

2.1 Động cơ điện một chiều kích từ độc lập và kích từ song song

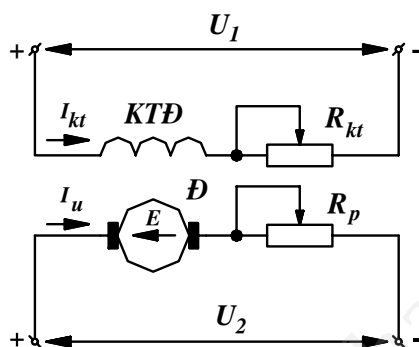
Như chúng ta đã biết trong vật lý, khi đặt vào trong từ trường một dây dẫn và cho dòng điện chạy qua dây dẫn thì từ trường sẽ tác dụng một từ lực vào dòng điện (chính là vào dây dẫn) và làm dây dẫn chuyển động. Chiều của từ lực xác định theo quy tắc bàn tay trái.

Động cơ điện nói chung và động cơ điện một chiều nói riêng hoạt động theo nguyên tắc này.

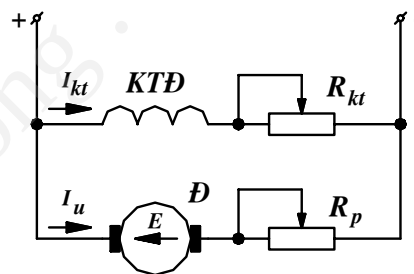
Trên các sơ đồ điện, động cơ điện một chiều được kí hiệu như hình 2.1 và hình 2.2.

2.1.1 Phương trình đặc tính cơ

Động cơ điện một chiều kích từ độc lập: Cuộn kích từ được cấp điện từ nguồn một chiều độc lập với nguồn điện cấp cho rôto.



Hình 2.1 - Sơ đồ nguyên lý động cơ điện một chiều kích từ độc lập



Hình 2.2 - Sơ đồ nguyên lý động cơ điện một chiều kích từ song song

Nếu cuộn kích từ và cuộn dây phần ứng được cấp điện bởi cùng một nguồn điện thì động cơ là loại kích từ song song. Trường hợp này nếu nguồn điện có công suất rất lớn so với công suất động cơ thì tính chất động cơ sẽ tương tự như động cơ kích từ độc lập.

Khi động cơ làm việc, rôto mang cuộn dây phần ứng quay trong từ trường của cuộn cảm nên trong cuộn ứng xuất hiện một sức điện động cảm ứng có chiều ngược với điện áp đặt vào phần ứng động cơ. Theo sơ đồ nguyên lý trên hình 2.1 và hình 2.2, có thể viết phương trình cân bằng điện áp của mạch phần ứng (rôto) như sau:

$$U_u = E_u + (R_u + R_p) \cdot I_u \quad (2.1)$$

Trong đó:

- U_u là điện áp phần ứng động cơ, (V)
- E_u là sức điện động phần ứng động cơ (V).
- R_u là điện trở cuộn dây phần ứng
- R_p là điện trở phụ mạch phần ứng.
- I_u là dòng điện phần ứng động cơ.

$$R_u = r_u + r_{ct} + r_{cb} + r_{cp} \quad (2.2)$$

r_u - Điện trở cuộn dây phần ứng.

r_{ct} - Điện trở tiếp xúc giữa chổi than và phiến góp.

r_{cb} - Điện trở cuộn bù.

r_{cp} - Điện trở cuộn phụ.

Sức điện động phần ứng tỷ lệ với tốc độ quay của rôto:

$$E_u = \frac{p \cdot N}{2\pi a} \cdot \phi \cdot \omega = K\phi \cdot \omega \quad (2.3)$$

$$K = \frac{p \cdot N}{2\pi a} \text{ là hệ số kết cấu của động cơ.}$$

ϕ - Từ thông qua mỗi cực từ.

p - Số đôi cực từ chính.

N - Số thanh dẫn tác dụng của cuộn ứng.

a - Số mạch nhánh song song của cuộn ứng.

Hoặc ta có thể viết:

$$E_u = K_e \phi \cdot n \quad (2.4)$$

$$\text{Và: } \omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{n}{9,55}$$

$$\text{Vậy: } K_e = K / 9,55 = 0,105K$$

Nhờ lực từ trường tác dụng vào dây dẫn phần ứng khi có dòng điện, rôto quay dưới tác dụng của mômen quay:

$$M = K \cdot \phi \cdot I_u \quad (2.5)$$

Từ hệ 2 phương trình (2.1) và (2.3) ta có thể rút ra được phương trình đặc tính cơ điện biểu thị mối quan hệ $\omega = f(I)$ của động cơ điện một chiều kích từ độc lập như sau:

$$\omega = \frac{U_u}{K\phi} - \frac{R_u + R_p}{K\phi} I_u \quad (2.6)$$

Từ phương trình (2.5) rút ra I_u thay vào phương trình (2.6) ta được phương trình đặc tính cơ biểu thị mối quan hệ $\omega = f(M)$ của động cơ điện một chiều kích từ độc lập như sau:

$$\omega = \frac{U_u}{K\phi} - \frac{R_u + R_p}{(K\phi)^2} M \quad (2.7)$$

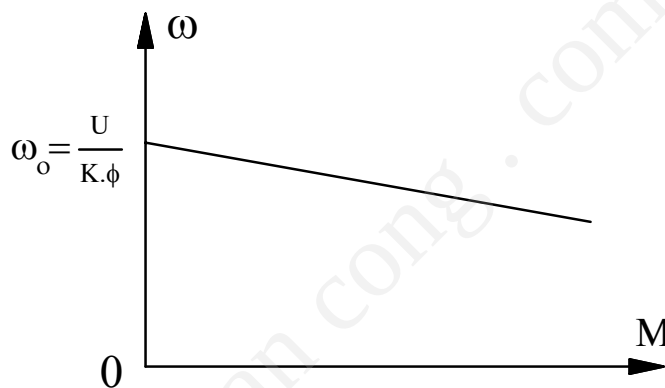
Có thể biểu diễn đặc tính cơ dưới dạng khác:

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega \quad (2.8)$$

Trong đó: $\omega_0 = \frac{U_r}{K\phi}$ gọi là tốc độ không tải lý tưởng.

$$\Delta\omega = \frac{R_r + R_p}{(K\phi)^2} M \text{ gọi là độ sụt tốc độ}$$

Phương trình đặc tính cơ (2.7) có dạng hàm bậc nhất $y = B + Ax$, nên đường biểu diễn trên hệ tọa độ $M\omega$ là một đường thẳng với độ dốc âm. Đường đặc tính cơ cắt trục tung 0ω tại điểm có tung độ: $\omega_0 = \frac{U_r}{K\phi}$. Tốc độ ω_0 được gọi là tốc độ không tải lý tưởng khi không có lực cản nào cả. Đó là tốc độ lớn nhất của động cơ mà không thể đạt được ở chế độ động cơ vì không bao giờ xảy ra trường hợp $M_C = 0$.

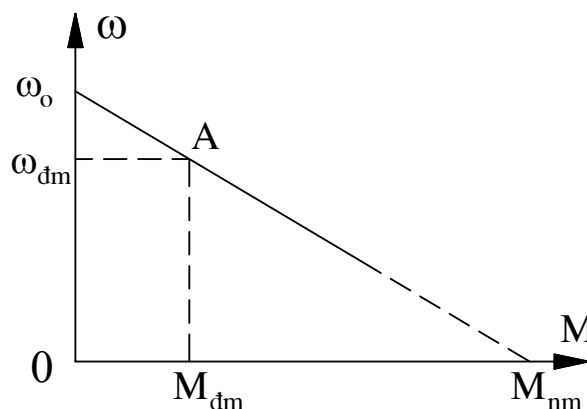


Hình 2.3 - Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ độc lập

Khi phụ tải tăng dần từ $M_C = 0$ đến $M_C = M_{dm}$ thì tốc độ động cơ giảm dần từ ω_0 đến ω_{dm} . Điểm $A(M_{dm}, \omega_{dm})$ gọi là điểm định mức.

Rõ ràng đường đặc tính cơ có thể vẽ được từ 2 điểm ω_0 và A. Điểm cắt của đặc tính cơ với trục hoành $0M$ có tung độ $\omega = 0$ và có hoành độ suy từ phương trình (2.7):

$$M = M_{nm} = K\phi_{dm} \frac{U_{dm}}{R_r} = K\phi_{dm} \cdot I_{nm} \quad (2.9)$$



Hình 2.4 - Đặc tính cơ tự nhiên của động cơ điện một chiều kích từ độc lập

Mômen M_{nm} và I_{nm} gọi là mômen ngắn mạch và dòng điện ngắn mạch. Đó là giá trị mômen lớn nhất và dòng điện lớn nhất của động cơ khi được cấp điện đầy đủ mà tốc độ bằng 0. Trường hợp này xảy ra khi bắt đầu mở máy và khi động cơ đang chạy mà bị dừng lại vì bị kẹt hoặc tải lớn quá kéo không được. Dòng điện I_{nm} này lớn và thường bằng:

$$I_{nm} = (10 \div 20)I_{dm}$$

Nó có thể gây cháy hỏng động cơ nếu hiện tượng tồn tại kéo dài.

2.1.2 Ảnh hưởng của các thông số điện đối với đặc tính cơ

Phương trình đặc tính cơ (2.7) cho thấy, đường đặc tính cơ bậc nhất $\omega = f(M)$ phụ thuộc vào các hệ số của phương trình, trong đó có chứa các thông số điện U , R_p và ϕ . Ta lần lượt xét ảnh hưởng của từng thông số này.

1. Trường hợp thay đổi điện áp phản ứng

Vì điện áp phản ứng không thể vượt quá giá trị định mức nên ta chỉ có thể thay đổi về phía giảm.

U_r biến đổi; $R_p = \text{const}$; $\phi = \text{const}$

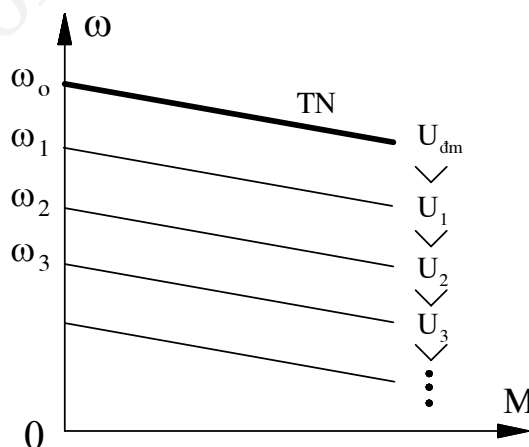
Trong phương trình đặc tính cơ, ta thấy độ dốc (hay độ cứng) đặc tính cơ không thay đổi:

$$-\frac{R_r + R_p}{(K\phi)^2} = \text{const}$$

Tốc độ không tải lý tưởng ω_0 thay đổi tỷ lệ thuận với điện áp:

$$\omega_0 = \frac{U_r}{K\phi} = \text{var}$$

Như vậy khi thay đổi điện áp phản ứng ta được một họ các đường đặc tính cơ song song với đường đặc tính cơ tự nhiên và thấp hơn đường đặc tính cơ tự nhiên.



Hình 2.5 - Họ đặc tính cơ nhân tạo của động cơ điện một chiều kích từ độc lập khi giảm điện áp phản ứng

2. Trường hợp thay đổi điện trở mạch phản ứng

Vì điện trở tổng của mạch phản ứng: $R_{u\Sigma} = R_r + R_{ur}$ nên điện trở mạch phản ứng chỉ có thể thay đổi về phía tăng R_{ur} .

$U_r = \text{const}$; $R_{ur} = \text{var}$; $\phi = \text{const}$

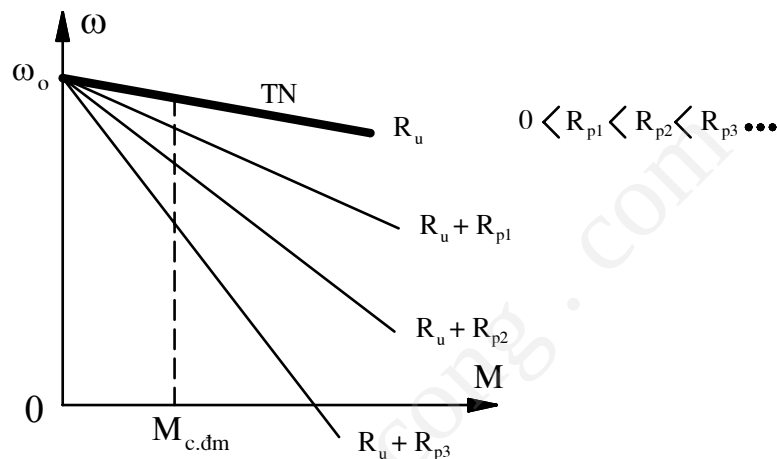
Trường hợp này, tốc độ không tải giữ nguyên:

$$\omega_0 = \frac{U_r}{K\phi} = \text{const}$$

Còn độ dốc (hay độ cứng) của đặc tính cơ thay đổi tỷ lệ thuận theo $R_{u\Sigma}$

$$-\frac{R_u + R_{uf}}{(K\phi)^2} = \text{var}$$

Như vậy, khi tăng điện trở R_{uf} trong mạch phản ứng, ta được một họ các đường đặc tính cơ nhân tạo cùng đi qua điểm $(0, \omega_0)$.



Hình 2.6 - Họ đặc tính cơ nhân tạo của động cơ điện một chiều kích từ độc lập khi tăng điện trở phụ trong mạch phản ứng.

