

## CHƯƠNG I

### NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

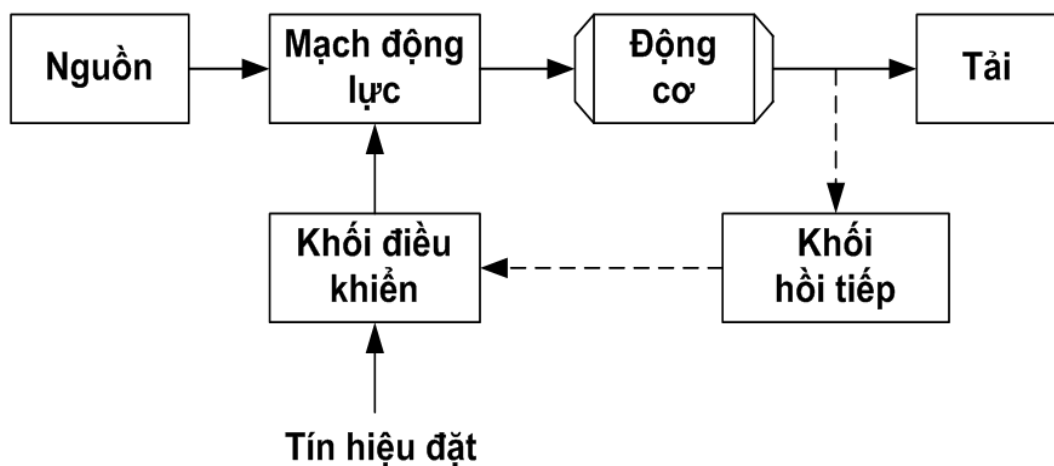
#### I. Khái niệm chung

##### 1. Cấu trúc chung của hệ truyền động điện

Hệ truyền động điện là một tập hợp các thiết bị như: thiết bị điện, thiết bị điện tử, thiết bị điện tử, phục vụ cho việc biến đổi điện năng thành cơ năng cung cấp cho cơ cấu chấp hành trên các máy sản xuất và đồng thời điều khiển quá trình biến đổi năng lượng đó.

Cấu trúc chung của hệ thống truyền động điện được trình bày trên Hình 1.1, bao gồm 2 phần chính:

- Phần động lực là bộ biến đổi và động cơ truyền động. Các bộ biến đổi thường dùng là bộ biến đổi máy điện (máy phát một chiều, xoay chiều), bộ biến đổi điện tử (khuếch đại tử, cuộn kháng bão hòa), bộ biến đổi điện tử (chỉnh lưu Thyristor, biến tần, Chopper...). Động cơ điện có các loại: động cơ điện một chiều, xoay chiều đồng bộ, không đồng bộ và các loại động cơ điện đặc biệt khác v.v...
- Phần điều khiển gồm các cơ cấu đo lường, các bộ điều chỉnh thông số và công nghệ, ngoài ra còn có các thiết bị điều khiển đóng cắt phục vụ công nghệ và cho người vận hành. Ngoài ra còn có một số hệ truyền động có cả mạch ghép nối với các thiết bị tự động khác trong một dây chuyền sản xuất.

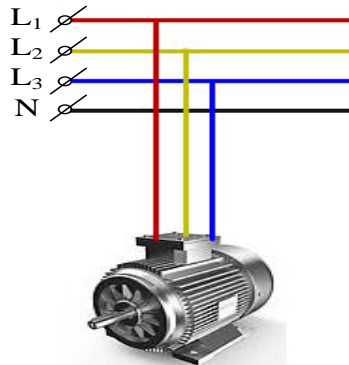


Hình 1.1: Cấu trúc hệ thống truyền động điện

##### 2. Phân loại hệ thống truyền động điện

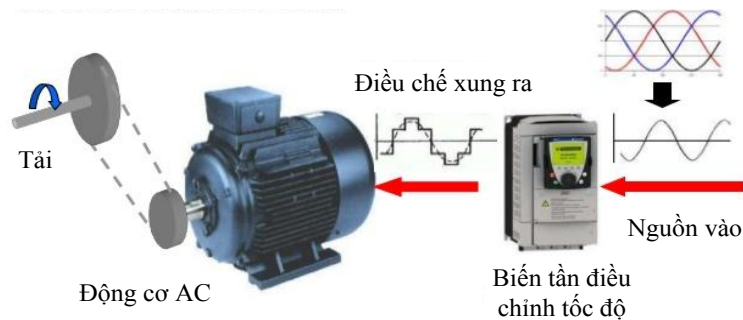
###### 2.1. Phân loại theo tính năng điều chỉnh

Truyền động không điều chỉnh: thường chỉ có động cơ nối trực tiếp với lưới điện, quay máy sản xuất với một tốc độ nhất định (Hình 1.2).



**Hình 1.2:** Hệ truyền động không điều chỉnh

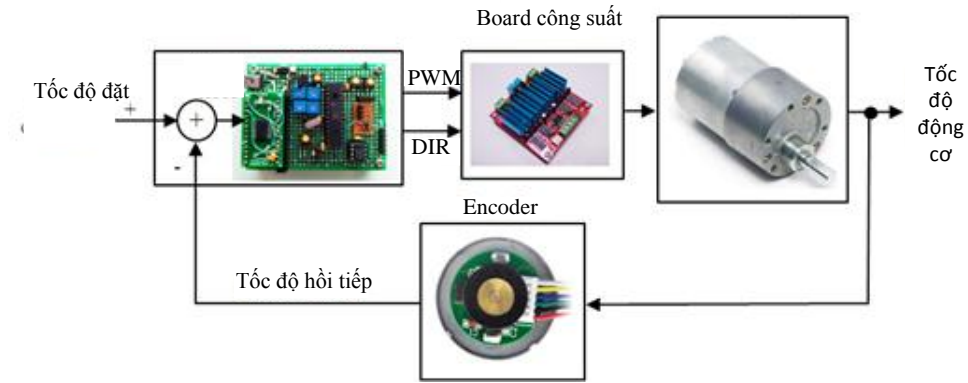
Truyền động có điều chỉnh: trong loại này, tùy thuộc vào yêu cầu công nghệ mà ta có truyền động điều chỉnh tốc độ, truyền động điều chỉnh mômen, lực kéo và truyền động điều chỉnh vị trí. Trong cấu trúc hệ truyền động có điều chỉnh có thể là truyền động nhiều động cơ. Ngoài ra, tùy thuộc vào cấu trúc và tín hiệu điều khiển ta có hệ truyền động điều khiển số, điều khiển tương tự hoặc truyền động điều khiển theo chương trình v.v...(Hình 1.3)



**Hình 1.3:** Hệ truyền động có điều chỉnh tốc độ

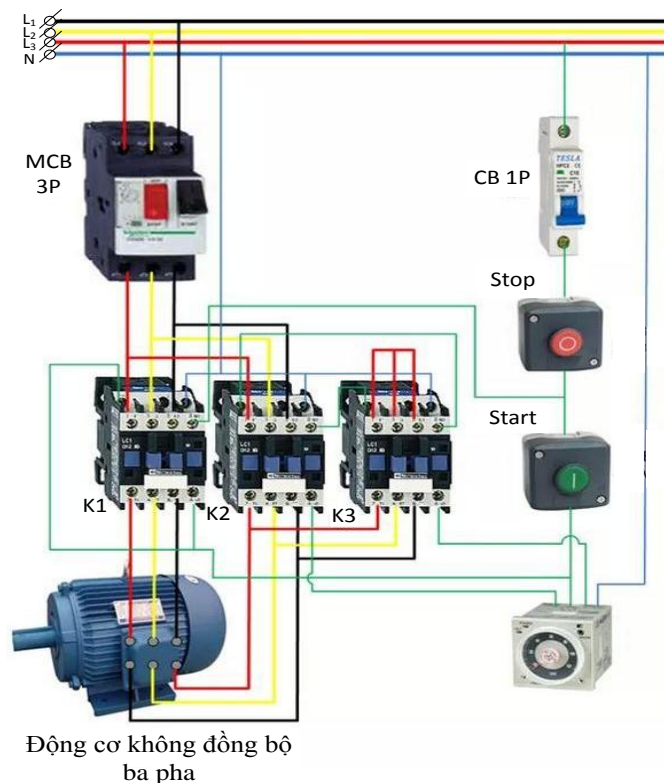
## 2.2. Phân loại theo đặc điểm của động cơ điện.

Truyền động điện một chiều (dùng động cơ điện một chiều): Truyền động điện một chiều sử dụng cho các máy có yêu cầu cao về điều chỉnh tốc độ và mômen, có chất lượng điều chỉnh tốt. Tuy nhiên, động cơ điện một chiều có cấu tạo phức tạp và giá thành cao, hơn nữa đòi hỏi phải có bộ nguồn một chiều (Hình 1.4).

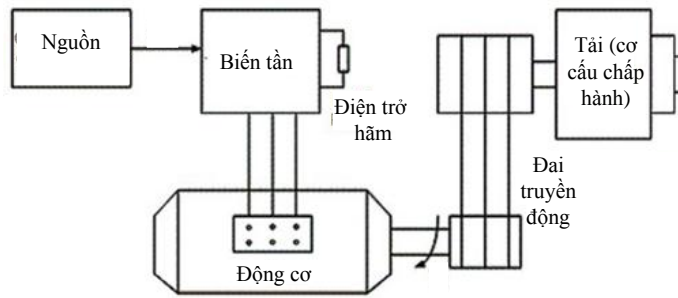


**Hình 1.4:** Hệ truyền động động cơ một chiều

Truyền động điện không đồng bộ (dùng động cơ không đồng bộ): Động cơ KĐB ba pha có ưu điểm là có kết cấu đơn giản, dễ chế tạo, vận hành an toàn, sử dụng nguồn cấp trực tiếp từ lưới điện xoay chiều ba pha. Trong những năm gần đây, do sự phát triển mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật và công nghệ bán dẫn, đặc biệt là linh kiện công suất, chế tạo được các thiết bị điều khiển có chất lượng điều chỉnh cao như khởi động mềm, biến tần... nên động cơ KĐB được ứng dụng rất rộng rãi và dần thay thế động cơ một chiều.

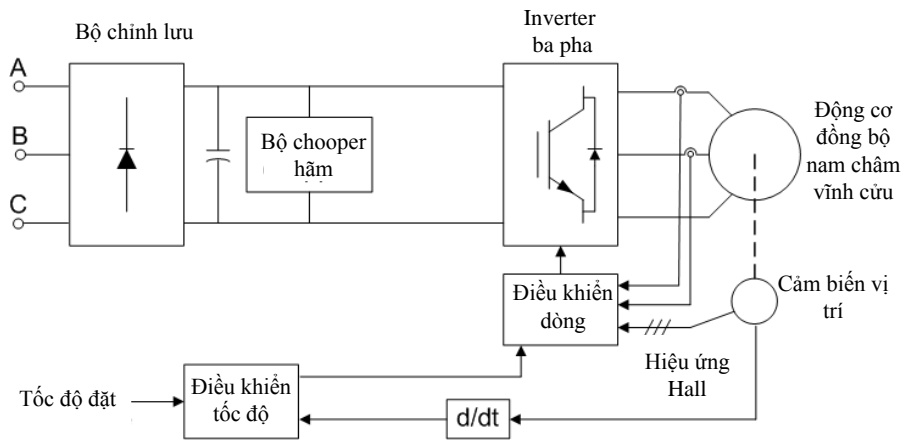
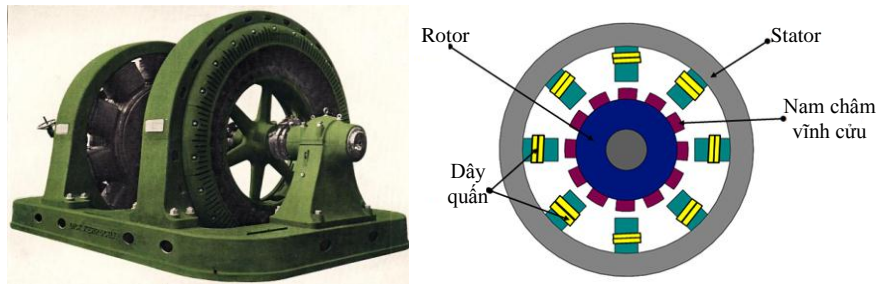


**Hình 1.5:** Hệ truyền động động cơ xoay chiều không đồng bộ mở máy Y- $\Delta$  không điều chỉnh tốc độ



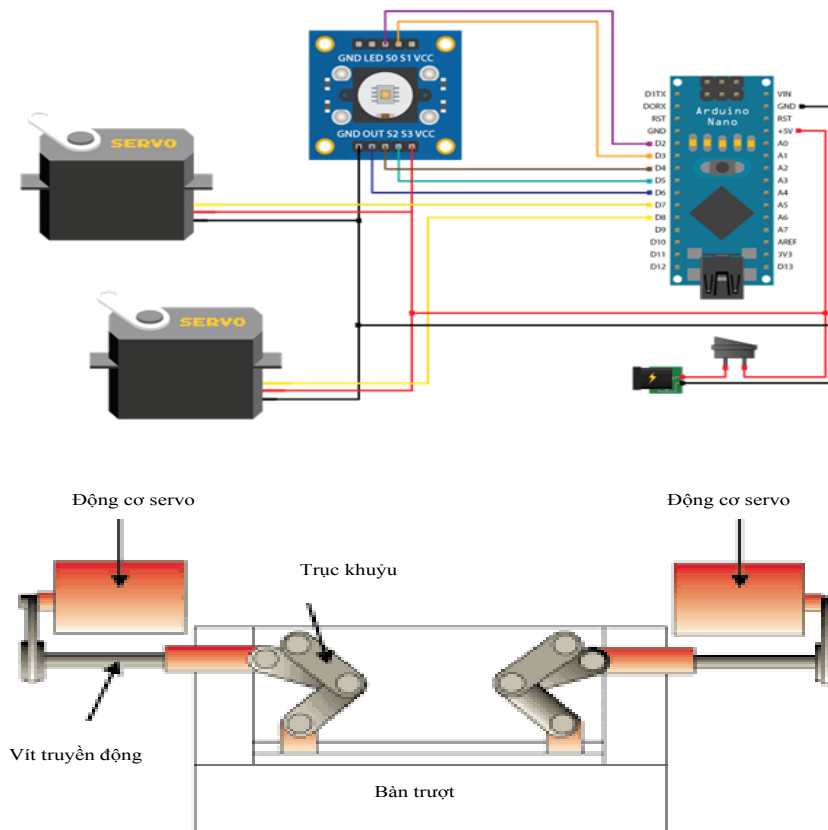
**Hình 1.6:** Hệ truyền động động cơ xoay chiều không đồng bộ có điều chỉnh tốc độ

Truyền động điện đồng bộ (dùng động cơ điện xoay chiều đồng bộ ba pha): Động cơ điện đồng bộ ba pha trước đây thường dùng cho loại truyền động không điều chỉnh tốc độ, công suất lớn hàng trăm KW đến hàng MW (các máy nén khí, quạt gió, bơm nước, máy nghiền.v.v.).

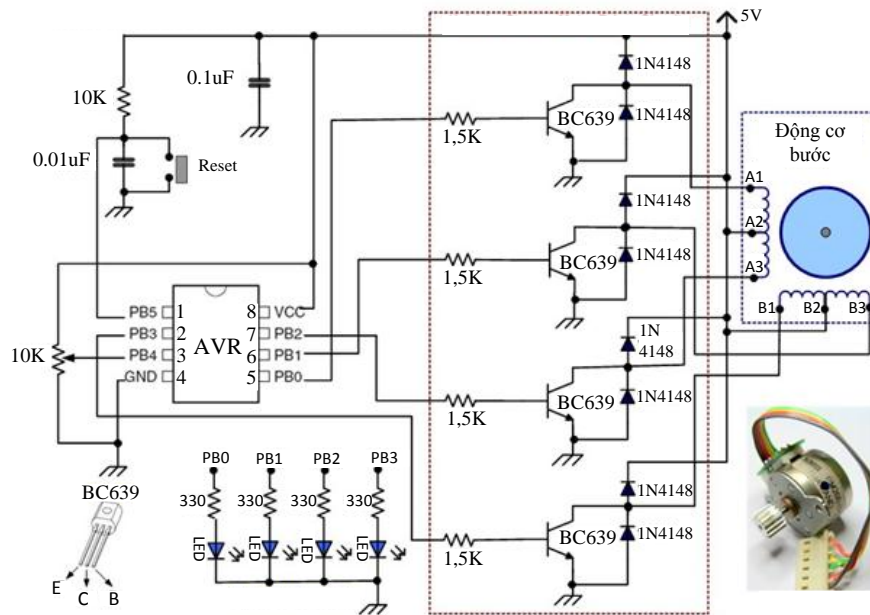


**Hình 1.7:** Động cơ đồng bộ và hệ truyền động điều khiển.

Truyền động điện servo và động cơ bước (dùng động cơ servo AC hoặc DC): Đây là truyền động trong hệ thống điều khiển vị trí chính xác như các máy công cụ CNC (máy tiện, máy phay, máy bào, máy cắt ...).



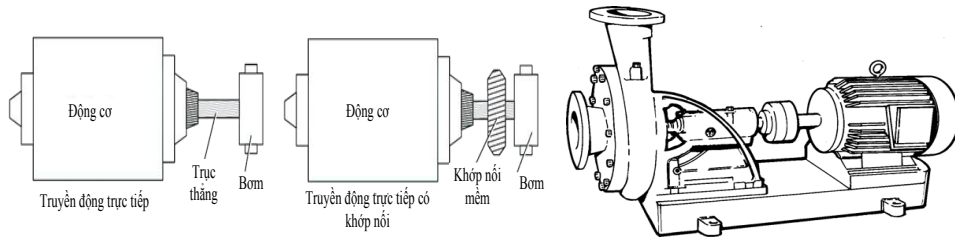
**Hình 1.8:** Bộ điều khiển và truyền động điều khiển bằng động cơ servo.



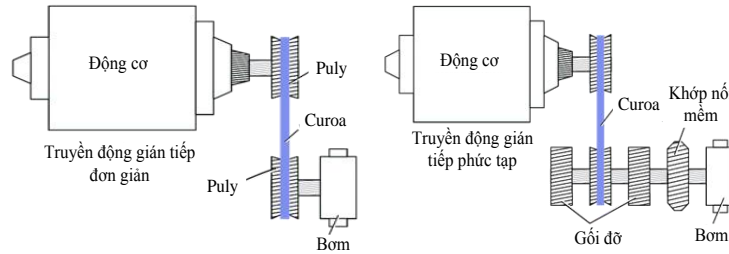
**Hình 1.9:** Truyền động điều khiển động cơ bước

### 2.3. Một số phân loại khác:

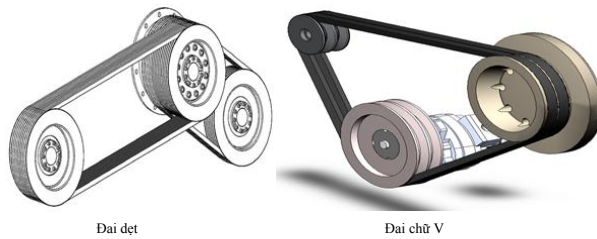
Ngoài các cách phân loại trên, còn có một số cách phân loại khác như truyền động đảo chiều và không đảo chiều, truyền động một động cơ và truyền động nhiều động cơ, truyền động quay và truyền động thẳng, truyền động trực tiếp, truyền động gián tiếp, truyền động bằng nhông truyền, truyền động bằng đai....



Hình 1.10: Truyền động trực tiếp



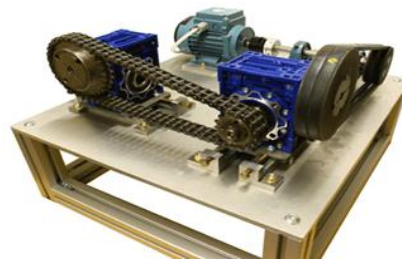
Hình 1.11: Truyền động gián tiếp



Hình 1.12: Truyền động bằng đai

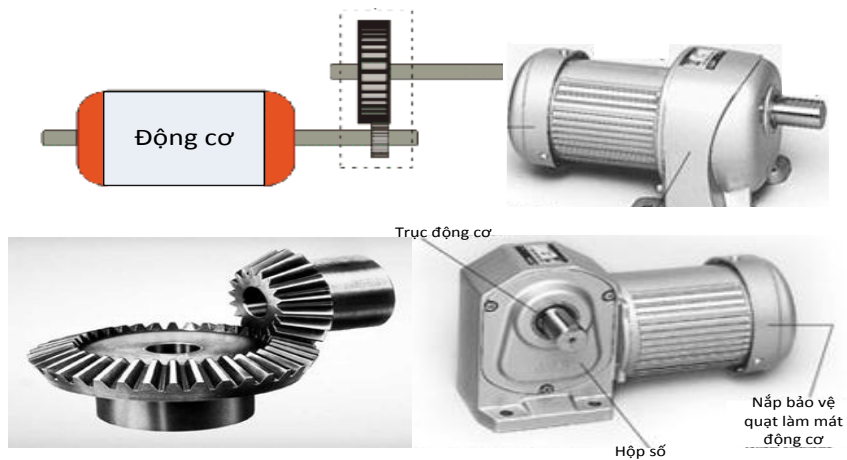


Truyền động bằng dây cáp

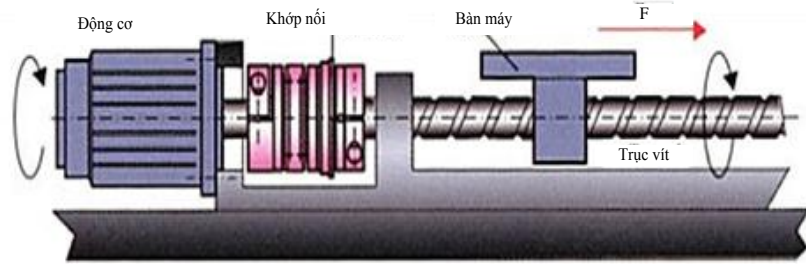


Truyền động bằng dây xích

Hình 1.13: Truyền động bằng cáp và xích



Hình 1.14: Truyền động bằng nhông



Hình 1.15: Truyền động bằng vít me

## II. Khái niệm chung về đặc tính cơ

### 1. Đặc tính cơ tự nhiên và đặc tính cơ nhân tạo của động cơ

Đặc tính cơ của động cơ điện là quan hệ giữa tốc độ quay và mômen của động cơ.  $M=f(\omega)$  hoặc  $\omega=f(M)$ , bao gồm đặc tính cơ tự nhiên và đặc tính cơ nhân tạo.

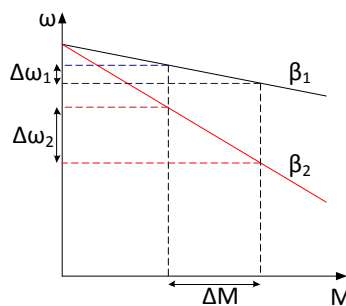
- Đặc tính cơ tự nhiên của động cơ, nếu như động cơ vận hành ở chế độ định mức (điện áp, tần số, từ thông định mức và không nối thêm các điện trở, điện kháng vào động cơ). Trên đặc tính cơ tự nhiên ta có điểm làm việc định mức có giá trị  $M_{đm}$ ,  $\omega_{đm}$ .

