

Chương IV

CÁC HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỀU CHỈNH THÔNG DỤNG

Các hệ truyền động điện là hết sức đa dạng, từ loại đơn giản đến phức tạp, từ cỡ công suất nhỏ đến công suất lớn, với các loại động cơ khác nhau, các loại thiết bị biến đổi khác nhau và ứng dụng các nguyên lý điều khiển khác nhau. Trong thực tế ta có thể gặp bất kỳ loại nào. Tuy nhiên, ta chỉ cần nắm vững cách phân tích một số loại tiêu biểu, từ đó suy ra cho những trường hợp khác. Sau đây là một số hệ thống truyền động điện điều chỉnh thường dùng trong thực tế.

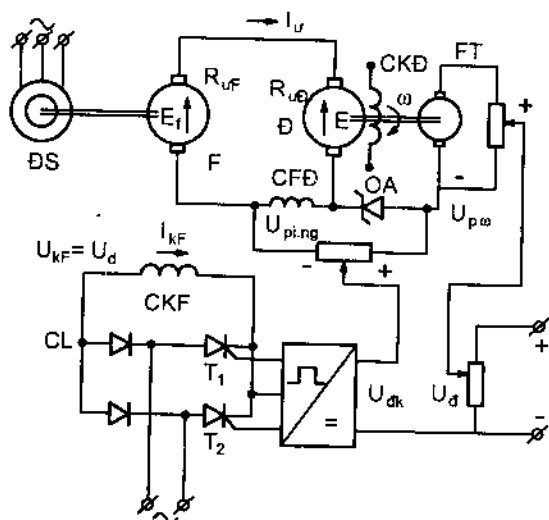
4.1. HỆ THỐNG MÁY PHÁT- ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU (HỆ F - Đ)

Trước khi có chỉnh lưu điều khiển công suất, hệ thống Máy phát - Động cơ một chiều (kích từ độc lập) được coi là hệ truyền động điều chỉnh tốt nhất. Nó tiêu biểu cho phương pháp điều khiển điện áp phản ứng và hệ "bộ biến đổi - động cơ một chiều". Tuy nhiên, vì bộ biến đổi trong hệ này được làm bằng các máy điện quay, tối thiểu là 2 máy, gồm động cơ không đồng bộ ĐS và máy phát điện một chiều F, với công suất mỗi máy lớn hơn công suất động cơ truyền động Đ, nên công kênh, đắt, gây nhiều tiếng ồn và đòi hỏi nền móng chắc chắn. Vì vậy, ngày nay nó đã được thay thế bằng hệ "Chỉnh lưu điều khiển - Động cơ", nhưng thực tế hệ F - Đ vẫn tồn tại trong một số máy sản xuất.

4.1.1. Sơ đồ nguyên lý

Sơ đồ nguyên lý của hệ vẽ trên hình 4-1. Tổ máy ĐS - F làm nhiệm vụ biến điện năng xoay chiều thành một chiều (qua khâu trung gian cơ khí là trục của động cơ ĐS), cấp cho phần ứng của động cơ một chiều kích từ độc lập Đ. Việc thay đổi điện áp trên phần ứng của động cơ Đ được thực hiện bằng cách điều khiển dòng kích từ I_{KF} của máy phát F để làm biến đổi $s_{đđ} E_F$. Cuộn kích từ của máy phát thường được nối vào một bộ nguồn điều chỉnh như chỉnh lưu

điều khiển, máy điện khuếch đại, hoặc đơn giản là nhờ một biến trở. Trên hình 4-1 ta dùng chỉnh lưu tiristo cầu 1 pha làm bộ nguồn kích từ cho máy phát. Điện áp điều khiển của chỉnh lưu này là U_{dk} cũng sẽ chính là thông số điều khiển máy phát F và cũng là thông số đầu vào của hệ. Các thông số ω , M và I_{ur} của động cơ được điều chỉnh tự động nhờ khâu phản hồi âm tốc độ (qua máy phát tốc FT và điện áp phản hồi $U_{p\omega}$) và khâu phản hồi âm dòng điện có ngắt (lấy tín hiệu trên cuộn dây cực từ phụ CFD của động cơ, tạo ra điện áp phản hồi $U_{pi.ng}$).



Hình 4 - 1. Hệ Máy phát - Động cơ có kích từ nhờ chỉnh lưu tiristo

4.1.2. Các chức năng chủ yếu của hệ

Hệ F - Đ tự động vòng kín (hình 4-1) có thể thực hiện các chức năng sau :

a) Điều chỉnh tốc độ động cơ

Thay đổi điện áp đặt U_d , ta đạt được : U_{dk} thay đổi ; góc mở của các tiristo trong mạch kích từ máy phát thay đổi, điện áp chỉnh lưu U_d đặt lên cuộn dây kích từ máy phát thay đổi ($U_{KF} = U_d = \text{var}$) ; sdd máy phát thay đổi ($E_f \text{ var}$), điện áp phản ứng của động cơ thay đổi ; kết quả là tốc độ động cơ ω được điều chỉnh. Đối với các hệ F - Đ có điều chỉnh tự động vòng kín như sơ đồ hình 4-1, dải điều chỉnh tốc độ có thể đạt $D > 10:1$ với sai số $s\% < 10\%$.

b) Hạn chế dòng điện và momen động cơ

Nhờ khâu phản hồi âm dòng điện có ngắt hệ thống tạo được đặc tính máy xúc (mục 3-6), do đó dòng điện phản ứng và momen động cơ được hạn chế dưới giá trị cho phép trong các trường hợp khởi động, hãm, đảo chiều, quá tải lớn và ngắn mạch.

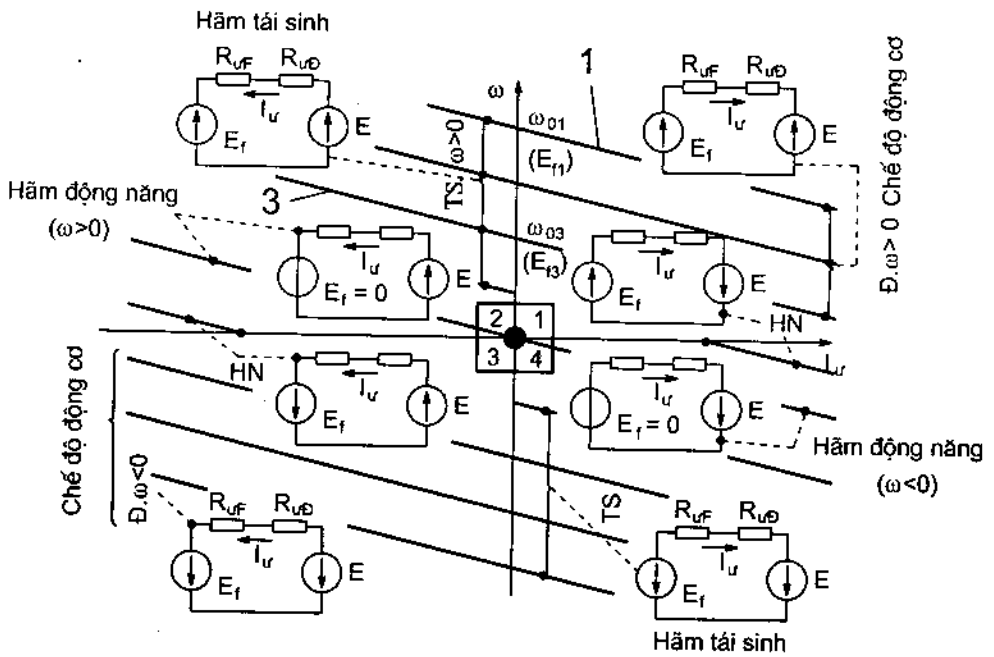
c) Cường bức các quá trình quá độ

Nhiều quá trình quá độ được xảy ra với tín hiệu điều khiển U_{dk} lớn, dẫn đến sdd máy phát lớn, do đó rút ngắn thời gian quá độ. Ví dụ : khi khởi động, ban đầu $\omega = 0$ nên điện áp phản hồi tốc độ $U_{p\omega} = 0$, toàn bộ điện áp đặt U_d

