đại từ được trình bày ở hình 3.11. Phương trình cơ bản của khuếch đại từ lý tưởng là:

$$I_T \cdot w_T = I_{dk} \cdot w_{dk}$$

Do đó: 
$$I_T = I_{dk} \frac{w_{dk}}{w_T}$$

Với khuếch đại từ lý tưởng, khi  $I_{dk} = 0$  thì  $I_T = 0$ , còn với khuếch đại từ thực tế:  $I_{dk} = 0$  thì  $I_T = I_0$ .

Vì công suất điều khiển bé hơn nhiều lần công suất xoay chiều nên được gọi là khuếch đại từ.

### 3.4.3 Hệ truyền động chỉnh lưu - động cơ

Các bộ biến đổi dòng điện xoay chiều thành một chiều thực chất là các bộ chỉnh lưu (hay các bộ nắn điện) dùng để biến đổi dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều.

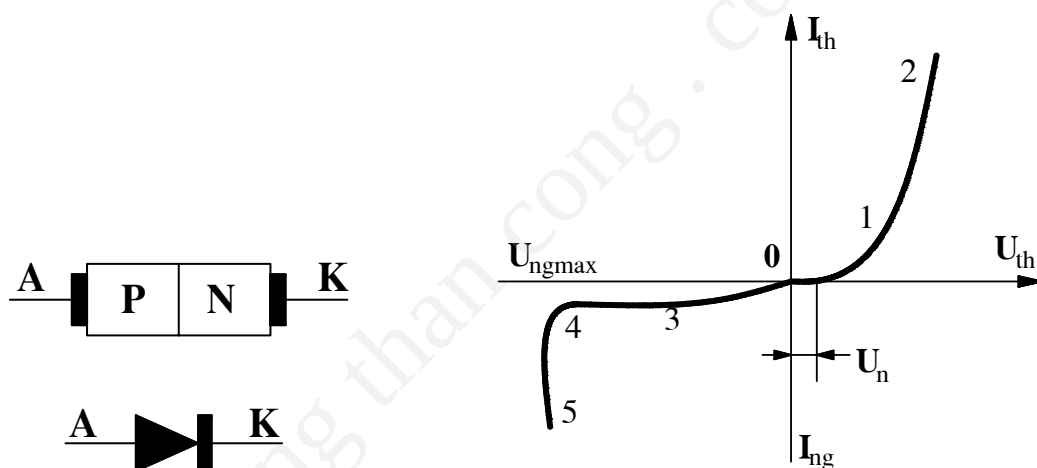
Có rất nhiều sơ đồ chỉnh lưu khác nhau được phân loại như sau:

- Theo số pha có: Chỉnh lưu 1 pha, chỉnh lưu 3 pha...
- Theo sơ đồ nối có: Chỉnh lưu nửa chu kỳ, chỉnh lưu 2 nửa chu kỳ, chỉnh lưu hình cầu, chỉnh lưu hình tia...
- Theo sự điều khiển có: Chỉnh lưu không điều khiển, chỉnh lưu có điều khiển, chỉnh lưu bán điều khiển.

#### 3.4.3.2 Giới thiệu Thyristor

##### a) Điốt:

Điốt là linh kiện bán dẫn gồm 2 miếng bán dẫn P và N ghép lại với nhau. Đầu nối với bán dẫn P gọi là Anôt (A), đầu nối với bán dẫn N gọi là Katôt (K).



Hình 3.12 - Cấu tạo, ký hiệu và đặc tính Vôn-Ampe của điốt.

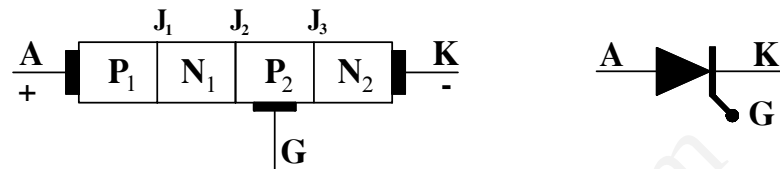
Đặc tính Vôn-Ampe của điốt biểu thị mối quan hệ  $I(U)$  giữa dòng điện qua điốt và điện áp đặt vào 2 cực của điốt. Đặc tính Vôn-Ampe tĩnh của điốt có 2 nhánh. Nhánh thuận ứng với điện áp thuận (sơ đồ nối mạch ở góc I), dòng điện đi qua điốt tăng theo điện áp. Khi điện áp đặt vào điốt vượt một ngưỡng  $U_n$  cỡ  $0,1V \div 0,5V$  và chưa lớn lắm thì đặc tính có dạng parabol (đoạn 1). Khi điện áp lớn hơn thì đặc tính gần như đường thẳng (đoạn 2).

Nhánh ngược ứng với điện áp phân cực ngược (sơ đồ nối mạch ở góc III). Lúc đầu, điện áp ngược tăng thì dòng điện ngược (dòng điện rò) rất nhỏ cũng tăng nhưng rất chậm (đoạn 3). Tới điện áp ngược  $|U| > U_{ng,max}$  thì dòng điện ngược tăng nhanh (đoạn khuỷu 4) và cuối cùng (đoạn 5) thì điốt bị đánh thủng. Lúc này dòng điện ngược tăng vọt dù có giảm điện áp. Điện áp này gọi là điện áp chọc thủng. Để đảm bảo an toàn cho điốt, ta nên để điốt làm việc với điện áp ngược  $\sim 0,8U_{ng,max}$ . Với  $U_{ng} < 0,8U_{ng,max}$  thì dòng điện rò qua điốt nhỏ không đáng kể và điốt coi như ở trạng thái khóa.