3. Trường hợp thay đổi từ thông kích từ

$$U_r = \text{const}; R_{uf} = \text{const}; \phi = \text{var}$$

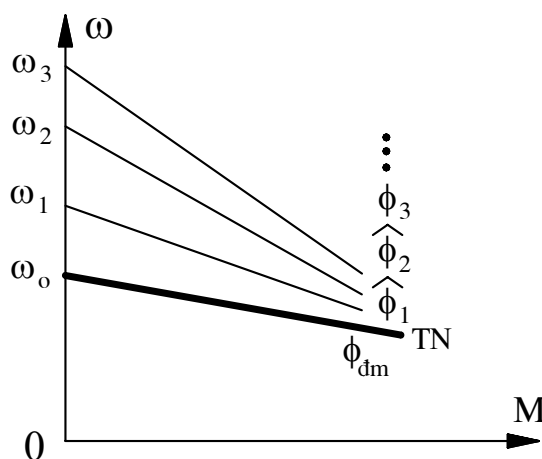
Để thay đổi từ thông ϕ , ta phải thay đổi dòng điện kích từ nhờ biến trở R_{kt} mắc ở mạch kích từ của động cơ. Vì chỉ có thể tăng điện trở mạch kích từ nhờ R_{kt} nên từ thông kích từ chỉ có thể thay đổi về phía giảm so với từ thông định mức.

Trường hợp này, cả tốc độ không tải lý tưởng và độ dốc đặc tính cơ đều thay đổi.

$$\omega_0 = \frac{U_r}{K\phi} = \text{var}$$

$$-\frac{R_u + R_{uf}}{(K\phi)^2} = \text{var}$$

Khi điều chỉnh giảm từ thông kích từ, tốc độ không tải lý tưởng ω_0 tăng, còn độ cứng đặc tính cơ thì giảm mạnh. Họ đặc tính cơ nhân tạo thu được như hình 2.7.



Hình 2.7 - Họ đặc tính cơ nhân tạo của động cơ điện một chiều kích từ độc lập khi giảm từ thông kích từ.

2.1.3 Mở máy (khởi động) động cơ điện một chiều kích từ độc lập

Nếu khởi động động cơ ĐM_{đl} bằng phương pháp đóng trực tiếp thì ban đầu tốc độ động cơ còn bằng 0 nên dòng khởi động ban đầu rất lớn ($I_{nm} = U_{dm}/R_u \approx 10 \div 20 I_{dm}$).

Như vậy nó đốt nóng mạnh động cơ và gây sụt áp lưới điện. Hoặc làm cho sự chuyển mạch khó khăn, hoặc mômen mở máy quá lớn sẽ tạo ra các xung lực động làm hệ truyền động bị giật, lắc, không tốt về mặt cơ học, hại máy và có thể gây nguy hiểm như: gãy trục, vỡ bánh răng, đứt cáp, đứt xích... Tình trạng càng xấu hơn nếu như hệ TĐĐ thường xuyên phải mở máy, đảo chiều, hãm điện thường xuyên như ở máy cán đảo chiều, cần trục, thang máy...

Để đảm bảo an toàn cho máy, thường chọn:

$$I_{kdbd} = I_{nm} \leq I_{cp} = 2,5 I_{dm}$$

Muốn thế, người ta thường đưa thêm điện trở phụ vào mạch phản ứng ngay khi bắt đầu khởi động, và sau đó thì loại dần chúng ra để đưa tốc độ động cơ lên xác lập.

$$I_{kdbd} = I_{nm} = \frac{U_{dm}}{R_u + R_{uf}} = (2 \div 2,5) I_{dm} \leq I_{cp} \quad (2.10)$$

Công suất động cơ lớn thì chọn I_{nm} nhỏ.

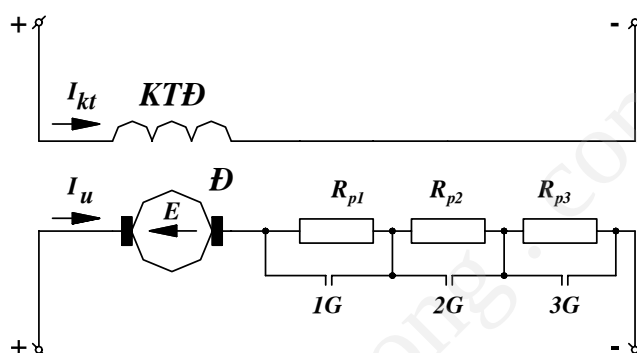
Trong quá trình mở máy, tốc độ động cơ ω tăng dần, sức điện động của động cơ $E_u = K \cdot \phi \cdot \omega$ cũng tăng dần và dòng điện động cơ bị giảm:

$$I = \frac{U - E_u}{R_u + R_p} \quad (2.11)$$

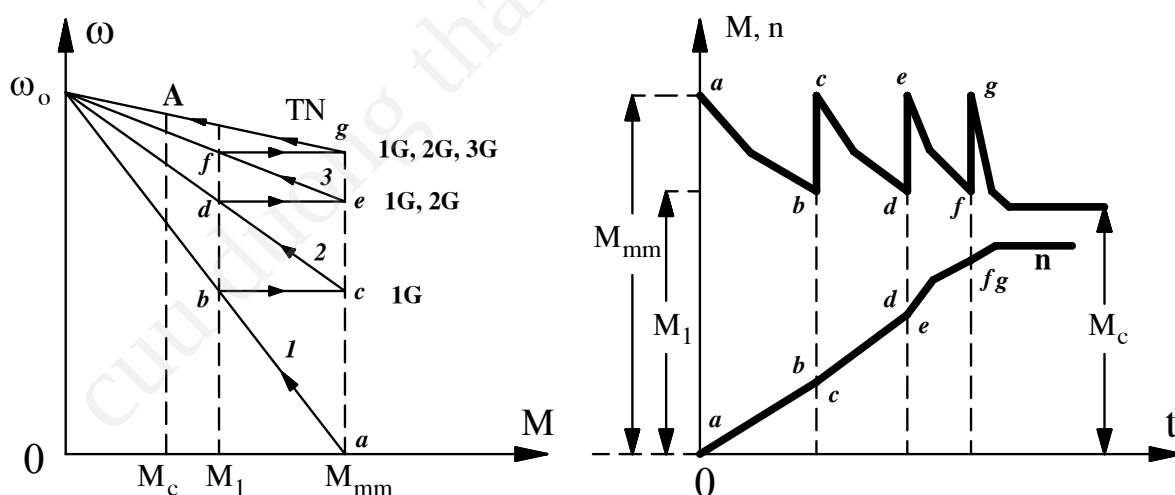
do đó mômen động cơ cũng giảm. Động cơ mở máy trên đường đặc tính cơ như hình 2.8b.

Nếu cứ giữ nguyên R_p trong mạch phản ứng thì khi tốc độ tăng theo đường đặc tính 1 tới điểm B, mômen động cơ giảm từ mômen M_{mm} xuống bằng mômen cản M_c , động cơ sẽ quay ổn định với tốc độ thấp ω_b . Do vậy, khi mômen giảm đi một mức nào đó (chẳng hạn M_2) thì phải cắt dần điện trở phụ để động cơ tiếp tục quá trình mở máy cho đến điểm làm việc A trên đường đặc tính tự nhiên.

Khi bắt đầu cấp điện cho động cơ với toàn bộ điện trở khởi động, mômen ban đầu của động cơ sẽ có giá trị là M_{mm} . Mômen này lớn hơn mômen cản tĩnh M_c do đó động cơ bắt đầu được gia tốc. Tốc độ càng tăng lên thì mômen động cơ càng giảm xuống theo đường cong ab. Trong quá trình đó mômen động (chênh lệch giữa mômen động cơ và mômen cản: $\Delta M = M_D - M_C$) giảm dần nên hiệu quả gia tốc cũng giảm theo. Đến một tốc độ nào đó, ứng với điểm b, tiếp điểm 1G đóng lại, một đoạn điện trở khởi động bị nối tắt. Và ngay tại tốc độ đó, động cơ chuyển sang làm việc ở điểm c trên đường đặc tính cơ thứ 2. Mômen động cơ lại tăng lên, gia tốc lớn hơn và sau đó gia tốc lại giảm dần khi tốc độ tăng, mômen động cơ giảm dần theo đường cong cd. Tiếp theo quá trình lại xảy ra tương tự như vậy: sau khi đóng tiếp điểm 2G mômen động cơ giảm theo đường ef và đến điểm f tiếp điểm 3G đóng lại thì động cơ chuyển sang làm việc trên đặc tính cơ tự nhiên.



Hình 2.8a - Sơ đồ mở máy động cơ điện một chiều kích từ độc lập qua 3 cấp điện trở

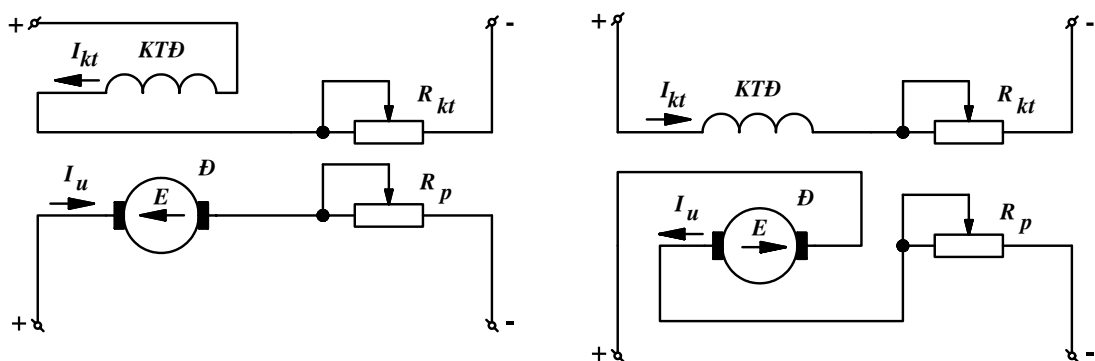


Hình 2.8b,c - Đặc tính cơ lúc mở máy động cơ điện một chiều kích từ độc lập qua 3 cấp điện trở.

2.1.4 Đảo chiều quay động cơ

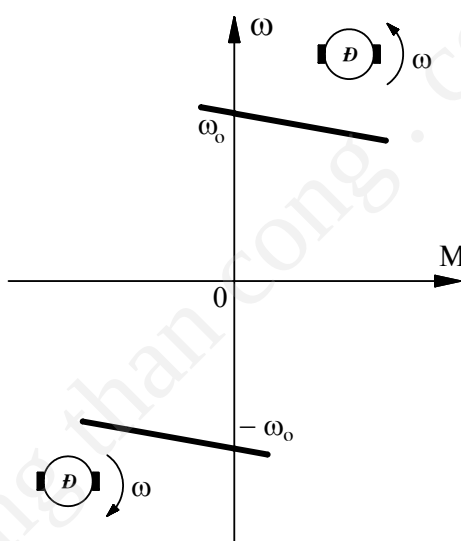
Chiều từ lực tác dụng vào dòng điện được xác định theo quy tắc bàn tay trái. Khi đảo chiều từ thông hay đảo chiều dòng điện thì từ lực có chiều ngược lại. Vậy muốn đảo chiều quay của động cơ điện một chiều ta có thể thực hiện một trong hai cách:

- Hoặc đảo chiều từ thông (bằng cách đảo chiều dòng điện kích từ).
- Hoặc đảo chiều dòng điện phần ứng.



Hình 2.9 - Sơ đồ nối dây động cơ điện một chiều kích từ độc lập khi đảo chiều từ thông hoặc khi đảo chiều dòng điện phản ứng

Đường đặc tính cơ của động cơ khi quay thuận và quay ngược là đối xứng nhau qua gốc tọa độ.



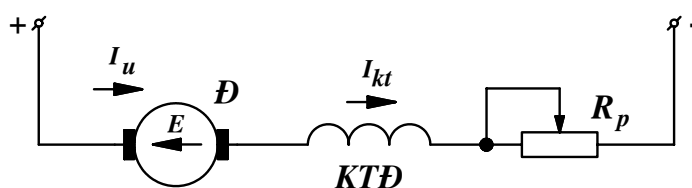
Hình 2.10 - Đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ độc lập khi đảo chiều quay

Phương pháp đảo chiều từ thông thực hiện nhẹ nhàng vì mạch từ thông có công suất nhỏ hơn mạch phản ứng. Tuy vậy, vì cuộn kích từ có số vòng dây lớn, hệ số tự cảm lớn, do đó thời gian đảo chiều tăng lên. Ngoài ra, dùng phương pháp đảo chiều từ thông thì từ thông qua trị số 0 có thể làm tốc độ động cơ tăng quá cao.

2.2 Động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp

2.2.1 Phương trình đặc tính cơ

Động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp có cuộn kích từ mắc nối tiếp với cuộn dây phản ứng như sơ đồ nguyên lý ở hình 2.11.

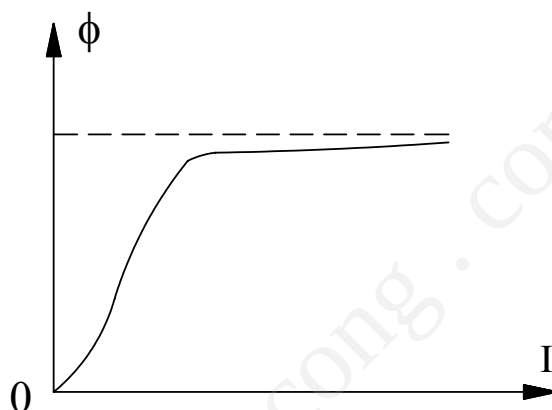


Hình 2.11 - Sơ đồ nguyên lý động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp

Với cách mắc nối tiếp, dòng điện kích từ bằng dòng điện phản ứng $I_{kt} = I_r$ nên cuộn dây kích từ nối tiếp có tiết diện dây lớn và số vòng dây ít. Từ thông của động cơ phụ thuộc vào dòng điện phản ứng, tức là phụ thuộc vào tải:

$$\phi = K' \cdot I_r$$

Trong đó K' là hệ số phụ thuộc vào cấu tạo của cuộn dây kích từ. Phương trình trên chỉ đúng khi mạch từ không bão hòa từ và khi dòng điện $I_r < (0,8 \div 0,9)I_{dm}$. Tiếp tục tăng I_r thì tốc độ tăng từ thông ϕ chậm hơn tốc độ tăng I_r rồi sau đó khi tải lớn ($I_r > I_{dm}$) thì có thể coi $\phi = \text{const}$ vì mạch từ đã bị bão hòa.