được đưa vào điều khiển bộ chỉnh lưu kích từ : $U_{dk} = U_d = \max$. Điện áp kích từ máy phát sẽ là lớn nhất làm cho sdd E_f tăng trưởng rất nhanh. Sdd đó đặt lên phản ứng động cơ làm cho động cơ được khởi động với điện áp nguồn lớn nhất. Khởi động như vậy được gọi là “khởi động cưỡng bức”. Tất nhiên, trong quá trình đó nếu dòng điện I_u vượt quá giá trị “ngắt” quy định, thì khâu phản hồi am dòng điện sẽ tác dụng, làm giảm U_{dk} ($U_{dk} = U_d - U_{pi.ng}$) và do đó làm giảm mức độ cưỡng bức. Khi động cơ quay, ω tăng lên, điện áp phản hồi tốc độ $U_{p\omega}$ lớn dần, U_{dk} giảm dần và hệ thống tiến dần đến trạng thái làm việc xác lập với tốc độ tương ứng với giá trị U_d đã cho.

d) Đảo chiều quay động cơ

Việc đảo chiều quay động cơ trong hệ F-Đ được thực hiện đơn giản bằng cách đảo chiều dòng kích từ máy phát, tức đảo cực tính điện áp kích từ U_{KF} (trên hình 4-1 không vẽ các phần tử này trong mạch kích từ máy phát). Khi đó, sdd E_f sẽ đổi cực tính ; dòng điện, momen và tốc độ động cơ sẽ đổi chiều.



Hình 4 - 2. Đặc tính cơ và sơ đồ thay thế của hệ F - Đ đảo chiều (bốn góc phần tư)

Động cơ trong hệ F-Đ đảo chiều có khả năng làm việc trên cả 4 góc phần tư của mặt phẳng tọa độ $[M, \omega]$, nghĩa là có thể làm việc ở trạng thái động cơ khi quay thuận ($\omega > 0$ – góc phần tư thứ nhất) và khi quay ngược ($\omega < 0$ – góc thứ ba), các trạng thái hãm (tái sinh, hãm ngược, hãm động năng ở cả hai chiều quay (góc 2 và góc 4). Các đặc tính cơ và sơ đồ thay thế mạch phần ứng

của hệ ở các trạng thái làm việc nêu trên được biểu thị trên hình 4-2. Chẳng hạn, nếu cho kích từ máy phát theo chiều thuận để có giá trị $E_{f1} > 0$ cấp cho động cơ, ta được đường đặc tính 1, động cơ làm việc ở trạng thái động cơ trong góc phần tư thứ nhất (hình 4-2). Khi ta giảm điện áp kích từ máy phát, giả sử ứng với mức giảm sdd E máy phát xuống E_{f3} thì động cơ sẽ chuyển sang làm việc trên đường đặc tính 3. Một phần quá trình chuyển dịch đó phải diễn ra trên góc phần tư thứ hai ở trạng thái hãm tái sinh. Lúc này $\omega > \omega_{03}$, tức $E > E_{f3}$, dòng I_u đổi chiều và chảy theo chiều sdd E của động cơ (ngược chiều E_f), động cơ biến thành máy phát điện, cấp năng lượng cho F, còn máy phát F lại biến thành động cơ, quay trục ĐS (xem hình 4-1) biến động cơ sơ cấp ĐS thành máy phát xoay chiều trả năng lượng về lưới điện.

Trên hình 4-2 còn biểu thị các trạng thái hãm ngược HN và hãm động năng DN. Trạng thái hãm động năng được thực hiện bằng cách cho kích từ máy phát $U_{KF} = 0$ (tức $I_{KF} = 0$), lúc này $E_f = 0$ và máy phát chỉ còn là điện trở R_{uF} , còn động cơ (đang quay) giống như được đóng vào điện trở hãm $R_h = R_{uF}$.

Trong hệ F-Đ việc chuyển đổi trạng thái làm việc giữa động cơ và máy phát, kèm theo sự trao đổi năng lượng giữa chúng (cũng chính là giữa phụ tải với lưới điện) là rất linh hoạt, mà không đòi hỏi những thiết bị phụ trợ hoặc những phương tiện điều khiển đặc biệt nào (Điều kiện mà ở các hệ thống sử dụng van bán dẫn khó thực hiện hơn). Đó là một ưu điểm của hệ này.

4.2. HỆ CHỈNH LƯU ĐIỀU KHIỂN - ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU (CL-Đ)

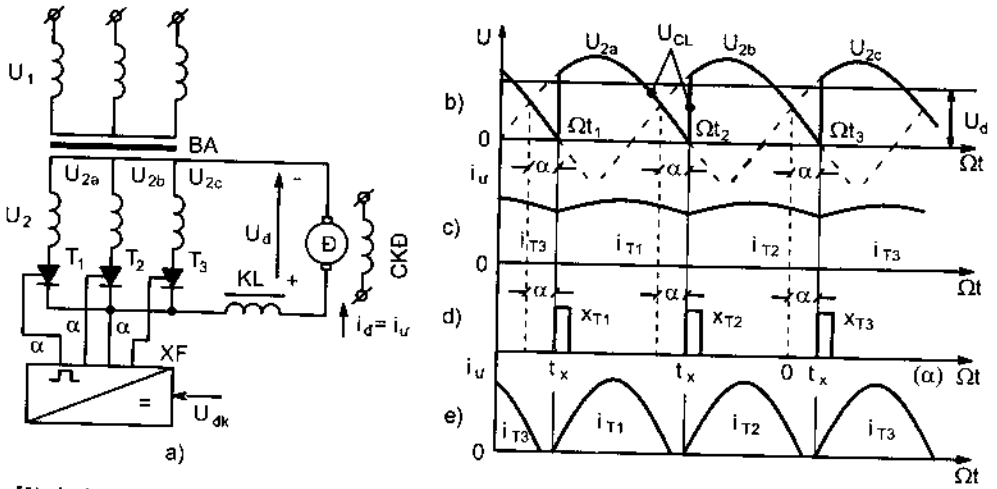
Hệ chỉnh lưu điều khiển - Động cơ một chiều (CL-Đ) thực hiện điều khiển động cơ theo nguyên lý thay đổi điện áp phản ứng. Ở đây, bộ biến đổi là chỉnh lưu bán dẫn, biến đổi trực tiếp điện năng xoay chiều thành một chiều không qua khâu trung gian nào, do đó nó có nhiều ưu điểm như kết cấu nhẹ, không đòi hỏi nền móng, không gây tiếng ồn, hiệu suất cao, hệ số khuếch đại công suất lớn, thuận tiện cho việc tự động hoá, độ tác động nhanh cao. Để dễ theo dõi, ta sẽ bắt đầu khảo sát từ hệ đơn giản không đảo chiều, hệ đảo chiều và cuối cùng là một ví dụ về hệ điều chỉnh tự động.

4.2.1. Hệ chỉnh lưu điều khiển - Động cơ không đảo chiều

a) Sơ đồ nguyên lý

Hình 4-3a đưa ra một sơ đồ nguyên lý đơn giản của hệ CL-Đ không đảo chiều, gồm bộ chỉnh lưu ba pha có các van tiristo T_1, T_2, T_3 nối hình tia, máy biến áp BA nối Y/Y và cuộn kháng lọc KL cấp điện cho phần ứng của động cơ

kích từ độc lập Đ. Bộ chỉnh lưu chỉ tạo ra điện áp một chiều U_d có cực tính không đổi như trên hình vẽ, dòng điện phản ứng I_r cũng chỉ có thể chảy theo một chiều (thuận chiều van bán dẫn) nên hệ này được gọi là hệ không đảo chiều, hoặc hệ không thuận nghịch.