Từ đặc tính V-A của điôt có thể thấy điôt (do tính chất đặc biệt của lớp tiếp xúc P-N) chỉ cho dòng điện chảy qua từ Anôt sang Katôt khi phân áp thuận và không cho dòng điện chảy qua từ Katôt sang Anôt khi phân cực ngược. Hay nói cách khác, tùy theo điều kiện phân áp mà điôt có thể dẫn dòng hay không dẫn dòng. Điôt là một van bán dẫn. Tính chất này được sử dụng để chỉnh lưu (nắn) dòng điện xoay chiều thành một chiều.

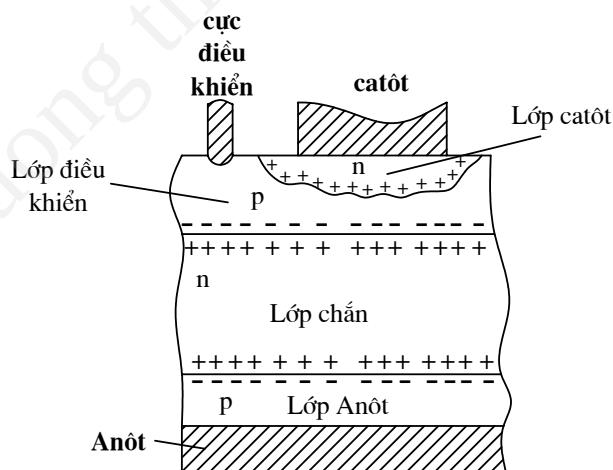
#### ***b) Tiristor:***

Tiristor là linh kiện gồm 4 lớp bán dẫn pnpn liên tiếp nhau tạo nên Anôt, Katôt và cực điều khiển G (hình vẽ).



**Hình 3.13** - Cấu tạo và ký hiệu của Tiristor.

Cấu tạo thường gặp và ký hiệu của Tiristor cho trên hình 3.13. Về mặt cấu tạo Tiristor gồm một đĩa silic từ đơn tinh thể loại n, trên lớp đệm loại bán dẫn p có cực điều khiển bằng dây nhôm, các lớp chuyển tiếp được tạo nên bằng kỹ thuật bay hơi của gali. Lớp tiếp xúc giữa Anôt và Katôt làm bằng đĩa môliden hay tungsten có hệ số nóng chảy gần với silic. Cấu tạo dạng đĩa kim loại để dễ dàng tản nhiệt. Hình 3.14 trình bày mặt cắt của một tiristor. Ngoài cùng là lớp vỏ bọc có tác dụng chống các ứng suất cơ học, để dễ dàng tản nhiệt cũng như để dễ nối với mạch ngoài.



**Hình 3.14** - Mặt cắt chi tiết của Tiristor.

Nguyên lý làm việc của Tiristor: Khi đặt Tiristor dưới điện áp một chiều, anôt vào cực dương, katôt vào cực âm của nguồn điện áp,  $J_1$  và  $J_3$  được phân cực thuận,  $J_2$  bị phân cực ngược. Gần như toàn bộ điện áp nguồn đặt lên mặt ghép  $J_2$ . Điện trường nội tại  $E_1$  của  $J_2$  có chiều hướng từ  $N_1$  về  $P_2$ . Điện trường ngoài tác động cùng chiều với  $E_1$ , vùng chuyển tiếp cũng là vùng cách điện càng mở rộng ra, không có dòng điện chảy qua Tiristor mặc dù nó được đặt dưới điện áp thuận.

**Mở Tiristor:** Nếu cho một xung điện áp dương  $U_g$  tác động vào cực G (dương so với K), các điện tử từ  $N_2$  chạy sang  $P_2$ . Đến đây một số ít trong chúng chảy vào nguồn  $U_g$  và hình thành dòng điều khiển  $I_g$  chảy theo mạch G-J<sub>3</sub>-K-G, còn phần lớn điện tử, chịu sức hút của điện trường tổng hợp của mặt ghép J<sub>2</sub>, lao vào vùng chuyển tiếp này, chúng được tăng tốc độ, động năng lớn lên, bẻ gãy các liên kết giữa các nguyên tử silic, tạo nên những điện tử tự do mới. Số điện tử mới được giải phóng này lại tham gia bắn phá các nguyên tử Si trong vùng chuyển tiếp. Kết quả của phản ứng dây chuyền này làm xuất hiện ngày càng nhiều điện tử chảy vào  $N_1$ , qua  $P_1$  và đến cực dương của nguồn điện ngoài, gây nên hiện tượng dẫn điện ào ạt. J<sub>2</sub> trở thành mặt ghép dẫn điện, bắt đầu từ một điểm nào đó ở xung quanh cực G rồi phát triển ra toàn bộ mặt ghép với tốc độ khoảng  $1\text{cm}/100\mu\text{s}$ .

Điện trở thuận của Tiristor, khoảng  $100\text{k}\Omega$  khi ở trạng thái khóa, trở thành khoảng  $0,01\Omega$  khi Tiristor dẫn cho dòng chảy qua.