Hình 2.12 - Sự phụ thuộc giữa từ thông và dòng phản ứng (cũng là dòng kích từ) động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp

Xuất phát từ các phương trình cơ bản của động cơ điện một chiều nói chung:

$$U_r = E_r + (R_r + R_{ur}) \cdot I_r$$

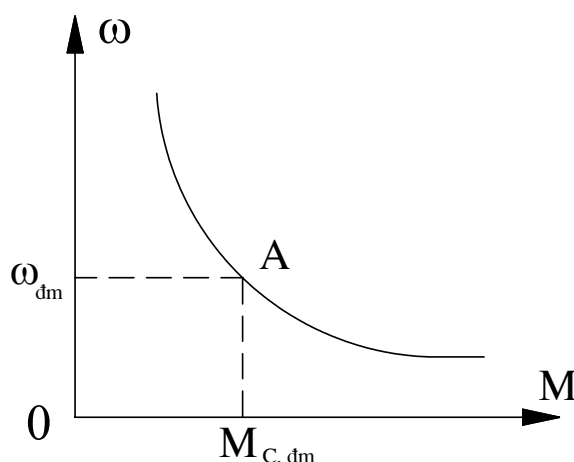
$$E_r = K \cdot \phi \cdot \omega$$

$$M = K \cdot \phi \cdot I_r = K \cdot K' \cdot I_r^2 \quad (2.12)$$

Ta có thể tìm được phương trình đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp:

$$\omega = \frac{U}{\sqrt{K \cdot K'} \cdot \sqrt{M}} - \frac{R_{u\Sigma}}{K \cdot K'} \quad (2.13)$$

Đồ thị đường đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp là một đường hyperbol.



Hình 2.13 - Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp.

Thực tế, động cơ thường được thiết kế để làm việc với mạch từ bão hòa ở vùng tải định mức. Do vậy, khi tải nhỏ, đặc tính cơ có dạng đường hypebol bậc 2 và mềm, còn khi tải lớn (trên định mức) đặc tính có dạng gần thẳng và cứng hơn vì mạch từ đã bão hòa ($\phi = \text{const}$).

Khi $M_C = 0$ ($I_r = 0$), theo phương trình đặc tính cơ (2.13) thì trị số ω sẽ vô cùng lớn. Thực tế do có lực ma sát ở cổ trục động cơ và mạch từ khi $I_{kt} = 0$ vẫn còn có từ dư ($\phi_{du} \neq 0$) nên khi không tải $M_C \approx 0$, tốc độ động cơ lúc đó sẽ là:

$$\omega_0 = \frac{U}{K\phi_{du}} \quad (2.14)$$

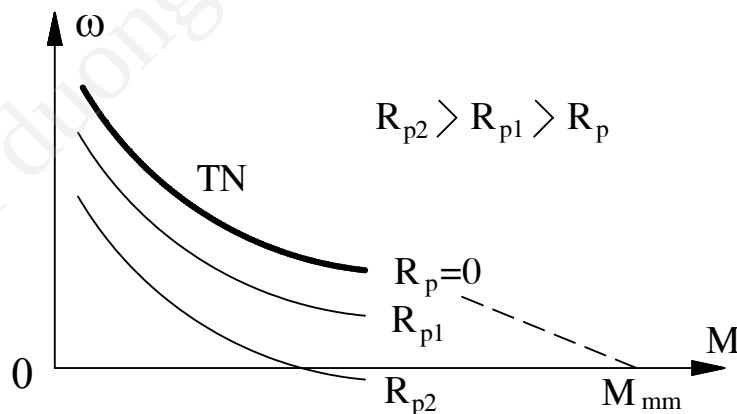
Tốc độ này không phải lớn vô cùng nhưng do từ dư ϕ_{du} nhỏ nên ω_0 cũng lớn hơn nhiều so với trị số định mức $(5 \div 6)\omega_{dm}$ và có thể gây hại và nguy hiểm cho hệ TĐĐ. Vì vậy không được để động cơ một chiều kích từ nối tiếp làm việc ở chế độ không tải hoặc rơi vào tình trạng không tải. Không dùng động cơ một chiều kích từ nối tiếp với các bộ truyền đai hoặc ly hợp ma sát... Thông thường, tải tối thiểu của động cơ là khoảng $(10 \div 20)\%$ định mức. Chỉ những động cơ công suất rất nhỏ (vài chục Watt) mới có thể cho phép chạy không tải.

2.2.2 Ảnh hưởng của các thông số điện đối với đặc tính cơ

Ở động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp, dòng điện phản ứng cũng là dòng điện kích từ nên khả năng tải của động cơ hầu như không bị ảnh hưởng bởi điện áp.

Phương trình đặc tính cơ $\omega = f(M)$ (2.13) của động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp cho thấy đặc tính cơ bị ảnh hưởng bởi điện trở mạch động cơ (mạch phản ứng và cũng là mạch kích từ).

Đặc tính cơ tự nhiên cao nhất ứng với điện trở phụ $R_{uf} = 0$. Các đặc tính cơ nhân tạo ứng với $R_{uf} \neq 0$. Đặc tính càng thấp khi R_{uf} càng lớn.



Hình 2.14 - Ảnh hưởng của điện trở mạch phản ứng tới đặc tính cơ động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp.

Trị số M_{mm} suy từ phương trình đặc tính cơ khi cho $\omega = 0$

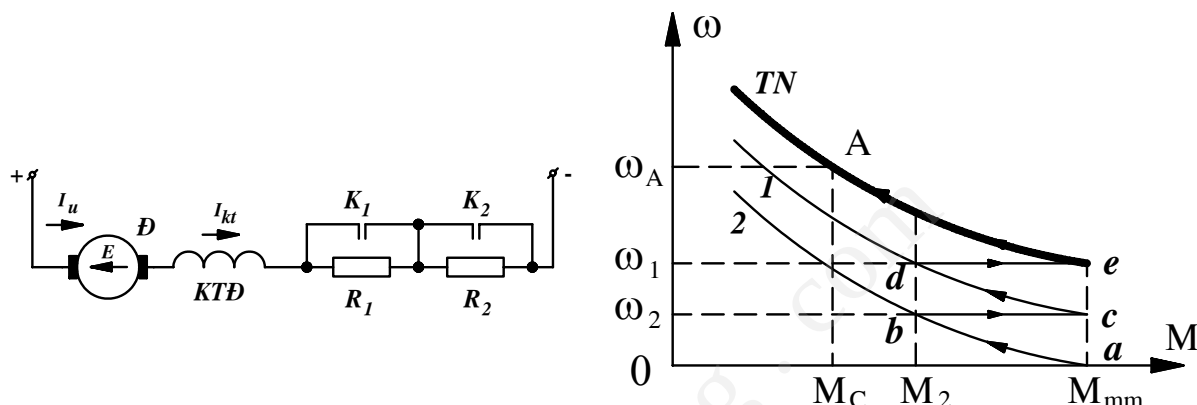
$$M_{mm} = K \cdot K' \left(\frac{U}{R_r} \right)^2 = K \cdot K' \cdot I_{mm}^2 \quad (2.15)$$

Trong đó:

$$I_{nm} = \frac{U}{R_{\text{tr}}}$$

2.2.3 Mở máy (khởi động) động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp

Lúc mở máy động cơ, phải đưa thêm điện trở mở máy vào mạch động cơ để hạn chế dòng điện mở máy không được vượt quá giới hạn $2,5I_{\text{dm}}$. Trong quá trình động cơ tăng tốc, phải cắt dần điện trở mở máy và khi kết thúc quá trình mở máy, động cơ sẽ làm việc trên đường đặc tính cơ tự nhiên không có điện trở mở máy.



Hình 2.15 - Sơ đồ mở máy động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp qua 2 cấp điện trở phụ.

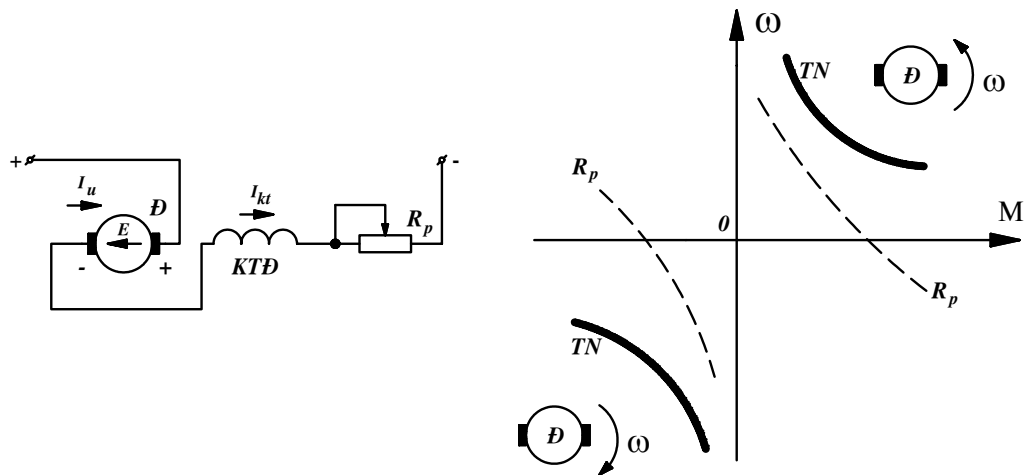
Khi động cơ được cấp điện, các tiếp điểm K_1 và K_2 mở để nối các điện trở R_1 và R_2 vào mạch động cơ. Dòng điện qua động cơ được hạn chế trong giới hạn cho phép ứng với mômen mở máy:

$$M_{\text{mm}} = M_1 = (2 \div 2,5)M_{\text{dm}}$$

Động cơ bắt đầu tăng tốc theo đặc tính cơ 1 từ điểm a đến điểm b. Cùng với quá trình tăng tốc, mômen động cơ giảm dần. Tới điểm b, tốc độ động cơ là ω_2 và mômen là $M_2 = (1,1 \div 1,3)M_{\text{dm}}$ thì tiếp điểm K_2 đóng, cắt điện trở mở máy R_2 ra khỏi mạch động cơ. Động cơ chuyển từ đặc tính cơ 2 sang làm việc tại điểm c trên đặc tính cơ 1. Thời gian chuyển đặc tính vô cùng ngắn nên tốc độ động cơ coi như giữ nguyên. Đoạn bc song song với trục hoành OM. Lúc này mômen động cơ lại tăng từ M_2 lên M_1 , động cơ tiếp tục tăng tốc nhanh theo đặc tính cơ 1. Khi mômen động cơ giảm xuống còn M_2 (ứng với tốc độ ω_1) thì điện trở mở máy R_1 còn lại được cắt nốt ra khỏi mạch động cơ nhờ đóng tiếp điểm K_1 . Động cơ chuyển sang làm việc tại điểm e trên đặc tính cơ tự nhiên và lại tăng tốc theo đặc tính này tới làm việc tại điểm A. Tại đây, mômen động cơ M_D cân bằng với mômen cản M_C nên động cơ sẽ quay với tốc độ ổn định ω_A .

2.2.4 Đảo chiều quay động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp

Cũng như động cơ điện một chiều kích từ song song, động cơ một chiều kích từ nối tiếp sẽ đảo chiều quay khi đảo chiều dòng điện phản ứng.



Hình 2.16 - Đảo chiều quay động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp.

2.3 Các trạng thái hãm của động cơ điện một chiều

Hãm một hệ TĐĐ nhằm đạt được một trong các mục đích sau:

- Dừng hệ TĐĐ.
- Giữ hệ thống đứng yên khi hệ thống đang chịu một lực có xu hướng gây chuyển động.
- Giảm tốc hệ TĐĐ.
- Ghìm cho hệ TĐĐ làm việc với tốc độ ổn định. Ví dụ: giữ tốc độ đều khi xe điện xuống dốc, khi hạ xe kíp tải liệu, khi hạ vật cầu ở cần trục...).

Để hãm một hệ TĐĐ, có thể bằng hai phương pháp: Hãm theo phương pháp cơ hoặc hãm theo phương pháp điện (hãm điện). Hãm theo phương pháp cơ là dùng phanh cơ hoặc điện - cơ. Phanh điện - cơ thường đặt ở cổ trục động cơ và có nhiều kiểu, nhiều loại nhưng nguyên tắc hoạt động của chúng tương tự nhau. Đó là khi cấp điện cho động cơ chạy thì cuộn phanh cũng được cấp điện và cổ trục động cơ được nối lỏng. Khi cắt điện để động cơ dừng thì cuộn phanh cũng mất điện và cổ trục động cơ bị ép chặt. Với cách hãm bằng phương pháp cơ thì khó đạt được cả 4 mục đích nêu trên (2 mục đích sau cùng khó thực hiện).

Trạng thái hãm điện của động cơ là trạng thái động cơ sinh ra mômen điện từ ngược với chiều quay của rôto. Phương pháp hãm điện tỏ ra rất có hiệu lực trong tất cả các mục đích nêu trên. Khi hãm điện, trục động cơ không bị phân tử nào tỳ vào cả mà chỉ có mômen điện từ tác dụng vào rôto động cơ để cản lại chuyển động quay mà rôto đang có.

Động cơ điện một chiều kích từ độc lập có 3 trạng thái hãm điện:

- Hãm tái sinh (Hãm có hoàn trả năng lượng về lưới).
- Hãm ngược.
- Hãm động năng.

Đặc điểm chung của cả 3 trạng thái hãm điện là động cơ đều làm việc ở chế độ máy phát, biến cơ năng mà hệ TĐĐ đang có qua động cơ thành điện năng để hoặc hoàn trả về lưới (hãm tái sinh) hoặc tiêu thụ thành dạng nhiệt trên điện trở hãm (hãm ngược, hãm động năng). Mômen để quay động cơ ở chế độ máy phát sẽ là mômen hãm đối với hệ TĐĐ.