Hình 4 - 3. Sơ đồ nguyên lý (a) và các đồ thị điện áp, dòng điện (b,c,e) và xung mở van (d) của hệ CL-Đ không đảo chiều

Như ta đã biết, khi đặt điện áp nguồn xoay chiều vào biến áp, các điện áp pha thứ cấp u_{2a} , u_{2b} , u_{2c} xoay chiều hình sin đặt lên anốt của các tiristo T_1 , T_2 , T_3 . Nếu các tiristo này nhận được xung điện áp dương trên cực điều khiển vào lúc anốt của chúng dương hơn catốt thì chúng sẽ thông, và trên hai đầu phần ứng động cơ sẽ nhận được điện áp u_{CL} - gọi là điện áp chỉnh lưu - có dạng nhấp nhô theo các đỉnh hình sin của điện áp thứ cấp máy biến áp, như đồ thị 4-3b. Điện áp dạng nhấp nhô u_{CL} sẽ tạo ra dòng điện i_r trong phần ứng động cơ cũng có dạng nhấp nhô như đồ thị hình 4-3c. Như vậy điện áp chỉnh lưu có chứa thành phần một chiều U_d và thành phần xoay chiều $U_{d\omega}$. Tuy nhiên, chỉ có thành phần một chiều U_d tạo ra dòng điện thuận một chiều I_d và momen động cơ. Ta sẽ khảo sát sự làm việc của động cơ dưới tác dụng của thành phần này.

Thành phần một chiều U_d chính là giá trị trung bình của điện áp chỉnh lưu. Nếu dòng điện i_r là liên tục, thì U_d có biểu thức :

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha \quad (4-1)$$

Trong đó :

α - Góc mở (thông) của tiristo, tính từ thời điểm chuyển mạch tự nhiên, tức thời điểm bằng nhau của điện áp thứ cấp máy biến áp ở hai pha liên tiếp (hình 4-3b). Tại thời điểm phát xung t_x ta có :

$$\alpha = \Omega t_x \quad (4-2)$$

Trong đó : $\Omega = 341 \text{ rad/s}$ – tần số góc của điện áp lưới.

U_{d0} - điện áp chỉnh lưu lớn nhất, ứng với khi $\alpha = 0$, nghĩa là khi tiristo thông như diot. Với số pha chỉnh lưu có $m \geq 2$ ta có :

$$U_{d0} = \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} \sqrt{2} \cdot U_2 = K_u \cdot U_2 \quad (4-3)$$

Với :

K_u – Hệ số phụ thuộc sơ đồ chỉnh lưu :

$$K_u = \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} \sqrt{2} \quad (4-4)$$

m – Số pha chỉnh lưu, nếu là sơ đồ cầu thì lấy $m = 2$ lần số pha.

Ví dụ : sơ đồ một pha hai nửa chu kỳ và sơ đồ cầu một pha : $m = 2$ thì $K_u = 0,9$; tia 3 pha : $K_u = 1,17$; cầu 3 pha : $K_u = 2,34$.

Khi thay đổi điện áp điều khiển U_{dk} trên đầu vào của khối tạo xung – dịch pha XF, thời điểm tạo xung t_x sẽ thay đổi, góc mở van α thay đổi và do đó điện áp ra của chỉnh lưu đặt lên phần ứng động cơ U_d thay đổi. Nhờ đó ta điều chỉnh được thông số đầu ra của động cơ.

b) Sơ đồ thay thế của hệ CL- Đ không đảo chiều

Nếu biểu thị bộ chỉnh lưu bằng nguồn sdd E_d , điện trở trong R_{CL} , van một chiều V, cùng với mạch của động cơ ta được sơ đồ thay thế của hệ như trên hình 4-4.

Sdd E_d chính là điện áp U_d khi không xét đến sụt áp trên điện trở trong của chỉnh lưu, do đó nó được xác định theo (4-1). Mặt khác, nếu biết đặc tính của khối XF nghĩa là biết quan hệ $\alpha = f(U_{dk})$ thì có thể xác định E_d theo U_{dk} :

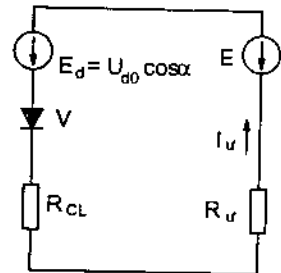
$$E_d = U_{d0} \cos \alpha = K_{CL} U_{dk} \quad (4-5)$$

Trong đó : K_{CL} – Hệ số khuếch đại điện áp của bộ chỉnh lưu. Nếu coi chỉnh lưu là tuyến

$$\text{tính thì : } K_{CL} = \frac{U_{d0}}{U_{dk \max}} = \text{const} \quad (4-6)$$

Điện trở R_{CL} gồm các thành phần sau :

$$R_{CL} = R_{BA} + R_{KL} + R_{cm} \quad (4-7)$$



Hình 4 - 4. Sơ đồ thay thế của hệ CL - Đ không đảo chiều

Trong đó :

R_{BA} : Điện trở của dây quấn máy biến áp, gồm điện trở cuộn thứ cấp R_2 và điện trở cuộn sơ cấp quy đổi về mạch thứ cấp R_1' :

$$R_{BA} = R_2 + R_1' = R_2 + R_1 \frac{1}{K_{BA}^2} \quad (4-8)$$

R_{KL} : điện trở cuộn kháng lọc (thường rất nhỏ $R_{KL} \approx 0$)

R_{cm} : điện trở đẳng trị xét đến phân sụt áp do hiện tượng chuyển mạch giữa các tiristo :

$$R_{cm} = \frac{m}{2\pi} X_{BA} \quad (4-9)$$

Với X_{BA} - điện kháng của máy biến áp, cũng được xác định tương tự như (4-8) :

$$X_{BA} = X_2 + X_1' = X_2 + X_1 \frac{1}{K_{BA}^2} \quad (4-10)$$

Cũng có thể xác định điện trở và điện kháng của máy biến áp theo các thông số catalo của máy :

$$R_{BA} = \frac{\Delta P_d \%}{100} \cdot \frac{U_{2dm}}{I_{2dm}} = \frac{\Delta P_d \%}{100} \cdot \frac{U_{1dm}}{K_{BA}^2 I_{1dm}} \quad (4-11)$$

$$R_{BA} = \frac{U_{nm} \%}{100} \cdot \frac{U_{2dm}}{I_{2dm}} = \frac{U_{nm} \%}{100} \cdot \frac{U_{1dm}}{K_{BA}^2 I_{1dm}} \quad (4-12)$$

Trong đó :

$U_{1dm}, I_{1dm}, U_{2dm}, I_{2dm}$: Giá trị định mức của điện áp và dòng điện (pha) sơ cấp và thứ cấp của máy biến áp.

$$K_{BA} = \frac{U_{1dm}}{E_{2dm}} \approx \frac{U_{1dm}}{U_{2dm}} : \text{Hệ số biến áp.}$$

$\Delta P_d \%, U_{nm} \%$: tổn thất đồng và điện áp ngắn mạch của máy biến áp (giá trị tương đối %). Chú ý rằng, sơ đồ thay thế trên đây dùng cho thành phần một chiều của điện áp và dòng điện.

c) Đặc tính cơ của hệ ở trạng thái dòng điện liên tục

Ta xét trường hợp dòng điện phản ứng chảy liên tục theo thời gian, như đã vẽ trên hình 4-3c. Đây là trạng thái làm việc chủ yếu của hệ CL-Đ, trong đó : dòng điện qua van này chưa tắt thì van kế tiếp đã mở. Biểu thức (4-1) cũng viết cho trường hợp này.