Có thể hình dung như sau: Khi đặt Tiristor dưới điện áp  $U_{AK} > 0$ , Tiristor ở trạng thái sẵn sàng mở cho dòng chảy qua, nhưng nó còn đợi lệnh - tín hiệu  $I_g$  ở cực điều khiển.

$$\text{Công thức:} \quad \text{Tiristor khóa} + \begin{cases} U_{AK} > 1V \\ I_g \geq I_{gst} \end{cases} \rightarrow \text{Tiristor mở}$$

Trong đó  $I_{gst}$  là giá trị dòng điện điều khiển ghi trong sổ tay tra cứu của Tiristor.

Thời gian mở  $t_{on}$  là thời gian cần thiết để thiết lập dòng điện chính chảy trong Tiristor, tính từ thời điểm phóng dòng  $I_g$  vào cực điều khiển. Thời gian mở Tiristor kéo dài khoảng  $10\mu\text{s}$ .

**Khóa Tiristor:** Một khi Tiristor đã mở thì sự hiện diện của tín hiệu điều khiển  $I_g$  không còn là cần thiết nữa. Để khóa Tiristor có hai cách:

- Giảm dòng điện làm việc  $I$  xuống dưới giá trị dòng duy trì  $I_H$  (Holding current), hoặc là:
- Đặt một điện áp ngược lên Tiristor (biện pháp thường dùng).

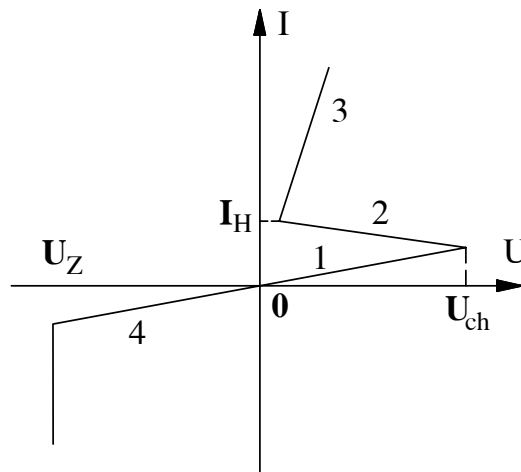
Khi đặt điện áp ngược lên Tiristor  $U_{AK} < 0$ , hai mặt ghép J<sub>1</sub> và J<sub>3</sub> bị phân cực ngược, J<sub>2</sub> bây giờ được phân cực thuận. Những điện tử, trước thời điểm đảo cực tính  $U_{AK}$ , đang có mặt tại P<sub>1</sub>, N<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> bây giờ đảo chiều hành trình, tạo nên dòng điện ngược chảy từ katốt về anốt, về cực âm của nguồn điện áp ngoài.

Lúc đầu của quá trình, từ  $t_0$  đến  $t_1$ , dòng điện ngược khá lớn, sau đó J<sub>1</sub> rồi J<sub>3</sub> trở nên cách điện. Còn lại một ít điện tử bị giữ lại giữa hai mặt ghép J<sub>1</sub> và J<sub>3</sub>, hiện tượng khuếch tán sẽ làm chúng ít dần đi cho đến hết và J<sub>2</sub> khôi phục lại tính chất của mặt ghép điều khiển.

Thời gian khóa  $t_{off}$  tính từ khi bắt đầu xuất hiện dòng điện ngược  $t_0$  cho đến khi dòng điện ngược bằng 0 ( $t_2$ ). Đây là khoảng thời gian mà sau đó nếu đặt điện áp thuận lên Tiristor, Tiristor cũng không mở,  $t_{off}$  kéo dài khoảng vài chục  $\mu\text{s}$ . Trong bất kỳ trường hợp nào cũng không được đặt Tiristor dưới điện áp thuận khi Tiristor chưa bị khóa, nếu không có thể gây ngắn mạch điện áp nguồn.

$$\text{Ta có công thức:} \quad \text{Tiristor mở} + U_{AK} < 0 \rightarrow \text{Tiristor khóa.}$$

Đặc tính Vôn-Ampe của Tiristor gồm 4 đoạn (hình 3.15): Đoạn 1 ứng với trạng thái khoá của Tiristor, chỉ có dòng điện rò chảy qua Tiristor. Khi tăng U đến  $U_{ch}$  (điện áp chuyển trạng thái), bắt đầu quá trình tăng nhanh chóng của dòng điện, Tiristor chuyển qua trạng thái mở.



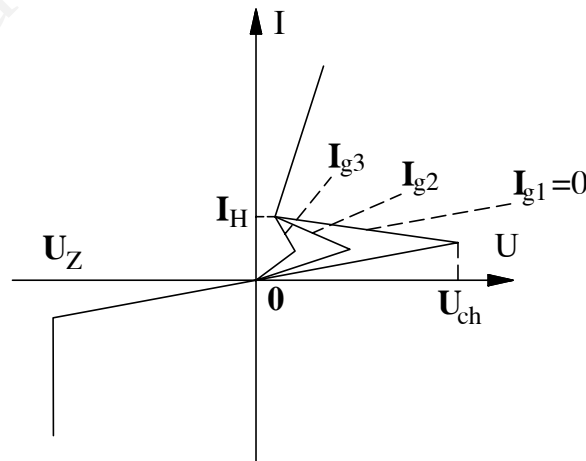
**Hình 3.15** - Đặc tính Vôn-Ampe của Tiristor.