- Đặc tính cơ nhân tạo của động cơ là đặc tính khi ta thay đổi các tham số nguồn hoặc nối thêm các điện trở, điện kháng vào động cơ.

Ngoài đặc tính cơ, đối với động cơ điện một chiều người ta còn sử dụng đặc tính cơ điện. Đặc tính cơ điện biểu diễn quan hệ giữa tốc độ và dòng điện  $\omega=f(I)$ .

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:

$$\beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} \quad (1-1)$$



Hình 1.16: Độ cứng của đặc tính cơ

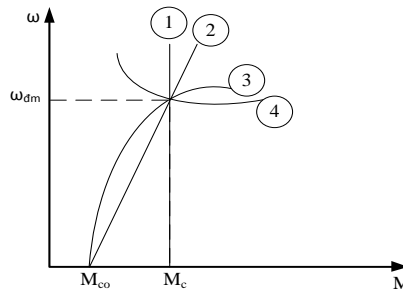
$\beta < 10$	Đặc tính cơ mềm
$10 \leq \beta \leq 100$	Đặc tính cơ tuyệt đối cứng.
$\beta \rightarrow \infty$	Đặc tính cơ cứng

Truyền động có đặc tính cơ cứng tốc độ thay đổi rất ít khi mômen biến đổi lớn. Truyền động cơ có đặc tính cơ mềm tốc độ giảm nhiều khi mômen tăng.

## 2. Đặc tính cơ của cơ cấu sản xuất

Đặc tính cơ của máy sản xuất rất đa dạng. Tuy vậy, phần lớn nó được biểu diễn dưới dạng biểu thức tổng quát:

$$M_c = M_{co} + (M_{đm} - M_{co}) \left( \frac{\omega}{\omega_{đm}} \right)^\alpha \quad (1-2)$$



**Hình 1.17:** Đặc tính cơ của một số máy sản xuất

(1)  $\alpha=0$ ; (2)  $\alpha=1$ ; (3)  $\alpha=2$ ; (4)  $\alpha=-1$ ;

Trong đó:

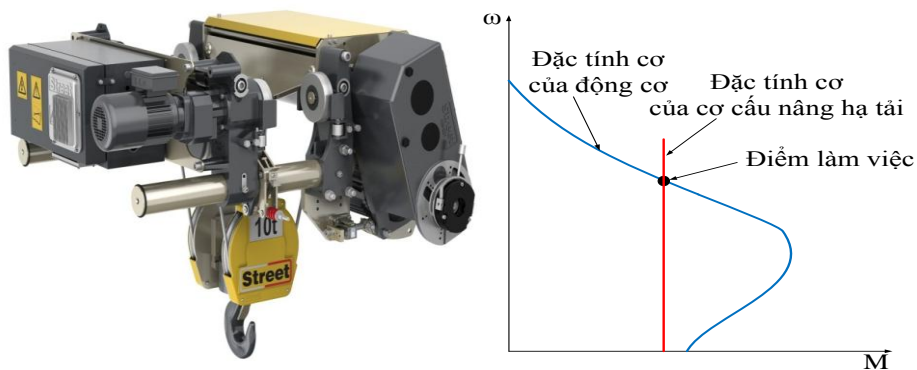
$M_{co}$  : Mômen cản ứng với tốc độ  $\omega=0$ .

$M_{đm}$  : Mômen ứng với tốc độ định mức  $\omega_{đm}$

$M_c$  : Mômen ứng với tốc độ  $\omega$ .

Ta có các trường hợp:

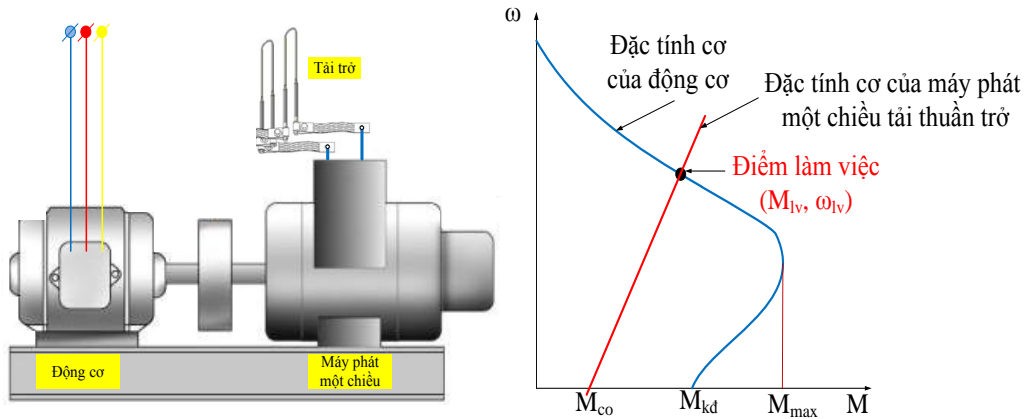
-  $\alpha = 0$ ,  $M_c = M_{đm} = \text{const}$ , các cơ cấu nâng hạ, băng tải, cơ cấu ăn dao máy cắt gọt thuộc loại này (đường 1, Hình 1.17), đặc tính cơ của động cơ và cơ cấu nâng hạ được trình bày trên Hình 1.18.



**Hình 1.18:** Cơ cấu nâng hạ và đặc tính cơ của chúng

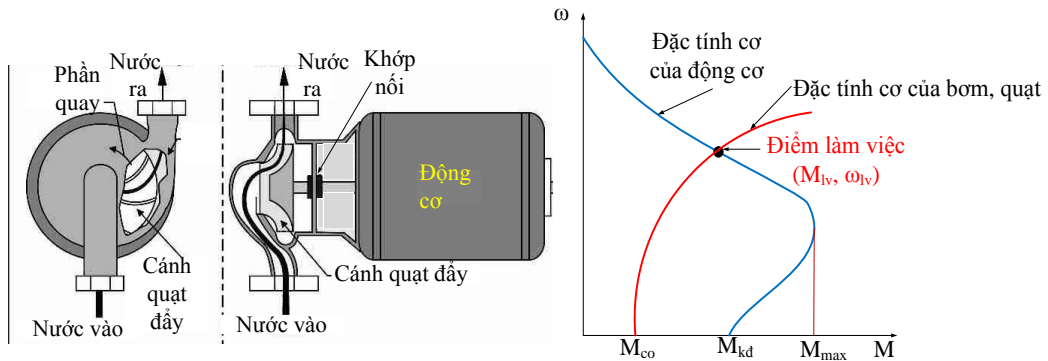
-  $\alpha = 1$ , mômen tỷ lệ bậc 1 với tốc độ, thực tế rất ít gặp, về loại này có thể lấy ví dụ máy phát một chiều tải thuần trở (đường 2, Hình 1.17), đặc tính cơ của động cơ và máy phát một chiều tải thuần trở được trình bày trên Hình 1.19.





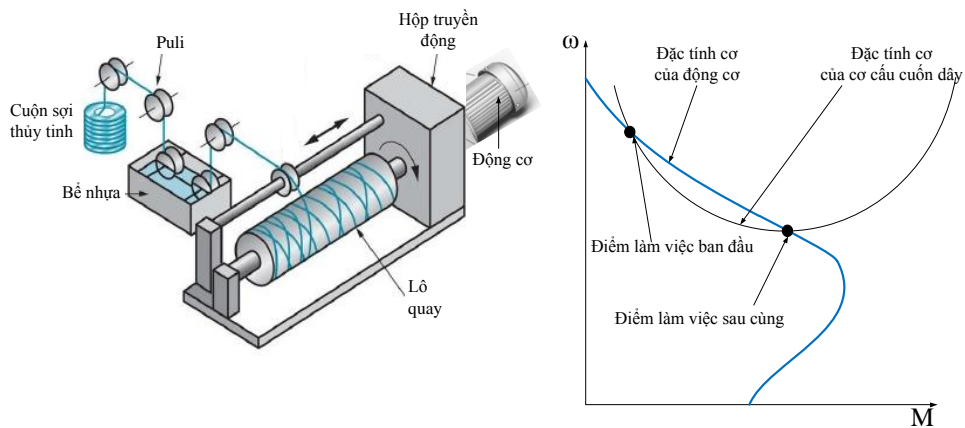
**Hình 1.19:** Sơ đồ điện máy phát tải thuần trở

-  $\alpha = 2$ , mômen tỷ lệ bậc 2 với tốc độ là đặc tính của các máy bơm, quạt gió (đường 3, Hình 1.17), đặc tính cơ của động cơ và cơ cấu bơm được trình bày trên Hình 1.20.



**Hình 1.20:** Bơm và đặc tính cơ của bơm

-  $\alpha = -1$ , mômen tỷ lệ nghịch với tốc độ, các cơ cấu máy cuốn dây, cuộn giấy, các truyền động quay trục chính máy cắt gọt kim loại có đặc tính thuộc loại này (đường 4, Hình 1.17), đặc tính cơ của động cơ và cơ cấu cuốn dây trình bày trên Hình 1.21.



**Hình 1.21:** Máy cuốn dây và đặc tính cơ của chúng

- Mômen phụ thuộc vào góc quay  $M_c=f(\varphi)$  hoặc mômen phụ thuộc vào đường đi  $M_c= f(s)$ , trong thực tế các máy công tác có piston, các máy trục không có cáp cân bằng có đặc tính thuộc loại này.
- Mômen phụ thuộc vào số vòng quay và đường đi  $M_c=f(\omega,s)$  như các loại xe điện.
- Mômen cản phụ thuộc vào thời gian  $M_c=f(t)$ , ví dụ như máy nghiền đá, quặng.

### **III. Các trạng thái làm việc của truyền động điện.**

Trong hệ thống truyền động điện, bao giờ cũng có quá trình biến đổi năng lượng điện – cơ. Chính quá trình biến đổi này quyết định trạng thái làm việc của truyền động điện. Ta định nghĩa: Dòng công suất điện  $P_d$  có giá trị dương nếu như nó có chiều truyền từ nguồn đến động cơ và ngược lại, công suất điện có giá trị âm nếu nó có chiều từ động cơ về nguồn (phát năng lượng trả lại lưới điện).

Công suất cơ  $P_c = M.\omega$  có giá trị dương nếu nó truyền từ động cơ đến máy sản xuất và mômen động cơ sinh ra cùng chiều với tốc độ quay. Ngược lại, công suất cơ có giá trị âm khi nó truyền từ máy sản xuất về động cơ và mômen động cơ sinh ra ngược chiều với tốc độ quay.

Mômen của máy sản xuất được gọi là mômen phụ tải cũng có dấu âm và dương:

- + Tải phản kháng mômen của máy sản xuất ngược với dấu mômen của động cơ.
- + Tải thế năng mômen của máy sản xuất cùng với dấu mômen của động cơ.

Phương trình cân bằng công suất của hệ truyền động là:

$$P_d = P_c + \Delta P \quad (1-3)$$

Trong đó:

- $P_d$  : Công suất điện
- $P_c$  : Công suất cơ
- $\Delta P$  : Tổn thất công suất.

Tùy thuộc vào biến đổi năng lượng trong hệ mà ta có trạng thái làm việc của động cơ gồm:

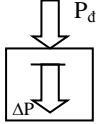
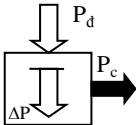
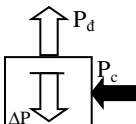
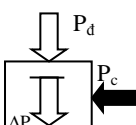
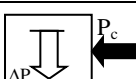
- Trạng thái động cơ bao gồm chế độ có tải và không tải,
- Trạng thái hãm gồm hãm không tải, hãm tái sinh, hãm ngược và hãm động năng.

Hãm tái sinh:  $P_d < 0, P_c < 0$  Cơ năng biến thành điện năng trả về lưới.

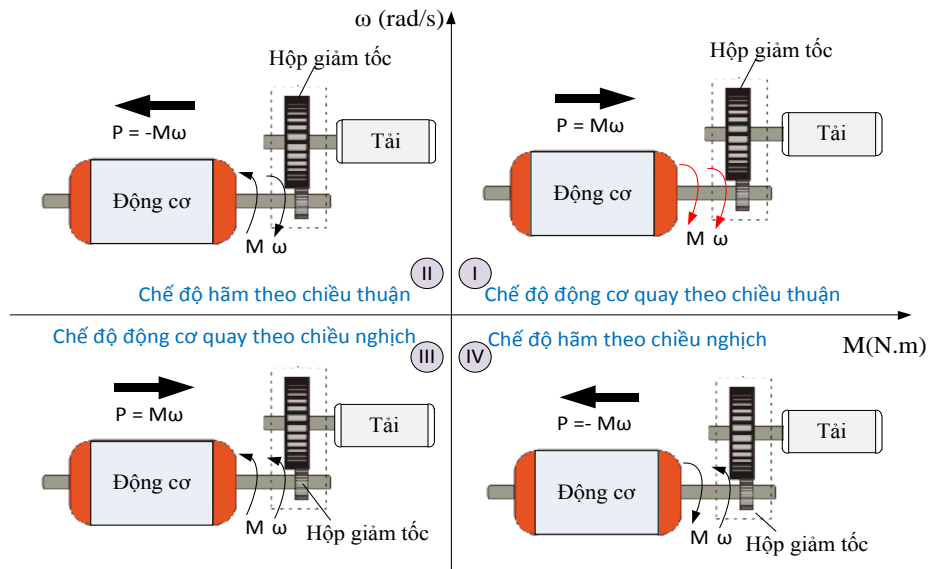
Hãm ngược:  $P_d > 0, P_c < 0$  Điện năng và cơ năng chuyển thành tổn thất  $\Delta P$ .

Hãm động năng:  $P_d = 0, P_c < 0$  Cơ năng biến thành công suất tổn thất  $\Delta P$ .

**Bảng 1.1:** Biểu diễn công suất của các trạng thái làm việc.

STT	Biểu đồ công suất	$P_d$	$P_c$	$\Delta P$	Trạng thái làm việc
1		$>0$	$=0$	$=P_d$	Động cơ không tải
2		$>0$	$>0$	$=P_d - P_c$	Có tải
3		$<0$	$<0$	$= P_c - P_d $	Hãm tái sinh
4		$=0$	$<0$	$= P_c + P_d $	Hãm ngược
5		$=0$	$<0$	$= P_c $	Hãm động năng tự kích từ

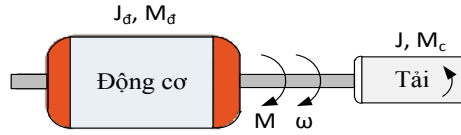
Trạng thái hãm và trạng thái động cơ được phân bố trên đặc tính cơ  $\omega(M)$  ở góc phần tư I, III: trạng thái động cơ; góc phần tư II, IV: trạng thái hãm.



Hình 1.22: Các trạng thái làm việc của động cơ.

**IV. Quy đổi mômen cản, lực cản và mômen quán tính.**

**1. Phương trình động học trong hệ thống truyền động điện.**



**Hình 1.23:** Hệ truyền động động cơ–tải.

Phương trình động học tổng quát của hệ thống truyền động điện:

$$M = M_c + J \frac{d\omega}{dt} \tag{1-4}$$

$J$  : Mômen quán tính của hệ thống

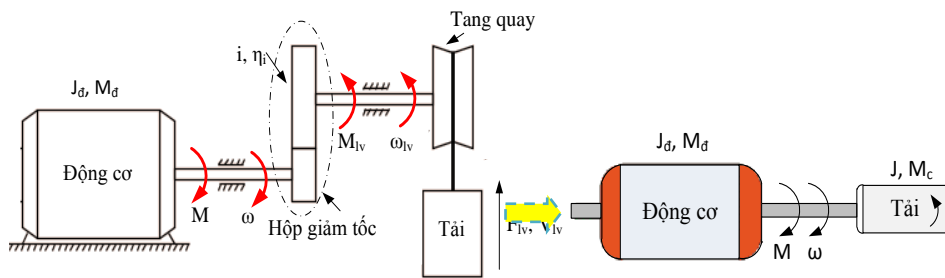
$J \frac{d\omega}{dt}$  : Mômen động, chỉ xuất hiện trong quá trình quá độ

$M > M_c$  : Hệ thống tăng tốc

$M < M_c$  : Hệ thống giảm tốc

$M = M_c$  : Hệ thống ở trạng thái xác lập

**2. Tính quy đổi mômen  $M_c$  và lực cản  $F_c$  về trục động cơ.**



**Hình 1.24:** Quy đổi lực cản, mômen cản về trục động cơ

Quy đổi mômen hoặc lực của tải về trục động cơ

*Nguyên tắc quy đổi: Bảo toàn công suất của hệ thống.*

Giả sử khi tính toán và thiết kế người ta cho giá trị của mômen tang quay  $M_{lv}$  qua hộp giảm tốc có tỷ số truyền là  $i$  và hiệu suất là  $\eta_i$ . Mômen này sẽ tác động lên trục động cơ có giá trị  $M$ :

$$M \cdot \omega = \frac{M_{lv} \cdot \omega_{lv}}{\eta_i} \tag{1-5}$$

Đồng thời,  $M_{lv} = M_c$ ;  $\omega_{lv} = \omega_c$

$$M = M_c \cdot \frac{1}{\eta_i} \cdot \frac{1}{i} \tag{1-6}$$

Trong đó:

$$i = \frac{\omega}{\omega_c} \tag{1-7}$$

$\eta_i$  : là hiệu suất hộp giảm tốc.

Giả thiết tải trọng G sinh ra lực  $F_{lv}$  có vận tốc chuyển động là  $v_{lv}$ , nó sẽ tác động lên trục động cơ một mômen M, ta có:

$$\frac{F_{lv} \cdot v_{lv}}{\eta_i \cdot \eta_t} = M \cdot \omega \quad (1-8)$$

$$M = \frac{F_{lv}}{\eta_i \cdot \eta_t} \cdot \frac{v_{lv}}{\omega} = \frac{F_{lv}}{\eta} \cdot \rho \quad (1-9)$$

Trong đó:

$$\rho = \frac{v_{lv}}{\omega}; \eta = \eta_i \cdot \eta_t$$

Tính quy đổi mômen quán tính.

Xét Hình 1.18 ta có:

Các cặp bánh răng có mômen quán tính  $J_1, \dots, J_K$ , mômen quán tính tang quay  $J_v$ , khối lượng quán tính m và mômen quán tính động cơ  $J_d$  đều có ảnh hưởng đến tính chất động học của hệ truyền động.

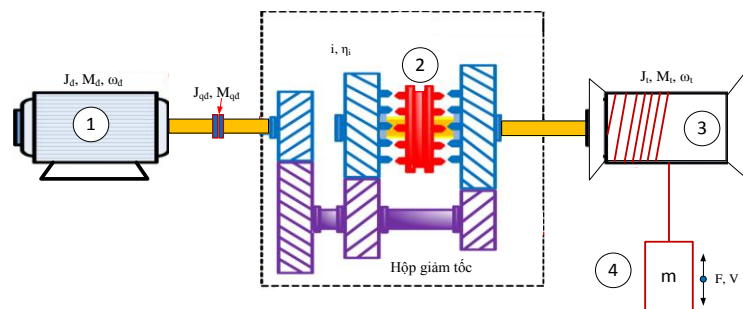
Nếu xét điểm khảo sát là đầu trục động cơ và quán tính chung của hệ truyền động tại điểm này ta gọi là  $J_{qd}$ . Lúc đó phương trình động năng của hệ là:

$$W_{dm} = \sum_{j=1}^m m_j \frac{v_j^2}{2} \quad (1-10)$$

$$W_d = J_d \frac{\omega_d^2}{2} \quad (1-11)$$

Quy đổi mômen quán tính của các bộ phận chuyển động về trục động cơ

*Nguyên tắc quy đổi: Bảo toàn động năng của hệ thống (Hình 1.25)*



**Hình 1.25:** Quy đổi mômen quán tính trong hệ thống truyền động điện.

$$J_{qd} \frac{\omega_d^2}{2} = J_d \frac{\omega_d^2}{2} + \sum_{i=1}^n J_i \frac{\omega_i^2}{2} + \sum_{j=1}^m m_j \frac{v_j^2}{2} \rightarrow J_{qd} = J_d + \sum_{i=1}^n \frac{J_i}{i^2} + \sum_{j=1}^m m_j \rho_j^2 \quad (1-12)$$

$J_d$  : Mômen quán tính của động cơ.

$J_i$  : Mômen quán tính phần tử quay thứ i.

$m_j$  : Khối lượng phần tử chuyển động tịnh tiến thứ j.

$i_i$  : Tỷ số tốc độ từ trục động cơ đến phần tử quay thứ  $i$ .  
 $\rho_I$  : Bán kính quy đổi tốc độ từ phần tử chuyển động tịnh tiến thứ  $J \rightarrow$  trục động cơ.