Từ sơ đồ thay thế, viết phương trình cân bằng điện áp và thay $E = K\Phi\omega$ được :

$$\omega = \frac{E_d}{K\Phi} - \frac{R_{\text{ut}}}{K\Phi} I_r = \frac{E_d}{K\Phi} - \frac{R_{\text{ut}}}{(K\Phi)^2} M \quad (4-13)$$

Trong đó : $R_{\text{ut}} = R_r + R_{\text{CL}}$ - điện trở tổng của mạch phản ứng.

Thay E_d từ (4-5) ta được phương trình đặc tính cơ của hệ :

$$\omega = \frac{U_{d0}}{K\Phi} \cos \alpha - \frac{R_{\text{ut}}}{K\Phi} I_r = \frac{U_{d0}}{K\Phi} \cos \alpha - \frac{R_{\text{ut}}}{(K\Phi)^2} M \quad (4-14)$$

hoặc :
$$\omega = \frac{K_{\text{CL}}}{K\Phi} U_{\text{dk}} - \frac{R_{\text{ut}}}{K\Phi} I_r = \frac{K_{\text{CL}}}{K\Phi} U_{\text{dk}} - \frac{R_{\text{ut}}}{(K\Phi)^2} M \quad (4-15)$$

Vậy đặc tính cơ của động cơ trong hệ CL- Đ ở trạng thái dòng điện liên tục là những đường thẳng song song như trên hình 4-5.

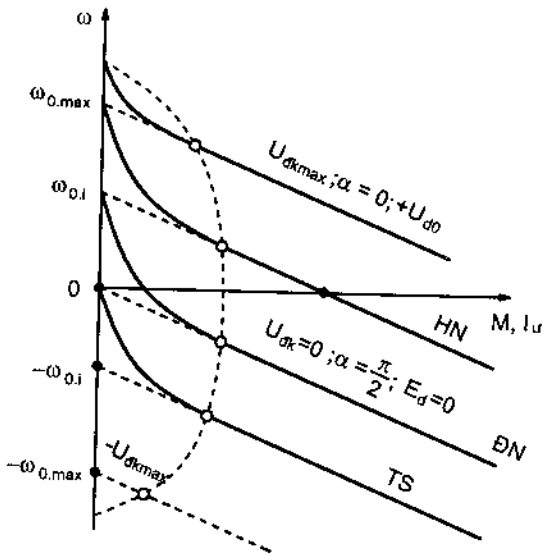
Nhận xét : Ta có thể nêu một số nhận xét về họ đặc tính này:

- Tốc độ không tải lý tưởng ω_0 phụ thuộc góc mở α của tiristo, tức phụ thuộc điện áp điều khiển U_{dk} :

$$\omega_0 = \frac{U_{d0}}{K\Phi} \cos \alpha = \frac{K_{\text{CL}}}{K\Phi} U_{\text{dk}} \quad (4-16)$$

Khi cho tín hiệu điều khiển thay đổi từ $+U_{\text{dk,max}} \div 0 \div -U_{\text{dk,max}}$ thì góc α thay đổi tương ứng từ $0 \div \frac{\pi}{2} \div \pi$; sđd E_d thay đổi từ $+U_{d0} \div 0 \div -U_{d0}$, tốc độ không tải lý tưởng thay đổi từ $\omega_{0,max} \div 0 \div -\omega_{0,max}$. Ta được họ đặc tính bố trí trên góc phần tư thứ I và thứ 4.

Chú ý : Các đường đặc tính không kéo dài sang phía trái trục tung, vì các van không cho dòng điện chạy theo chiều ngược.



Hình 4 - 5. Đặc tính cơ của động cơ trong hệ CL - Đ không đảo chiều

- Độ cứng đặc tính cơ không đổi và có giá trị không cao :

$$\beta_{CL-D} = \frac{(K\Phi)^2}{R_{ut}} = \frac{(K\Phi)^2}{R_{ut} + R_{CL}} = \text{const} \quad (4-17)$$

Trong đó : R_{CL} thường có giá trị lớn : $R_{CL} \approx 3R_{ut}$ (4-18)

- Trong vùng phụ tải nhỏ, $M \rightarrow 0$ và $I_u \rightarrow 0$, dòng điện động cơ sẽ không duy trì được liên tục, mà sẽ có dạng xung đập mạch rời rạc vì dòng qua van này đã tắt mà chưa đến thời điểm mở van tiếp sau ; đồ thị dòng điện $i_u(t)$ có dạng trên hình 4-3e. Người ta gọi trạng thái làm việc này là “*trạng thái dòng điện gián đoạn*”. Trong vùng này đặc tính cơ sẽ cong và rất dốc, được biểu thị bằng nét liền trong elip hình 4-5. Trong thiết kế người ta thường phải hạn chế đến mức có thể loại bỏ vùng dòng điện gián đoạn, đảm bảo cho động cơ ngay khi làm việc không tải với dòng $I_0 \approx 10\% I_{dm}$ ở đặc tính có góc mở lớn nhất α_{max} vẫn có dòng điện liên tục.

d) Các trạng thái hãm, trạng thái hãm tái sinh của động cơ và trạng thái nghịch lưu của bộ chỉnh lưu

Đối với hệ CL- Đ không đảo chiều, trạng thái làm việc chính của động cơ là “*trạng thái động cơ*”, còn bộ chỉnh lưu là “*trạng thái chỉnh lưu*”. Khi đó, chỉnh lưu cung cấp năng lượng cho động cơ, dòng điện I_u chảy theo chiều của E_d như trên hình 4-4, và tương ứng là các đặc tính cơ nằm trong góc phần tư thứ nhất (hình 4-5).

Nếu phụ tải của động cơ là momen thế năng (ví dụ tải máy nâng), thì khi hạ tải trọng, lực trọng trường của tải có thể kéo động cơ quay ngược ($\omega < 0$) và có thể xuất hiện trạng thái hãm của động cơ : hãm ngược HN, hãm động năng ĐN hoặc hãm tái sinh TS như đã ghi trên các đoạn đặc tính cơ trong góc phần tư thứ 4, hình 4-5. Hãy quan sát sự so sánh đặc điểm của các trạng thái hãm cùng với trạng thái động cơ trong bảng 4-1.

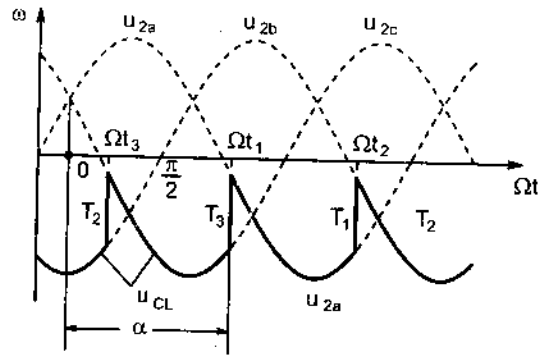
Bảng 4-1

Trạng thái làm việc	Chỉnh lưu			Động cơ			I_u	Sơ đồ thay thế
	α	E_d	Tr.thái	ω	E	Tr.thái		
Động cơ	$\alpha < \pi/2$	$E_d > 0$	Ch.lưu	$\omega > 0$	$E > 0$	Động cơ	$(E_d - E)/R_{ut}$	