Đoạn 2 ứng với giai đoạn phân cực thuận của  $J_2$ . Trong giai đoạn này mỗi một lượng tăng nhỏ của dòng điện ứng với một lượng giảm lớn của điện áp đặt lên Tiristor. Đoạn 2 còn gọi là đoạn điện trở âm.

Đoạn 3 ứng với trạng thái mở của Tiristor. Khi này cả 3 mặt ghép đã trở thành dẫn điện. Dòng điện chảy qua tiristor chỉ còn bị hạn chế bởi điện trở mạch ngoài. Điện áp rơi trên tiristor rất nhỏ, khoảng 1V. Tiristor còn giữ ở trạng thái mở chừng nào  $i$  còn lớn hơn dòng duy trì  $I_H$  (holding current).

Đoạn 4 ứng với trạng thái tiristor bị đặt dưới điện áp ngược. Dòng điện ngược rất nhỏ, khoảng vài chục  $mA$ . Nếu tăng  $U$  đến  $U_Z$  thì dòng điện ngược tăng lên mãnh liệt, mặt ghép bị chọc thủng, tiristor bị hỏng.

Bằng cách cho những giá trị  $I_g > 0$  khác nhau chúng ta sẽ nhận được một họ các đặc tính V-A với các  $U_{ch}$  nhỏ dần đi (hình 3.16).



**Hình 3.16** - Họ đặc tính Vôn-Ampe của Tiristor ứng với các giá trị khác nhau của dòng điều khiển  $I_G$ .

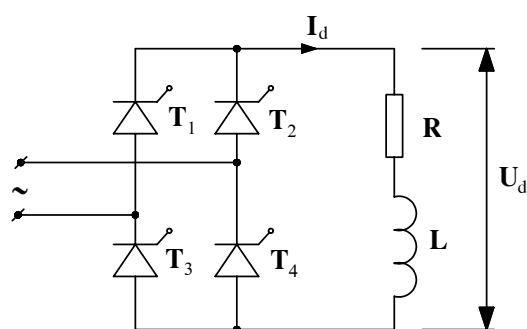
Ta có thể nhận xét:

- Đối với điôt, nó sẽ thông ngay khi được phân áp thuận nếu điện áp  $U_{AK} > U_{ngưỡng}$  ( $0,1 \div 0,5V$ ).

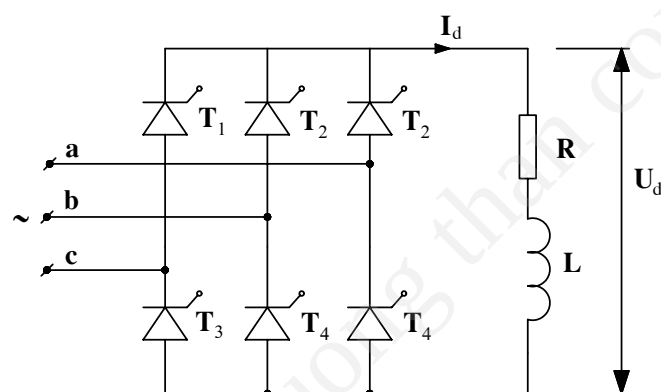
- Đối với Tiristor thì phân áp thuận chỉ là một điều kiện nên tiristor chưa thông. Cùng với phân áp thuận còn phải có xung dòng điều khiển đưa vào cực điều khiển G. Dòng điều khiển càng lớn, đặc tính V-A của tiristor càng giống đặc tính V-A của điôt. Tới một giá trị cực đại của dòng điều khiển thì đặc tính V-A của tiristor giống như của điôt. Do vậy, tiristor còn được gọi là điôt có điều khiển.

- Khi điôt hoặc tiristor thông thì điện trở trong của chúng rất nhỏ nên sụt áp trên chúng không đáng kể.

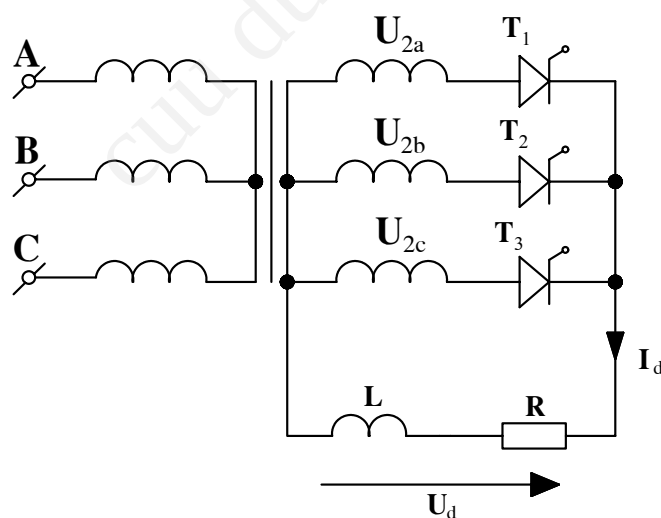
### 3.4.3.3 Các sơ đồ chỉnh lưu Thyristor



a) Sơ đồ chỉnh lưu Thyristor hình cầu 1 pha



b) Sơ đồ chỉnh lưu Thyristor hình cầu 3 pha



c) Sơ đồ chỉnh lưu Thyristor hình tia 3 pha

**Hình 3.17** - Các sơ đồ chỉnh lưu Tiristor.

Trong các sơ đồ chỉnh lưu trên, giá trị điện áp trung bình một chiều ra tải phụ thuộc vào góc điều khiển kích mở của Thyistor:

$$U_d = U_{d0} \cdot \cos \alpha.$$

Do đó, khi thay đổi góc điều khiển  $\alpha$  thì ta sẽ thay đổi được giá trị điện áp trung bình ra tải. Nếu tăng giá trị góc điều khiển  $\alpha$  thì điện áp trung bình sẽ giảm, ngược lại, giảm  $\alpha$  thì điện áp trung bình sẽ tăng. Giá trị lớn nhất của điện áp trung bình ra tải là  $U_{d0}$ , ứng với góc  $\alpha = 0$ .