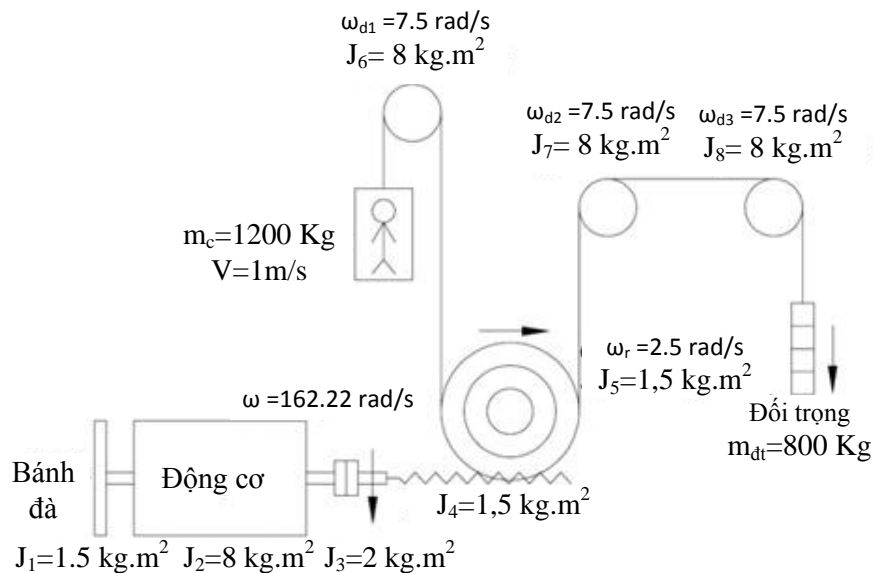
**Ví dụ 1.1:**

Cho hệ thống truyền động như hình dưới đây

Các thông số của hệ thống truyền động cơ khí được cho như hình bên dưới

Tốc độ định mức của động cơ là  $n_{dm}=1550$  vòng/phút. Hiệu suất của hệ truyền động cơ khí là  $\eta=0,8$ . Tính:

- Mômen quán tính của hệ thống quy đổi về trục động cơ
- Mômen và công suất cần thiết trên trục động cơ trong trường hợp có đối trọng và không có đối trọng khi không xét đến mômen quán tính



**Bài giải:**

a) Tốc độ góc định mức của động cơ:

$$\omega = \frac{2\pi n_{dm}}{60} = \frac{2\pi \times 1550}{60} = 162,22 \text{ (rad/s)}$$

Mô-men quán tính quy về trục động cơ tính như sau:

Gọi  $J_r$  là mô-men quán tính của các phần chuyển động quay quy đổi về trục động cơ:

$$J_r = J_1 + J_2 + J_3 + (J_4 + J_5) \frac{\omega_r^2}{\omega^2} + 3J_6 \frac{\omega_d^2}{\omega^2}$$

$$J_r = 1.5 + 8 + 2 + (0,5 + 200) \frac{2,5^2}{162,22^2} + 3 \times \frac{8 \times 7,5^2}{162,22^2} = 11,6 \text{ kgm}^2$$

Gọi  $J_l$  là mô-men quán tính của cabin và đối trọng quy đổi về trục động cơ:

$$J_l = (m_c + m_{dt}) \frac{v^2}{\omega^2} = (1200 + 800) \frac{1^2}{162,22^2} = 0,0724 \text{kgm}^2$$

Mô-men quán tính toàn bộ hệ thống truyền cơ khí quy đổi về trục động cơ:

$$J = J_r + J_l = 11,6 + 0,0724 = 11,6724 \text{kgm}^2$$

b) Khi không có đối trọng:

$$M \cdot \omega \cdot \eta = m_c \cdot g \cdot v$$

$$M_c = \frac{m_c \cdot g \cdot v}{\omega \cdot \eta} = \frac{1200 \times 9,81 \times 1}{162,22 \times 0,8} = 90,71 \text{Nm}$$

Công suất cần thiết của động cơ:

$$M_d = M = M_c + J \frac{d\omega}{dt} = 90,71 \text{N.m}$$

$$P_d = M \cdot \omega = 90,71 \times 162,22 = 14,715 \text{kW}$$

Khi có đối trọng:

$$M \cdot \omega \cdot \eta = (m_c - m_{dt}) \cdot g \cdot v$$

$$M = \frac{(m_c - m_{dt}) \cdot g \cdot v}{\omega \cdot \eta} = \frac{(1200 - 800) \times 9,81 \times 1}{162,22 \times 0,8} = 30,71 \text{Nm}$$

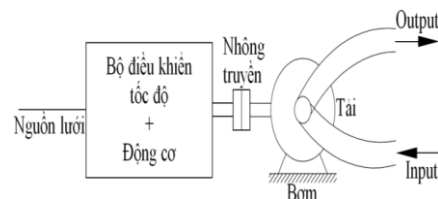
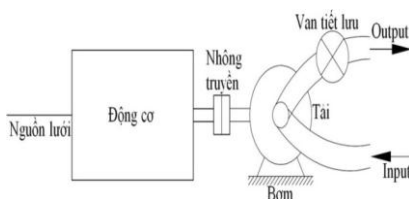
Công suất cần thiết của động cơ:

$$P_d = M \cdot \omega = 30,71 \times 162,22 = 4,905 \text{kW}.$$

## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG I

1. Chức năng và nhiệm vụ của hệ thống truyền động điện là gì?
2. Có mấy loại máy sản xuất và cơ cấu công tác?
3. Hệ thống truyền động điện gồm các phần tử và các khâu nào? Lấy ví dụ minh họa một máy sản xuất trong thực tế?
4. Mômen cản hình thành từ đâu? Đơn vị đo? Công thức quy đổi mômen cản từ tải về trục động cơ?
5. Mômen quán tính là gì? Đơn vị đo? Công thức tính tỷ số truyền ?
6. Thế nào là mômen cản với tải thế năng? Đặc điểm của mômen cản tải thế năng thể hiện trên đồ thị theo tốc độ?
7. Lấy 03 ví dụ một cơ cấu có tải thế năng.
8. Thế nào là mômen cản tải phản kháng? Lấy ví dụ một cơ cấu có phản kháng.
9. Định nghĩa đặc tính cơ của máy sản xuất. Phương trình tổng quát và giải tích các đại lượng trong phương trình?
10. Hãy vẽ đặc tính cơ của các máy sản xuất sau: máy tiện; cần trục, máy bào, máy bơm.
11. Dùng phương trình chuyển động để phân tích các trạng thái làm việc của hệ thống truyền động tương ứng với dấu của các đại lượng  $M$  và  $M_c$ ?
12. Khái niệm đặc tính cơ tự nhiên và đặc tính cơ nhân tạo của động cơ điện?
13. Định nghĩa độ cứng đặc tính cơ? Có thể xác định độ cứng đặc tính cơ theo những cách nào?
14. Phân biệt các trạng thái động cơ và các trạng thái hãm của động cơ điện bằng những dấu hiệu nào? Lấy ví dụ thực tế về trạng thái hãm của động cơ trên một cơ cấu trong thực tế?
15. Chiều của dòng năng lượng sẽ như thế nào khi động cơ làm việc ở trạng thái động cơ?
16. Chiều của dòng năng lượng sẽ như thế nào khi động cơ làm việc ở trạng thái hãm?

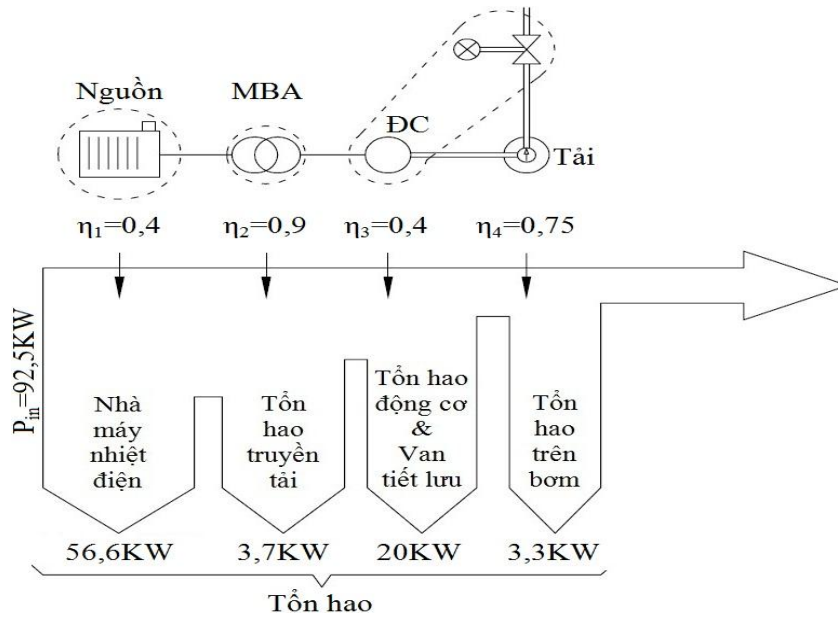
**Bài 1:** Xác định các khâu trong hệ thống truyền động điện.



- Hệ thống bơm kiểu truyền thống
  - Hệ thống bơm có điều chỉnh tốc độ
- So sánh ưu nhược điểm của hai hệ thống trên.



**Bài 2:** Xác định các khâu trong hệ thống truyền động, công suất đầu ra và hiệu suất của hệ thống sau:

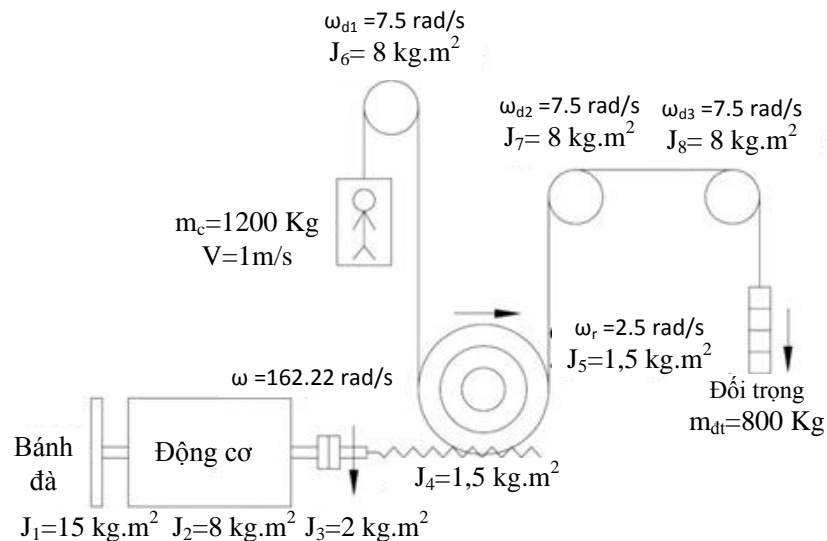


**Bài 3:** Cho hệ thống truyền động như hình dưới đây

Các thông số của hệ thống truyền động cơ khí được cho trên hình.

Tốc độ định mức của động cơ là  $n_{dm} = 1550$  vòng/phút. Hiệu suất của hệ truyền động cơ khí là  $\eta = 0,8$ . Tính:

- Mômen quán tính của hệ thống quy đổi về trục động cơ
- Mômen và công suất cần thiết trên trục động cơ trong trường hợp có đối trọng và không có đối trọng khi không xét đến mô men quán tính.



Đáp số:

Khi không có đối trọng  
 Khi có đối trọng

$J = 25,135 \text{ Kg.m}^2$   
 $M_c = 90,71 \text{ N.m}; P_c = 14,715 \text{ Kw}$   
 $M_c = 30,71 \text{ N.m}; P_c = 4,905 \text{ Kw}$

**Bài 4:** Cho một vật có khối lượng  $m = 500\text{kg}$ ,  $g = 9,81\text{m/s}^2$ . Tỷ số truyền  $i=10$ , đường kính quán tính  $D_t = 10\text{cm}$ . Hiệu suất của bộ biến đổi là  $0,9$ . Nếu vật có thể đi lên và có tốc độ tối thiểu  $0,5\text{m/s}$  thì phải chọn động cơ có  $M_{dm}$  và tốc độ là bao nhiêu?

Đáp số:  $M_{dm}=27,25\text{Nm}$ ;  $n_d=955\text{V/phút}$ .

**Bài 5:** Một vật có  $m = 500\text{kg}$ ,  $g = 9,81\text{ m/s}^2$  di chuyển với vận tốc bằng  $1\text{m/s}$ ,  $J_t = 500\text{kgm}^2$ ,  $i = 10$ ,  $D_t=20\text{cm}$ ,  $J_{dc} = 100\text{kgm}^2$ . Hãy quy đổi Mômen quán tính của hệ thống về đầu trục động cơ.

Đáp số:  $J=110[\text{Kgm}^2]$

**Bài 6:** Cho một động cơ có  $J_{dc}=100\text{kgm}^2$ ,  $n_d = 720\text{vòng/phút}$ ,  $i = 10$ , một phần tử chuyển động quay có  $J=15\text{kgm}^2$ , một vật chuyển động thẳng có  $m = 500\text{Kg}$  với vận tốc  $2\text{ m/s}$ . Tính Mômen quán tính quy đổi về đầu trục động cơ.

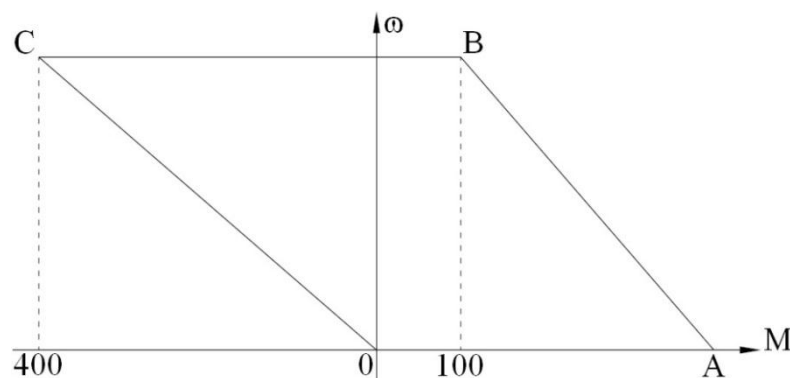
Đáp số:  $J=100,5[\text{Kg.m}^2]$

**Bài 7:** Cho động cơ điện truyền động cho một hệ thống dùng băng tải để chuyển hàng từ nơi này đến nơi khác cho biết:  $F = 11100\text{N}$  (lực kéo băng tải), vận tốc băng tải  $v = 0,47\text{m/s}$ . Băng tải làm việc một chiều, tải coi như ổn định. Tính Mômen cản trên đầu trục động cơ. Biết rằng  $n_{dc}=1400\text{ vòng/phút}$ ,  $\eta = 0.87$ .

Đáp số:  $M_c= 40,91\text{ Nm}$

**Bài 8:** Một động cơ khởi động cho một cơ cấu (từ tốc độ  $= 0$ ) đến tốc độ  $n = 800\text{ vòng/phút}$ , rồi sau đó cùng với phanh cơ khí, nó làm giảm tốc cơ cấu về trạng thái đứng yên. Hãy xác định thời gian tăng tốc và giảm tốc của truyền động khi biết:

Mômen tĩnh do lực ma sát sinh ra  $M_c=80\text{ Nm}$ . Mômen quán tính của truyền động (động cơ, cơ cấu và sản phẩm) qui đổi về trục động cơ là:  $J = 6,25\text{ kgm}^2$ . Mômen do phanh cơ khí sinh ra  $M_h = 280\text{ Nm}$ . Đặc tính của động cơ có dạng như sau:



Động cơ sinh ra được những Mômen sau: Khi khởi động  $M_A = 500\text{ Nm}$  (điểm A), Khi tốc độ đạt đến  $800\text{ vòng/phút}$  thì  $M_B = 100\text{ Nm}$  (điểm B).

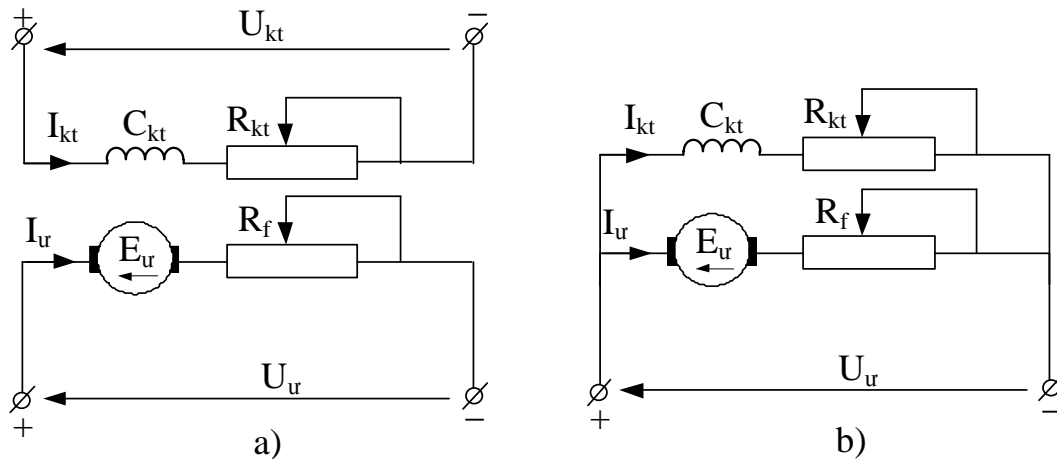
Đáp số:  $t_{AB}=1,636\text{s}$

$T_{CO}=4,363\text{s}$

## CHƯƠNG 2 ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

### I. Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ độc lập.

Đặc điểm của động cơ kích từ độc lập là dòng điện kích từ và từ thông động cơ không phụ thuộc vào dòng điện phần ứng, sơ đồ nối dây như trên Hình 2.1a.



**Hình 2.1:** Sơ đồ nối dây của động cơ điện một chiều  
a) Kích từ độc lập    b) Kích từ song song

Khi nguồn điện một chiều có công suất vô cùng lớn, điện trở trong của nguồn coi như bằng 0 thì điện áp nguồn sẽ là không đổi, không phụ thuộc dòng điện chạy trong phần ứng động cơ. Khi đó, động cơ kích từ song song (Hình 2.1b) cũng được xem như động cơ kích từ độc lập và phương trình đặc tính cơ của hai loại động cơ này giống nhau.

#### 1. Phương trình đặc tính cơ.

Theo sơ đồ mạch điện Hình 2.1, ta có phương trình cân bằng điện áp như sau

$$U_{\text{ư}} = E_{\text{ư}} + (R_{\text{ư}} + R_f)I_{\text{ư}} \quad (2-1)$$

Trong đó:

$U_{\text{ư}}$ : Điện áp nguồn đặt vào phần ứng (V)

$E_{\text{ư}}$ : Sức phản điện động của phần ứng (V)

$I_{\text{ư}}$ : Dòng điện mạch phần ứng (A)

$R_{\text{ư}}$ : Điện trở của mạch phần ứng ( $\Omega$ )

Với

$$R_{\text{ư}} = r_{\text{ư}} + r_{\text{cf}} + r_{\text{cb}} + r_{\text{ct}}$$

$r_{\text{ư}}$  - Điện trở cuộn dây phần ứng

$r_{\text{cf}}$  - Điện trở cực từ phụ

$r_{\text{cb}}$  - Điện trở cuộn bù (nếu có)

$r_{\text{ct}}$  - Điện trở tiếp xúc của chổi than trên cổ góp

Sức điện động  $E_{ur}$  của phần ứng động cơ được xác định theo biểu thức

$$E_{ur} = \frac{pN}{2\pi a} \phi \omega = K\phi \omega \quad (2-2)$$

Với

K: Hệ số tỷ lệ phụ thuộc cấu tạo của động cơ

p: Số đôi cực từ chính

N: Số thanh dẫn tác dụng của cuộn dây phần ứng

a: Số mạch nhánh đấu song song của cuộn dây phần ứng.

Thay (2-2) vào (2-1) ta được:

$$\omega = \frac{U_{ur}}{K\phi} - \frac{R_{ur} + R_f}{K\phi} I_{ur} \quad (2-3)$$

Biểu thức (2-3) là “phương trình đặc tính cơ điện” của động cơ; nó biểu thị mối quan hệ giữa đại lượng cơ học  $\omega$  và đại lượng  $I_{ur}$  của động cơ.

Mặt khác, mômen điện từ của động cơ tỷ lệ với từ thông  $\Phi$  và dòng điện phần ứng  $I_{ur}$ :

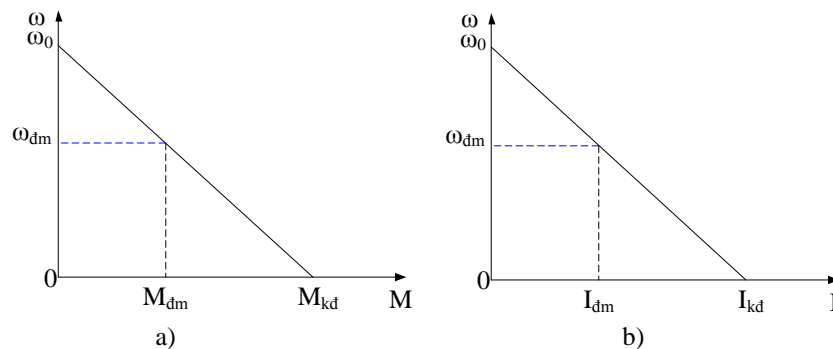
$$M = K\Phi I_{ur} \quad (2-4)$$

Từ (2-3) và (2-4) xác định được phương trình đặc tính cơ như (2-5).

$$\omega = \frac{U_{ur}}{K\phi} - \frac{R_{ur} + R_f}{(K\phi)^2} M \quad (2-5)$$

Nếu bỏ qua các tổn thất trong động cơ, gồm tổn thất ma sát trong ổ trục, tổn thất do tự quạt mát, tổn thất thép thì mômen điện từ và mômen trên trục coi như bằng nhau  $M = M_{cơ}$ . Khi đó biểu thức (2-5) biểu thị quan hệ giữa hai đại lượng cơ học  $M$  và  $\omega$  của động cơ, và được gọi là “phương trình đặc tính cơ”.

Nếu bỏ qua ảnh hưởng của phản ứng phần ứng, từ thông động cơ sẽ không đổi  $\Phi = \text{const}$  khi đó các phương trình (2-3) và (2-5) đều là tuyến tính. Đồ thị của chúng, tức đường đặc tính cơ và đường đặc tính cơ điện được biểu thị trên hình (2-2) là những đường thẳng.



**Hình 2.2:** Đặc tính cơ (a) và đặc tính cơ điện (b) của động cơ điện một chiều kích từ độc lập và song song

Ở các đồ thị trên, khi  $M = 0$  hoặc  $I_{ur} = 0$ , nghĩa là khi động cơ hoàn toàn không tải:

$$\omega = \frac{U_{ur}}{K\phi} = \omega_0 \quad (2-6)$$

Với  $\omega_0$  tốc độ không tải lý tưởng

Khi  $\omega = 0$ :

$$I_{\text{ur}} = \frac{U_{\text{ur}}}{R_{\text{ur}} + R_{\text{f}}} = I_{\text{kđ}} \quad (2-7)$$

$$M = \frac{U_{\text{ur}}}{R_{\text{ur}} + R_{\text{f}}} K\phi = I_{\text{kđ}} K\phi = M_{\text{kđ}} \quad (2-8)$$

$I_{\text{kđ}}$  và  $M_{\text{kđ}}$  lần lượt được gọi là dòng điện khởi động (phần ứng) và mômen khởi động. Từ (2-5) ta xác định được độ cứng của đặc tính cơ:

$$\beta = \frac{dM}{d\omega} = - \frac{(K\phi)^2}{R_{\text{ur}} + R_{\text{f}}} \quad (2-9)$$

Phương trình (2-5) là phương trình đặc tính cơ thông dụng nhất. Ngoài ra phương trình đặc tính cơ có thể biểu diễn dưới một số dạng khác như sau:

Thành phần thứ hai ở vế phải của (2-5) là độ sụt tốc ứng với môment  $M$  so với tốc độ không tải lý tưởng ( $M = 0$ ). Gọi  $\Delta\omega$  là độ sụt tốc ta có:

$$\Delta\omega = \frac{R_{\text{ur}} + R_{\text{f}}}{K\phi} I_{\text{ur}} = \frac{R_{\text{ur}} + R_{\text{f}}}{(K\phi)^2} M \quad (2-10)$$

Phương trình tốc độ động cơ có dạng:

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega \quad (2-11)$$

Thay (2-9) vào (2-5) ta được dạng phương trình viết theo độ cứng:

$$\omega = \omega_0 - \frac{1}{\beta} M \quad (2-12)$$

Trong đó  $\beta$  là modul độ cứng, biến đổi (2-5) và biểu thị  $M$  theo  $\omega$ , ta được phương trình dạng hàm ngược.

$$M = K\phi \cdot \frac{U}{R_{\text{ur}} + R_{\text{f}}} - \frac{(K\phi)^2}{R_{\text{ur}} + R_{\text{f}}} \omega = M_{\text{kđ}} - \beta\omega \quad (2-13)$$

Nếu sử dụng đơn vị tương đối, thì từ (2-3) và (2-5) ta có:

$$\omega^* = \frac{(U)^*}{\phi^*} - \frac{R_{\text{ur}}^* + R_{\text{f}}^*}{\phi^*} I_{\text{ur}}^* \quad (2-14)$$

$$\omega^* = \frac{(U)^*}{\phi^*} - \frac{R_{\text{ur}}^* + R_{\text{f}}^*}{(\phi^*)^2} M^* \quad (2-15)$$

Trong đó, các đại lượng biểu thị theo đơn vị tương đối là:  $\omega^* = \omega/\omega_0$ ;  $U^* = U/U_{\text{đm}}$   
 $\phi^* = \phi/\phi_{\text{đm}} = K\phi/K\phi_{\text{đm}}$ ;  $I^* = I_{\text{ur}}/I_{\text{đm}}$ ;  $M^* = M_{\text{ur}}/M_{\text{đm}}$ ;  $R^* = R_{\text{ur}}/R_{\text{đm}}$

Chú ý, đại lượng “điện trở định mức” của động cơ  $R_{\text{đm}}$  dùng để biểu thị điện trở theo đơn vị tương đối chỉ là một đại lượng qui ước giả tưởng.

$$R_{\text{đm}} = \frac{U_{\text{đm}}}{I_{\text{đm}}} \quad (2-16)$$

Tùy theo mục tiêu phân tích, ta có thể sử dụng dạng này hoặc dạng khác của phương trình đặc tính cơ sao cho thuận tiện nhất.