Hãm ngược	$\alpha < \pi/2$	$E_d > 0$	Ch.lưu	$\omega < 0$	$E < 0$	Hãm ngược	$(E_d + E)/R_{\text{uf}}$	
Hãm Động năng	$\alpha = \pi/2$	$E_d = 0$	Vai trò điện trở	$\omega < 0$	$E < 0$	Hãm động năng	E/R_{uf}	
Hãm Tái sinh	$\alpha > \pi/2$	$E_d < 0$	Nghịch lưu	$\omega < 0$	$E < 0$	Hãm tái sinh	$(E - E_d)/R_{\text{uf}}$	

Sau đây ta khảo sát trạng thái nghịch lưu của bộ chỉnh lưu. Bảng 4-1 cũng như các đặc tính TS trên hình 4-5 đều cho thấy, ở trạng thái hãm tái sinh, sđđ E và E_d đều đối chiều so với trạng thái động cơ. Trong đó, E tác động cùng chiều dẫn của van và là nguồn tạo ra dòng I_u , còn E_d ngược chiều dẫn của van ($E_d < 0$) chứng tỏ bộ chỉnh lưu chỉ thu năng lượng của động cơ, các van chỉnh lưu trong trường hợp này chỉ làm nhiệm vụ chia dòng điện một chiều I_u thành ra dòng chảy đều trong ba pha của thứ cấp máy biến áp, tiếp đó, máy biến áp sẽ biến đổi dòng thứ cấp thành dòng xoay chiều ở phía sơ cấp và trả về lưới điện.

Để có được $E_d < 0$, ta phải cho góc mở van $\alpha > \pi/2$, tức $\cos\alpha < 0$ và $E_d = U_{d0}\cos\alpha < 0$. Trên hình 4-6 là đồ thị sđđ chỉnh lưu với góc $\alpha \approx 160^\circ$: tiristo T_1 mở tại thời điểm Ωt_1 , nghĩa là khi $u_{2a} < 0$, các tiristo có thể thực hiện chuyển mạch được là nhờ điện áp thứ cấp của máy biến áp, nghĩa là nhờ điện áp lưới. Vì vậy bộ chỉnh lưu lúc này làm chức năng của "Bộ nghịch lưu phụ thuộc lưới điện"



Hình 4 - 6. Đồ thị điện áp (sđđ) của bộ chỉnh lưu ở trạng thái nghịch lưu

*Ví dụ 4-1: Lập sơ đồ thay thế cho hệ CL-Đ và xác định phạm vi điều chỉnh góc mở van α_{\min} , α_{\max} để điều chỉnh tốc độ động cơ trong dải $D = 10:1$. Số liệu cho trước : Động cơ 13,5kW ; 220V ; 1050vg/ph ; 73A ; $R_u = 0,12\Omega$.

Chỉnh lưu tiristo cầu ba pha, có máy biến áp chuyên dùng 20kVA, nối Y/Y, $U_1=380/220V$; $U_2=220/127V$; điện trở ngắn mạch $R_{nm} = 0,15\Omega$; điện kháng ngắn mạch $X_{nm} = 0,87\Omega$ (khi ngắn mạch phía thứ cấp).

Giải : Sơ đồ nguyên lý của hệ CL-Đ theo đề bài sẽ như trên hình 4-7a.

- Điện áp chỉnh lưu lớn nhất :

$$U_{d0} = \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} \sqrt{2} \cdot U_2 = \frac{6}{\pi} \sin \frac{\pi}{6} \cdot \sqrt{2} \cdot 127 = 297V$$

- Vậy sdd chỉnh lưu : $E_d = E_{d0} \cos \alpha = 297 \cdot \cos \alpha$.

- Điện trở của máy biến áp :

$$R_{BA} = R_2 + R_1' = \frac{R_{nm}}{K_{BA}^2} = \frac{0,15}{1,73^2} = 0,05\Omega$$

$$\text{trong đó : } K_{BA} = \frac{U_{1f}}{U_{2f}} = \frac{220}{127} = 1,73$$

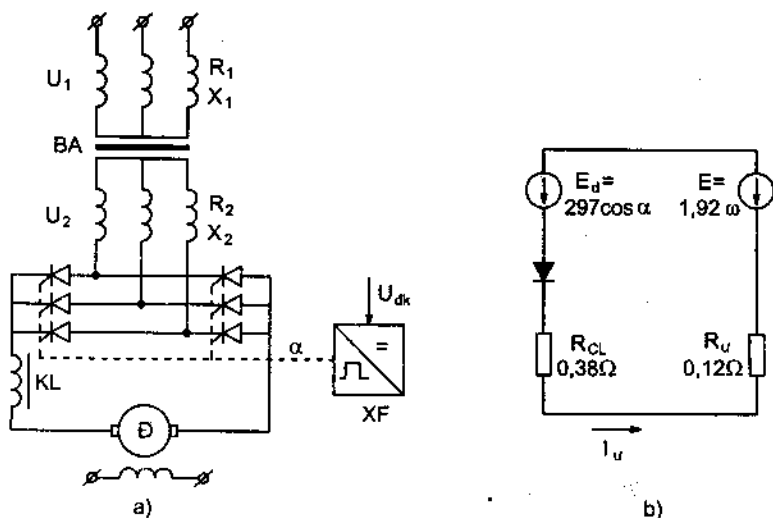
- Điện kháng của máy biến áp :

$$X_{BA} = X_2 + X_1' = \frac{X_{nm}}{K_{BA}^2} = \frac{0,87}{1,73^2} = 0,29\Omega$$

- Vậy điện trở trong của bộ chỉnh lưu (bỏ qua điện trở cuộn kháng và sụt áp trên tiristo) :

$$R_{CL} = R_{BA} + R_{cm} = R_{BA} + \frac{m}{2\pi} X_{BA} = 0,05 + \frac{6}{\pi} 0,29 = 0,38\Omega$$

Theo đó ta được sơ đồ thay thế của hệ như hình 4-7b.



Hình 4 - 7. Sơ đồ nguyên lý và sơ đồ thay thế của hệ CL - Đ trong ví dụ 4-1

- Tốc độ lớn nhất trong dải điều chỉnh:

$$\omega_{\max} = \omega_{dm} = \frac{n_{dm}}{9,55} = \frac{1050}{9,55} = 110 \text{ rad/s}$$

- Tốc độ nhỏ nhất trong dải điều chỉnh :

$$\omega_{\min} = \frac{\omega_{\max}}{D} = \frac{110}{10} = 11 \text{ rad/s}$$

- sđd của bộ chỉnh lưu tương ứng với tốc độ ω_{\max} là :

$$\begin{aligned} E_{d,\max} &= U_{d0} \cos \alpha_{\min} = K \Phi_{dm} \omega_{\max} + (R_{CL} + R_u) \cdot I_{dm} = \\ &= 1,92 \cdot 110 + (0,38 + 0,12) \cdot 73 = 247,7 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\text{Trong đó : } K \Phi_{dm} = \frac{U_{dm} - I_{dm} R_u}{\omega_{dm}} = \frac{220 - 73 \cdot 0,12}{110} = 1,92 \text{ Wb}$$

$$\text{Vậy : } \cos \alpha_{\min} = \frac{E_{d,\max}}{U_{d0}} = \frac{247,7}{297} = 0,834; \alpha_{\min} = 33,5^\circ$$

- Sức điện động của bộ chỉnh lưu tương ứng với tốc độ ω_{\min} là :

$$\begin{aligned} E_{d,\min} &= U_{d0} \cos \alpha_{\max} = K \Phi_{dm} \omega_{\min} + (R_{CL} + R_u) \cdot I_{dm} = \\ &= 1,92 \cdot 11 + (0,38 + 0,12) \cdot 73 = 56,7 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\text{Vậy : } \cos \alpha_{\max} = \frac{E_{d,\min}}{U_{d0}} = \frac{56,6}{297} = 0,194; \alpha_{\max} = 78,8^\circ$$

4.2.2. Hệ chỉnh lưu điều khiển - Động cơ đảo chiều

Để cho động cơ có thể làm việc được cả hai chiều quay ở trạng thái động cơ cũng như ở các trạng thái hãm với phụ tải bất kỳ (thế năng hoặc phản kháng), nghĩa là có thể làm việc được trong cả 4 góc phần tư của mặt phẳng $[M, \omega]$, ta phải sử dụng hệ CL-Đ đảo chiều. Vì trong mạch điện có các van bán dẫn, nên việc đảo chiều động cơ trong hệ này phức tạp hơn so với hệ máy phát- động cơ cả về mạch động lực lẫn nguyên lý điều khiển.

a) Các phương pháp đảo chiều quay động cơ trong hệ CL-Đ

Có 3 phương pháp thiết lập hệ CL- Đ đảo chiều : đảo chiều dòng kích từ động cơ ; đảo chiều dòng điện phản ứng bằng tiếp điểm công tắc tơ ; đảo chiều dòng điện phản ứng nhờ bộ chỉnh lưu thuận nghịch.