Dòng điện trung bình qua tải:

$$I = \frac{U_d}{Z_d} \quad \text{với } Z_d = \sqrt{X_L^2 + R^2}$$

Trường hợp trong mạch tải có thêm suất điện động phản kháng:

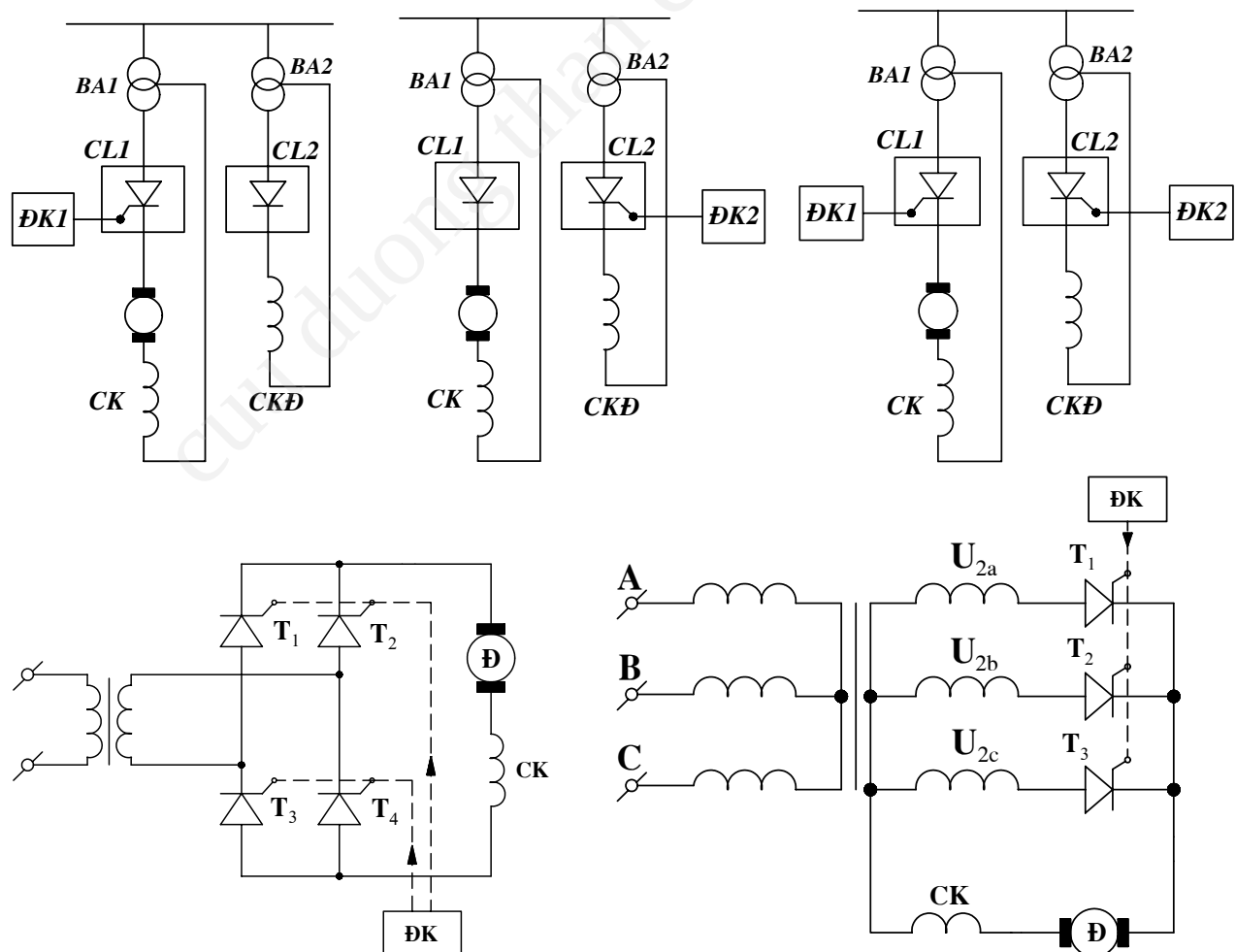
$$I = \frac{U_d - E}{Z_d}$$

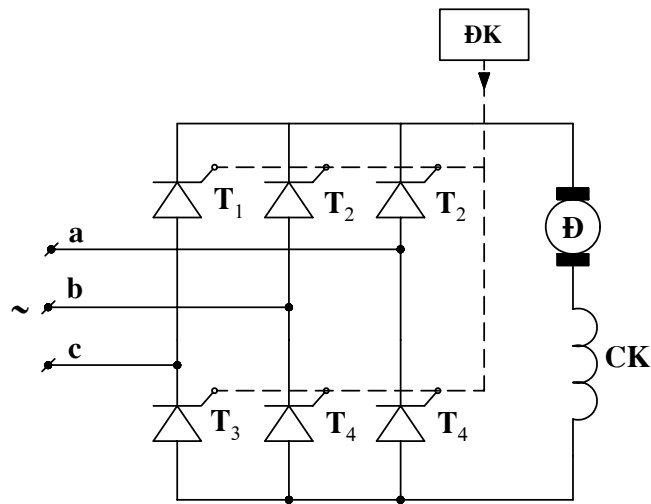
### 3.4.3.4 Hệ truyền động T - Đ

Trong hệ thống truyền động chỉnh lưu điều khiển - động cơ một chiều (hay hệ Thyristor - Động cơ một chiều), bộ biến đổi điện là các mạch chỉnh lưu điều khiển có điện áp ra tải  $U_d$  phụ thuộc vào giá trị của góc điều khiển. Chỉnh lưu có thể dùng làm nguồn điều chỉnh điện áp phản ứng hoặc dòng điện kích thích động cơ, tùy theo yêu cầu cụ thể của truyền động mà có thể dùng các sơ đồ chỉnh lưu thích hợp.