*Lưu ý:* Các phương trình trên được viết ở trạng thái tĩnh, chưa xét đến các quá trình quá độ. Vì vậy, các đặc tính trên Hình 2.2 gọi là “đặc tính cơ tĩnh” và “đặc tính cơ điện tĩnh”. Nó là quỹ tích các điểm làm việc xác lập của động cơ, nghĩa là nếu đặt giá trị mômen của động cơ bằng mômen cản ( $M_{đc} = M_c$ ) lên trục  $M$ , thì tốc độ xác lập của động cơ ( $\omega_{xl}$ ) như trên Hình 2.2a. Mặt khác ứng với  $M_{đc} = M_c$  dòng điện trong phần ứng theo (2-4) là  $I_{ur} = I_c = \frac{M_c}{K\phi}$  gọi là dòng điện tải

Đặt  $I_{ur} = I_c$  lên đồ thị đặc tính cơ điện Hình 2.2b ta cũng xác định được tốc độ xác lập  $\omega_{xl}$  như trên.

## 2. Phương pháp vẽ đường đặc tính cơ tự nhiên.

Đặc tính tự nhiên sẽ tương ứng với trường hợp  $R_f = 0$ ,  $\phi = \phi_{đm}$ ,  $U_{ur} = U_{đm}$ . Thay các số liệu đó vào (2-3), (2-5) và các phương trình dạng khác ta sẽ được phương trình đặc tính cơ và cơ điện tự nhiên:

$$\omega = \frac{U_{đm}}{K\phi_{đm}} - \frac{R_{ur}}{(K\phi_{đm})^2} M \quad (2-17)$$

$$\omega = \frac{U_{đm}}{K\phi_{đm}} - \frac{R_{ur}}{K\phi_{đm}} I_{ur} \quad (2-18)$$

Tốc độ không tải lý tưởng và độ cứng đặc tính cơ tự nhiên là:

$$\omega_0 = \frac{U_{đm}}{K\phi_{đm}} \quad (2-19)$$

$$\beta_{tn} = \frac{(K\phi_{đm})^2}{R_{ur}} \quad (2-20)$$

$$\beta_{tn}^* = \frac{1}{R_{ur}} \quad (2-21)$$

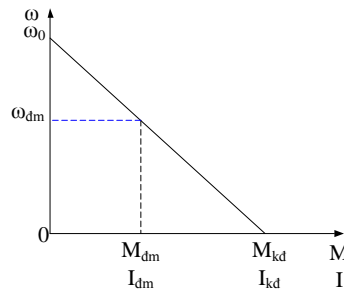
Ta có thể vẽ được đặc tính cơ và đặc tính cơ điện tự nhiên nhờ các số liệu của động cơ như công suất định mức  $P_{đm}$  [kW], tốc độ  $\omega_{đm}$  [rad/s], điện áp  $U_{đm}$  [V], dòng điện định mức  $I_{đm}$  [A], hiệu suất  $\eta_{đm}$ , điện trở phần ứng  $R_{ur}$  [ $\Omega$ ]. Vì đặc tính cơ là đường thẳng, nên chỉ cần xác định hai điểm: điểm không tải  $[0, \omega_0]$  và điểm định mức  $[M_{đm}, \omega_{đm}]$  hoặc  $[I_{đm}, \omega_{đm}]$ . Cũng có thể dùng điểm không tải và điểm khởi động  $[M_{kd}, 0]$  hoặc  $[I_{kd}, 0]$ .

Toạ độ các điểm trên được xác định như sau:

$$\omega_0 = \frac{U_{đm}}{K\phi_{đm}}; K\phi_{đm} = \frac{U_{đm} - R_{ur}I_{đm}}{\omega_{đm}}; M_{đm} = \frac{1000.P_{đm}}{\omega_{đm}}$$

$$M_{đm} = K\phi_{đm}I_{đm}; I_{kd} = \frac{U_{đm}}{R_{ur}}; M_{kd} = K\phi_{đm} \frac{U_{đm}}{R_{ur}}$$

Thường người ta vẽ đặc tính cơ tự nhiên qua điểm không tải và điểm định mức như Hình 2.3.



**Hình 2.3:** Đường đặc tính cơ tự nhiên của động cơ kích từ độc lập

Có trường hợp phải tính  $I_{đm}$  thông qua hiệu suất:

$$I_{đm} = \frac{P_{đm}}{\eta_{đm} U_{đm}} \quad (2-22)$$

Nếu chưa cho trước giá trị  $R_r$  có thể xác định gần đúng dựa vào giả thiết coi tổn thất trên điện trở phần ứng do dòng điện định mức gây ra bằng một nửa toàn bộ tổn thất trong động cơ:

$$R_r \approx 0.5 \times (1 - \eta_{đm}) \frac{U_{đm}}{I_{đm}} \quad (2-23)$$

Sau khi vẽ được đặc tính tự nhiên, thì chính nó lại trở thành loạt số liệu cho trước để tính toán các đặc tính nhân tạo cũng như để giải các bài toán khác.

**Ví dụ 2.1:**

Cho động cơ một chiều kích từ độc lập với thông số:

$$K\Phi_{đm} = 3,0 \text{Vs/rad}; U_{đm} = 200 \text{V}; I_{đm} = 5 \text{A}, \eta_{đm} = 0,8$$

- Xác định các thông số  $M_{đm}$ ,  $M_{kđ}$ ,  $I_{kđ}$  khi nguồn điện cấp bằng định mức.
- Xác định điện áp nguồn điện cấp để dòng khởi động bằng 6 lần giá trị định mức.

**Bài giải:**

- Mômen định mức của động cơ:

$$M_{đm} = K\Phi_{đm} I_{đm} = 3.5 = 15 \text{ (N.m)}$$

Áp dụng phương pháp tính gần đúng để tính điện trở phần ứng:

$$R_r \approx 0.5 \times (1 - \eta_{đm}) \frac{U_{đm}}{I_{đm}} = 0.5 \times (1 - 0,8) \frac{200}{5} = 4 \Omega$$

Dòng điện khởi động của động cơ

$$I_{kđ} = \frac{P_{đm}}{R_r} = \frac{200}{4} = 50 \text{ (A)}$$

Mômen khởi động của động cơ:

$$M_{kđ} = K\Phi_{đm} I_{kđ} = 3.50 = 150 \text{ (N.m)}$$

- Ta có:

$$I_{kđ} = 6.I_{đm} = 6.5 = 30 \text{ (A)}$$

Với giá trị dòng điện khởi động vừa tính trên, ta suy ra giá trị điện áp nguồn điện cấp cho động cơ là:

$$I_{kd} = \frac{U_d}{R_{ur}} \rightarrow U_d = I_{kd} \cdot R_{ur} = 30.4 = 120(A)$$

### 3. Ảnh hưởng các thông số đến đặc tính cơ

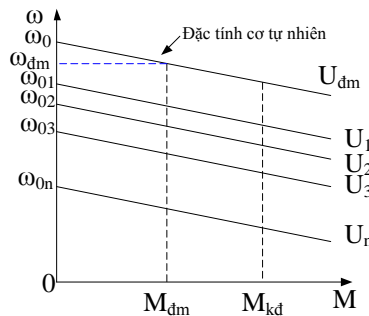
#### 3.1. Trường hợp thay đổi điện áp phản ứng

Vì điện áp phản ứng không thể vượt quá giá trị định mức nên ta chỉ có thể thay đổi về phía giảm.  $U_{ur}$  biến đổi;  $R_{ur} = \text{const}$ ;  $\Phi = \text{const}$ . Trong phương trình đặc tính cơ, có độ dốc (hay độ cứng) đặc tính cơ không thay đổi:

Tốc độ không tải lý tưởng  $\omega_0$  thay đổi tỷ lệ thuận với điện áp:

$$\omega_0 = \frac{U_{ur}}{K\Phi} = \text{var}$$

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 2.4:** Họ đặc tính cơ khi thay đổi điện áp của động cơ một chiều kích từ độc lập.

#### 3.2. Trường hợp thay đổi điện trở phản ứng

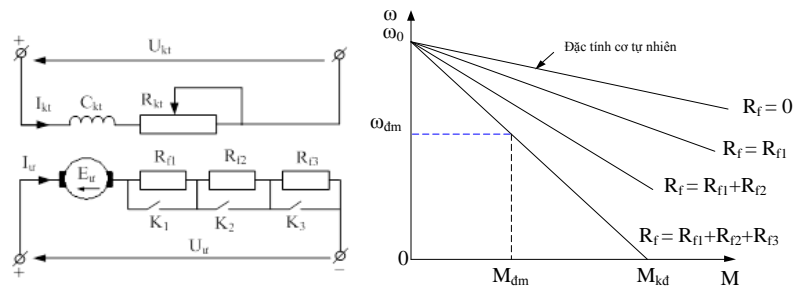
Khi điện trở phản ứng thay đổi ta có:  $U_{ur} = \text{const}$ ;  $R_f = \text{var}$ ;  $\Phi = \text{const}$

$$R_{\Sigma} = R_{ur} + R_f = \text{var}$$

$$\omega_0 = \frac{U_{ur}}{K\Phi} = \text{const}$$

$$\Delta\omega = \frac{R_{\Sigma}}{(K\Phi)^2} M = \text{var}$$

Khi đó đường đặc tính cơ có dạng sau:



**Hình 2.5:** Họ đặc tính cơ khi thay đổi điện trở phản ứng của động cơ một chiều KTĐL.



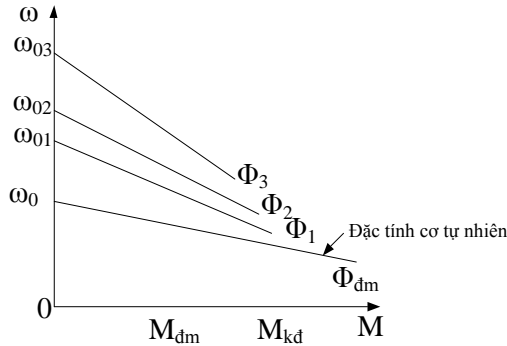
### 3.3. Trường hợp thay đổi từ thông

Khi thay đổi từ thông kích từ ta có:

$$U_r = \text{const}; R_f = \text{const}; \Phi = \text{var}, R_\Sigma = R_r = \text{const}$$

$$\omega_0 = \frac{U_r}{K\Phi} = \text{var}; \Delta\omega = \frac{R_\Sigma}{(K\Phi)^2} M = \text{var}$$

Khi đó đường đặc tính cơ có dạng sau:



**Hình 2.6:** Họ đặc tính cơ khi thay đổi điện trở phản ứng của động cơ một chiều kích từ độc lập.

#### Ví dụ 2.2:

Cho động cơ một chiều kích từ độc lập với các thông số sau:  $K\Phi_{đm} = 4,0 \text{Vs/rad}$ ;  $U_{đm} = 380 \text{V}$ ;  $I_{đm} = 6 \text{A}$ ;  $n_{đm} = 900$  vòng/phút;  $R_r = 0,5 \Omega$ . Động cơ kéo tải định mức. Động cơ được điều chỉnh để hoạt động tại tốc độ 400 vòng/phút. Xác định giá trị đại lượng cần thay đổi trong các trường hợp sau:

- Nối thêm điện trở phụ vào phần ứng
- Thay đổi điện áp phần ứng
- Thay đổi từ thông

Dữ liệu đề bài: Cho động cơ điện một chiều kích từ song song

$$K\Phi_{đm} = 4,0 \text{ Vs/rad}$$

$$R_r = 0,5 \Omega$$

$$U_{uđm} = 380 \text{ V}$$

$$I_c = I_{đm}$$

$$I_{uđm} = 6 \text{ A}$$

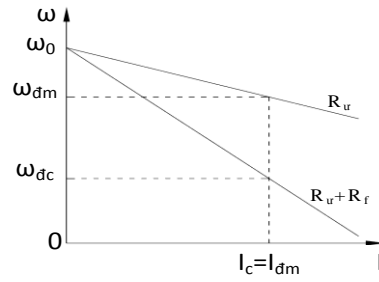
$$n_{đc} = 400 \text{ vòng/phút}; n_{đm} = 900 \text{ vòng/phút}$$

#### Bài giải

- Nối thêm điện trở phụ vào phần ứng

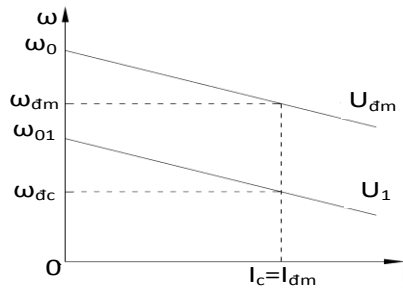
$$\omega_{đc} = \frac{2\pi}{60} n_{đc} = \frac{2\pi}{60} 400 = 41,89 \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

$$\omega_{đc} = \frac{U}{K\Phi} - \frac{R_r + R_f}{K\Phi} I_c \rightarrow R_f = \left( \frac{U}{K\Phi} - \omega_{đc} \right) \cdot \frac{K\Phi}{I_c} - R_r = \left( \frac{380}{4} - 41,89 \right) \cdot \frac{4}{6} - 0,5 = 34,9 \Omega$$



b. Thay đổi điện áp phản ứng

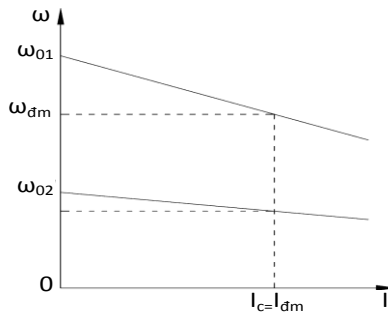
$$\omega_{đc} = \frac{U_1}{K\Phi} - \frac{R_r}{K\Phi} I_c \rightarrow U_1 = \left( \omega_{đc} + \frac{R_r}{K\Phi} I_c \right) \cdot K\Phi = \left( 41,89 + \frac{0,5}{4} \cdot 6 \right) \cdot 4 = 170,4 \text{ (V)}$$



c. Thay đổi từ thông:

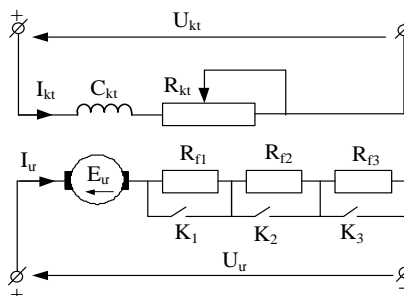
$$\omega_{đc} = \frac{U}{K\Phi_1} - \frac{R_r}{K\Phi_1} I_c \rightarrow K\Phi_1 = \frac{U}{\omega_{đc}} - \frac{R_r}{\omega_{đc}} I_c = \frac{380}{41,89} - \frac{0,5}{41,89} \cdot 6 = 9 \text{ Vs/rad (V)}$$

$$\omega_0 = \frac{U}{K\Phi} = \frac{380}{4} = 95 \text{ (rad/s)}; \omega_{01} = \frac{U}{K\Phi_1} = \frac{380}{9} = 42,22 \text{ (rad/s)}$$



#### 4. Tính điện trở khởi động

##### 4.1. Khởi động và xây dựng đặc tính cơ khi khởi động



Hình 2.7: Sơ đồ khởi động động cơ một chiều kích từ độc lập qua ba cấp điện trở.

Nếu đóng động cơ DC bằng phương pháp đóng trực tiếp thì dòng khởi động ban đầu rất lớn:  $I_{kd} = U_{dm} / R_r \approx (10 \div 20) I_{dm}$ , như vậy nó có thể đốt nóng động cơ, hoặc làm cho sự chuyển mạch khó khăn, hoặc sinh ra lực điện động lớn làm phá hủy quá trình cơ học của máy.

- Để đảm bảo an toàn cho máy, thường chọn

$$I_{kd} \leq I_{cp} = 2,5 I_{dm} \quad (2-24)$$

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

$$I_{kd} = \frac{U_{dm}}{R_r + R_f} = (2 \div 2,5) I_{dm} \leq I_{cp} \quad (2-25)$$

Xây dựng các đặc tính cơ khi khởi động động cơ DC

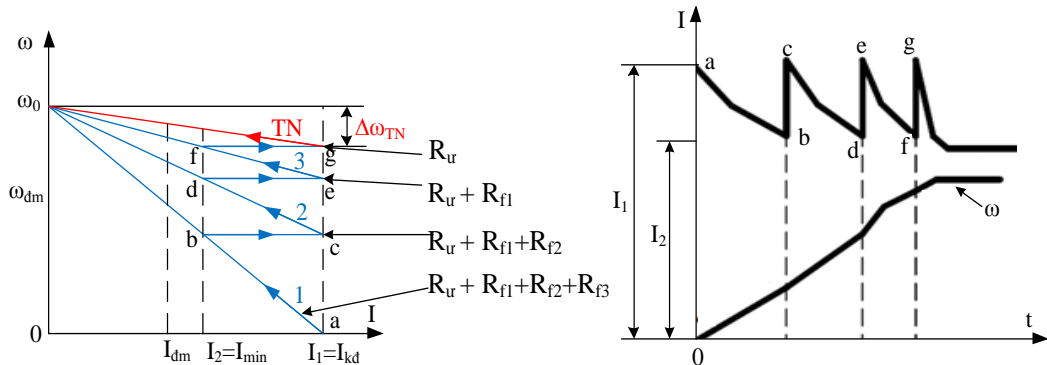
- Từ các thông số định mức ( $P_{dm}$ ;  $U_{dm}$ ;  $I_{dm}$ ;  $n_{dm}$ ;  $\eta_{dm}$ ; ...) và thông số tải ( $I_c$ ;  $M_c$ ;  $P_c$ ; ...), số cấp khởi động  $m$ , ta vẽ các đặc tính cơ tự nhiên.

- Xác định dòng điện khởi động hoặc mô men lớn nhất:

$$I_{max} = I_1 = (2 \div 2,5) I_{dm} \quad M_{max} = M_1 = (2 \div 2,5) M_{dm}$$

- Xác định dòng điện khởi động hoặc mô men nhỏ nhất:

$$I_{min} = I_2 = (1,1 \div 1,3) I_c \quad M_{min} = M_2 = (1,1 \div 1,3) M_c$$



**Hình 2.8:** Đặc tính cơ qua 3 cấp khởi động, giản đồ dòng điện và tốc độ theo thời gian.

## 4.2. Tính điện trở khởi động

### 4.2.1. Phương pháp đồ thị

Dựa vào biểu thức của độ sụt tốc  $\Delta\omega$  trên đặc tính cơ điện với một giá trị dòng điện (ví dụ  $I_1$ ) ta có:

$$\begin{cases} \Delta\omega_{TN} = \frac{R_r}{K\phi} I_1 = gh \\ \Delta\omega_{NT1} = \frac{R_r + R_{f1}}{K\phi} I_1 = eh \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta\omega_{NT2} = \frac{R_r + R_{f1} + R_{f2}}{K\phi} I_1 = ch \\ \Delta\omega_{NT3} = \frac{R_r + R_{f1} + R_{f2} + R_{f3}}{K\phi} I_1 = ah \end{cases} \quad (2-26)$$

$$\begin{cases} R_{f1} = \frac{\Delta\omega_{NT1} - \Delta\omega_{TN}}{\Delta\omega_{TN}} R_r = \frac{eh - gh}{gh} R_r \\ R_{f2} = \frac{\Delta\omega_{NT2} - \Delta\omega_{NT1}}{\Delta\omega_{TN}} R_r = \frac{ch - eh}{gh} R_r \end{cases} \quad \begin{cases} R_{f3} = \frac{\Delta\omega_{NT3} - \Delta\omega_{NT2}}{\Delta\omega_{TN}} R_r = \frac{ah - ch}{gh} R_r \end{cases} \quad (2-27)$$

### 4.2.2. Phương pháp giải tích

Giả thiết động cơ được khởi động với m cấp điện trở phụ. Đặc tính khởi động đầu tiên và dốc nhất là đường đi qua điểm a (Hình 2.8), sau đó đến cấp 2, cấp 3,... cấp m, cuối cùng là đặc tính cơ tự nhiên:

Điện trở tổng ứng với mỗi đặc tính cơ:

$$R_1 = R_r + R_{f1}$$

$$R_2 = R_r + R_{f1} + R_{f2} = R_1 + R_{f2}$$

...

$$R_m = R_{m-1} + R_{fm}$$

Tại điểm g trên Hình 2.8 ta có:

$$I_1 = \frac{U_{dm} - E_1}{R_r} \quad (2-28)$$

Tại điểm f trên Hình 2.8 ta có:

$$I_2 = \frac{U_{dm} - E_1}{R_1} \quad (2-29)$$

Trong quá trình khởi động, ta lấy:

$$\frac{I_1}{I_2} = \lambda = \text{const} \quad (2-30)$$

Vậy:

$$\lambda = \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_1}{R_r} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_2} = \dots = \frac{R_m}{R_{m-1}} \quad (2-31)$$

Rút ra:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1 = \lambda R_r \\ R_2 = \lambda R_1 = \lambda^2 R_r \\ \vdots \\ \vdots \\ R_m = \lambda R_{m-1} = \lambda^m R_r \end{array} \right. \quad (2-32)$$

- Nếu cho trước số cấp điện trở khởi động m và  $R_1$ ,  $R_r$  thì ta tính được bội số dòng điện khi khởi động:

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{R_m}{R_r}} \quad (2-33)$$

Trong đó:  $R_m = U_{dm}/I_1$ ; rồi thay tiếp  $I_1 = \lambda I_2$

- Nếu biết  $\lambda$ ,  $R_1$ ,  $R_r$  ta xác định được số cấp điện trở khởi động:

$$m = \frac{\lg(R_m/R_r)}{\lg\lambda} \quad (2-34)$$

Trị số các cấp khởi động được tính như sau:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{f1} = R_1 - R_r = (\lambda - 1)R_r \\ R_{f2} = R_2 - R_1 = \lambda(\lambda - 1)R_r \\ \vdots \\ R_{fm} = R_m - R_{m-1} = \lambda^{m-1}(\lambda - 1)R_r \end{array} \right. \quad (2-35)$$

**Ví dụ 2.3:**

Một động cơ một chiều kích từ độc lập có  $P_{dm}=4KW$ ,  $U_{dm}=220V$ ,  $I_{dm}=20A$ ,  $n = 1000$  vòng/phút. Động cơ khởi động với  $M_c=0,8M_{dm}$ . Dòng điện lớn nhất trong quá trình khởi động  $I_1=50A$ ,  $I_2=1,25.I_c$ . Hãy xác định số cấp khởi động và xác định giá trị của R cần cắt ra khi chuyển đặc tính.