2.3.1 Hãm tái sinh

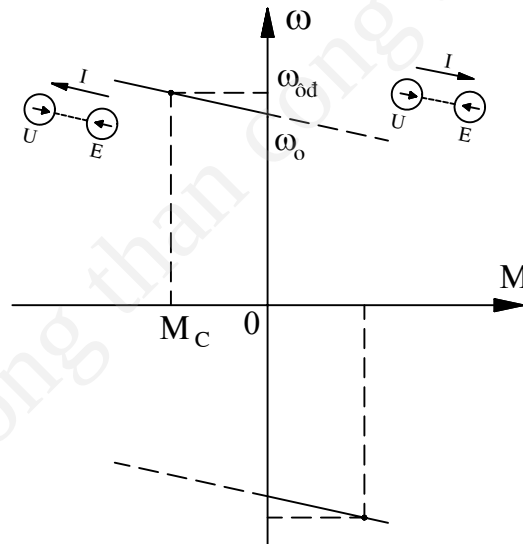
Hãm tái sinh xảy ra khi tốc độ quay của động cơ lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng ($\omega > \omega_0$). Khi hãm tái sinh: $E_u > U_u$, động cơ làm việc như một máy phát song song với lưới và trả năng lượng về nguồn, lúc này thì dòng hãm và mômen hãm đã đổi chiều so với chế độ động cơ:

$$\left. \begin{aligned} I_h &= \frac{U_u - E_u}{R} = \frac{K\phi\omega_0 - K\phi\omega}{R} < 0 \\ M_h &= K\phi I_h < 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

Trong trạng thái hãm tái sinh, tốc độ của động cơ càng tăng trên tốc độ cơ bản, trị số mômen hãm càng lớn dần lên cho đến khi cân bằng với mômen phụ tải của cơ cấu sản xuất thì hệ thống làm việc ổn định với tốc độ $\omega_{od} > \omega_0$.

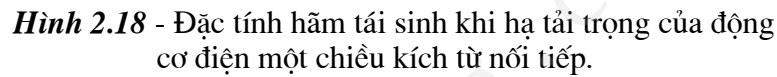
Đường đặc tính cơ ở trạng thái hãm tái sinh nằm trong góc phần tư thứ II và thứ IV của mặt phẳng tọa độ.

Trong trạng thái hãm tái sinh, dòng điện hãm đổi chiều và công suất được đưa trả về lưới điện có giá trị $P = (E - U)I$. Đây là phương pháp hãm kinh tế nhất vì động cơ sinh ra điện năng hữu ích.



Hình 2.17 - Đặc tính cơ hãm tái sinh động cơ điện một chiều kích từ độc lập.

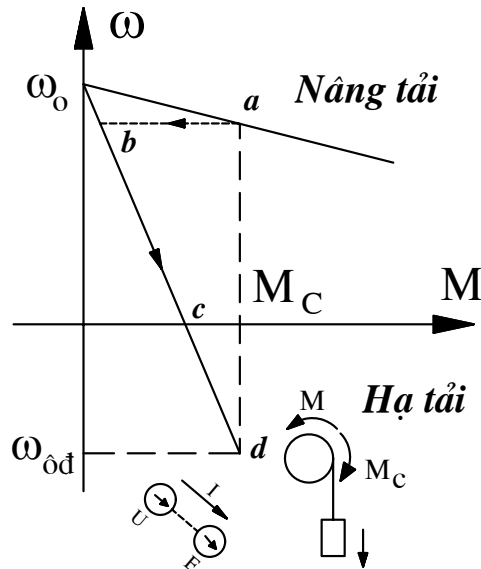
Trong thực tế, cơ cấu nâng hạ của cầu trục, thang máy, thì khi nâng tải, động cơ truyền động thường làm việc ở chế độ động cơ (điểm A). Khi hạ tải, ta đảo chiều điện áp phản ứng đặt vào động cơ. Nếu mômen do trọng tải gây ra lớn hơn mômen ma sát trong các bộ phận chuyển động của cơ cấu, động cơ sẽ làm việc ở chế độ hãm tái sinh. Để hạn chế dòng khởi động ta đóng thêm điện trở phụ vào mạch phản ứng. Tốc độ động cơ tăng dần lên, khi tốc độ động cơ gần đạt tới giá trị ω_0 ta cắt điện trở phụ (điểm c), động cơ tăng tốc độ trên đường đặc tính tự nhiên (đoạn cB). Khi tốc độ vượt quá $\omega > \omega_0$ thì mômen điện từ của động cơ đổi dấu trở thành mômen hãm. Đến điểm B thì mômen $M_h = M_C$, tải trọng được hạ với tốc độ ổn định ω_{od} trong trạng thái hãm tái sinh.



Hãm ngược là trạng thái của động cơ khi mômen hãm của động cơ ngược chiều với tốc độ quay ($M \downarrow \omega$). Mômen hãm sinh ra bởi động cơ khi đó chống lại chiều quay của cơ cấu sản xuất. Hãm ngược có hai trường hợp:

Động cơ đang làm việc ở điểm a, ta đưa thêm R_p lớn vào mạch phản ứng thì động cơ sẽ chuyển sang điểm b trên đặc tính biến trở. Tại điểm b mômen do động cơ sinh ra nhỏ hơn mômen cản nên động cơ giảm tốc độ nhưng tải vẫn theo chiều nâng lên. Đến điểm c vì mômen động cơ nhỏ hơn mômen tải nên dưới tác động của tải trọng, động cơ quay theo chiều ngược lại. Tải trọng được hạ xuống với tốc độ tăng dần. Đến điểm d mômen động cơ cân bằng với mômen cản nên hệ làm việc ổn định với tốc độ hạ không đổi ω_{od} . Đoạn *cd* là đoạn hãm ngược, động cơ làm việc như một máy phát nối tiếp với lưới điện, lúc này sức điện động của động cơ đảo dấu nên:

<https://fb.com/tailieudientucntt>



Hình 2.19 - Đặc tính cơ hãm ngược của ĐM_{đl} trường hợp đưa điện trở phụ vào mạch phản ứng.

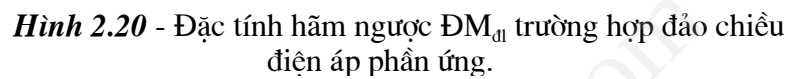
b) Hãm ngược bằng cách đảo chiều điện áp phản ứng:

Động cơ đang làm việc ở điểm a, ta đổi chiều điện áp phản ứng (vì dòng đảo chiều lớn nên phải thêm điện trở phụ vào để hạn chế) thì động cơ sẽ chuyển sang điểm b, tại điểm b mômen đã đổi chiều chống lại chiều quay của động cơ nên tốc độ giảm theo đoạn bc. Tại c nếu ta cắt động cơ khỏi điện áp nguồn thì động cơ sẽ dừng lại, còn nếu không thì tại điểm c mômen động cơ lớn hơn mômen cản nên động cơ sẽ quay ngược lại và sẽ làm việc xác lập ở d nếu phụ tải ma sát. Đoạn bc là đoạn hãm ngược, lúc này dòng hãm và mômen hãm của động cơ:

$$\left. \begin{aligned} I_h &= \frac{-U_r - E_r}{R_r + R_{rf}} = -\frac{U_r + K\phi\omega}{R_r + R_{rf}} < 0 \\ M_h &= K\phi I_h < 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

Phương trình đặc tính cơ:

$$\omega = \frac{-U_r}{K\phi} - \frac{R_r + R_{rf}}{(K\phi)^2} M \quad (2.19)$$

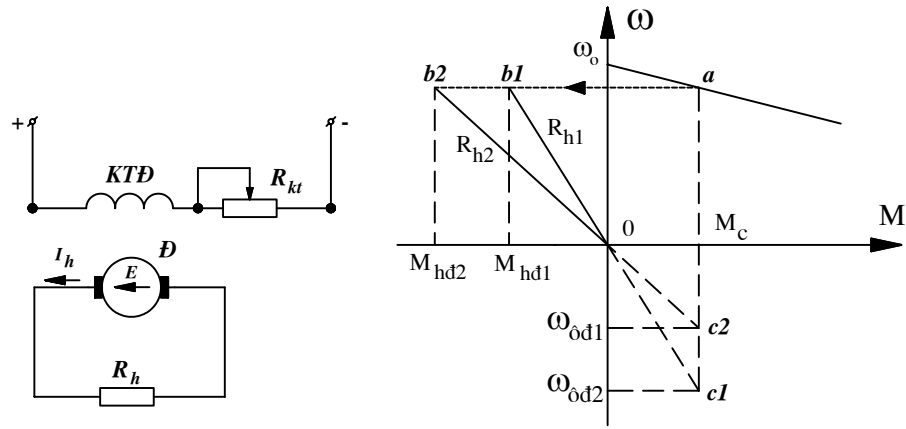


a) Hàm động năng kích từ độc lập:

Phương trình đặc tính cơ khi hãm động năng:

Tại thời điểm hãm ban đầu, tốc độ hãm ban đầu là ω_{hd} nên sức điện động ban đầu, dòng hãm ban đầu và mômen hãm ban đầu:

Trên đồ thị đặc tính cơ hãm động năng ta thấy rằng nếu mômen cản là phản kháng thì động cơ sẽ dừng hẳn (các đoạn b_10 hoặc b_20), còn nếu mômen cản là thế năng thì dưới tác dụng của tải sẽ kéo động cơ quay theo chiều ngược lại ($0c_1$ hoặc $0c_2$).



Hình 2.21 - Sơ đồ hãm động năng kích từ độc lập của ĐM_{đl}

b) Hãm động năng tự kích từ:

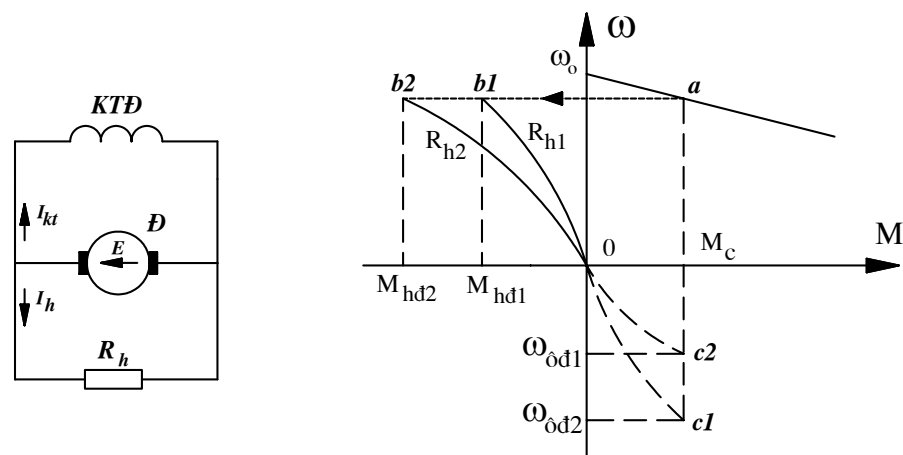
Nhược điểm của hãm động năng kích từ độc lập là nếu mất điện lưới thì không thể thực hiện hãm được do cuộn dây kích từ vẫn phải nối với nguồn. Muốn khắc phục nhược điểm này người ta thường sử dụng phương pháp hãm động năng tự kích từ.

Động cơ đang làm việc với lưới điện (điểm a), thực hiện cắt cả phần ứng và kích từ của động cơ ra khỏi lưới điện và đóng vào một điện trở hãm R_h , do động năng tích lũy trong động cơ, cho nên động cơ vẫn quay và nó làm việc như một máy phát tự kích biến cơ năng thành nhiệt năng trên các điện trở.

Phương trình đặc tính cơ khi hãm động năng tự kích từ:

$$\omega = - \frac{R_u + \frac{R_h \cdot R_{kt}}{R_h + R_{kt}}}{(K\phi)^2} M \quad (2.22)$$

Trên đồ thị đặc tính cơ hãm động năng tự kích từ ta thấy rằng trong quá trình hãm, tốc độ giảm dần và dòng kích từ cũng giảm dần, do đó từ thông của động cơ cũng giảm dần và là hàm của tốc độ, vì vậy các đặc tính cơ khi hãm động năng tự kích từ giống như đặc tính không tải của máy phát tự kích từ.



Hình 2.22 - Sơ đồ hãm động năng tự kích của ĐM_{đl}.

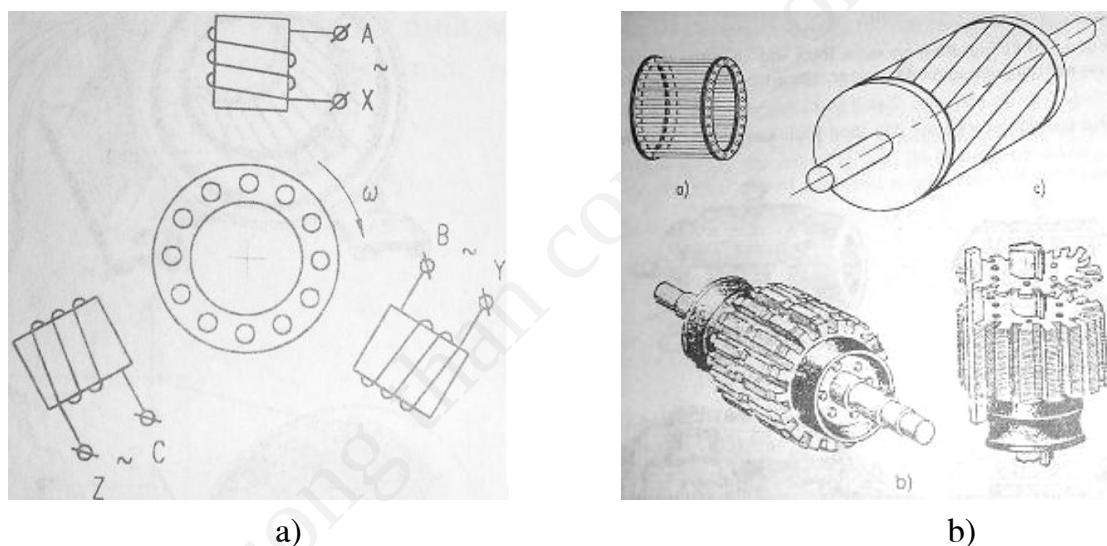
So với phương pháp hãm ngược, hãm động năng có hiệu quả hơn khi có cùng tốc độ hãm ban đầu, nhất là tổn thất năng lượng hơn.