- **Phương pháp đảo chiều dòng kích từ động cơ** : Ta dùng một bộ chỉnh lưu không thuận nghịch cấp cho phần ứng động cơ và đặt các tiếp điểm role -

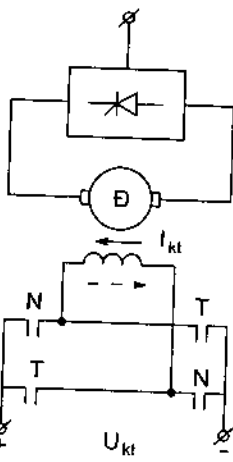
công tắc tơ đảo chiều trong mạch kích từ. Cũng có thể sử dụng hai nhóm chỉnh lưu (thuận - nghịch) làm nguồn kích từ động cơ. Sơ đồ đơn giản của phương pháp này cho trên hình 4-8.

Phương pháp này đơn giản, thiết bị ít, nhưng vì mạch kích từ có hằng số thời gian lớn nên việc đóng, cắt, chuyển đổi chiều dòng kích từ xảy ra với thời gian quá độ lớn, ảnh hưởng đến năng suất máy sản xuất.

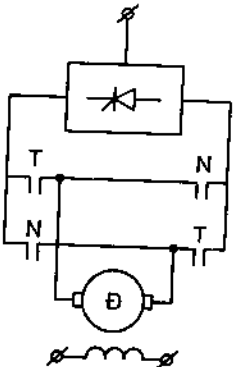
- Phương pháp đảo chiều dòng điện phản ứng bằng tiếp điểm: Khi giữ chiều dòng kích từ không đổi, ta dùng một bộ chỉnh lưu không thuận nghịch, kết hợp với các tiếp điểm đảo chiều (T, N) của các công tắc tơ trong mạch phản ứng như sơ đồ hình 4-9, ta có một hệ CL - Đ đảo chiều tương đối đơn giản.

Tuy nhiên, việc sử dụng tiếp điểm trong mạch phản ứng là không tin cậy và tuổi thọ thiết bị kém. Người ta cũng có thể sử dụng biện pháp điều khiển để đảm bảo điều kiện đóng cắt tiếp điểm khi $I_u \approx 0$, nhưng khi đó đòi hỏi trình tự tác động trong mạch theo một quy tắc nhất định, điều đó làm cho độ tác động nhanh của hệ kém đi.

- Phương pháp đảo chiều dòng điện phản ứng bằng bộ chỉnh lưu thuận nghịch: Người ta dùng bộ chỉnh lưu có hai nhóm van, tương đương với hai bộ chỉnh lưu không thuận nghịch đã xét ở phần trên, để cung cấp cho phản ứng động cơ; mỗi nhóm đảm bảo cho dòng I_u chảy theo một chiều. Sơ đồ khối của hệ được giới thiệu trên hình 4-10a. Bằng cách phối hợp giữa trạng thái làm việc của động cơ (trạng thái động cơ hoặc các trạng thái hãm) và trạng thái làm việc của các nhóm V_1, V_2 (trạng thái chỉnh lưu hoặc nghịch lưu), hệ có khả năng làm việc trong cả 4 góc của mặt phẳng tọa độ. Có thể xác định dễ dàng sự phối hợp đó bằng cách dựa vào chiều dòng điện phản ứng. Giả dụ quy ước chiều I_u do nhóm V_1 cung cấp là dương ($I_{u1} > 0$) thì góc phần tư 1 và góc 4 đều do V_1 làm việc, còn góc 2 và góc 3 do V_2 . Ví dụ: xét cho trạng thái động cơ và hãm tái sinh ở cả hai chiều quay của động cơ, ta được các quan hệ phối hợp như trên hình 4-10b. Đường nét đứt là đặc tính cơ của động cơ ở các trạng thái và chiều quay tương ứng.

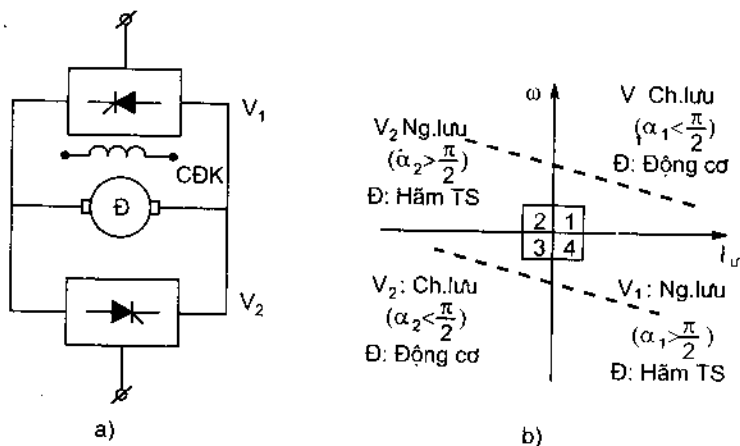


Hình 4 - 8. Sơ đồ nguyên lý hệ CL - Đ đảo chiều dùng phương pháp đảo chiều dòng kích từ



Hình 4 - 9. Sơ đồ nguyên lý hệ CL - Đ đảo chiều dùng bộ tiếp điểm thuận nghịch trong mạch phản ứng

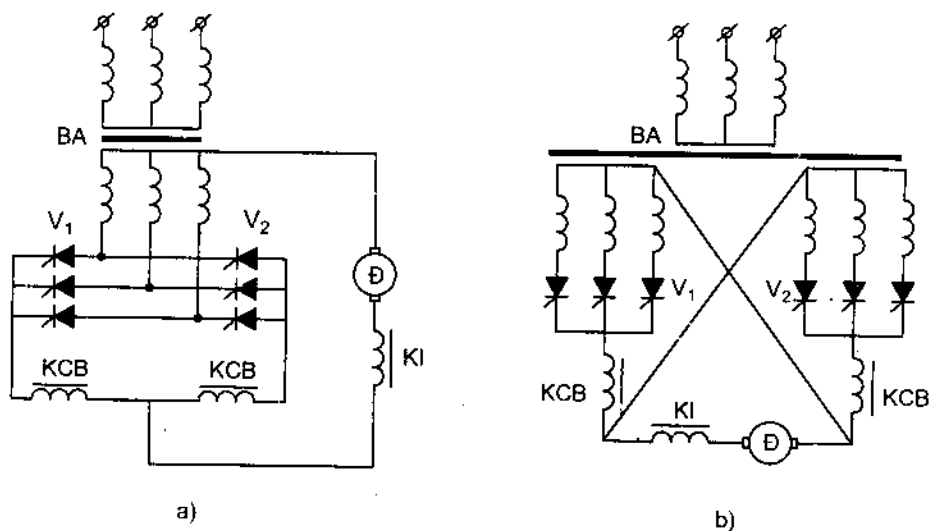
Ta cũng có thể suy ra cho các trường hợp động cơ hãm ngược và hãm động năng như đã trình bày ở hình 4-5 và bảng 4-1.