#### a) Hệ thống T-Đ không đảo chiều

Các sơ đồ thường gặp:





**Hình 3.18** - Các sơ đồ thường gặp hệ truyền động T-Đ không đảo chiều.

Vai trò của máy biến áp trong các sơ đồ chỉnh lưu:

- Biến đổi điện áp phù hợp.
- Cách ly với lưới điện xoay chiều và cải thiện dạng sóng.
- Tạo ra điểm trung tính cần thiết (đối với các sơ đồ hình tia).

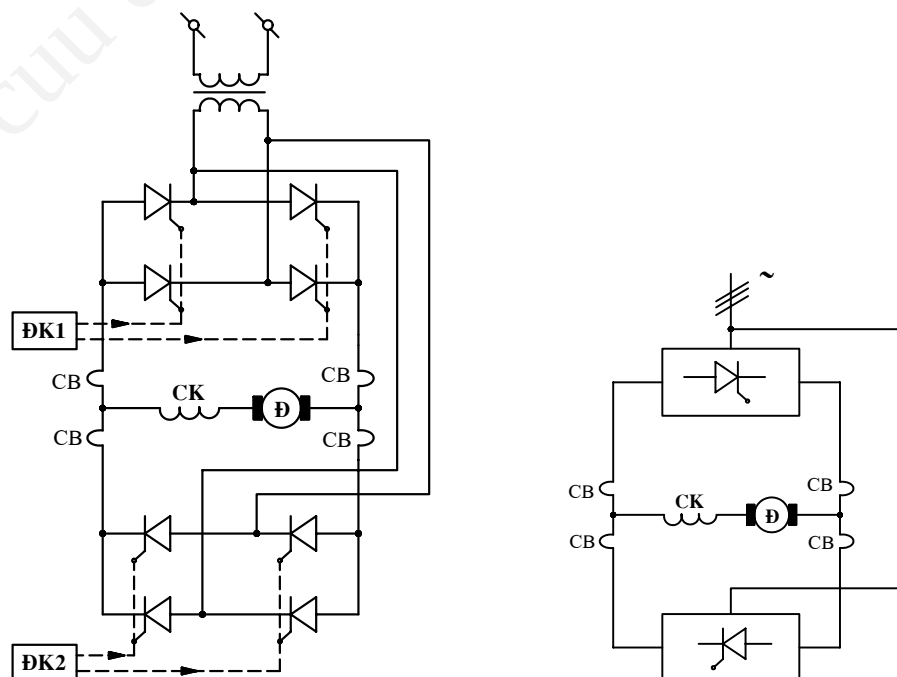
Việc sử dụng máy biến áp trong mạch tùy thuộc vào sơ đồ chỉnh lưu.

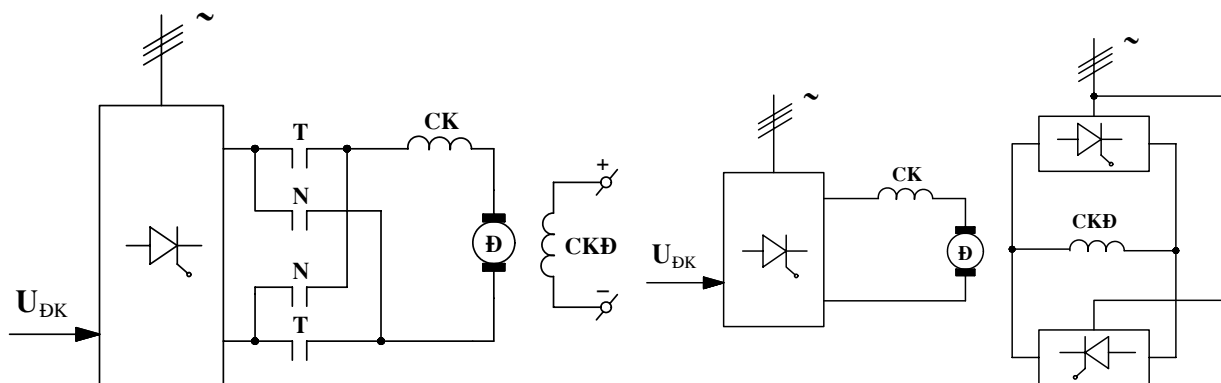
Vai trò của cuộn kháng CK: Điện áp sau khi chỉnh lưu là một hàm tuần hoàn không sin. Khai triển Fourier ta sẽ được một hàm trong đó có tồn tại các thành phần sóng hài bậc cao. Cuộn kháng CK dùng lọc các thành phần bậc cao đó để lấy thành phần một chiều  $A_0$ .