2.4 Động cơ điện xoay chiều ba pha không đồng bộ (KĐB)

2.4.1 Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Như đã biết trong vật lý, khi cho dòng điện 3 pha vào 3 cuộn dây đặt lệch nhau 120° trong không gian thì từ trường tổng do 3 cuộn dây tạo ra là một từ trường quay. Nếu trong từ trường quay này có đặt các thanh dẫn điện thì từ trường quay sẽ quét qua các thanh dẫn điện và làm xuất hiện một sức điện động cảm ứng trong các thanh dẫn.

Nối các thanh dẫn với nhau và làm một trục quay thì trong các thanh dẫn sẽ có dòng điện (ngắn mạch) có chiều xác định theo quy tắc bàn tay phải. Từ trường quay lại tác dụng vào chính dòng cảm ứng này một từ lực có chiều xác định theo quy tắc bàn tay trái và tạo ra một mômen làm quay lồng trụ và các thanh dẫn theo chiều quay của từ trường quay. Để mômen đều hơn, các thanh dẫn thường được đặt hơi chéo.



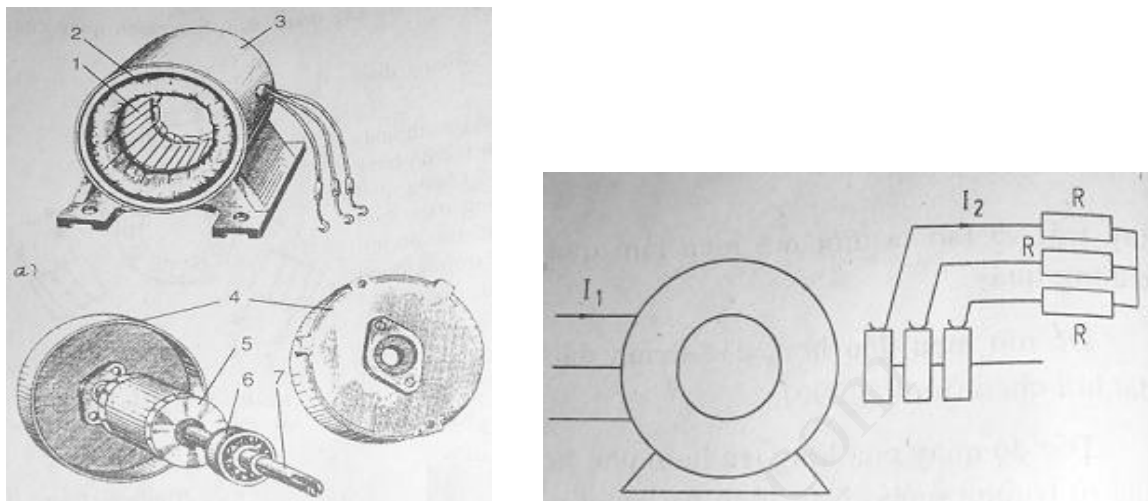
Hình 2.23 - a) Nguyên lý từ trường quay
b) Cấu tạo rôto

Tốc độ quay của lồng trụ luôn nhỏ hơn tốc độ quay của từ trường quay. Nếu lồng trụ quay với tốc độ bằng tốc độ của từ trường quay thì từ trường sẽ không quét qua các thanh dẫn nữa nên không có dòng điện cảm ứng và mômen quay cũng không còn. Khi đó do mômen cản, lồng trụ sẽ quay chậm lại hơn từ trường quay và các thanh dẫn lại bị từ trường quét qua, dòng điện cảm ứng lại xuất hiện và do đó lại có mômen quay làm lồng trụ tiếp tục quay nhưng với tốc độ luôn nhỏ hơn của từ trường quay.

Động cơ làm việc trên nguyên tắc này nên được gọi là không đồng bộ (hay còn gọi là động cơ dị bộ).

Động cơ có nguyên lý cấu tạo như đã xét ở trên với rotor lồng trụ ghép từ các thanh dẫn gọi là động cơ rotor lồng sóc (hay rotor ngắn mạch).

Nếu phần ứng là 3 cuộn dây nối theo hình sao Y, còn 3 đầu cuộn dây còn lại nối với 3 vòng trượt để qua 3 chổi than nối với điện trở mạch ngoài thì rotor gọi là rotor dây quấn. Động cơ gọi là động cơ rotor dây quấn. Cuộn cảm (cuộn kích từ) ở stator của động cơ có thể đấu theo hình sao Y hay theo hình tam giác Δ .



Hình 2.24 - Sơ đồ cấu tạo stator động cơ xoay chiều KĐB.

Các đại lượng liên quan đến cuộn cảm (mạch stator) có chỉ số 1 như: $U_1, I_1, R_1, \dots$ và các đại lượng liên quan đến mạch phần ứng (mạch rotor) có chỉ số 2 như: $U_2, I_2, R_2, f_2, \dots$

Tốc độ quay của từ trường quay phụ thuộc vào số đôi cực từ p , số đôi cực từ càng lớn thì tốc độ quay của từ trường càng bị giảm. Với cuộn cảm tạo ra từ trường có p đôi cực từ thì tốc độ quay giảm

p lần là $\frac{f_1}{p}$ (vg/s)

$$\text{hay: } n_0 = \frac{60f_1}{p}, \quad (\text{vg/ph}) \quad (2.23)$$

$$\text{hoặc: } \omega_0 = \frac{2\pi \cdot n_0}{60} = \frac{2\pi \cdot f_1}{p}, \quad (\text{rad/s}) \quad (2.24)$$

ω_0 là tốc độ lớn nhất mà rotor có thể đạt được nếu không có lực cản nào. Tốc độ này gọi là tốc độ đồng bộ hay là tốc độ không tải lý tưởng. Tần số lưới điện xoay chiều ở Việt Nam là 50Hz và vì p là số nguyên nên tốc độ đồng bộ thường là 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500... (vòng/phút).

Tốc độ không đồng bộ n_2 của rotor nhỏ hơn tốc độ đồng bộ n_0 và sự sai lệch này được đánh giá qua một đại lượng gọi là độ trượt s :

$$s = \frac{n_0 - n_2}{n_0} = \frac{\omega_0 - \omega_2}{\omega_0} = 1 - \frac{\omega_2}{\omega_0} \quad (2.25)$$

Ở chế độ động cơ, độ trượt s có giá trị $0 \leq s \leq 1$.

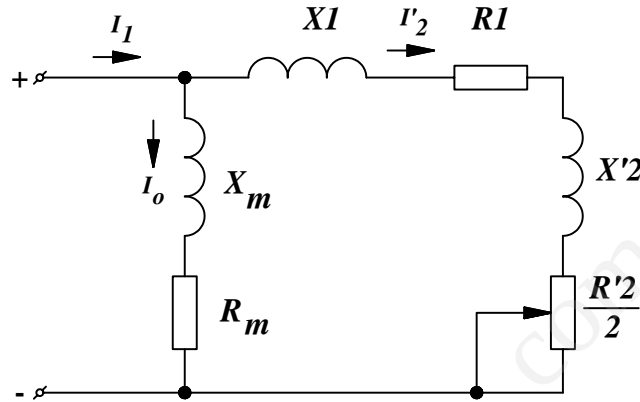
Dòng điện cảm ứng trong cuộn dây rotor cũng là dòng xoay chiều với tần số xác định qua tốc độ tương đối của rotor đối với từ trường quay:

$$f_2 = \frac{p \cdot (n_0 - n_2)}{60} = s \cdot f_1 \quad (\text{Hz}) \quad (2.26)$$

Các động cơ xoay chiều KĐB có cấu tạo đơn giản, giá thành thấp, vận hành tin cậy hơn so với động cơ một chiều nên được sử dụng rộng rãi hơn.

2.4.2 Phương trình đặc tính cơ

Khi coi 3 pha động cơ là đối xứng, được cấp nguồn bởi nguồn xoay chiều hình sin 3 pha đối xứng và mạch từ động cơ không bão hòa thì có thể xem xét động cơ qua sơ đồ thay thế 1 pha. Đó là sơ đồ điện một pha phía stator với các đại lượng điện ở mạch rôto đã quy đổi về stator.



Hình 2.25 - Sơ đồ thay thế một pha động cơ KĐB

Khi cuộn dây stator được cấp điện với điện áp định mức $U_{1ph.dm}$ trên 1 pha mà giữ yên rotor (không quay thì mỗi pha của cuộn dây rotor sẽ xuất hiện một sức điện động $E_{2ph.dm}$ theo nguyên lý của máy biến áp. Hệ số quy đổi sức điện động là:

$$k_E = \frac{E_{1ph.dm}}{E_{2ph.dm}} \quad (2.27)$$

Từ đó ta có hệ số quy đổi dòng điện:

$$k_I = \frac{1}{k_E} \quad (2.28)$$

và hệ số quy đổi trở kháng:

$$k_R = k_X = \frac{k_E}{k_I} = k_E^2 \quad (2.29)$$

Với các hệ số quy đổi này, các đại lượng điện ở mạch rotor có thể quy đổi về mạch stator theo cách sau:

- Dòng điện: $I'_2 = k_I I_2$
- Điện kháng: $X'_2 = k_X X_2$
- Điện trở: $R'_2 = k_R R_2$

Trên sơ đồ thay thế ở hình 2.25, các đại lượng khác là:

I_0 - Dòng điện từ hóa của động cơ.

R_m, X_m - Điện trở, điện kháng mạch từ hóa.

I_1 - Dòng điện cuộn dây stator.

R_1, X_1 - Điện trở, điện kháng cuộn dây stator.

Dòng điện rotor quy đổi về stator có thể tính từ sơ đồ thay thế:

$$I_2' = \frac{U_{1ph}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (2.30)$$

Khi động cơ hoạt động, công suất điện từ P_{12} từ stator chuyển sang rotor thành công suất cơ $P_{cơ}$ đưa ra trên trục động cơ và công suất nhiệt ΔP_2 đốt nóng cuộn dây:

$$P_{12} = P_{cơ} + \Delta P_2 \quad (2.31)$$

Nếu bỏ qua tổn thất phụ thì có thể coi mômen điện từ M_{dt} của động cơ bằng mômen cơ $M_{cơ}$:

$$M_{dt} = M_{cơ} = M$$

$$\text{Từ đó:} \quad P_{12} = M \cdot \omega_0 = M\omega + \Delta P_2 \quad (2.32)$$

$$\text{Suy ra:} \quad M = \frac{\Delta P_2}{\omega_0 - \omega} = \frac{\Delta P_2}{s \cdot \omega_0} \quad (2.33)$$

Công suất nhiệt trong cuộn dây 3 pha là:

$$\Delta P_2 = 3R_2' I_2'^2 \quad (2.34)$$

Thay vào phương trình tính mômen ta có được:

$$M = \frac{3U_{1ph}^2 R_2'}{s\omega_0 \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_{nm}^2 \right]} \quad (2.35)$$

Trong đó: $X_{nm} = X_1 + X_2'$ là điện kháng ngắn mạch.

Phương trình trên biểu thị mối quan hệ $M = f(s) = f[s(\omega)]$ gọi là phương trình đặc tính cơ của động cơ điện xoay chiều 3 pha không đồng bộ.

Với những giá trị khác nhau của s ($0 \leq s \leq 1$), phương trình đặc tính cơ cho ta những giá trị tương ứng của M . Đường biểu diễn $M = f(s)$ trên hệ trục tọa độ sOM như hình 2.26, đó là đường đặc tính cơ của động cơ xoay chiều ba pha không đồng bộ.

Đường đặc tính cơ có điểm cực trị gọi là điểm tới hạn K. Tại điểm đó:

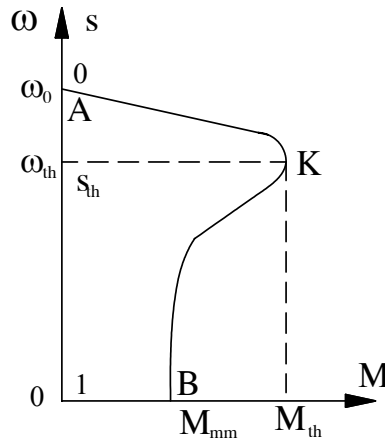
$$\frac{dM}{ds} = 0$$

$$\text{Giải phương trình ta có: } s_{th} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2}} \quad (2.36)$$

Thay vào phương trình đặc tính cơ ta có:

$$M_{th} = \pm \frac{3U_{1ph}^2}{2\omega_0 (R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2})} \quad (2.37)$$

Vì ta đang xem xét trong giới hạn $0 \leq s \leq 1$ nên giá trị s_{th} và M_{th} của đặc tính cơ chỉ ứng với dấu (+).



Hình 2.26 - Đặc tính cơ động cơ KĐB.

Ta nhận thấy, đường đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ là một đường cong phức tạp và có 2 đoạn AK và KB, phân giới bởi điểm tới hạn K.

Đoạn đặc tính AK gần thẳng và cứng. Trên đoạn này, mômen động cơ tăng thì tốc độ động cơ giảm. Do vậy, động cơ làm việc trên đoạn đặc tính này sẽ ổn định.

Đoạn KB cong với độ dốc dương. Trên đoạn này, động cơ làm việc không ổn định.

2.4.3 Ảnh hưởng của các thông số điện đối với đặc tính cơ

Phương trình đặc tính cơ cho thấy đường đặc tính cơ của động cơ điện xoay chiều 3 pha KĐB chịu ảnh hưởng của nhiều thông số điện: Điện áp lưới U_{1ph} , điện trở mạch rotor R_2' , điện trở R_1 và điện kháng X_1 ở mạch stator, tần số lưới f_1 , số đôi cực p của động cơ.