Dữ liệu đề bài: Cho động cơ điện một chiều kích từ độc lập:

$$\begin{array}{ll} P_{dm} = 4 \text{ KW} & n_{dm} = 1000 \text{ vòng/phút} \\ U_{dm} = 220 \text{ V} & M_c = 0,8M_{dm} \\ I_{dm} = 20 \text{ A} & I_1 = 50 \text{ A} \quad I_2 = 1,25.I_c \end{array}$$

Giải

Bội số dòng điện khi khởi động:

$$\lambda = \frac{I_1}{I_2} = \frac{50}{20} = 2,5$$

Áp dụng phương pháp tính gần đúng để tính điện trở phản ứng:

$$R_r \approx 0,5 \times (1 - \eta_{dm}) \frac{U_{dm}}{I_{dm}} = 0,5 \times \left(1 - \frac{4 \cdot 1000}{220 \cdot 20}\right) \frac{220}{20} = 0,5$$

$$R_m = \frac{U_{dm}}{I_1} = \frac{220}{50} = 4,4 \Omega$$

Số cấp điện trở khởi động:

$$m = \frac{\lg\left(\frac{R_m}{R_r}\right)}{\lg(\lambda)} = \frac{\lg\left(\frac{4,4}{0,5}\right)}{\lg(2,5)} = 2,4$$

→ Chọn  $m = 2$

Giá trị điện trở từng cấp khởi động:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1 = \lambda R_r = 2,5 \cdot 0,5 = 1,25 \Omega \\ R_2 = \lambda^2 R_r = 2,5^2 \cdot 0,5 = 3,125 \Omega \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} R_{f1} = R_1 - R_r = 1,25 - 0,5 = 0,75 \Omega \\ R_{f2} = R_2 - R_1 = 3,125 - 1,25 = 1,875 \Omega \end{array} \right.$$

**5. Đặc tính cơ ở các trạng thái hãm**

Hãm là trạng thái mà động cơ sinh ra mômen quay ngược chiều tốc độ quay. Trong tất cả các trạng thái hãm động cơ đều là việc ở chế độ máy phát. Động cơ điện một

chiều kích từ độc lập có ba trạng thái hãm: Hãm tái sinh, hãm ngược và hãm động năng.

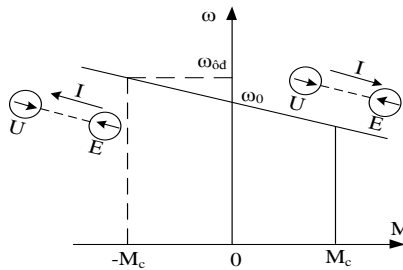
5.1. Hãm tái sinh (hãm trả năng lượng về lưới)

Hãm tái sinh xảy ra khi tốc độ quay của động cơ lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng. Khi hãm tái sinh  $E_{ur} > U_{ur}$ , động cơ làm việc như một máy phát điện song song với lưới. So với chế độ động cơ, dòng điện và mômen hãm đã đổi chiều và được xác định theo biểu thức:

$$I_h = \frac{U_{ur} - E_{ur}}{R_{ur}} = \frac{K\phi\omega_0 - K\phi\omega}{R_{ur}} < 0 \quad (2-36)$$

$$M_h = K\phi I_h < 0$$

Trị số hãm lớn dần lên cho đến khi cân bằng với mômen phụ tải của cơ cấu sản xuất thì hệ thống là việc ổn định với tốc độ  $\omega_{\delta d} > \omega_0$ . Đường đặc tính cơ ở trạng thái hãm tái sinh như Hình 2.9.



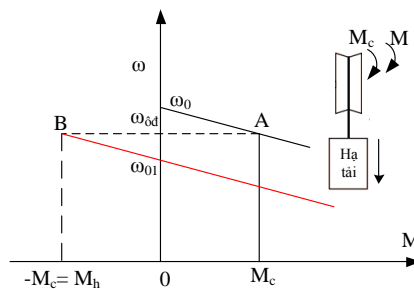
Hình 2.9: Hãm tái sinh của động cơ kích từ độc lập

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.

Có các trường hợp sau:

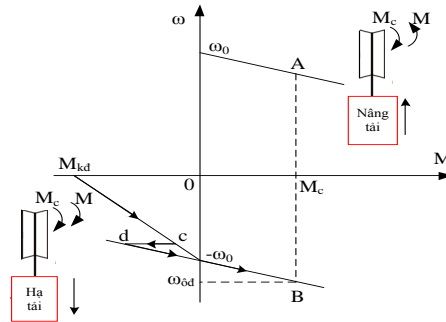
- Hạ áp hãm tái sinh khi hạ tải:



Hình 2.10: Hạ áp hãm tái sinh của động cơ kích từ độc lập.

Trong thực tế, cơ cấu nâng hạ của cần trục, khi nâng tải động cơ được đấu vào nguồn theo cực tính thuận và làm việc trên đặc tính cơ nằm trong góc phần tư thứ I. Khi muốn hạ tải ta phải đảo chiều điện áp đặt vào động cơ. Lúc này nếu mômen do trọng tải gây ra lớn hơn mômen ma sát trong các bộ phận chuyển động của cơ cấu, động cơ điện sẽ làm theo việc ở trạng thái hãm tái sinh. Khi hạ tải, để hạn chế dòng khởi động ta đưa thêm điện trở phụ vào mạch phản ứng. Tốc độ động cơ tăng dần lên, khi tốc độ gần đạt tới giá trị  $\omega_0$  tại điểm C ta cắt điện trở phụ, động cơ tăng tốc độ trên

đường đặc tính tự nhiên tại điểm d. Khi tốc độ vượt quá  $\omega > \omega_0$  mômen hãm đến điểm B mômen  $M_h = M_C$  tải trọng được hạ với tốc độ ổn định  $\omega_{\text{ôđ}}$ , trong trạng thái hãm tái sinh.



**Hình 2.11:** Đặc tính hãm tái sinh khi hạ tải trọng của động cơ điện kích từ độc lập

**Ví dụ 2.4:**

Cho động cơ DC kích từ độc lập:

$$U_r = 220V; I_{\text{đm}} = 200A; n_{\text{đm}} = 800\text{v/ph}; R_r = 0,06\Omega.$$

Nguồn điện cấp cho phần ứng là nguồn thay đổi được. Xác định điện áp của nguồn khi hoạt động ở chế độ hãm tái sinh nếu tải có giá trị bằng 80% định mức và vận tốc 600v/ph.

**Bài giải:**

Chỉ số 1 ... trước thời điểm hãm

Chỉ số 2 ... thời điểm hãm

$$M = 80\%M_{\text{đm}} \rightarrow I_{r2} = 80\%I_{\text{đm}} = 0,8 \times 200 = 160A$$

$$E_1 = U_r - I_{\text{đm}}R_r = 220 - 200 \times 0,06 = 208V$$

$$E_1 = K\phi\omega_1; E_2 = K\phi\omega_2 \rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{K\phi\omega_1}{K\phi\omega_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$E_2 = \frac{n_2}{n_1} E_1 = \frac{600}{800} \times 208 = 156V$$

Khi hoạt động ở chế độ hãm tái sinh động cơ hoạt động ở chế độ máy phát nên:

$$U_{\text{in}} = E_2 - I_2R_r = 156 - 160 \times 0,06 = 146V$$

**5.2. Hãm ngược**

Trạng thái hãm ngược của động cơ xảy ra khi phần ứng dưới tác dụng của dòng năng tích lũy trong các bộ phận chuyển động hoặc do mômen thế năng quay ngược chiều với mômen điện từ của động cơ. Mômen sinh ra bởi động cơ khi đó chống lại sự chuyển động của cơ cấu sản xuất.

**5.2.1. Đưa điện trở phụ vào mạch phần ứng:**

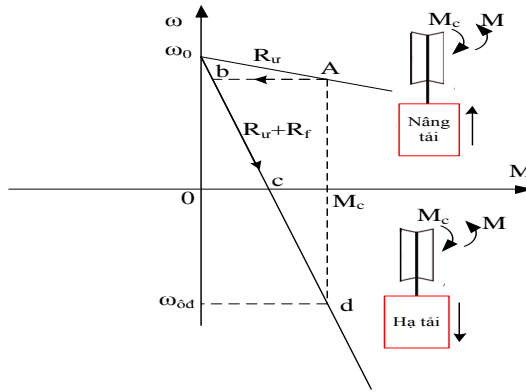
Giả sử động cơ đang làm việc nâng tải với tốc độ xác lập ứng với điểm a ta đưa một điện trở phụ đủ lớn vào mạch phần ứng, động cơ chuyển sang làm việc ở điểm b trên đặc tính biến trở.

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, tốc độ bằng 0 nhưng 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 bằng với mômen cản nên hệ ổn định với tốc độ hạ không đổi  $\omega_{\text{od}}$ , cd là đoạn đặc tính hãm ngược. Khi hãm ngược vì tốc độ đổi chiều, sức điện động đổi dấu nên:

$$I_h = \frac{U_{\text{ur}} + E_{\text{ur}}}{R_{\text{ur}} + R_f} = \frac{K\Phi\omega_0 + K\Phi\omega_h}{R_{\text{ur}}} \quad (2-37)$$

$$M_h = K\Phi I_h \quad (2-38)$$

Như vậy ở đặc tính hãm ngược sức điện động tác dụng cùng chiều với điện áp lưới. Động cơ làm việc như một máy phát nối tiếp với lưới điện năng nhận từ lưới và cơ năng trên trục thành nhiệt năng đốt nóng điện trở trong của mạch phản ứng vì vậy tổn thất năng lượng lớn. Vì sơ đồ nối dây của động cơ không thay đổi, nên phương trình đặc tính cơ là phương trình đặc tính biên trở.



**Hình 2.12:** Đặc tính cơ khi hãm ngược khi đưa  $R_f$  vào mạch phản ứng với tải thế năng

### 5.2.2. Đảo chiều điện áp mạch phản ứng:

Giả sử động cơ đang làm việc tại điểm a trên đặc tính tự nhiên với tải  $M_c$ , ta biến đổi chiều điện áp phản ứng và đưa thêm vào điện trở phụ  $R_f$  trong mạch. Động cơ chuyển sang làm việc ở điểm b trên đặc tính biên trở, tại b mômen đã đổi chiều chống lại chiều quay của động cơ nên tốc độ giảm theo đoạn bc. Tại c tốc độ bằng không, nếu ta cắt phần ứng khỏi điện áp nguồn thì động cơ sẽ dừng lại, còn nếu vẫn giữ điện nguồn đặt vào động cơ và tại điểm c mômen động cơ lớn hơn mômen cản  $M_c$  thì động cơ sẽ quay ngược lại và làm việc ổn định tại điểm d. Đoạn bd trên H. 2-13 là đặc tính hãm ngược.

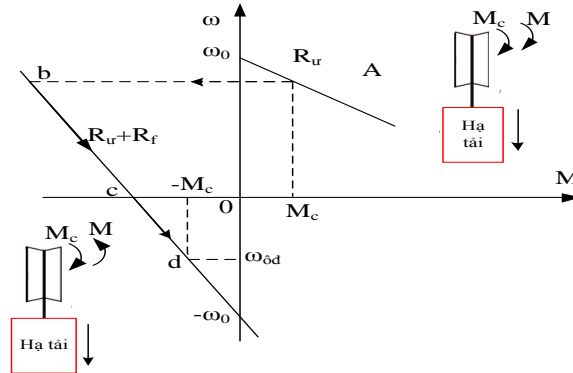
Dòng điện hãm được tính:

$$\left. \begin{aligned} I_h &= \frac{-U_{\text{ur}} - E_{\text{ur}}}{R_{\text{ur}} + R_f} = - \frac{U_{\text{ur}} + K\Phi\omega}{R_{\text{ur}} + R_f} < 0 \\ M_h &= K\Phi I_h < 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-39)$$

Phương trình đặc tính cơ:



$$\omega = \frac{-U_{ur}}{K\Phi} - \frac{R_{ur} + R_f}{(K\Phi)^2} \quad (2-40)$$



**Hình 2.13:** Đặc tính cơ hãm ngược bằng cách đảo cực tính điện áp đặt vào động cơ

Biểu thức (2-39) biểu thị dòng điện  $I_h$  có chiều ngược với chiều làm việc ban đầu và dòng điện hãm này có thể khá lớn; do đó điện trở phụ đưa vào phải có giá trị đủ lớn hạn chế dòng điện hãm ban đầu  $I_{hd}$  trong phạm vi cho phép:

$$I_{hd} \leq (2 \div 2,5)I_{dm}$$

**Ví dụ 2.5:**

Cho động cơ DC kích từ độc lập:

$$U_{dm} = 220V; n_{dm} = 970v/ph; 100A; R_{ur} = 0,05\Omega$$

Động cơ bị hãm ngược khi đang chạy với vận tốc 1000v/ph

- Xác định điện trở phụ mắc thêm vào phần ứng để dòng hãm bằng 2 lần dòng định mức.
- Xác định mô-men hãm.
- Xác định mô-men động cơ khi tốc độ động cơ triệt tiêu.

**Bài giải:**

Chỉ số 1 ... trước thời điểm hãm

Chỉ số 2 ... thời điểm hãm

$$\text{Khi } n_1 = 970 \text{ v/ph} \rightarrow E_1 = 220 - 0,05 \times 100 = 215V$$

$$\text{Khi } n_2 = 1000 \text{ v/ph} \rightarrow E_2 = E_1 \frac{n_2}{n_1} = 215 \times \frac{1000}{970} = 221,65V$$

a) Ta có:

$$R_{ph} + R_{ur} = \frac{E_2 + U_{ur}}{I_{ur}} = \frac{221,65 + 220}{200} = 2,21\Omega$$

$$R_{ph} = 2,21 - 0,05 = 1,16\Omega$$

b) Ta có :

$$M_h = \frac{E_2 \times I_{ur}}{\omega_m} = \frac{221,65 \times 200}{1000 \times 2\pi/60} = 423,3Nm$$

c) Khi vận tốc triệt tiêu:  $E_{ur} = 0$

$$I'_{ur} = \frac{U_{ur}}{R_{ph} + R_{ur}} = \frac{220}{2,21} = 99,55A$$

Mô-men tỉ lệ với phần ứng nên :

$$M = M_h \times \frac{I'_r}{I_r} = 423,3 \times \frac{99,55}{200} = 210,7 \text{ Nm}$$

### 5.3. Hãm động năng:

Hãm động năng là trạng thái động cơ làm việc như một máy phát mà năng lượng cơ học của động cơ tích lũy được trong quá trình làm việc trước đó biến thành điện năng tiêu tán trong mạch hãm dưới dạng nhiệt.

#### 5.3.1. Hãm động năng kích từ độc lập

Khi động cơ đang quay muốn thực hiện hãm động năng kích từ độc lập ta cắt phần ứng động cơ khỏi lưới điện một chiều, và đóng vào một điện trở hãm, còn mạch kích từ vẫn nối với nguồn như cũ. Mạch điện động cơ khi hãm động năng được trình bày trên Hình 2.14a.

Tại thời điểm ban đầu, tốc độ động cơ vẫn có giá trị  $\omega_a$  nên:

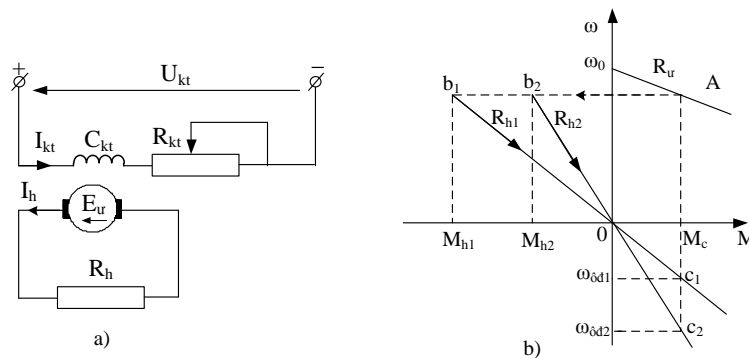
$$E_h = K\Phi\omega_a \quad (2-41)$$

Và dòng điện hãm ban đầu:

$$I_h = -\frac{E_h}{R_r + R_h} = -\frac{K\Phi\omega_a}{R_r + R_h} \quad (2-42)$$

Tương ứng có mômen hãm ban đầu:

$$M_h = K\Phi I_h < 0 \quad (2-43)$$



**Hình 2.14:** Sơ đồ hãm động năng kích từ độc lập của động cơ điện kích từ độc lập

a. Sơ đồ điện khi hãm

b. Đặc tính cơ khi hãm

Biểu thức (2-42) và (2-43) chứng tỏ dòng điện hãm  $I_h$  và  $M_h$  ngược chiều với tốc độ ban đầu của động cơ khi hãm động năng  $U_r = 0$  nên ta có phương trình đặc tính cơ và cơ điện như sau:

$$\omega = -\frac{R_r + R_h}{K\Phi} I_r \quad (2-44)$$

$$\omega = -\frac{R_r + R_h}{(K\Phi)^2} M \quad (2-45)$$

Đây là phương trình đặc tính cơ điện và đặc tính cơ khi hãm động năng kích từ độc lập ta cũng nhận thấy rằng:

Khi  $\Phi = \text{const}$  thì độ cứng của đặc tính cơ hãm phụ thuộc  $R_h$ . Khi  $R_h$  càng nhỏ, đặc tính cơ càng cứng, mômen hãm càng lớn, hãm càng nhanh.

Tuy nhiên cần chọn  $R_h$  sao cho dòng hãm ban đầu nằm trong giới hạn cho phép:

$$I_{hd} \leq (2 \div 2,5) I_{dm}$$

Trên đồ thị đặc tính cơ hãm động năng ta thấy rằng với mômen cản  $M_c$  là phản kháng thì động cơ sẽ dừng hẳn, đặc tính hãm động năng là đoạn  $b_10$  hoặc  $b_20$ . Với mômen cản  $M_c$  là thế năng thì dưới tác động của tải sẽ kéo động cơ quay theo chiều ngược lại đến làm việc ổn định tại điểm  $M = M_c$ . Đoạn  $b_1c_1$  hoặc  $b_2c_2$  cũng là đặc tính hãm động năng.

Khi hãm động năng kích từ độc lập, năng lượng chủ yếu được tạo ra do động năng của động cơ tích lũy được nên công suất tiêu tổn chỉ nằm trong mạch kích từ.

$$P_{kt\dot{m}} = (1 \div 5)\% P_{\dot{m}}$$

Phương trình cân bằng công suất khi hãm động năng:

$$E_u I_h = (R_u + R_h) I_h^2$$

### 5.3.2. Hãm động năng tự kích từ

Nhược điểm của hãm động năng kích từ độc lập là nếu mất điện lưới thì không 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.

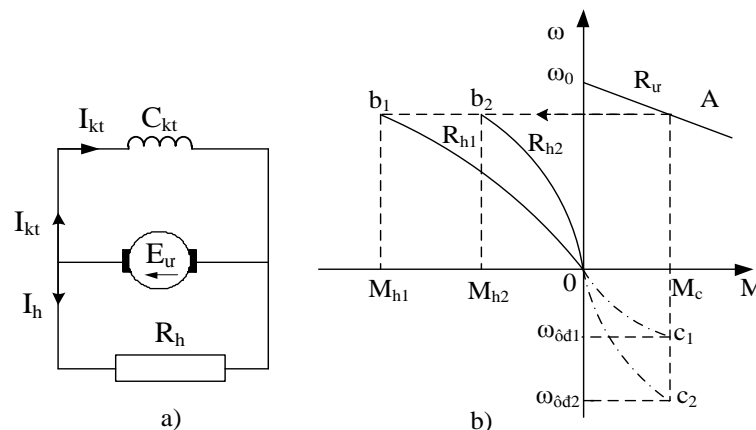
Hãm động năng tự kích từ xảy ra khi động cơ đang quay ta cắt cả phần ứng lẫn cuộn kích từ khỏi lưới điện để đóng vào một điện trở hãm. Sơ đồ nguyên lý thể hiện trên Hình 2.15a. Chú ý chiều dòng điện kích từ vẫn phải giữ không đổi.

Từ sơ đồ nguyên lý ta có:  $I_u = I_h + I_{kt}$

$$I_u = - \frac{E}{R_u + \frac{R_{kt} \cdot R_h}{R_{kt} + R_h}} = \frac{-K\Phi\omega_a}{R_u + \frac{R_{kt} \cdot R_h}{R_{kt} + R_h}} \quad (2-46)$$

Và phương trình đặc tính cơ điện là (tổng quát thay  $\omega_a = \omega$ ):

$$\omega = - \frac{R_u + \frac{R_{kt} \cdot R_h}{R_{kt} + R_h}}{K\Phi} I_u \quad (2-47)$$



**Hình 2.15:** Sơ đồ hãm động năng tự kích của động cơ điện một chiều kích từ độc lập  
 a. Sơ đồ nguyên lý  
 b. Đặc tính cơ khi hãm

Và phương trình đặc tính cơ:

$$\omega = - \frac{R_r + \frac{R_{kt} R_h}{R_{kt} + R_h}}{(K\Phi)^2} M \quad (2-48)$$

Trong quá trình hãm tốc độ giảm dần, dòng kích từ giảm dần và do đó từ thông  $\Phi$  giảm dần và là hàm số của tốc độ. Vì vậy các đặc tính cơ khi hãm có dạng như đường đặc tính không tải của máy phát điện tự kích từ và phi tuyến, như trên Hình 2.15b.

So với phương pháp hãm ngược, hãm động năng có hiệu quả kém hơn khi chúng có cùng tốc độ ban đầu và cùng mômen cản  $M_c$ . Tuy nhiên hãm động năng ưu việt hơn về mặt năng lượng đặc biệt là hãm động năng tự kích vì không tiêu thụ năng lượng từ lưới nên phương pháp hãm này có khả năng hãm khi có sự cố mất điện lưới.