Hình 4 - 10. Sơ đồ khối và các trạng thái làm việc cơ bản của hệ CL - Đ đảo chiều dùng bộ chỉnh lưu thuận nghịch trong mạch phản ứng động cơ

b) Sơ đồ nguyên lý hệ CL-Đ đảo chiều dùng bộ chỉnh lưu thuận nghịch

Sơ đồ khối hình 4-10 được cụ thể hoá bằng các sơ đồ nguyên lý. Thường gặp hai loại sơ đồ nối bộ chỉnh lưu thuận nghịch : sơ đồ song song - ngược (hình 4-11a) và sơ đồ hình chữ thập (hình 4-11b).



Hình 4 - 11. Các sơ đồ nguyên lý hệ CL-Đ đảo chiều dùng bộ chỉnh lưu thuận nghịch
a) Sơ đồ tia ba pha song song-ngược ; b) Sơ đồ tia ba pha chữ thập

Các sơ đồ song song - ngược có ưu điểm là sử dụng loại biến áp hai tổ dây quấn (một sơ cấp và một thứ cấp) và tận dụng hết khả năng công suất của các

tổ dây quấn đó. Các sơ đồ chữ thập đòi hỏi máy biến áp ba tổ dây quấn, trong đó ứng với mỗi chiều quay của động cơ chỉ sử dụng một tổ dây quấn thứ cấp, còn tổ thứ cấp kia dường như bỏ không. Vì vậy sơ đồ song song – ngược được dùng nhiều hơn.

c) Các nguyên tắc điều khiển bộ chỉnh lưu thuận nghịch trong hệ CL-Đ đảo chiều

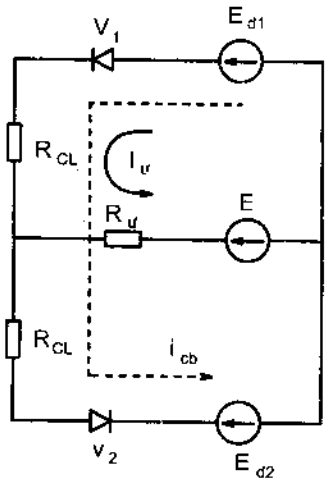
Để đảm bảo sự phối hợp làm việc giữa các nhóm van V_1, V_2 với động cơ như đã trình bày ở mục a, đòi hỏi phải điều khiển các nhóm van này theo những nguyên tắc nhất định. Có hai nguyên tắc điều khiển các nhóm van : điều khiển riêng và điều khiển chung.

- *Điều khiển riêng hai nhóm van* được thực hiện bằng cách : tại mỗi thời điểm ta chỉ cấp xung mở tiristo vào một nhóm, còn nhóm kia không có xung mở nên bị cất khỏi động cơ. Nguyên tắc điều khiển này đảm bảo sự làm việc rành mạch, loại trừ hẳn dòng điện cân bằng (I_{CB}) chạy khép kín trong hai nhóm van (không qua động cơ). Tuy nhiên việc điều khiển phức tạp, vì phải lấy “tín hiệu không” của dòng điện các nhóm van để điều khiển “bộ logic”, nhằm đảm bảo chắc chắn việc cấp xung mở cho nhóm van này khi dòng điện trong nhóm van kia đã hoàn toàn bằng không. Ngoài ra, trình tự điều khiển logic này cũng làm kéo dài thời gian quá trình chuyển đổi từ nhóm này sang nhóm khác.

- *Điều khiển chung* được thực hiện bằng cách đồng thời cấp xung mở van lên cả hai nhóm, nghĩa là cả hai nhóm van đều ở trạng thái thông. Tuy nhiên ta phải tính toán sao cho tại từng chế độ, chỉ có một nhóm có trao đổi năng lượng (thông dòng) với động cơ, còn nhóm kia chỉ ở “trạng thái đợi”. Sơ đồ thay thế của hệ có điều khiển chung được trình bày trên hình 4-12.

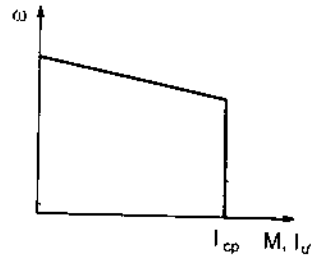
Ưu điểm của nguyên tắc điều khiển chung hai nhóm van là đảm bảo cho hệ thống linh hoạt khi chuyển đổi chế độ, độ tác động nhanh cao, mạch điều khiển đơn giản. Tuy nhiên, do cả hai nhóm van này đều ở trạng thái thông, nên luôn luôn tồn tại dòng điện cân bằng (i_{cb} trên hình 4-12) chảy “kỳ sinh” giữa hai nhóm van.

Vì vậy khi điều khiển chung, người ta phải nối vào hệ thống các cuộn kháng cân bằng KCB như trên hình 4-11 để hạn chế dòng i_{cb} dưới mức cho phép.



Hình 4 - 12. Sơ đồ thay thế của hệ CL - Đ đảo chiều khi điều khiển chung hai nhóm van

trình tăng tốc, tốc độ đủ lớn, tương ứng với điện áp phản hồi tốc độ $U_{p\omega.B} = AB$ (hình 4-14), điểm làm việc ra khỏi vùng bão hoà, U_{di} bắt đầu giảm xuống và dòng điện động cơ giảm dần cho đến khi làm việc xác lập. Như vậy trong đoạn khởi động, đặc tính cơ (hoặc cơ điện) là đường thẳng đứng: $I_u = I_{cp} = \text{const}$; còn trong vùng công tác, đặc tính cơ có độ cứng phụ thuộc các hệ số phản hồi tốc độ và dòng điện ($K_{p\omega}$ và K_{pi}). Ta có dạng đặc tính cơ như vẽ trên hình 4-15.



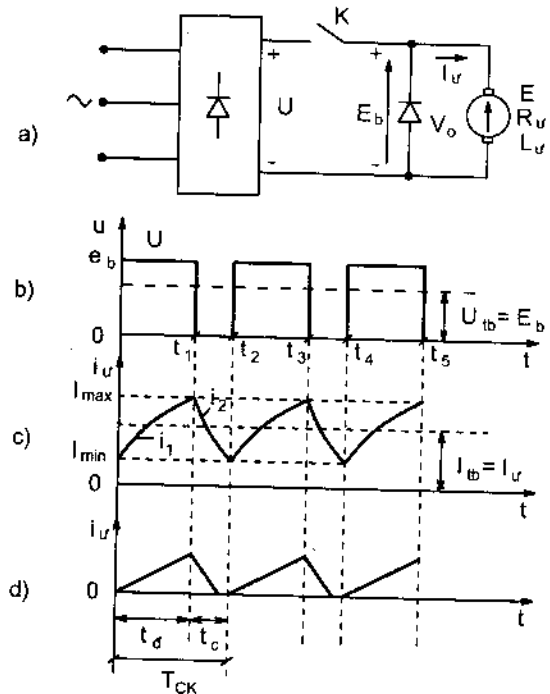
Hình 4 - 15. Dạng đặc tính của hệ điều chỉnh tốc độ lập các tọa độ kiểu nối tiếp.