Khi các thông số này thay đổi sẽ gây ra biến động các đại lượng:

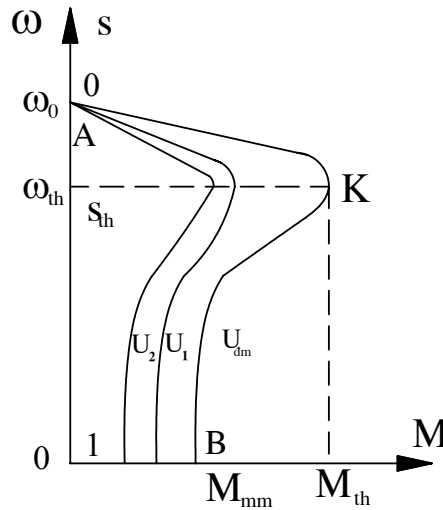
- Tốc độ đồng bộ: $\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}$ (2.38)

- Độ trượt giới hạn: $s_{th} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2}}$ (2.39)

- Mômen tới hạn: $M_{th} = \frac{3U_{1ph}^2}{2\omega_0(R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2})}$ (2.40)

2.4.3.1 Trường hợp thay đổi điện áp U_{1ph}

Điện áp U_{1ph} đặt vào Stator động cơ chỉ có thể thay đổi về phía giảm. Khi U_{1ph} giảm thì mômen tới hạn M_{th} sẽ giảm rất nhanh theo bình phương của U_{1ph} , còn tốc độ đồng bộ ω_0 và độ trượt tới hạn s_{th} không thay đổi. Các đặc tính cơ khi giảm điện áp như hình 2.27.



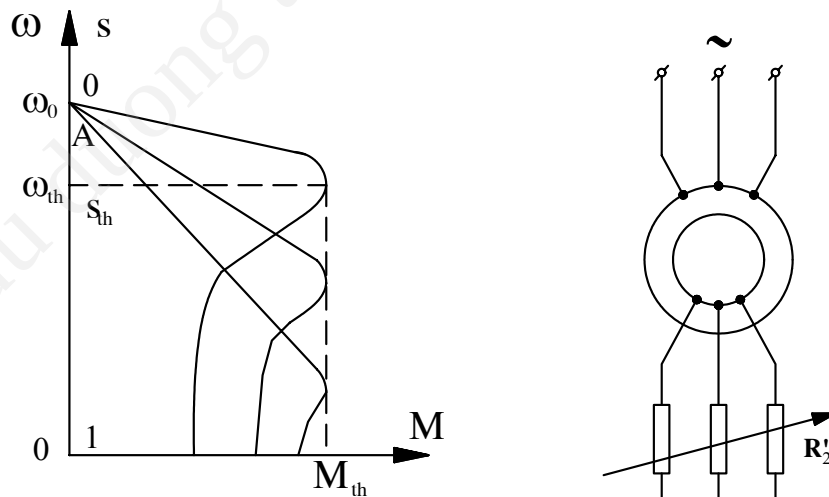
Hình 2.27 - Họ đặc tính cơ động cơ KĐB khi thay đổi điện áp U_{1ph}

2.4.3.2 Trường hợp thay đổi điện trở R_2'

Trường hợp này chỉ có đối với động cơ rotor dây quấn vì mạch rotor có thể nối với điện trở ngoài qua hệ vòng trượt - chổi than. Động cơ rotor lồng sóc (hay rotor ngắn mạch) không thể thay đổi được điện trở mạch rotor.

Việc thay đổi điện trở mạch rotor chỉ có thể thực hiện về phía tăng điện trở R_2' . Khi tăng R_2' thì độ trượt tới hạn s_{th} cũng tăng lên, còn tốc độ đồng bộ ω_0 và mômen tới hạn M_{th} giữ nguyên.

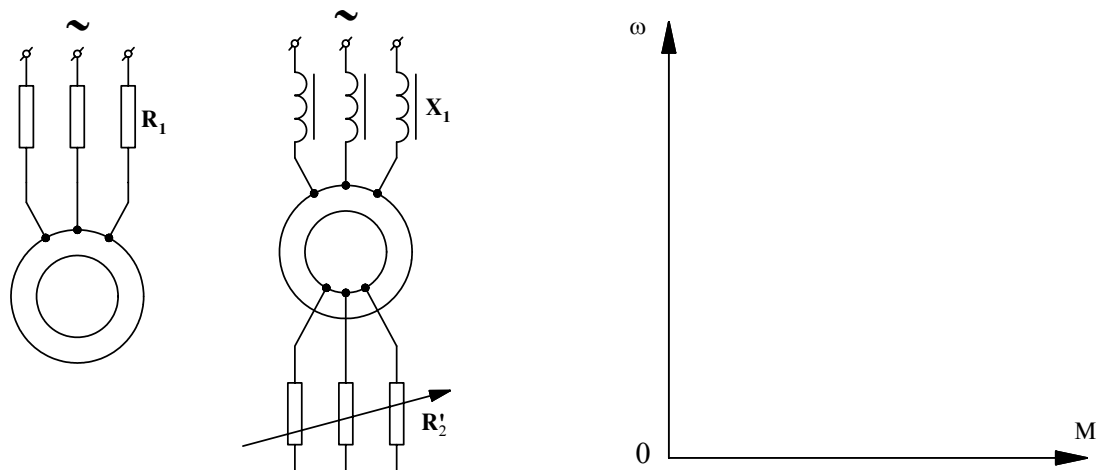
Các đặc tính cơ nhân tạo khi thay đổi điện trở mạch rotor được biểu diễn như hình vẽ. Điện trở mạch rotor càng lớn thì đặc tính càng dốc.



Hình 2.28 - Sơ đồ nối và họ đặc tính cơ động cơ KĐB khi thay đổi điện trở mạch rôto.

2.4.3.3 Trường hợp thay đổi điện trở R_1 , điện kháng X_1 ở mạch Stator

Trường hợp này cũng chỉ thay đổi về phía tăng R_1 hoặc X_1 . Sơ đồ nối dây như hình 2.28.



Hình 2.29 - Sơ đồ nối và họ đặc tính cơ động cơ KĐB khi nối thêm R_1 hoặc X_1 vào mạch stator

Khi nối thêm vào mạch Stator R_1 hoặc X_1 thì ta thấy tốc độ đồng bộ ω_0 không đổi, còn độ trượt tới hạn s_{th} và mômen tới hạn M_{th} đều giảm. Hình vẽ 2.29 biểu thị các đặc tính cơ nhân tạo khi tăng trở kháng mạch stator và khi giảm điện áp cấp cho stator. Các đặc tính được vẽ trong trường hợp này có cùng mômen mở máy M_{mm} . Đặc tính tăng X_1 (đường 2) cứng hơn đặc tính tăng R_1 (đường 3) và đặc tính tăng R_1 cứng hơn đặc tính giảm điện áp (đường 4).

2.4.3.4 Trường hợp thay đổi số đôi cực p

Khi số đôi cực thay đổi thì tốc độ đồng bộ ω_0 bị thay đổi. Thông thường, động cơ loại này được chế tạo với cuộn cảm stator có nhiều đầu dây ra để có thể đổi cách đấu dây tương ứng với số đôi cực nào đó. Tuỳ theo khả năng đổi nối mà động cơ KĐB được gọi là động cơ có 2,3,4... cấp tốc độ.

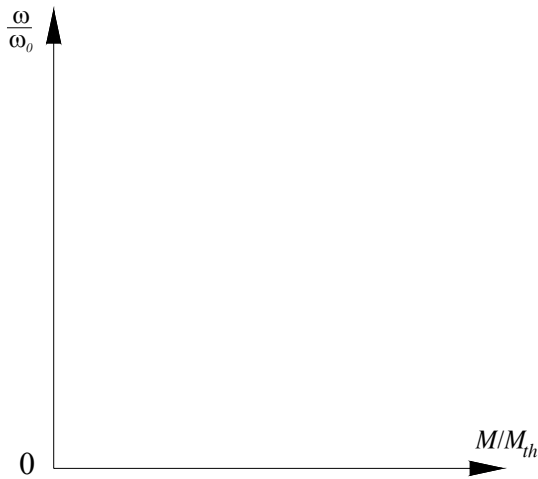
Do số đôi cực thay đổi nhờ đổi nối cuộn cảm stator nên các thông số U_{1ph} đặt vào cuộn pha, trở kháng R_1 và cảm kháng X_1 có thể bị thay đổi. Từ đó, độ trượt tới hạn s_{th} và mômen tới hạn M_{th} có thể khác đi.

2.4.3.5 Trường hợp thay đổi tần số f_1 của nguồn điện áp cấp

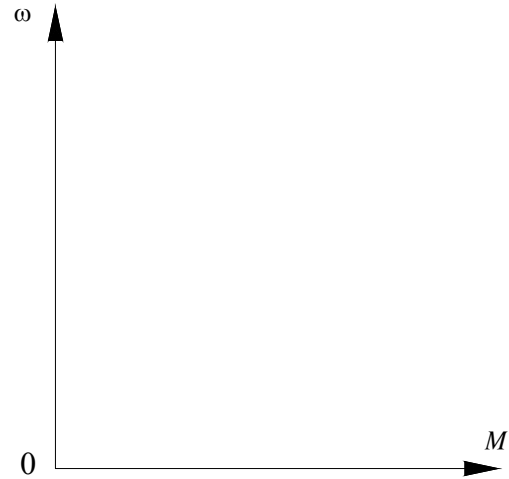
Khi thay đổi f_1 thì tốc độ đồng bộ ω_0 sẽ thay đổi, đồng thời X_1 , X_2 cũng bị thay đổi (vì $X = 2\pi fL$), kéo theo sự thay đổi cả độ trượt tới hạn s_{th} và mômen tới hạn M_{th} . Hình vẽ 2.30 biểu thị các đặc tính cơ nhân tạo khi thay đổi tần số.

Quan hệ độ trượt tới hạn theo tần số $s_{th} = f(f_1)$ và mômen tới hạn theo tần số $M_{th} = F(f_1)$ là phức tạp nhưng vì ω_0 và X_1 phụ thuộc tỉ lệ với tần số f_1 nên có thể từ các biểu thức của s_{th} và M_{th} rút ra:

$$\begin{cases} s_{th} \sim \frac{1}{f_1} \\ M_{th} \sim \frac{1}{f_1^2} \end{cases} \quad (2.41)$$



Hình 2.30 - Đặc tính cơ động cơ KDBB khi thay đổi tần số.



Hình 2.31 - Đặc tính cơ động cơ KDBB khi thay đổi tần số kết hợp với thay đổi điện áp.

Khi tần số nguồn f_1 giảm, độ trượt tới hạn s_{th} và mômen tới hạn M_{th} đều tăng lên nhưng M_{th} tăng nhanh hơn. Do vậy độ cứng của đặc tính cơ tăng lên.

Chú ý khi giảm tần số f_1 xuống dưới tần số định mức thì tổng trở của các cuộn dây giảm nên nếu giữ nguyên điện áp cấp cho động cơ sẽ dẫn đến dòng điện động cơ tăng mạnh. Vì thế khi giảm tần số nguồn xuống dưới trị số định mức cần phải đồng thời giảm điện áp cấp cho động cơ theo quan hệ:

$$\frac{U_1}{f_1} = const \quad (2.42)$$

Như vậy mômen tới hạn M_{th} sẽ giữ không đổi ở vùng $f_1 < f_{1dm}$.

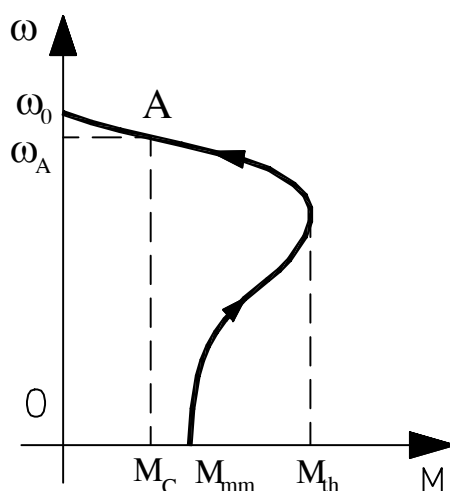
Ở vùng $f_1 > f_{1dm}$ thì không được tăng điện áp nguồn cấp mà giữ $U_1 = const$. Mômen tới hạn M_{th} sẽ giảm tỉ lệ nghịch với bình phương tần số.

2.4.4 Mở máy (khởi động) động cơ điện KĐB

Khi đóng điện trực tiếp vào động cơ KĐB để mở máy thì do lúc đầu rotor chưa quay, độ trượt lớn ($s=1$) nên s.đ.đ cảm ứng và dòng điện cảm ứng lớn.

$$I_{mm} = (5 \div 8) I_{dm}$$

Dòng điện này có trị số đặc biệt lớn ở các động cơ công suất trung bình và lớn, tạo ra nhiệt đốt nóng động cơ và gây xung lực có hại cho động cơ.



Hình 2.32 - Đặc tính động cơ KĐB khi mở máy trực tiếp.

Tuy dòng điện lớn nhưng mômen mở máy lại nhỏ: $M_{mm} = (0,5 \div 1,5) M_{dm}$.

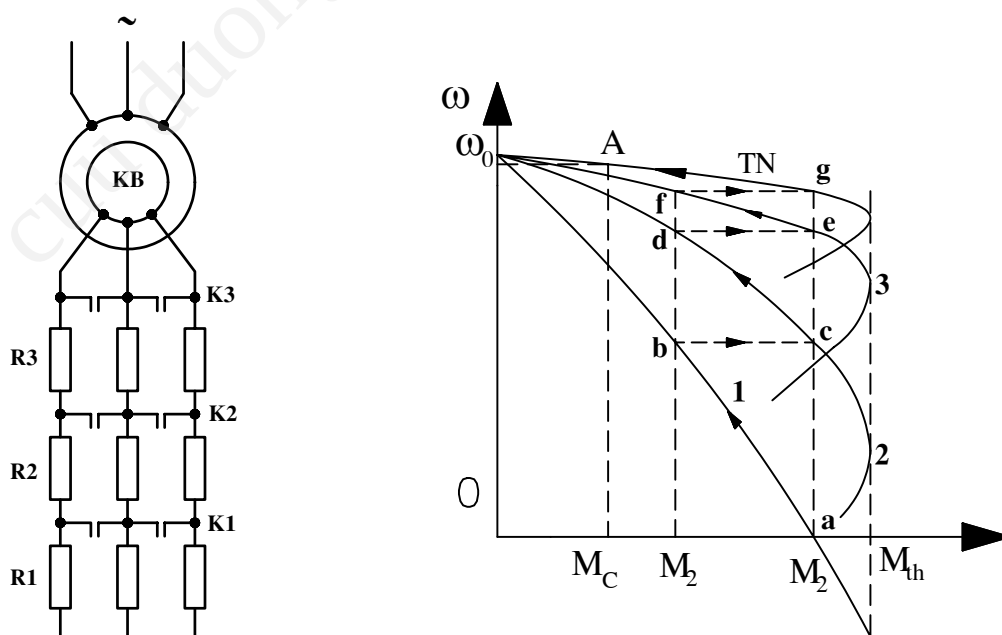
Do vậy cần phải có biện pháp mở máy. Trường hợp động cơ có công suất nhỏ thì có thể mở máy trực tiếp. Động cơ mở máy theo đặc tính tự nhiên với mômen mở máy nhỏ.