**Ví dụ 2.6:**

Một động cơ một chiều kích từ độc lập có các tham số sau:  $P_{dm}=4,2KW$ ,  $U_{dm}=220V$ ,  $I_{dm}=20A$ ,  $n_{dm}=513$ vòng/phút,  $R_r=0,25\Omega$  được trang bị cho một cơ cấu nâng. Khi động cơ đang nâng tải trên đặc tính cơ tự nhiên. Người ta đọc được giá trị dòng điện chạy trong mạch phần ứng 25A. Để dừng tải lại người ta sử dụng hãm động năng kích từ độc lập.

Hãy vẽ đặc tính cơ và xác định giá trị R dùng để nối kín mạch phần ứng để động cơ hạ tải trong trạng thái hãm động năng với tốc độ hãm bằng 1/2 tốc độ nâng.

**Bài giải:**

Quy đổi tốc độ động cơ sang vận tốc góc:

$$\omega_{dm} = n_{dm} \cdot \frac{2\pi}{60} = 513 \cdot \frac{2\pi}{60} = 53,73 \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

Mômen định mức của động cơ:

$$M_{dm} = \frac{P_{dm}}{\omega_{dm}} = \frac{4,2 \cdot 1000}{52,36} = 80,21 (\text{N.m})$$

Hệ số  $K\Phi_{dm}$ :

$$K\Phi_{dm} = \frac{M_{dm}}{I_{dm}} = \frac{80,21}{20} = 4 \left( \frac{\text{V.s}}{\text{rad}} \right)$$

Vận tốc góc của động cơ khi nâng tải:

$$\omega_{nâng} = \frac{U_{dm}}{K\Phi_{dm}} - \frac{R_r}{K\Phi_{dm}} I_c = \frac{220}{4} - \frac{0,25}{4} \cdot 25 = 53,44 \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

Theo đề bài ta suy ra vận tốc góc của động cơ khi hạ tải:

$$\omega_{hạ} = \frac{1}{2} \omega_{nâng} = \frac{1}{2} \cdot 53,44 = 26,72 \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

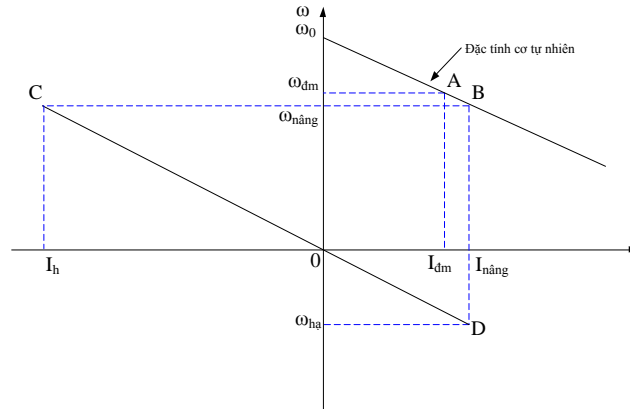
Trạng thái hãm ta khảo sát tại điểm D, phương trình đặc tính cơ điện như sau:

$$\omega_{hạ} = - \frac{R_r + R_h}{K\Phi_{dm}} I_{nâng}$$

$$-26,72 = -\frac{0,25 + R_h}{4} \cdot 25$$

$$R_h = 4,025(\Omega)$$

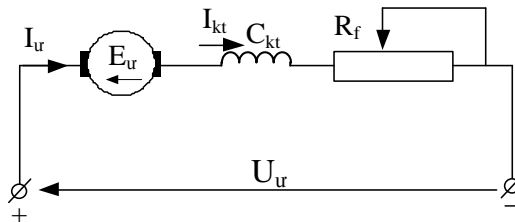
Vẽ đặc tính cơ:



## II. Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp

Đặc điểm của động cơ một chiều kích từ nối tiếp là cuộn kích từ mắc nối tiếp với cuộn dây phần ứng, nên cuộn kích từ có tiết diện lớn và điện trở nhỏ, số vòng ít, chế tạo dễ dàng.

Sơ đồ nguyên lý động cơ một chiều kích từ nối tiếp được vẽ trên Hình 2.16. Vì dòng kích từ cũng là dòng phần ứng nên từ thông của động cơ biến đổi theo dòng điện phần ứng.



Hình 2.16: Sơ đồ nguyên lý của động cơ kích từ nối tiếp

### 1. Phương trình đặc tính cơ

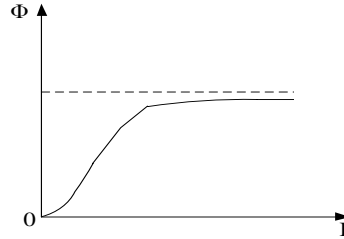
Sơ đồ nguyên lý của động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp được vẽ trên Hình 2.16, trong đó cuộn dây kích từ CK nối tiếp với cuộn dây phần ứng, dòng điện kích từ cũng là dòng điện phần ứng:  $I_{kt} = I_u = I$ . Từ sơ đồ nguyên lý ta viết được phương trình như sau:

$$\begin{cases} U_u = E_u + (R_u + R_{kt} + R_f)I_u = E_u + R_\Sigma I_u \\ E_u = K\phi\omega \\ M = K\phi I_u \end{cases} \quad (2-49)$$

Trong đó:  $R_u$  là điện trở mạch phần ứng bao gồm điện trở cuộn dây phần ứng  $r_u$ , điện trở cực từ phụ  $r_f$  điện trở tiếp xúc chổi than  $r_{ct}$ . Với cách mắc nối tiếp, dòng điện kích từ bằng dòng điện phần ứng  $I_{kt} = I$  nên cuộn dây kích từ nối tiếp có tiết diện dây lớn và số vòng dây nhỏ. Từ thông của động cơ phụ thuộc vào dòng điện phần ứng, tức phụ thuộc vào tải:

$$\Phi = K' \cdot I_r \quad (2-50)$$

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 và khi dòng điện  $I < (0,8 \text{ đến } 0,9)I_{dm}$ . Tiếp tục tăng  $I_r$  thì tốc độ tăng từ thông 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.



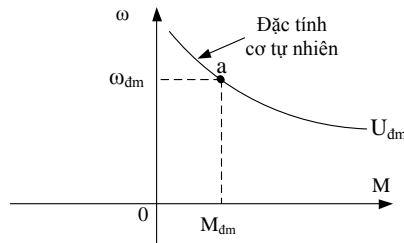
**Hình 2.17:** Sự phụ thuộc giữa từ thông và dòng điện phân ứng của động cơ kích từ nối tiếp  
Thay (2-50) vào (2-49) ta được:

$$M = KK' I_r^2 \rightarrow I_r = \sqrt{\frac{M}{KK'}} \quad (2-51)$$

Phương trình đặc tính cơ điện dạng:

$$\omega = \frac{U}{\sqrt{KK'}} \cdot \frac{1}{\sqrt{M}} - \frac{R_\Sigma}{KK'} = \frac{A}{\sqrt{M}} - B \quad (2-52)$$

Đường đặc tính cơ biểu diễn theo (2-52) cũng tương tự như đặc tính cơ điện (xem Hình 2.18), với hai đường tiệm cận như trên.

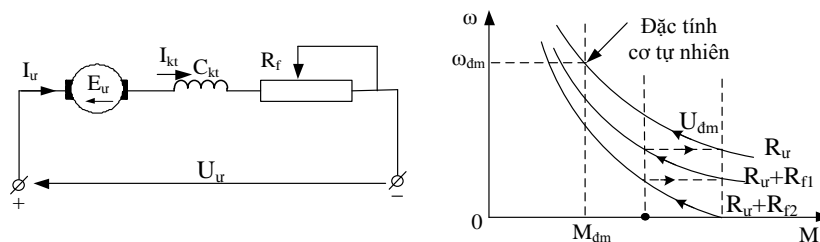


**Hình 2.18:** Đặc tính cơ điện của động cơ một chiều kích từ nối tiếp

## 2. Ảnh hưởng các thông số đến đặc tính cơ.

### 2.1. Ảnh hưởng điện trở trong mạch phân ứng.

Động cơ một chiều kích từ nối tiếp hầu như chỉ chịu ảnh hưởng của điện trở trong mạch phân ứng.



**Hình 2.19:** Họ đặc tính cơ điện của động cơ một chiều kích từ nối tiếp khi điện trở mạch phân ứng thay đổi.

Trong đó mômen mở máy được tính theo công thức

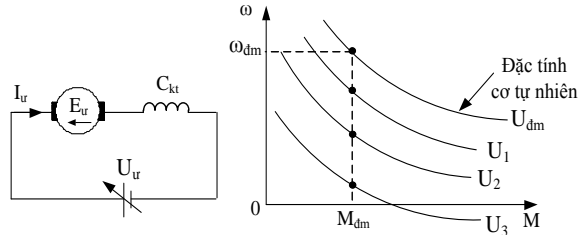
$$M = KK'I_{kd}^2 = KK' \left( \frac{U}{R_r} \right)^2 \quad (2-53)$$

Phương trình đặc tính cơ và cơ điện là:

$$\omega = \frac{U}{K\Phi} - \frac{R_\Sigma}{K\Phi} I_r \quad (2-54)$$

$$\omega = \frac{U}{K\Phi} - \frac{R_\Sigma}{(K\Phi)^2} M \quad (2-55)$$

2.2. Ảnh hưởng điện áp đặt vào mạch phản ứng.



Hình 2.20: Họ đặc tính cơ điện của động cơ một chiều kích từ nối tiếp khi điện áp phản ứng thay đổi.

Phương trình đặc tính cơ và cơ điện là:

$$\omega = \frac{U}{K\Phi} - \frac{R_r + R_{kt}}{K\Phi} I_r \quad (2-56)$$

$$\omega = \frac{U}{K\Phi} - \frac{R_r + R_{kt}}{(K\Phi)^2} M \quad (2-57)$$

3. Đặc tính cơ ở các trạng thái hãm

Do đặc điểm của động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp có tốc độ ωot rất lớn nên động cơ chỉ thực hiện hãm ngược và hãm động năng chứ không có trạng thái hãm tái sinh. Phương pháp hãm ngược và hãm động năng của động cơ một chiều kích từ nối tiếp cũng giống như ở động cơ kích từ độc lập.

Các chế độ hãm động cơ một chiều kích từ nối tiếp:

Ở chế độ hãm, chiều dòng điện đi qua cuộn kích từ được thiết kế sao cho giữ nguyên.

Ta có:

$$\Phi = K'I_r$$

Nếu quá trình hãm xảy ra trong phạm vi góc phần tư thứ hai. Chiều dòng điện cuộn kích từ ngược dấu dòng điện phản ứng:

$$\begin{aligned} \Phi &= -K'I_r \\ M &= K\Phi I_r = -KK'(I_r)^2 \\ I_r &= \sqrt{-\frac{M}{KK'}} \end{aligned} \quad (2-58)$$

Phương trình đặc tính cơ có dạng (chú ý  $\omega > 0; M < 0$ ):

$$\omega = \frac{U}{-\sqrt{KK'}} \cdot \frac{1}{\sqrt{-M}} + \frac{R_{\Sigma}}{KK'} \quad (2-59)$$

Nếu quá trình hãm xảy ra trong phạm vi góc phần tư thứ tư, chiều dòng điện cuộn kích từ cùng dấu dòng điện phản ứng:

Phương trình đặc tính cơ ở chế độ hãm có dạng (chú ý  $\omega < 0; M > 0$ ):

$$\begin{aligned} \Phi &= K' I_{ur} \\ M &= K \Phi I_{ur} = KK' (I_{ur})^2 \\ I_{ur} &= \sqrt{\frac{M}{KK'}} \end{aligned} \quad (2-60)$$

Phương trình đặc tính cơ có dạng (chú ý  $\omega > 0; M < 0$ ):

$$\omega = \frac{U}{\sqrt{KK'}} \cdot \frac{1}{\sqrt{M}} - \frac{R_{\Sigma}}{KK'} \quad (2-61)$$

### 3.1. Trạng thái hãm ngược

#### 3.1.1. Hãm ngược bằng cách đưa $R_f$ lớn vào động cơ.

Đặc tính cơ khi hãm chính là đặc tính biến trở. Ứng với tải thế năng, đoạn đặc tính cơ chính là đặc tính hãm ngược. Dòng điện hãm ngược được tính như sau:

$$U = E_h + R_{\Sigma} I_h \quad (2-62)$$

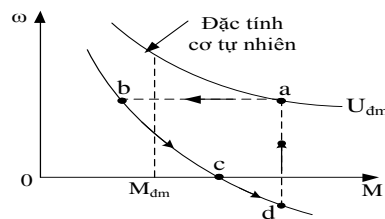
Xét đoạn cd Hình 2.21 ta có:

$$E_h = -KK' I_h \omega_h \quad (2-63)$$

Dòng điện hãm trong trường hợp này là:

$$I_h = \frac{U + KK' I_h \omega_h}{R_{\Sigma}} \quad (2-64)$$

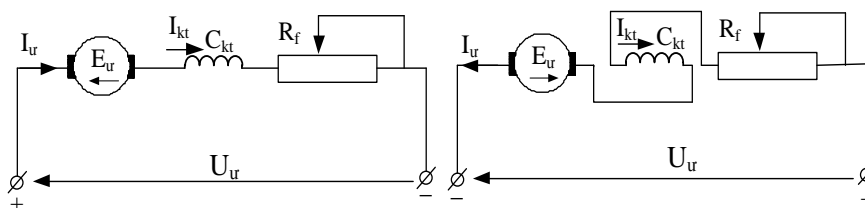
Đặc tính cơ hãm ngược với  $R_f$  trong mạch được trình bày trên Hình 2.21



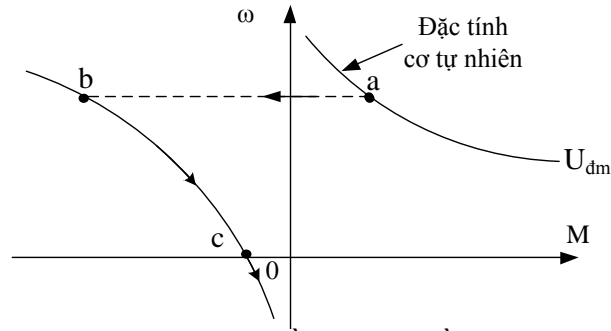
**Hình 2.21:** Đặc tính cơ hãm ngược với  $R_f$  trong mạch phản ứng

#### 3.1.2. Hãm ngược bằng đảo chiều điện áp đặt vào phản ứng.

Sơ đồ nguyên lý và đặc tính cơ khi hãm được biểu diễn trên Hình 2.22. Chú ý rằng khi thực hiện hãm, chiều dòng điện kích từ cần giữ nguyên. Người ta thường sử dụng trạng thái hãm này để hãm dừng máy.





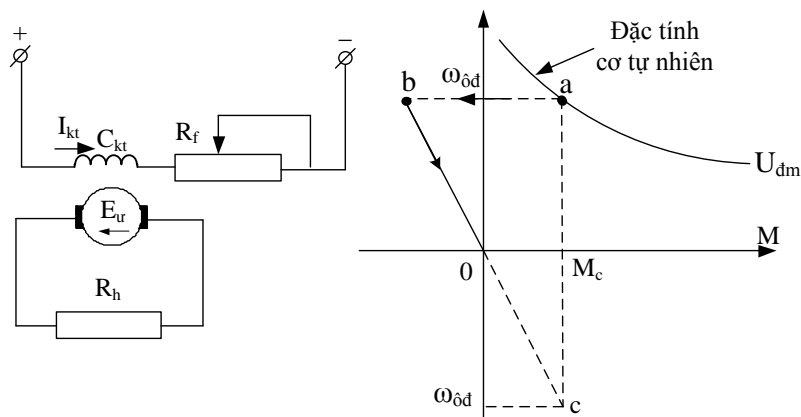


**Hình 2.22:** Đặc tính cơ hãm ngược bằng đảo chiều cực tính điện áp phân ứng.

3.2. Trạng thái hãm động năng

3.2.1. Hãm động năng kích từ độc lập

Khi động cơ đang quay, muốn thực hiện hãm ta cắt phần ứng động cơ khỏi nguồn điện một chiều và đóng điện trở hãm. Còn cuộn kích từ được nối vào lưới điện với một điện trở phụ sao cho dòng kích từ lúc này có chiều như cũ và trị số không đổi bằng dòng  $I_{ktđm}$ . Trạng thái hãm này giống như ở máy điện kích từ độc lập. Sơ đồ và đặc tính được thể hiện trên Hình 2.23



**Hình 2.23:** Sơ đồ nguyên lý và đặc tính cơ hãm động năng kích từ độc lập của động cơ kích từ nối tiếp

Phương trình đặc tính cơ khi hãm là:

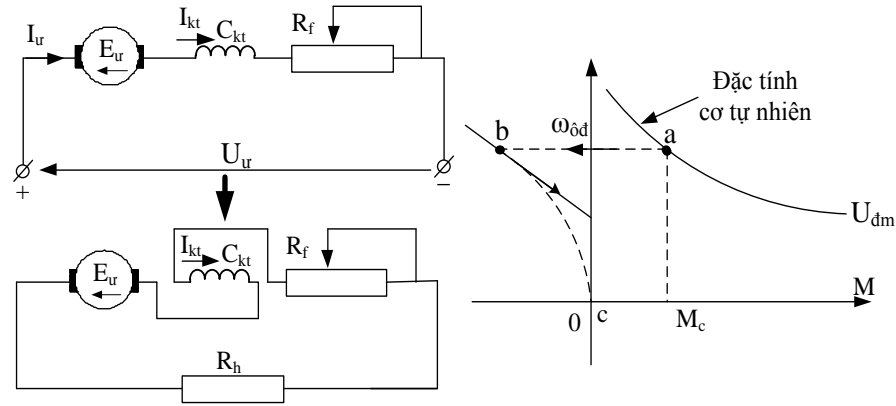
$$\omega = -\frac{R_u + R_h}{(K\Phi)^2} M \quad (2-65)$$

Điện trở hãm  $R_h$  được chọn sao cho dòng điện hãm ban đầu nằm trong giới hạn cho phép:

$$I_h = -\frac{K\Phi\omega}{R_u + R_h} = (2 \div 2.5) I_{đm} \quad (2-66)$$

3.2.2. Hãm động năng tự kích từ

Khi động cơ đang quay, muốn thực hiện hãm động năng tự kích từ ta cắt cả phần ứng lẫn cuộn kích từ khỏi lưới điện để đóng vào một điện trở hãm nhưng dòng kích từ vẫn giữ nguyên chiều cũ. Sơ đồ nguyên lý và đặc tính cơ hãm biểu diễn trên Hình 2.24



**Hình 2.24:** Sơ đồ nguyên lý và đặc tính cơ hãm động năng tự kích từ của động cơ một chiều kích từ nối tiếp

Phương trình đặc tính cơ khi hãm là:

$$\omega = -\frac{R_{\Sigma}}{(K\Phi)^2} M \quad (2-67)$$

Khi đó từ thông kích từ giảm dần trong quá trình hãm động năng tự kích từ.

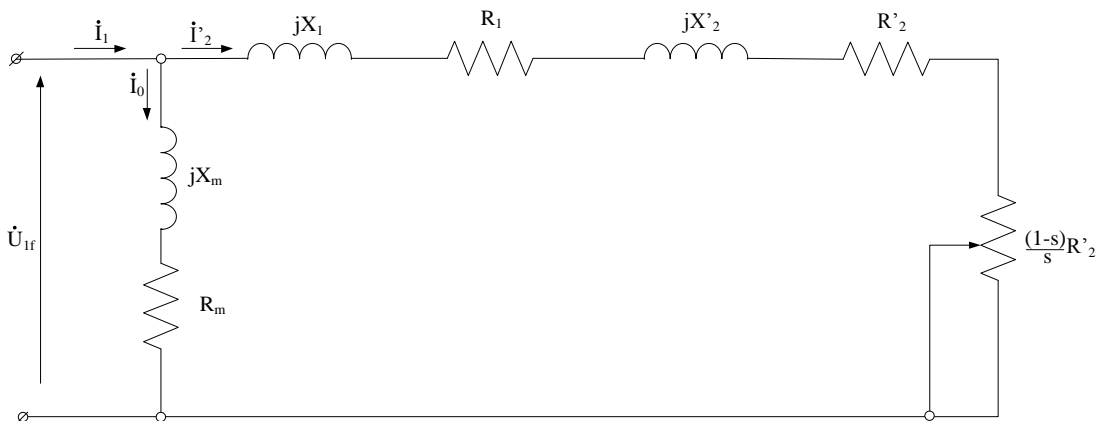
### III. Đặc tính cơ của động cơ điện không đồng bộ ba pha

Động cơ điện cảm ứng ba pha được gọi là động cơ điện không đồng bộ. Nó được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp vì có cấu tạo đơn giản vận hành chắc chắn, giá thành hạ so với động cơ điện một chiều.

Xét về mặt cấu tạo của rotor, ta chia động cơ không đồng bộ ra làm hai loại: động cơ rotor dây quấn và động cơ rotor lồng sóc.

#### 1. Phương trình đặc tính cơ

Để thành lập phương trình đặc tính cơ của động cơ điện không đồng bộ, ta dùng sơ đồ nguyên lý và sơ đồ đẳng trị một pha như Hình 2.25



**Hình 2.25:** Sơ đồ đẳng trị một pha của động cơ không đồng bộ ba pha.

Trên hình vẽ

$U_{1f}$  -Điện áp đặt lên một pha của động cơ.

$I_1$  -Dòng điện của cuộn dây stator

$I_2$  -Dòng điện rotor.

$I'_2$  -Dòng điện của rotor quy đổi về stator

$$I_2' = k_I \cdot I_2$$

$k_I$  -Hệ số biến đổi dòng điện:

$$k_I = 1/k_e$$

Trong đó:

$K_e$  -Hệ số biến đổi sức động điện một cách gần đúng ta có thể tính:

$$K_e = \frac{E_{1\text{đmpha}}}{E_{2\text{đmpha}}} \quad (2-68)$$

Với

$E_{1\text{đmpha}}$ : Sức điện động định mức đặt lên một pha của cuộn dây stator.

$E_{2\text{đmpha}}$ : Sức điện động định mức của 1 pha rotor khi rotor không quay.