4.3. ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU BẰNG BỘ BẮM ÁP (HỆ ĐIỀU CHỈNH XUNG ĐIỆN ÁP - ĐỘNG CƠ ĐAX - Đ)

4.3.1. Nguyên lý làm việc của hệ ĐAX-Đ

Đối với các động cơ một chiều kích từ độc lập công suất nhỏ (cỡ dưới vài kW) người ta có thể sử dụng bộ băm áp để tạo ra dãy xung điện áp một chiều cung cấp cho phần ứng động cơ. Khi thay đổi độ rộng các xung đó, giá trị trung bình của điện áp thay đổi, nhờ đó điều chỉnh được dòng điện, momen và tốc độ động cơ.

Sơ đồ nguyên lý đơn giản của hệ ĐAX-Đ được vẽ trên hình 4-16a. Phần chủ yếu của nó là một bộ nguồn một chiều U , khoá điều khiển K , động cơ Đ và van diot đệm V_0 . Giả sử chu kỳ đóng cắt của khoá K là T_{CK} , gồm khoảng đóng t_d và khoảng cắt t_c , thì điện áp đặt vào động cơ sẽ có dạng xung như trên hình 4-16b.



Hình 4 - 16. a) Sơ đồ nguyên lý hệ ĐAX - Đ; b) Đồ thị điện áp; c, d) Đồ thị dòng điện phần ứng

Khi K đóng, $U_u = U$, dòng điện chạy từ nguồn vào cuộn dây phản ứng tăng dần theo hàm số mũ (i_1); khi K ngắt, động cơ được cắt ra khỏi nguồn U và đóng kín mạch qua diot V_0 , dòng điện được duy trì nhờ năng lượng tích lũy trong điện cảm của mạch phản ứng, và nó sẽ giảm dần cũng theo hàm số mũ (i_2). Nếu điện cảm của mạch đủ lớn, dòng điện sẽ được duy trì cho đến chu kỳ sau, ta được dạng dòng điện hình răng cưa $i = f(t)$ liên tục như trên hình 4-16c. Người ta gọi đây là chế độ dòng điện liên tục.

Vì dòng điện biến thiên theo thời gian, nên momen và tốc độ động cơ cũng đều biến thiên theo thời gian và hệ thống không có trạng thái xác lập tĩnh.

Ở chế độ dòng điện liên tục, các đại lượng trong hệ được tính toán theo giá trị trung bình:

Điện áp hoặc sdd trung bình của bộ nguồn băm xung:

$$E_b = U_{tb} = U \frac{t_d}{T_{CK}} = \gamma U \quad (4-19)$$

$$\text{Trong đó, độ rộng xung: } \gamma = \frac{t_d}{T_{CK}} = t_d \cdot f_x \quad (4-20)$$

Với $f_x = \frac{1}{T_{CK}}$ [Hz] – tần số xung điện áp đặt lên động cơ.

- Dòng điện phản ứng trung bình sẽ là:

$$I_u = I_{tb} = \frac{E_b - E}{R_u} = \frac{\gamma U - K\Phi\omega}{R_u} \quad (4-21)$$

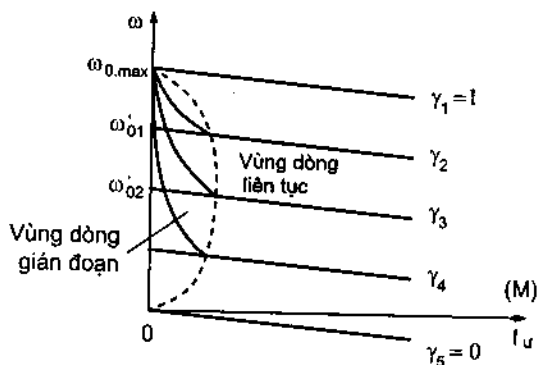
Phương trình đặc tính cơ và đặc tính cơ điện cũng tương tự như ở các hệ CL - Đ, và F-Đ đã xét:

$$\omega = \frac{\gamma U}{K\Phi} - \frac{R_u}{K\Phi} I_u = \frac{\gamma U}{K\Phi} - \frac{R_u}{(K\Phi)^2} M = \omega_0 - \frac{M}{\beta_b} \quad (4-22)$$

Đặc tính cơ theo phương trình (4-22) là những đường thẳng song song như trên hình 4-17, trong đó tốc độ không tải lý tưởng phụ thuộc độ rộng xung γ :

$$\omega_0 = \frac{\gamma U}{K\Phi} \quad (4-23)$$

Khi cho γ thay đổi, ta sẽ có những đường đặc tính nhân tạo tương ứng với các giá trị tốc độ



Hình 4 - 17. Đặc tính cơ của hệ ĐAX - Đ

khác nhau, hoặc những momen (dòng điện) khởi động khác nhau.

Chú ý rằng, phương trình (4-22) và các đặc tính cơ là những đường thẳng chỉ đúng với chế độ dòng điện liên tục. Cũng như ở hệ CL - Đ, ở hệ này khi dòng điện phản ứng nhỏ ($I_r \rightarrow 0$), nghĩa là khi phụ tải $M_C \rightarrow 0$ thì cũng xuất hiện chế độ dòng điện gián đoạn. Dạng đồ thị của dòng điện gián đoạn được vẽ trên hình 4-16d còn đặc tính cơ của động cơ ở chế độ này sẽ là đường cong như đã vẽ ở vùng sát trục tung của đồ thị hình 4-17. Giá trị tốc độ không tải lý tưởng tính theo (4-23) chỉ là giả tưởng, còn thực chất tất cả các đường đặc tính đều có chung một tốc độ không tải lý tưởng là $\omega_{0,c}$ (xem hình 4-17).

$$\omega_{0,c} = \omega_{0max} = \frac{U}{K\Phi} \quad (4-24)$$

4.3.2. Phương pháp điều khiển hệ ĐAX-Đ

Như đã phân tích ở trên, để điều chỉnh các thông số đầu ra của động cơ, ta cần thay đổi giá trị trung bình của điện áp hoặc sdd của bộ băm xung, tức phải thay đổi độ rộng xung điện áp γ . Từ biểu thức (4-20) ta thấy có 3 phương pháp điều khiển :

- Điều khiển bằng cách thay đổi thời gian đóng khoá t_d và giữ $T_{CK} (f_x)$ không đổi (phương pháp điều rộng). Đây là phương pháp đơn giản và hay dùng nhất.

- Điều khiển bằng cách thay đổi thời gian chu kỳ xung (phương pháp điều tần) : $f_x = \text{var}$ và giữ $t_d = \text{const}$.

- Phương pháp hỗn hợp : Vừa thay đổi tần số xung, vừa thay đổi khoảng đóng của khoá t_d .

Để thực hiện các phương pháp điều khiển trên, ta phải sử dụng các loại "khoá điều khiển" không tiếp điểm, có độ tác động nhanh cao và đóng cắt bằng tín hiệu điện. Đó là các loại van điện tử công suất như transisto lực hoặc tiristo. Tần số xung điện f_x phụ thuộc vào độ tác động nhanh của các van này, nếu sử dụng tiristo người ta thường chọn $f_x = 500\text{Hz}$.

4.3.3. Sơ đồ của hệ ĐAX-Đ đơn giản dùng khoá tiristo

Hình 4-18 giới thiệu một sơ đồ đơn giản của hệ ĐAX-Đ có khoá đóng cắt bằng tiristo. Ở mạch động lực, bộ nguồn một chiều là bộ chỉnh lưu cầu diot ba pha, tạo ra điện áp U tương đối bằng phẳng, giúp cho việc duy trì chế độ dòng điện liên tục được dễ dàng. Khoá K trong sơ đồ hình 4-16a được thay bằng tiristo T_1 , nó được đóng bằng xung mở U_{x1} vào đầu mỗi chu kỳ của xung điện áp, tương tự như đóng khoá K trên hình 4-16b tại các thời điểm 0, t_2 , t_4 , ...