Những động cơ không mở máy trực tiếp thì có thể thực hiện một trong các phương pháp mở máy gián tiếp sau.

2.4.4.1 Phương pháp dùng điện trở mở máy ở mạch rotor

Phương pháp này chỉ dùng cho động cơ rotor dây quấn vì điện trở mở máy ở mạch ngoài mắc nối tiếp với cuộn dây rotor.

Hình 2.33 trình bày một sơ đồ mở máy qua 3 cấp điện trở phụ R_1 , R_2 và R_3 ở cả 3 pha rotor. Đây là sơ đồ mở máy với các điện trở rotor đối xứng.



Hình 2.33 - Sơ đồ mở máy động cơ KĐB qua 3 cấp điện trở phụ và đặc tính cơ tương ứng.

Lúc bắt đầu mở máy, các tiếp điểm công tắc tơ K_1, K_2, K_3 đều mở, cuộn dây rotor được nối với cả 3 cặp điện trở phụ ($R_1+R_2+R_3$) nên đường đặc tính cơ là đường 1. Tới điểm b, tốc độ động cơ đạt ω_b và mômen giảm còn M_2 , các tiếp điểm K_1 đóng lại, cắt các điện trở phụ R_1 ra khỏi mạch rotor. Động cơ được tiếp tục mở máy với điện trở phụ (R_2+R_3) trong mạch rotor và chuyển sang làm việc tại điểm c trên đặc tính 2 ít dốc hơn. Mômen tăng từ M_2 lên M_1 và tốc độ động cơ lại tiếp tục tăng. Động cơ làm việc trên đường đặc tính 2 từ c đến d. Lúc này, các tiếp điểm K_2 đóng lại, nối tắt các điện trở R_2 . Động cơ chuyển sang mở máy với điện trở R_3 trong mạch rotor trên đặc tính 3 tại điểm e và tiếp tục tăng tốc tới điểm f. Lúc này các tiếp điểm K_3 đóng lại, điện trở R_3 trong mạch rotor bị loại. Động cơ chuyển sang làm việc trên đặc tính tự nhiên tại g và tăng tốc đến điểm làm việc A ứng với mômen cần M_c . Quá trình mở máy kết thúc.

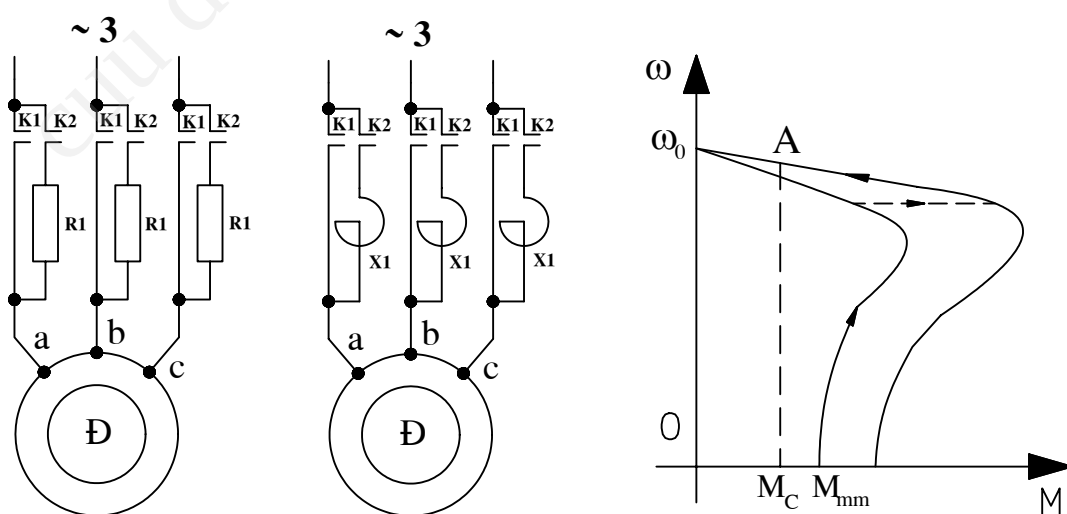
Để đảm bảo quá trình mở máy như đã xét sao cho các điểm chuyển đặc tính ứng với cùng một mômen M_2, M_1 thì các điện trở phụ tham gia vào mạch rotor lúc mở máy phải được tính chọn cẩn thận theo phương pháp riêng.

Ngoài sơ đồ mở máy với điện trở đối xứng ở mạch rotor, trong thực tế còn dùng sơ đồ mở máy với điện trở không đối xứng ở mạch rotor, nghĩa là điện trở mở máy được cắt giảm không đều trong các pha rotor khi mở máy.

2.4.4.2 Phương pháp mở máy với điện trở hoặc điện kháng nối tiếp trong mạch stator.

Phương pháp này dùng điện trở hoặc điện kháng mắc nối tiếp với mạch stator lúc mở máy và có thể áp dụng cho cả động cơ rotor lồng sóc lẫn rotor dây quấn. Do có điện trở hoặc điện kháng nối tiếp nên dòng mở máy của động cơ giảm đi, nằm trong giá trị cho phép. Mômen mở máy của động cơ cũng giảm.

Thời điểm ban đầu của quá trình mở máy, các tiếp điểm K_2 đóng lại (các tiếp điểm K_1 mở) để điện trở (hình a) hoặc điện kháng (hình b) tham gia vào mạch stator nhằm hạn chế dòng điện mở máy. Khi tốc độ động cơ đã tăng đến một mức nào đó (tùy hệ truyền động) thì các tiếp điểm K_1 đóng lại, K_2 mở ra để loại điện trở hoặc điện kháng ra khỏi mạch stator. Động cơ tăng tốc đến tốc độ làm việc. Quá trình mở máy kết thúc.



Hình 2.34 - Sơ đồ mở máy dùng R_1 và X_1 ở mạch stator và dạng đặc tính cơ khi mở máy

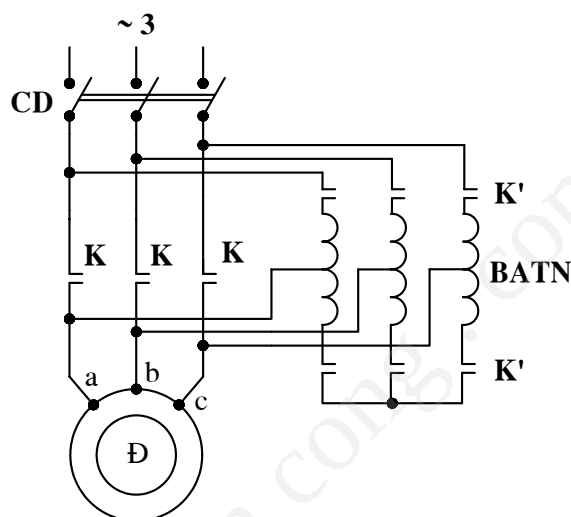
Sơ đồ hình 2.34 ở trên là mở máy với 1 cấp điện trở hoặc điện kháng ở mạch stator. Có thể mở máy với nhiều cấp điện trở hoặc điện kháng khi công suất động cơ lớn.

2.4.4.3 Phương pháp mở máy dùng máy biến áp tự ngẫu

Phương pháp này được sử dụng để đặt một điện áp thấp cho động cơ khi mở máy. Do vậy, dòng điện của động cơ khi mở máy giảm đi.

Các tiếp điểm K' đóng, K mở lúc mở máy. Khi K' mở, K đóng thì quá trình mở máy kết thúc.

Phương pháp mở máy dùng cuộn kháng X và máy biến áp tự ngẫu thích hợp cho việc mở máy các động cơ cao áp.



Hình 2.35 - Sơ đồ mở máy động cơ KĐB dùng MBA tự ngẫu.

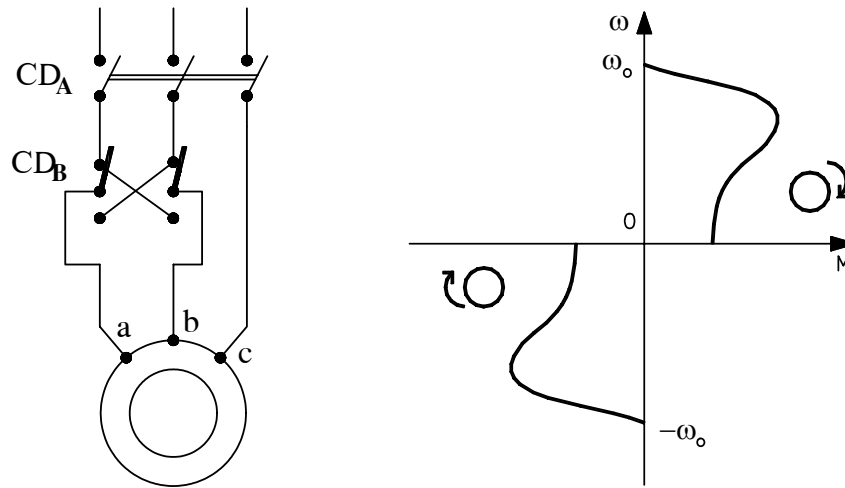
2.4.4.4 Phương pháp đổi nối Y - Δ khi mở máy

Động cơ KĐB làm việc bình thường ở sơ đồ mắc Δ các cuộn stator thì khi mở máy có thể mắc theo sơ đồ Y. Thực chất của phương pháp này là giảm điện áp đặt vào cuộn dây stator khi đổi nối vì $U_{ph} = U_d$ khi mắc Δ, còn khi mắc Y thì điện áp giảm $\sqrt{3}$ lần:

$$U_{ph} = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$$

2.4.5 Đảo chiều quay động cơ điện KĐB

Để đảo chiều quay của động cơ KĐB, cần đảo chiều quay của từ trường quay do stator tạo ra. Muốn vậy, chỉ cần đảo chiều hai pha bất kỳ trong 3 pha nguồn cấp cho stator. Đặc tính cơ khi đảo chiều quay nằm ở góc phần tư thứ III.

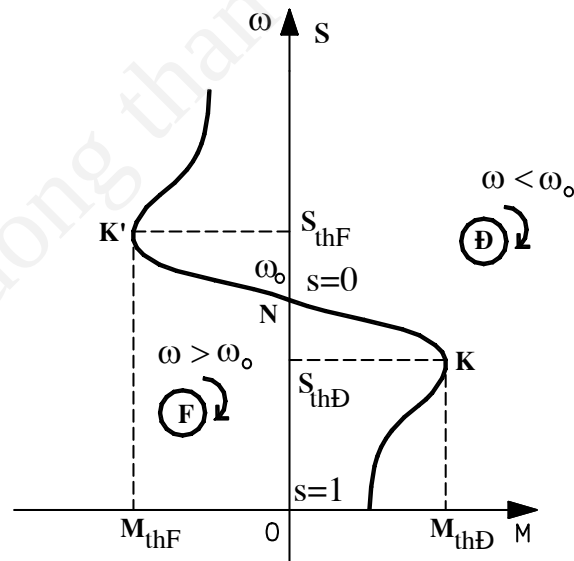


Hình 2.36 - Sơ đồ đảo chiều quay động cơ KĐB và đặc tính cơ khi đảo chiều quay.

2.5 Các trạng thái hãm của động cơ điện KĐB

2.5.1 Hãm tái sinh

Đặc tính hãm tái sinh của động cơ KĐB như hình vẽ. Động cơ điện xoay chiều KĐB ở chế độ hãm tái sinh khi tốc độ động cơ vượt quá tốc độ đồng bộ ω_0 . Khi hãm tái sinh thì động cơ làm việc ở chế độ máy phát.



Hình 2.37 - Đặc tính cơ hãm tái sinh động cơ KĐB.

Từ công thức (2.36) và (2.37), loại trừ trường hợp dấu (+) đối với chế độ động cơ ta có ở chế độ máy phát:

$$s_{th} = -\frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2}} \quad (2.43)$$

$$M_{th} = -\frac{3U_{1ph}^2}{2\omega_0(R_1 - \sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2})} \quad (2.44)$$

Qua đó ta thấy ở chế độ máy phát, độ trượt tới hạn s_{thF} đối dấu so với động cơ, còn mômen tới hạn có trị số lớn hơn trị số mômen tới hạn ở chế độ động cơ.

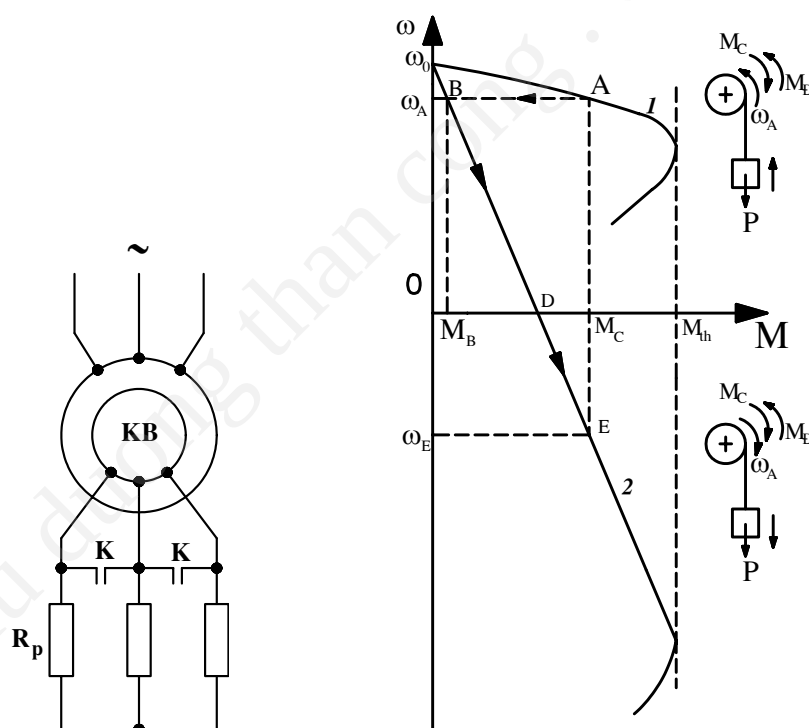
Chế độ hãm tái sinh của động cơ KĐB được thiết kế trên đoạn NK', góc phần tư thứ II.