$I_0$ : Dòng điện từ hoá của động cơ

$X_1, R_1$ : Điện kháng và điện trở của cuộn dây stator

$X_2', R_2'$ : Điện kháng và điện trở của cuộn dây rotor đã quy đổi về stator.

$$\begin{cases} R_2' = k_r R_2 \\ X_2' = k_x X_2 \\ k_r = k_x = \frac{k_e}{k_I} = K_e^2 \end{cases} \quad (2-69)$$

Với

$X_m, R_m$ : Điện kháng và điện trở của mạch từ hóa

$s$ : Hệ số trượt của động cơ

$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (2-70)$$

$\omega_1, n_1$ : Tốc độ góc và tốc độ quay đồng bộ của động cơ điện không đồng bộ

$\omega, n$ : Tốc độ góc và tốc độ quay của động cơ

$$\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} \text{ hay } n_1 = \frac{60f_1}{p} \quad (2-71)$$

$f_1$ : Tần số của nguồn điện (Hz)

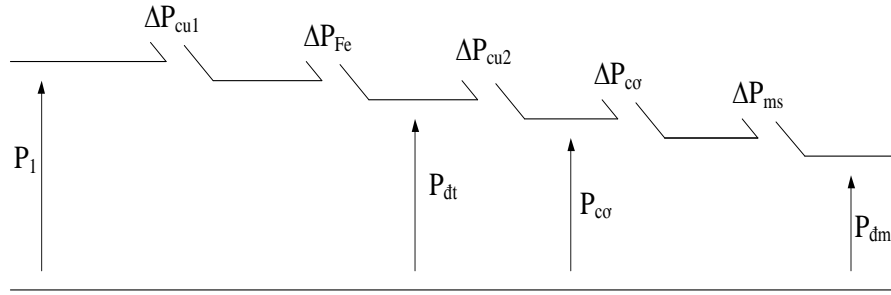
$p$ : Số đôi cực của động cơ

Từ mạch điện đẳng trị một pha ở Hình 2.25 ta viết được phương trình dòng điện rotor

$$I_2' = \frac{U_{1f}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (2-72)$$

Đó là phương trình nêu lên quan hệ giữa dòng điện rotor  $i_2$  với hệ số trượt  $s$  gọi là phương trình đặc tính tốc độ của động cơ không đồng bộ.

Xác định mômen ta dựa vào giản đồ tổn thất công suất trong động cơ.



Hình 2.26: Giảm đồ tổn thất công suất trong động cơ.

Ta có:

$$\begin{cases} P_{dt} - \Delta P_{cu2} = P_{cơ} \\ P_{dt} = M_{dt} \cdot \omega_1 \\ P_{cơ} = M_{cơ} \cdot \omega \end{cases} \quad (2-73)$$

Bỏ qua tổn thất trên rotor động cơ nghĩa là xem mômen điện từ bằng mômen quay của nó nghĩa là  $M_{dt} = M_{cơ} = M$  khi đó ta có công thức sau:

$$\begin{cases} P_{dt} - P_{cơ} = \Delta P_{cu2} \leftrightarrow M \cdot \omega_1 - M \cdot \omega = 3R_2' I_2'^2 \\ M = \frac{3R_2' I_2'^2}{\frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} \omega_1} = \frac{3R_2' I_2'^2}{s \omega_1} \end{cases} \quad (2-74)$$

Thay (2-72) vào (2-74) ta được:

$$M = \frac{3U_{1f}^2 R_2'}{\omega_1 s \left[ \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]} \quad (2-75)$$

Trong đó:

$\omega_1$ : Vận tốc góc của từ trường quay (rad/s).

$\omega$ : Vận tốc góc của động cơ (rad/s).

$X_n = X_1 + X_2'$ : Điện kháng ngắn mạch ( $\Omega$ )

Phương trình (2-75) là phương trình đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ ba pha.

Qua một số phép tính trung gian và biến đổi (2-75) ta có phương trình đặc tính cơ ở một dạng khác:

$$M = \frac{2M_{th} + (1 + \epsilon)}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s} + 2\epsilon} \quad (2-76)$$

Trong đó  $M_{th}$  mômen tới hạn (còn gọi là mô men cực đại) của động cơ

$$M_{th} = \pm \frac{3U_{1f}^2}{2\omega_1 \left( R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_n^2} \right)^2} \quad (2-77)$$

$s_{th}$ : Hệ số trượt tới hạn (hệ số trượt ứng với mô men cực đại) của động cơ

$$s_{th} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_n^2}} \quad (2-78)$$

$$\varepsilon = \frac{R_1}{\sqrt{R_1^2 + X_n^2}} \quad (2-79)$$

Thường trong động cơ không đồng bộ trị số  $R_1$  bé hơn rất nhiều so với  $X_n$ , có giá trị khoản  $(0,1 \div 0,12)X_n$  nên trong phép tính gần đúng ta xem  $\varepsilon = 0$  và ta có phương trình đặc tính cơ ở dạng đơn giản nhất:

$$M = \frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \quad (2-80)$$

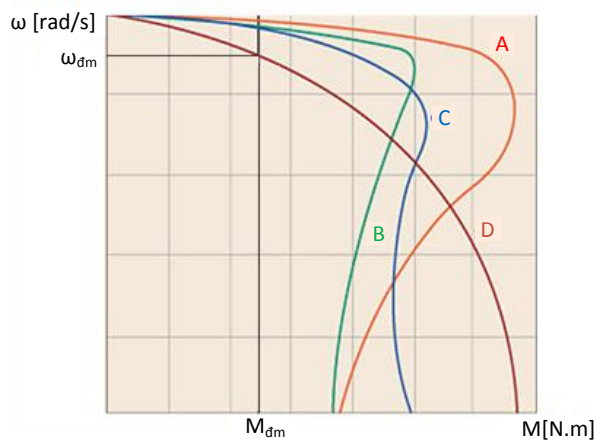
Với:  $M_{th} = \pm \frac{3U_{1f}^2}{2\omega_1 X_n}$  ;  $s_{th} = \pm \frac{R_2'}{X_n}$  (2-81)

Ngoài ra  $s_{th}$  còn được tính theo công thức:

$$s_{th} = s_{dm} (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}) \quad (2-82)$$

$\lambda_m = \frac{M_{th}}{M_{dm}}$ : Bội số dòng điện

Trên Hình 2.27 ta vẽ đường đặc tính cơ của động cơ của động cơ điện không đồng bộ  $M = f(s)$



**Hình 2.27:** Đặc tính cơ của động cơ điện không đồng bộ

A: Động cơ có mômen tới hạn cao, hệ số trượt định mức thấp dùng trong hệ truyền động máy ép, máy phun...

B: Loại thông dụng, được sử dụng rộng rãi trong thực tế.

C: Dùng trong các truyền động có mômen khởi động lớn như băng tải, than cuốn...

D: Có hệ số trượt định mức lớn, dùng trong cơ cấu nâng hạ hoặc các tải có chu kỳ như máy đột dập...

**Ví dụ 2.7:**

Một động cơ xoay chiều không đồng bộ ba pha có các thông số sau:  $P_{đm}=7,5\text{KW}$ ,  $n_{đm}= 945\text{vòng/phút}$ ,  $f=50\text{Hz}$ ,  $\lambda_m=2,5$ ,  $2p=6$ ,  $I_{đm}=20\text{A}$ ,  $U_{đm}=380\text{V}$ .

Hãy xác định mômen mở máy của động cơ khi mở máy trực tiếp.

Tốc độ của động cơ khi động cơ làm việc trên đặc tính cơ tự nhiên với  $M_C=0,8M_{đm}$ .

**Bài giải:**

Quy đổi tốc độ định mức của động cơ sang vận tốc góc định mức:

$$\omega_{đm} = \frac{2\pi n_{đm}}{60} = \frac{2\pi \cdot 945}{60} = 98,96 \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

Mômen định mức của động cơ:

$$M_{đm} = \frac{P_{đm}}{\omega_{đm}} = \frac{1000 \cdot 7,5}{98,96} = 75,8 \text{ (N.m)}$$

Mômen tới hạn (mômen cực đại) của động cơ:

$$M_{th} = \lambda_m \cdot M_{đm} = 2,5 \cdot 75,8 = 189,5 \text{ (N.m)}$$

Tốc độ đồng bộ của động cơ được tính theo biểu thức:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \left( \frac{\text{vòng}}{\text{phút}} \right)$$

Hệ số trượt định mức:

$$s_{đm} = \frac{n_1 - n_{đm}}{n_1} = \frac{1000 - 945}{1000} = 0,055$$

Hệ số trượt tới hạn:

$$s_{th} = s_{đm} (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}) = 0,055 \cdot (2,5 + \sqrt{2,5^2 - 1}) = 0,26$$

a) Khi mở máy trực tiếp ta có  $s = 1$ , thay vào phương trình đặc tính cơ để tìm Mômen khởi động:

$$M = \frac{2M_{th}}{\frac{1}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{1}} = \frac{2 \cdot 189,5}{\frac{1}{0,26} + 0,26} = 92,3 \text{ (N.m)}$$

b) Phương trình đặc tính cơ của ĐCKĐB:

$$M_C = \frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \rightarrow s^2 - \frac{2M_{th}}{M_C} s_{th} \cdot s + s_{th}^2 = 0 \leftrightarrow s^2 - \frac{2 \cdot 189,5}{0,8 \cdot 75,8} \cdot 0,26 \cdot s + 0,26^2 = 0$$

Ta có phương trình bậc 2 với ẩn số là  $s$ , giải phương trình ta có 2 nghiệm:

$$s^2 - 1,625 \cdot s + 0,0676 = 0 \rightarrow \begin{cases} s_1 = 1,58 \\ s_2 = 0,04 \end{cases}$$

Trong 2 nghiệm trên ta chọn nghiệm  $s = 0,04$  và loại nghiệm  $s = 1,58$  vì ta thấy trên đặc tính cơ, khi  $M_C < M_{đm}$  thì  $s < s_{đm}$  nên ta chọn nghiệm  $s = 0,04 < s_{đm} = 0,055$

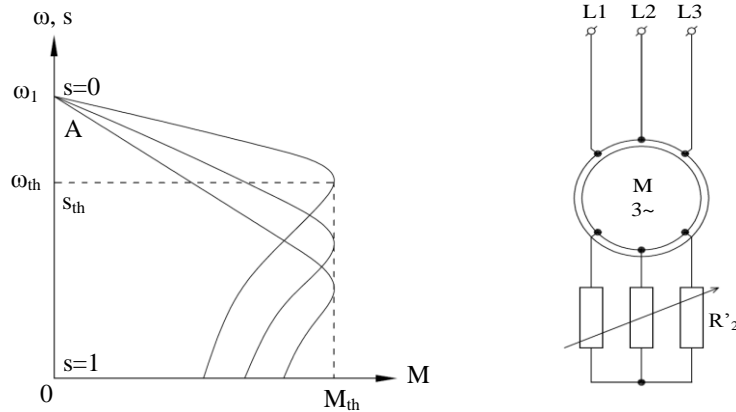
Từ hệ số trượt vừa tính được ta suy ra tốc độ của động cơ:

$$s_{đm} = \frac{n_1 - n_{đm}}{n_1} = \frac{1000 - 945}{1000} = 0,055$$

$$s_{dm} = \frac{n_1 - n_{dc}}{n_1} \rightarrow n_{dc} = n_1(1-s) = 1000(1-0,04) = 960 \left( \frac{\text{vòng}}{\text{phút}} \right)$$

## 2. Ảnh hưởng các thông số đến đặc tính cơ

### 2.1. Ảnh hưởng điện trở trong mạch rotor.



**Hình 2.28:** Họ đặc tính cơ của động cơ điện không đồng bộ khi thay đổi điện trở phía rotor.

Trường hợp này chỉ có đối với động cơ rotor dây quấn vì mạch rotor có thể nối với điện trở ngoài qua 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  $\omega_1$  và mômen tới hạn  $M_{th}$  giữ nguyên.

#### Ví dụ 2.8:

Cho động cơ không đồng bộ ba pha Rotor dây quấn, đấu dạng tam giác với các thông số sau: 400V, 6 cực, 50Hz,  $R'_2 = 0,2\Omega$ ,  $X'_2 = 1\Omega$ . Tải là quạt và chạy ở chế độ định mức với độ trượt 4%. Xác định điện trở phụ thêm vào Rotor để động cơ đạt tốc độ 850 vòng/phút. Giả thiết bỏ qua điện trở và trở kháng mạch Stator. Tỉ số vòng dây cuộn Stator và Rotor là 2,2.

#### Bài giải:

Ta có:

$$\begin{aligned} s_{dm} &= 4\% = 0,04 \\ \omega_1 &= \frac{2\pi f}{p} = 104,72 \text{ rad/s} \\ M_{dm} &= \frac{3U_{1f}^2 R'_2}{\omega_1 s_{dm} \left[ \left( R_1 + \frac{R'_2}{s_{dm}} \right)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]} = \frac{3U_{1f}^2 R'_2}{\omega_1 s_{dm} \left[ \left( \frac{R'_2}{s_{dm}} \right)^2 + (X'_2)^2 \right]} \\ &= \frac{3 \cdot 400^2 \cdot 0,2}{104,72 \cdot 0,04 \left[ \left( \frac{0,2}{0,04} \right)^2 + 1^2 \right]} = 881,47 \text{ N.m} \end{aligned}$$

Do tải là quạt nên:  $M = K\omega^2$

Khi tải chạy ở chế độ định mức:  $M_{dm} = K[\omega_1(1-s_{dm})]^2 \rightarrow K = 0,0872$

Khi động cơ chạy ở tốc độ  $n=850$  v/ph  $\rightarrow \omega = \frac{n}{9,55} = 89$  rad/s

$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} = \frac{104,72 - 89}{104,72} = 0,15$$

Mômen lúc đó là  $M = K\omega^2 = 0,0872 \times 89^2 = 690,7$  N.m

Khi thêm điện trở phụ vào rô-to:

$$M = \frac{3U_{1f}^2(R_2' + R_f')}{\omega_1 s \left[ \left( \frac{R_2' + R_{ph}'}{s} \right)^2 + (X_2')^2 \right]} \leftrightarrow 691 = \frac{3 \times 400^2 (0,2 + R_f')}{104,72 \cdot 0,15 \left[ \left( \frac{R_2' + R_f'}{s} \right)^2 + 1 \right]}$$

Đặt  $X = \frac{0,2 + R_f'}{0,15}$  ta có:

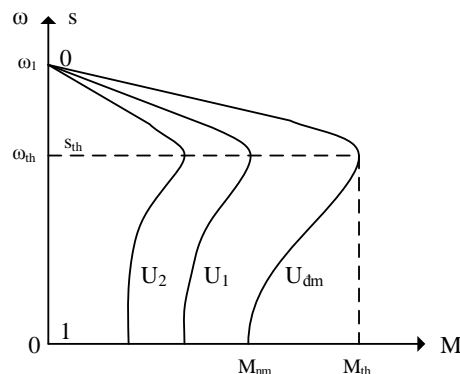
$$X^2 - 6,633X + 1 = 0 \rightarrow X_1 = 6,478; X_2 = 0,1545$$

Dễ dàng suy ra:  $R_f' = 0,77\Omega$

Điện trở phụ thực tế thêm vào:  $R_f = \frac{0,77}{2,2^2} = 0,159\Omega$

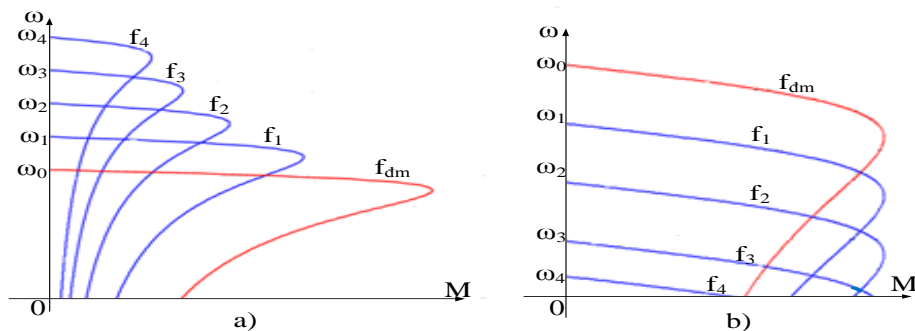
### 2.2. Ảnh hưởng điện áp trong mạch Stator.

Điện áp  $U_{1f}$  đặt vào Stator động cơ chỉ có thể thay đổi về phía giảm. Khi  $U_{1f}$  giảm thì mômen tới hạn  $M_{th}$  sẽ giảm theo bình phương của tỉ số  $U_{1fdm}/U_{1f}$ , còn tốc độ đồng bộ  $\omega_1$  và độ trượt tới hạn  $s_{th}$  không thay đổi. Các đặc tính cơ khi giảm điện áp như hình 2.29.



**Hình 2.29:** Họ đặc tính cơ của động cơ điện không đồng bộ khi thay đổi điện áp

### 2.3. Ảnh hưởng tần số nguồn cung cấp.



**Hình 2.30:** Họ đặc tính cơ của động cơ điện không đồng bộ khi thay đổi tần số  
a) Tần số lớn hơn tần số định mức    b) Tần số nhỏ hơn tần số định mức.



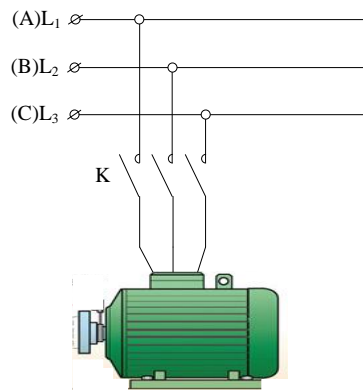
Lưu ý: khi thay đổi tần số nhỏ hơn định mức ta phải thay đổi điện áp sao cho  $U/f = \text{const}$ .

Như vậy mômen tới hạn  $M_{th}$  sẽ giữ không đổi ở vùng  $f < f_{dm}$ , khi  $f > f_{dm}$  thì không được tăng điện áp nguồn cấp mà giữ  $U_1 = \text{const}$ . Mômen tới hạn  $M_{th}$  sẽ giảm tỉ lệ nghịch với bình phương tần số.

$$\begin{cases} s_{th} \sim \frac{1}{f} \\ M_{th} \sim \frac{1}{f^2} \end{cases} \quad (2-83)$$

### 3. Khởi động động cơ không đồng bộ.

#### 3.1. Khởi động trực tiếp



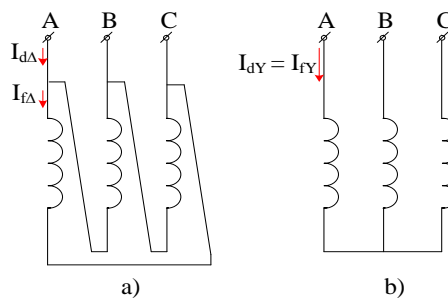
Hình 2.31: Sơ đồ nguyên lý mở máy trực tiếp động cơ không đồng bộ ba pha.

Các tính chất:

- Điều khiển đơn giản, đóng các pha động cơ trực tiếp vào ba pha nguồn bằng công tắc cơ khí.
- Dòng khởi động lớn có thể gây sụt áp lưới điện quá mức cho phép, đặc biệt khi động cơ có công suất lớn.
- Mômen khởi động chứa thành phần xung khá lớn, có thể gây sốc cơ học, động cơ khởi động không êm.

#### 3.2. Khởi động Sao - Tam giác

- Áp dụng cho các động cơ hoạt động được ở chế độ tam giác khi đầu nối vào lưới điện.
- Sơ đồ mạch điện (Hình 2.32)



Hình 2.32: Sơ đồ nguyên lý khởi động chế độ tam giác (a) và chế độ sao (b)

- Khi khởi động ở chế độ  $\Delta$ , dòng khởi động trong các pha của động cơ là:

$$I_{f\Delta} = \frac{\sqrt{3}U_{1f}}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} \quad (2-84)$$

- Khi đó dòng điện khởi động của động cơ sẽ là:

$$I_{kd\Delta} = \sqrt{3}I_{f\Delta} \rightarrow I_{f\Delta} = \frac{I_{kd\Delta}}{\sqrt{3}} \quad (2-85)$$

- Khi khởi động chế độ sao:

$$I_{dY} = I_{fY} = I_{kdY} = \frac{U_{1f}}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} \quad (2-86)$$

Từ công thức (2-84), (2-85) và (2-86) ta có:

$$I_{kdY} = \frac{I_{f\Delta}}{\sqrt{3}} = \frac{I_{kd\Delta}}{3}$$

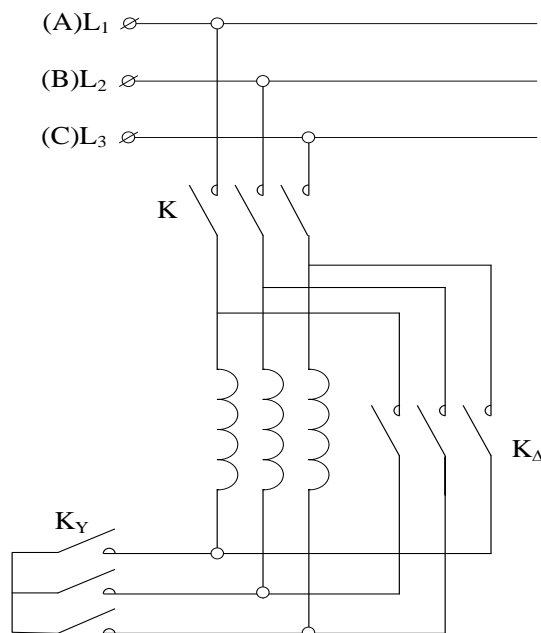
Bên cạnh đó:

$$M_{kd\Delta} = \frac{3}{\omega_1} \frac{3U_{1f}^2}{[(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2]} R'_2 \quad (2-87)$$

$$M_{kdY} = \frac{3}{\omega_1} \frac{U_{1f}^2}{[(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2]} R'_2 \quad (2-88)$$

Như vậy khi động cơ khởi động chế độ sao và làm việc ở chế độ  $\Delta$  thì:

$$\begin{cases} I_{kdY} = \frac{I_{kd\Delta}}{3} \\ M_{kdY} = \frac{M_{kd\Delta}}{3} \end{cases} \quad (2-89)$$



**Hình 2.33:** Sơ đồ nguyên lý khởi động Sao – Tam giác động cơ không đồng bộ ba pha.

### 3.3. Khởi động dùng biến áp tự ngẫu

Nếu không sử dụng máy biến áp tự ngẫu và khởi động trực tiếp, dòng điện qua lưới nguồn và mômen động cơ được xác định theo hệ thức:

$$I_{Lkd} = I_{kd} = \frac{U_{1f}}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} \quad (2-90)$$

$$\Rightarrow M_{kd} = \frac{3}{\omega_1} \frac{U_{1f}^2}{[(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2]} R'_2 \quad (2-91)$$

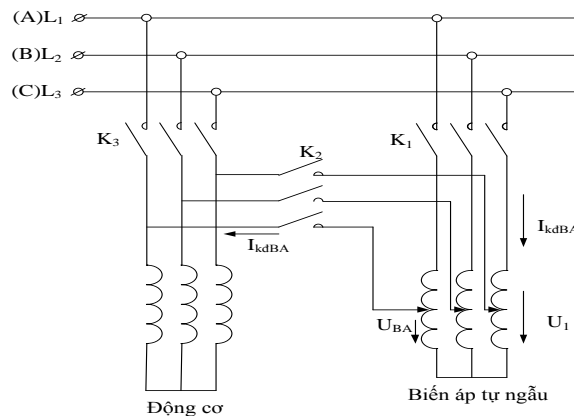
Nếu sử dụng máy biến áp tự ngẫu, điện áp khởi động giảm xuống còn  $n \cdot U_{1f}$ , với  $n < 1$ . Ta có:

$$I_{kdMBA} = \frac{U_{BA}}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} \quad (2-92)$$

$$U_{BA} = nU_{1f} \Rightarrow I_{kdBA} = nI_{kd}$$

$$\Rightarrow M_{kdBA} = \frac{3}{\omega_1} \frac{n^2 U_{1f}^2}{[(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2]} R'_2 = n^2 M_{kd} \quad (2-93)$$

Giả sử máy biến áp không tiêu hao công suất và hệ số công suất phía sơ và thứ cấp bằng nhau:  $3 \cdot U_{1f} \cdot I_{IfkdBA} = 3 \cdot U_{BA} \cdot I_{kdBA} \Rightarrow I_{IfkdBA} = n I_{kdBA} = n^2 I_{kd}$



**Hình 2.34:** Sơ đồ nguyên lý khởi động động cơ không đồng bộ ba pha dùng BATN.

**Ví dụ 2.9:**

Cho động cơ không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc đầu theo dạng tam giác 2200V; 2600kW; 735v/ph; 50Hz; 8 cực;

$R_1 = 0,075\Omega$ ;  $R_2' = 0,1 \Omega$ ;  $X_1 = 0,45 \Omega$ ;  $X_2' = 0,55 \Omega$ .