$$f(t) = A_0 + \sum A_i \sin i\omega t + \sum B_i \cos i\omega t$$

Trong thực tế không thể lọc hết hoàn toàn các thành phần sóng hài bậc cao, do đó còn tồn tại thành phần dòng điện xoay chiều chạy qua động cơ làm động cơ nóng hơn so với trường hợp làm việc trong hệ F-Đ.

### b) Hệ thống T-Đ có đảo chiều





**Hình 3.19** - Các sơ đồ hệ truyền động T-Đ có đảo chiều thường gặp.

Có thể đảo chiều động cơ bằng hai cách: Đảo chiều điện áp phản ứng hoặc đảo chiều từ thông kích từ.

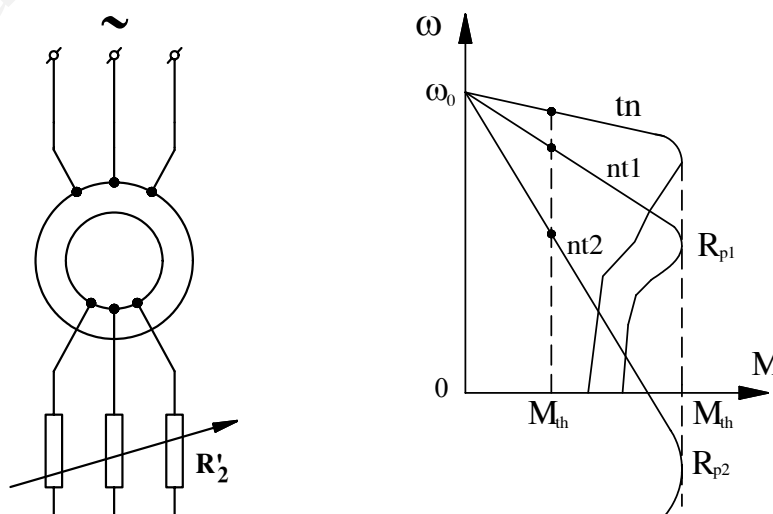
Trong các sơ đồ đảo chiều trên, cuộn kháng cân bằng CB dùng để chặn dòng điện cân bằng chảy qua hai bộ chỉnh lưu khi đảo chiều.

### 3.5 Điều chỉnh tốc độ động cơ điện xoay chiều 3 pha KĐB (2 tiết)

Động cơ điện xoay chiều được dùng rất phổ biến trong một dải công suất rộng vì có kết cấu đơn giản, dễ chế tạo, dễ vận hành, nguồn điện sẵn (lưới điện xoay chiều). Tuy nhiên, trong các hệ cần điều chỉnh tốc độ, đặc biệt với dải điều chỉnh rộng thì động cơ xoay chiều được sử dụng ít hơn động cơ một chiều vì còn gặp nhiều khó khăn. Gần đây, nhờ sự phát triển của kỹ thuật điện tử, bán dẫn, việc điều chỉnh tốc độ động cơ xoay chiều không đồng bộ đã có nhiều khả năng tốt hơn.

#### 3.5.1 Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở phụ trong mạch rôto.

Phương pháp này chỉ được sử dụng với động cơ rotor dây quấn và được ứng dụng rất rộng rãi do tính đơn giản của phương pháp. Sơ đồ nguyên lý và các đặc tính cơ khi thay đổi điện trở phản ứng như hình 3.20.



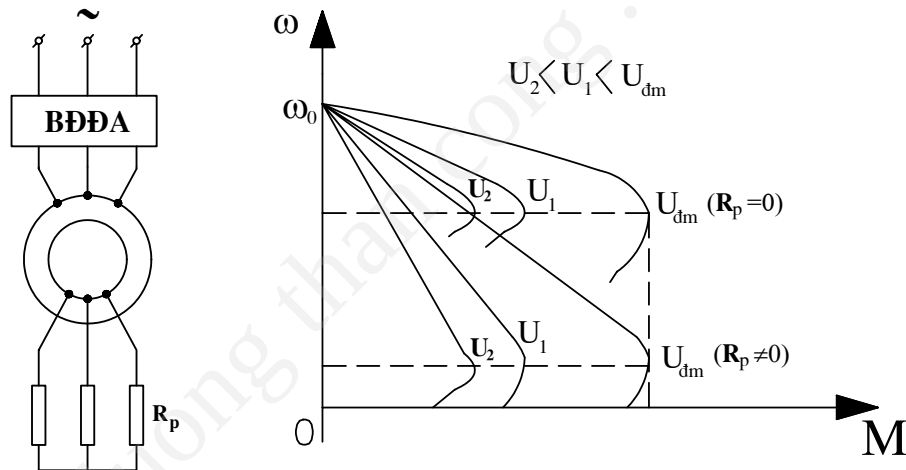
**Hình 3.20** - Phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ KĐB 3 pha bằng cách thay đổi điện trở phụ trong mạch rôto.