2.5.2 Hãm ngược

a) Hãm ngược nhờ đưa điện trở phụ vào mạch phản ứng

Động cơ KĐB rôto dây quấn truyền động cho cơ cấu nâng-hạ của một cửa một cầu trục, đang làm việc nâng tải tại điểm A trên đặc tính cơ 1 ở góc phần tư thứ I với mômen cản M_C và tốc độ quay nâng ω_A (các tiếp điểm K đóng).

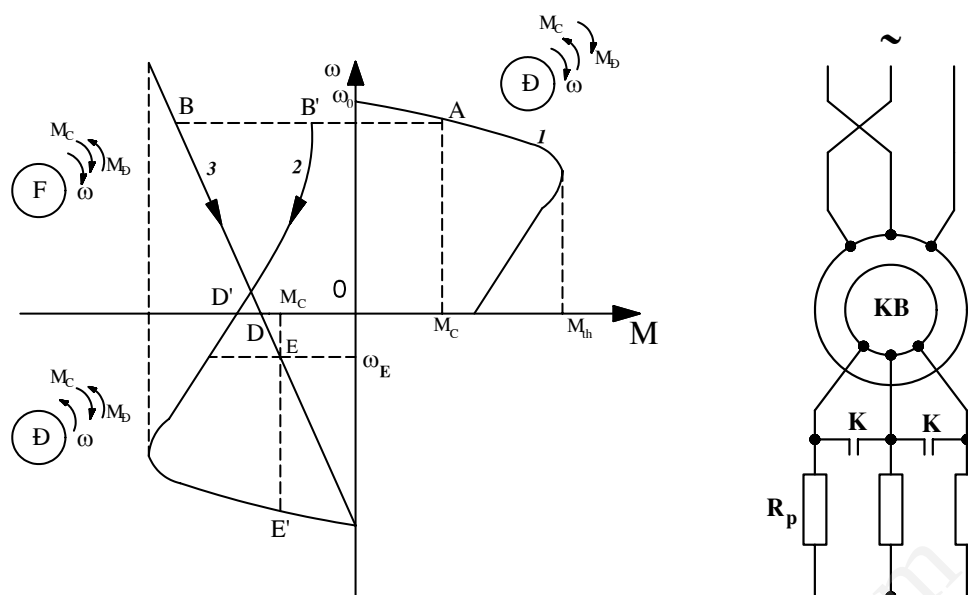
Để dừng và hạ vật xuống, ta đưa điện trở R_p đủ lớn vào mạch phản ứng (các tiếp điểm K mở ra), động cơ chuyển sang làm việc tại điểm B trên đặc tính có điện trở 2 cùng với tốc độ ω_A . Mômen của động cơ giảm xuống ($M_B < M_C$) nên tốc độ động cơ giảm. Lúc này vật P vẫn được nâng lên nhưng với tốc độ nâng nhỏ dần. Tới điểm D thì $\omega = 0$ và vật dừng lại nhưng vì mômen động cơ nhỏ hơn mômen cản ($M_D < M_C$) nên vật bắt đầu tụt xuống. Động cơ đảo chiều quay ($\omega < 0$). Động cơ bắt đầu làm việc ở trạng thái hãm ngược (tốc độ âm đi xuống, mômen dương có xu hướng kéo vật P đi lên).



Hình 2.38 - Hãm ngược động cơ KĐB nhờ đưa điện trở phụ vào mạch phản ứng.

Đặc tính hãm ngược nằm ở góc phần tư thứ IV. Điểm làm việc hãm của động cơ chuyển theo đặc tính hãm từ D đến E. Tại đây $M_D = M_E = M_C$, động cơ quay đều, hãm ghìm vật để hạ vật xuống đều với tốc độ ω_E .

b) Hãm ngược nhờ đảo chiều quay



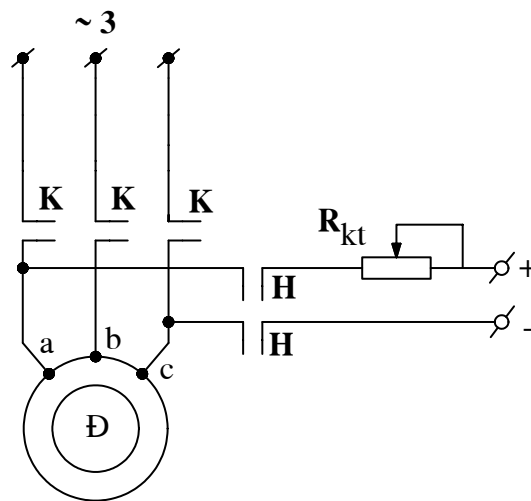
Hình 2.39 - Hãm ngược động cơ KĐB nhờ đảo chiều quay.

Động cơ điện KĐB rôto dây quấn đang làm việc với tải có mômen cản phản kháng tại điểm A trên đường đặc tính cơ 1, sơ đồ nối dây như hình vẽ. Để hãm máy, ta đổi thứ tự hai pha bất kỳ trong 3 pha cấp cho stato để đảo chiều quay động cơ. Động cơ chuyển điểm làm việc từ A trên đặc tính 1 sang điểm B' trên đặc tính 2. Do quán tính của hệ cơ, động cơ coi như giữ nguyên tốc độ ω_A khi chuyển đặc tính. Quá trình hãm ngược bắt đầu. Khi tốc độ động cơ giảm theo đặc tính hãm 2 tới điểm D' thì $\omega = 0$. Lúc này, nếu cắt điện thì động cơ sẽ dừng. Đoạn hãm ngược là B'D'. Nếu không cắt điện thì như trường hợp ở hình 2.82a, động cơ có $M_D > M_C$ nên động cơ bắt đầu tăng tốc, mở máy chạy ngược theo đặc tính cơ 2 và làm việc ổn định tại điểm E' với tốc độ ω_E theo chiều ngược.

Khi động cơ hãm ngược theo đặc tính 2, điểm B' có mômen nhỏ nên tác dụng hãm không hiệu quả. Thực tế phải tăng cường mômen hãm ban đầu ($M_{h\ddot{a}m} \approx 2,5M_{dm}$) nhờ vừa đảo chiều từ trường quay của stato, vừa đưa thêm điện trở phụ đủ lớn vào mạch rôto. Động cơ sẽ hãm ngược theo đặc tính 3 (đoạn BD). Tới D mà cắt điện thì động cơ sẽ dừng. Nếu không cắt điện, động cơ sẽ tăng tốc theo chiều ngược lại và làm việc tại điểm E với tốc độ $\omega_E < \omega_{E'}$. Nếu lúc này lại cắt điện trở phụ R_p thì động cơ sẽ chuyển sang làm việc trên đặc tính 2 tại điểm F và tăng tốc tới điểm E'.

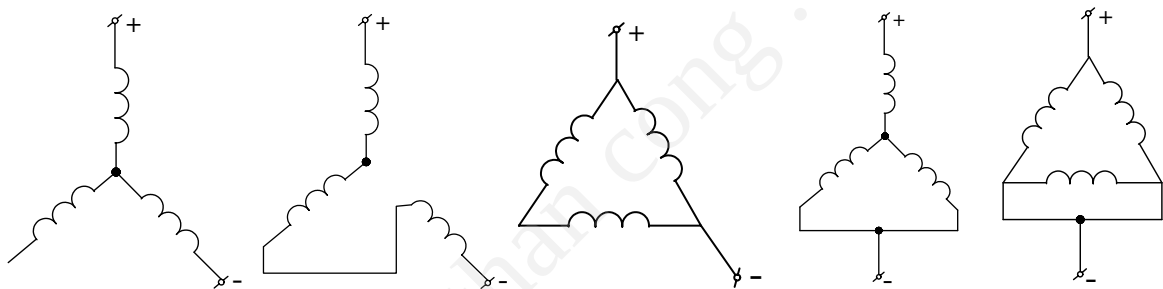
2.5.3 Hãm động năng

Để hãm động năng một động cơ điện KĐB đang làm việc ở chế độ động cơ, ta phải cắt stator ra khỏi lưới điện xoay chiều (mở các tiếp điểm K ở mạch lực) rồi cấp vào stator dòng điện một chiều để kích từ (đóng các tiếp điểm H). Thay đổi dòng điện kích từ nhờ biến trở R_{kt} .



Hình 2.40 - Sơ đồ nối dây hãm động năng động cơ KĐB.

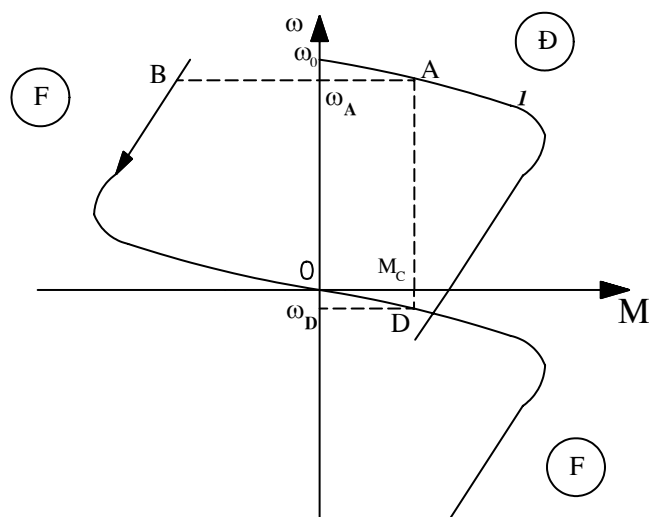
Vì cuộn dây stato của động cơ là 3 pha nên khi cấp kích từ một chiều phải tiến hành đổi nối và có thể thực hiện theo một trong các sơ đồ sau.



Hình 2.41 - Các cách cấp kích từ một chiều cho cuộn stator 3 pha khi hãm động năng động cơ KĐB.

Do động năng tích lũy, rôto tiếp tục quay theo chiều cũ trong từ trường một chiều vừa được tạo ra. Trong cuộn dây phần ứng xuất hiện một dòng điện cảm ứng. Lực từ trường tác dụng vào dòng cảm ứng trong cuộn dây phần ứng sẽ tạo ra mômen hãm và rôto quay chậm dần. Động cơ điện xoay chiều khi hãm động năng sẽ làm việc như một máy phát điện có tốc độ (do đó tần số) giảm dần. Động năng qua động cơ sẽ biến đổi thành điện năng tiêu thụ trên điện trở ở mạch rôto.

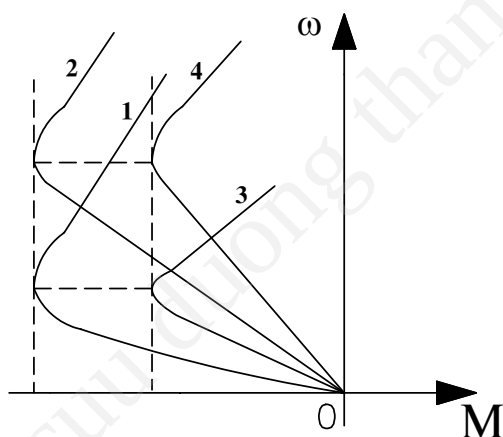
Nếu trước khi hãm, động cơ làm việc tại điểm A trên đặc tính cơ 1 thì khi hãm động năng, động cơ chuyển sang làm việc tại điểm B trên đặc tính hãm động năng 2 ở góc phần tư thứ II. Đặc tính hãm động năng của động cơ xoay chiều 3 pha KĐB có dạng như hình ... Tốc độ động cơ giảm dần theo đặc tính về O trên đoạn đặc tính hãm động năng BO. Tại điểm O, động cơ sẽ dừng nếu tải là phản kháng. Nếu tải có tính chất thế năng thì tải sẽ kéo động cơ quay ngược cho đến khi ổn định tại điểm D (góc phần tư thứ IV).



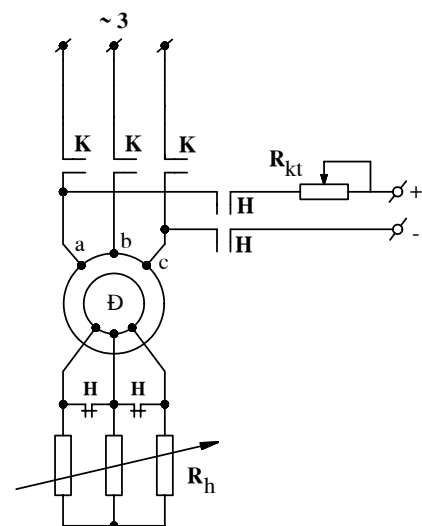
Hình 2.42 - Đặc tính cơ hãm động năng kích từ độc lập động cơ KĐB.

Điện trở mạch rôto và dòng kích từ cấp cho stato lúc hãm động năng có ảnh hưởng tới dạng đặc tính cơ khi hãm.

Trên hình vẽ 2.43, các đặc tính hãm 1 và 2 ứng với cùng một dòng kích từ như nhau ($I_{kt1} = I_{kt2}$) nhưng điện trở hãm trong mạch rôto khác nhau ($R_{h1} < R_{h2}$).



Hình 2.43-Họ các đặc tính cơ khi hãm động năng kích từ độc lập động cơ KĐB.



Hình 2.44-Sơ đồ nối dây hãm động năng kích từ độc lập động cơ KĐB.