*Nhận xét:*

- Phương pháp này chỉ cho phép điều chỉnh tốc độ về phía giảm.
- Tốc độ càng giảm, đặc tính cơ càng mềm, tốc độ động cơ càng kém ổn định trước sự lên xuống của mômen tải.
- Dải điều chỉnh phụ thuộc trị số mômen tải. Mômen tải càng nhỏ, dải điều chỉnh càng hẹp.
- Khi điều chỉnh sâu (tốc độ nhỏ) thì độ trượt động cơ tăng và tổn hao năng lượng khi điều chỉnh càng lớn.
- Phương pháp này có thể điều chỉnh trơn nhờ biến trở nhưng do dòng phản ứng lớn nên thường được điều chỉnh theo cấp.

### 3.5.2 Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp đặt vào mạch stato.

Thực hiện phương pháp này với điều kiện giữ không đổi tần số. Điện áp cấp cho động cơ lấy từ một bộ biến đổi điện áp xoay chiều. BĐĐ điện áp có thể là một máy biến áp tự ngẫu hoặc một BĐĐ điện áp bán dẫn như được trình bày ở mục trước. Hình 3.21 trình bày sơ đồ nối dây và các đặc tính cơ khi thay đổi điện áp phần cảm.



**Hình 3.21** - Phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ KĐB 3 pha bằng cách thay đổi điện áp đặt vào mạch stator.

*Nhận xét:*

- Thay đổi điện áp chỉ thực hiện được về phía giảm dưới giá trị định mức nên kéo theo mômen tới hạn giảm nhanh theo bình phương của điện áp.
- Đặc tính cơ tự nhiên của động cơ không đồng bộ thường có độ trượt tới hạn nhỏ nên phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng cách giảm điện áp thường được thực hiện cùng với việc tăng điện trở phụ ở mạch rotor để tăng độ trượt tới hạn do đó tăng được dải điều chỉnh lớn hơn.
- Khi điện áp đặt vào động cơ giảm, mômen tới hạn của các đặc tính cơ giảm, trong khi tốc độ không tải lý tưởng (hay tốc độ đồng bộ) giữ nguyên nên khi giảm tốc độ thì độ cứng đặc tính cơ giảm, độ ổn định tốc độ kém đi.

### 3.5.3 Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi tần số của nguồn xoay chiều.

Thay đổi tần số nguồn cấp cho động cơ là thay đổi tốc độ không tải lý tưởng nên thay đổi được đặc tính cơ. Tần số càng cao, tốc độ động cơ càng lớn.

Khi điều chỉnh tần số nguồn cấp cho động cơ thì các thông số liên quan đến tần số như cảm kháng thay đổi, do đó, dòng điện, từ thông,... của động cơ đều bị thay đổi theo và cuối cùng các đại lượng như độ trượt tới hạn, mômen tới hạn cũng bị thay đổi. Chính vì vậy, điều chỉnh tốc độ động cơ KĐB bằng phương pháp thay đổi tần số thường kéo theo điều chỉnh điện áp, dòng điện hoặc từ thông của mạch stator.

Đặc tính cơ khi thay đổi tần số nguồn được biểu diễn trên hình 2.30 (chương 2). Khi giảm tần số xuống dưới tần số định mức, cảm kháng của động cơ cũng giảm và dòng điện động cơ tăng lên. Tần số giảm, dòng điện càng lớn, mômen tới hạn càng lớn. Để tránh cho động cơ bị quá dòng, phải đồng thời tiến hành giảm điện áp sao cho  $\frac{U}{f} \sim \text{const}$ . Đó là luật điều chỉnh tần số - điện áp. Các đặc tính cơ tuân theo luật này được biểu thị trên hình 2.31 (phần  $f < f_{dm}$ ). Khi  $f > f_{dm}$  ta không thể tăng điện áp  $U > U_{dm}$  nên các đặc tính cơ không giữ được giá trị mômen tới hạn.

Người ta cũng thường dùng cả luật điều chỉnh tần số - dòng điện.

#### **3.5.4 Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi số đôi cực của động cơ.**

Đây là cách điều chỉnh tốc độ có cấp. Đặc tính cơ thay đổi vì tốc độ đồng bộ ( $\omega_0 = \frac{2\pi f}{p}$ ) thay đổi theo số đôi cực.

Động cơ thay đổi được số đôi cực là động cơ được chế tạo đặc biệt để cuộn dây stator có thể thay đổi được cách nối tương ứng với các số đôi cực khác nhau. Các đầu dây để đổi nối được đưa ra các hộp đấu dây ở vỏ động cơ. Số đôi cực của cuộn dây rotor cũng phải thay đổi như cuộn dây stator. Điều này khó thực hiện được đối với động cơ rotor dây quấn, còn đối với rotor lồng sóc thì nó lại có khả năng tự thay đổi số đôi cực ứng với stator. Do vậy, phương pháp này được sử dụng chủ yếu cho động cơ rotor lồng sóc. Các động cơ chế tạo sẵn các cuộn dây stator có thể đổi nối để thay đổi số đôi cực đều có rotor lồng sóc. Tỷ lệ chuyển đổi số đôi cực có thể là 2:1, 3:1, 4:1 hay tới 8:1.