- Xác định độ lớn dòng điện khởi động và tính tỉ số giữa mô-men khởi động với mô-men định mức khi động cơ khởi động sao-tam giác.
- Tính tỉ số  $n$  của máy biến áp tự ngẫu khi khởi động dùng máy biến áp tự ngẫu để giới hạn dòng khởi động ở mức 2 lần giá trị dòng định mức. Mômen khởi động khi ấy bằng bao nhiêu?

**Bài giải:**

Ta có:

$$n_1 = \frac{60f}{p} = 750 \text{ v/ph} \rightarrow \omega_1 = \frac{n_1}{9,55} = 78,54 \text{ rad/s}$$

$$s_{dm} = \frac{n_1 - n_{dm}}{n_1} = \frac{750 - 735}{750} = 0,02$$

Dòng điện pha định mức:

$$I_{fdm} = \frac{U_{1f}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{dm}}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \frac{2200}{\sqrt{\left(0,075 + \frac{0,1}{0,02}\right)^2 + 1^2}} = 425,3 \text{ A}$$

Dòng điện cấp cho động cơ:  $I_{ddm} = 425,3\sqrt{3} = 736,7 \text{ A}$

$$M_{dm} = \frac{3I_f^2 R_2'}{\omega_1 s_{dm}} = \frac{3 \cdot 425,3^2 \cdot 0,1}{78,54 \cdot 0,02} = 34545,5 \text{ Nm}$$

Khi động cơ khởi động ở chế độ sao:

$$I_{kdY} = \frac{U_{1f}}{\sqrt{(R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \frac{2200/\sqrt{3}}{\sqrt{0,175^2 + 1^2}} = 1251 \text{ A}$$

$$M_{kd} = \frac{3I_{kd}^2 R_2'}{\omega_1} = \frac{3 \times 1251^2 \times 0,1}{78,54} = 5979,3 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_{kd}}{M_{dm}} = \frac{5979,3}{34545,5} = 0,173$$

b) Dòng khởi động trực tiếp khi không dùng MBA tự ngẫu

$$I_{kd} = \frac{2200\sqrt{3}}{\sqrt{0,175^2 + 1}} = 3753,5 \text{ A}$$

Gọi n là tỉ số MBA, ta có

$$n^2 \times I_{kd} = 2 \times I_{ddm} \rightarrow n = \sqrt{\frac{2 \times 736,7}{3753,5}} = 0,627$$

Dòng khởi động:  $I_{kdBA} = n \cdot I_{kd} = 0,627 \cdot 3753,5 = 2353 \text{ A}$

Dòng khởi động qua một pha động cơ:  $I_{kd} = \frac{2350}{\sqrt{3}} = 1356,7 \text{ A}$

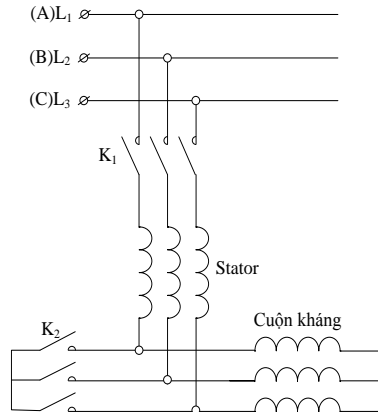
Mômen khởi động:  $M_{kd} = \frac{3I_{kd}^2 R_2'}{\omega_1} = \frac{3 \times 1356,7^2 \times 0,1}{78,54} = 7031 \text{ Nm}$

### 3.4. Khởi động dùng cuộn kháng hoặc điện trở phụ trong mạch Stator.

Xem sơ đồ Hình 2.34 điện kháng phụ thêm nối tiếp vào cuộn stator. Dòng qua stator (qua nguồn) và mômen lúc khởi động là:

$$I_{kd} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2' + X_{ph})^2}} \quad (2-94)$$

$$\Rightarrow M_{kd} = \frac{3}{\omega_1} \frac{U_1^2}{[(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2 + X_{ph})^2]} R'_2 \quad (2-95)$$



**Hình 2.35:** Sơ đồ nguyên lý khởi động động cơ không đồng bộ ba pha dùng cuộn kháng.

### 3.5. Khởi động mềm (soft starter)

Hiện nay là phương pháp hiện đại, áp dụng cho động cơ công suất vừa và lớn. Điện áp stator được điều khiển thay đổi liên tục theo thời gian (Hình 2.35). Điện áp stator được điều khiển bởi bộ biến đổi điện áp xoay chiều thông qua điều khiển góc kích của thyristor. Sơ đồ khởi động mềm dùng bộ biến đổi áp ac thể hiện trên Hình 2.35.

Mạch sử dụng công tắc bán dẫn để thực hiện đóng điện (SCR, Triac)

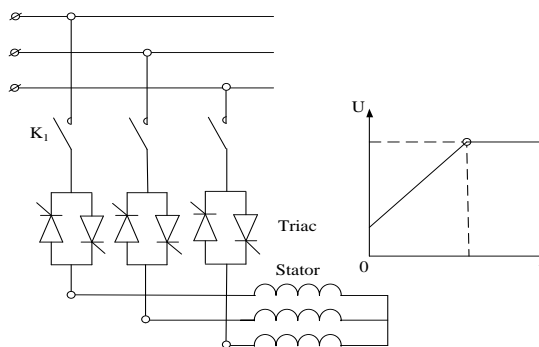
Ưu điểm:

- Mômen khởi động thay đổi mềm (như mômen động cơ một chiều)
- Không chế được dòng khởi động
- Đáp ứng nhanh khi đóng và ngắt
- Không có vấn đề phát sinh hồ quang

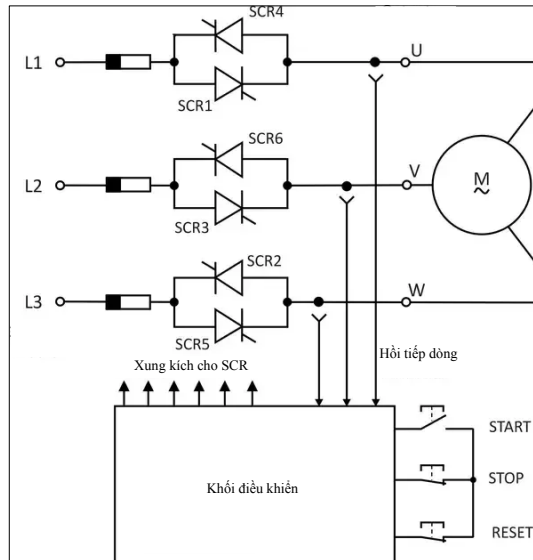
Nhược điểm:

- Mạch công suất sử dụng linh kiện bán dẫn nên dẫn điện không hoàn toàn khi đóng dẫn đến tổn hao nhiệt.
- Tương tự, linh kiện bán dẫn ngắt điện không hoàn toàn dẫn đến không hoàn toàn cách ly khi ngắt điện

⇒ sử dụng kết hợp công tắc bán dẫn với công tắc cơ khí.



**Hình 2.36:** Sơ đồ nguyên lý khởi động mềm động cơ không đồng bộ ba pha



Hình 2.37: Nguyên lý điều khiển khởi mềm động cơ không đồng bộ ba pha

#### 4. Đặc tính cơ ở các trạng thái hãm

Động cơ xoay chiều không đồng bộ cũng có các phương pháp hãm điện tương tự như động cơ điện một chiều.

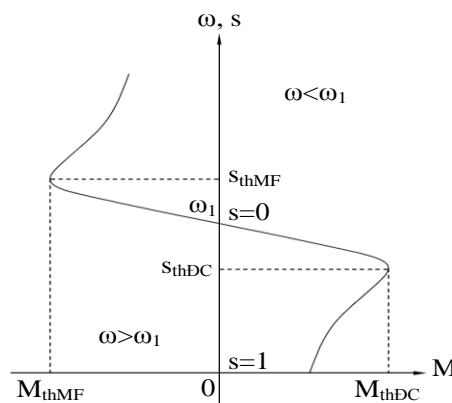
##### 4.1. Hãm tái sinh:

Khi tốc độ động cơ  $\omega_D$  lớn hơn tốc độ đồng bộ  $\omega_1$  thì động cơ làm việc ở chế độ hãm tái sinh.

Khi làm việc ở trạng thái động cơ, từ trường quay cắt ngang các thanh dẫn stator và rotor theo chiều như nhau nên các sức điện động stator  $E_1$  và rotor  $E_2$  trùng pha nhau, còn khi hãm tái sinh, do  $\omega_D > \omega_1$  nên các thanh dẫn rotor cắt từ trường quay theo chiều ngược lại, vì vậy  $E_1$  không đổi chiều, còn  $E_2$  có chiều ngược lại với trước đó.

Dòng điện rotor có giá trị:

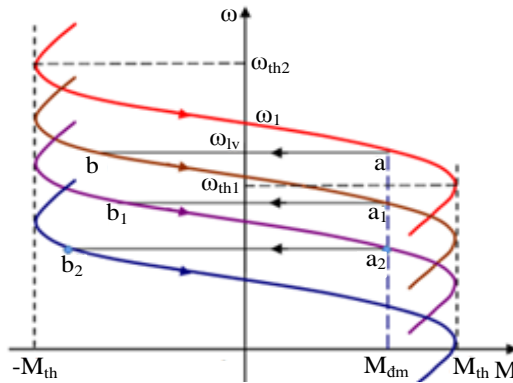
$$\begin{aligned} \dot{i}_2 &= \frac{s \cdot E_2}{R_2 + jsX_2} = \frac{s \cdot E_2}{R_2 + jsX_2} \cdot \frac{R_2 - jsX_2}{R_2 - jsX_2} \\ \dot{i}_2 &= \frac{s \cdot E_2 R_2}{R_2^2 + s^2 X_2^2} - j \frac{s \cdot E_2 X_2}{R_2^2 + s^2 X_2^2} \end{aligned} \quad (2-96)$$



Hình 2.37: Đặc tính cơ hãm tái sinh động cơ không đồng bộ ba pha

Do lúc hãm tái sinh  $s < 0$  nên chỉ có thành phần tác dụng của  $I_2$  đổi chiều nên mômen đổi chiều, còn thành phần phản kháng vẫn giữ nguyên chiều cũ. Động cơ hoạt động như một máy phát điện song song với lưới, trả công suất tác dụng về lưới, đồng thời tiêu thụ công suất phản kháng để duy trì từ trường quay và tạo ra mômen hãm ngược chiều quay động cơ.

Các động cơ không đồng bộ thay đổi tốc độ bằng cách điều chỉnh tần số nguồn hoặc số đôi cực, khi giảm tốc đều có thể hãm tái sinh.

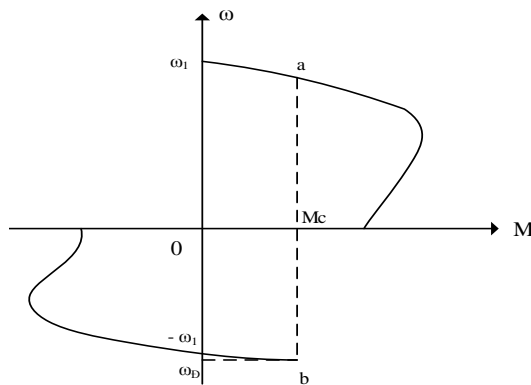


**Hình 2.38:** Đặc tính cơ hãm tái sinh động cơ không đồng bộ ba pha khi giảm tần số

$$s_{hts} = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} < 0 \quad (2-97)$$

$$M_{hts} = \frac{3}{s_{hts} \cdot \omega_1} \cdot \frac{U_{1f}^2 R_2'}{\left(\omega_1 + \frac{R_2'}{s_{hts}}\right)^2 + X_n^2} \quad (2-98)$$

Các động cơ không đồng bộ làm việc với tải thế năng, khi hạ tải với tốc độ cao  $\omega_D > -\omega_1$  cũng có thể thực hiện hãm tái sinh.



**Hình 2.39:** Đặc tính cơ hãm tái sinh động cơ không đồng bộ ba pha khi hạ tải với tải thế năng

Vì tốc độ động cơ lúc hãm rất lớn nên hãm tái sinh không hãm dừng được mà chỉ hãm ghìm.

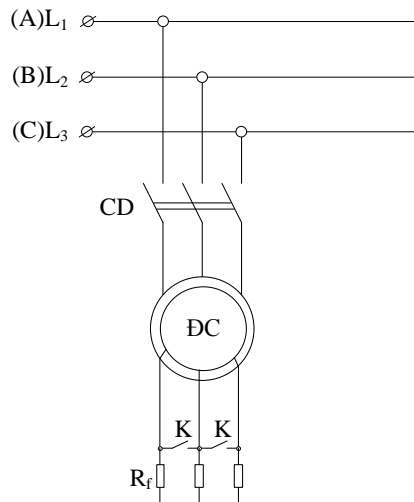
Hệ số trượt tới hạn và mômen trong trường hợp này là:

$$s_{th} = - \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_n^2}} \quad (2-99)$$

$$M_{th} = - \frac{3U_1^2}{2\omega_1 \left( R_1 - \sqrt{R_1^2 + X_n^2} \right)} \quad (2-100)$$

#### 4.2. Hãm ngược:

##### 4.2.1. Hãm ngược nhờ đóng điện trở phụ vào mạch rotor:

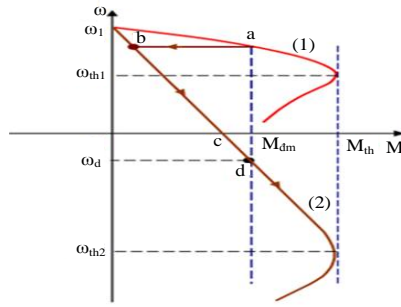


**Hình 2.41:** Sơ đồ nguyên lý hãm ngược động cơ không đồng bộ ba pha khi thêm điện trở vào mạch rotor

Động cơ đang làm việc đối với tải thế năng, để thực hiện hãm, ta đóng điện trở phụ có giá trị đủ lớn  $R_f$  vào mạch rôto, động cơ sẽ chuyển sang đường đặc tính cơ mới với độ cứng giảm xuống, tốc độ giảm nhanh về 0 rồi đổi dấu tăng dần theo chiều ngược lại.

Phương pháp này chỉ áp dụng cho động cơ rotor dây quấn truyền động cho các tải thế năng. Ví dụ trong một cơ cấu nâng-hạ, động cơ đang nâng tải tại điểm a với tốc độ  $\omega_a$  trên đường đặc tính cơ (1) ở góc phần tư thứ I (Hình 2.40). Để dừng và hạ tải xuống, đóng điện trở phụ có giá trị đủ lớn  $R_f$  vào mạch phần ứng, động cơ sẽ chuyển sang làm việc tại điểm b ở cùng tốc độ  $\omega_a$  trên đường đặc tính cơ (2) với độ dốc rất lớn (độ cứng giảm xuống). Khi đó mômen động cơ  $M_D = M_b < M_c$  nên động cơ giảm tốc độ. Tải vẫn được nâng lên nhưng với tốc độ giảm dần. Điểm làm việc của động cơ dịch từ b xuống c theo đặc tính (2). Tới c thì  $\omega = 0$ , động cơ dừng lại. Nhưng do trọng lượng kéo tải đi xuống ngược với chiều nâng tải ( $\omega < 0$ ). Do mômen động cơ sinh ra tại c là  $M_D < M_c$  nên động cơ tiếp tục dịch chuyển theo đặc tính hãm từ c tới d trong góc phần tư thứ IV. Tại d thì  $M_D = M_c$ , động cơ quay ổn định với tốc độ  $\omega_a$ , hãm ghìm để hạ tải xuống đều.

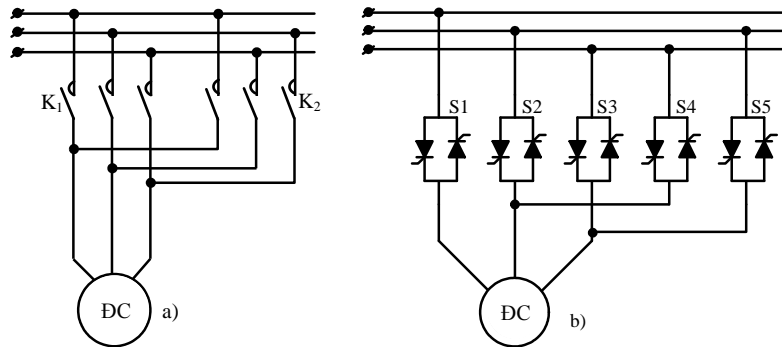




**Hình 2.42:** Đặc tính cơ động cơ không đồng bộ ba pha hãm ngược khi thêm điện trở phụ vào mạch rotor

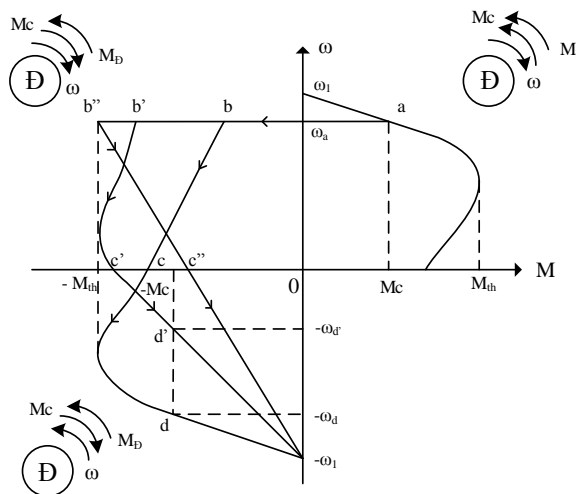
Ở chế độ này, mômen tải trọng là nguyên nhân làm hạ tải, còn mômen động cơ sinh ra là mômen gây cản trở chuyển động hạ tải xuống nên ngược chiều với tốc độ. Động cơ làm việc ở chế độ máy phát điện.

4.2.2. Hãm ngược bằng cách đảo chiều quay động cơ:



**Hình 2.43:** Sơ đồ nguyên lý hãm ngược động cơ không đồng bộ ba pha khi đảo chiều từ trường quay a) Sử dụng tiếp điểm b) Sử dụng linh kiện bán dẫn

Hãm ngược bằng cách đảo chiều quay động cơ được thực hiện thông qua việc đảo thứ tự hai trong ba pha cấp nguồn cho các pha dây quấn stator để đảo chiều từ trường quay, tải động cơ là tải phản kháng.



**Hình 2.44:** Đặc tính cơ động cơ không đồng bộ ba pha hãm ngược khi đảo chiều từ trường quay

Giả sử, động cơ rotor dây quấn đang làm việc với tải có mômen phản kháng tại điểm a trên đặc tính cơ tự nhiên (1) (Hình 2.42). Để hãm ngược, ta đảo chiều quay động cơ (nhờ đảo thứ tự cấp nguồn cho các dây quấn stator). Do quán tính cơ, động cơ chuyển điểm làm việc từ a trên đặc tính cơ (1) sang b trên đặc tính cơ (2) với cùng tốc độ  $\omega_a$ , và giảm tốc trên đặc tính (2). Tới điểm c thì  $\omega_D = 0$ , lúc này nếu cắt nguồn cung cấp thì động cơ sẽ dừng. Đoạn bc là đặc tính hãm ngược ( $M_D < 0$ ,  $\omega_D > 0$ ). Nếu không cắt nguồn khi  $\omega_D = 0$  thì do mômen động cơ có giá trị lớn hơn mômen cản  $M_D > M_C$  nên động cơ lại mở máy quay ngược và bắt đầu tăng tốc theo đặc tính cơ (2) trên góc phần tư thứ III để đến làm việc tại điểm d với tốc độ  $\omega_d$  ngược chiều với tốc độ trước khi hãm. Vì tải có tính phản kháng, hệ thống sẽ làm việc ổn định tại d.

Nhằm làm mềm đặc tính cơ hãm để tăng cường mômen hãm (sao cho  $M_h \approx 2,5M_{dm}$ ) và hạn chế dòng điện rotor, song song với quá trình hãm ta đưa thêm điện trở phụ  $R_f$  có giá trị đủ lớn vào mạch rotor (đối với động cơ rotor dây quấn), khi đó quá trình hãm động cơ ở trường hợp (2) sẽ diễn ra theo đặc tính cơ (3). Trường hợp điện trở phụ  $R_f$  quá lớn, động cơ thực hiện hãm ngược trên đặc tính (4) thì quá trình hãm kết thúc tại điểm c'', vì tại đó mômen động cơ nhỏ hơn mômen cản  $|M_D| < |M_C|$ , động cơ không thể tăng tốc chạy ngược được.

Giá trị điện trở phụ được xác định giá trị theo giá trị dòng điện hãm ban đầu tại b' hoặc b''.

Độ trượt rotor tại thời điểm xảy ra hãm ngược:

$$s_{hn} = \frac{\omega_1 + \omega}{\omega_1} = 1 + \frac{\omega}{\omega_1} \quad (2-101)$$

Mô men hãm ngược:

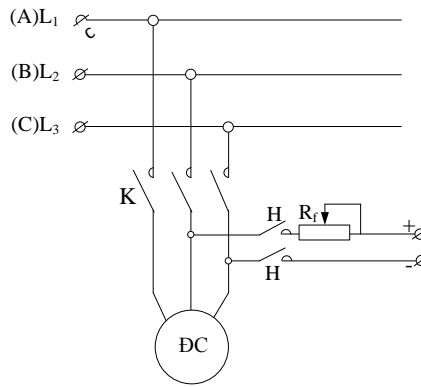
$$M_{hn} = -\frac{3}{s_{hn}\omega_1} \cdot \frac{U_{1f}^2(R_2' + R_f')}{[R_1 + (R_2' + R_f')]^2 + X_n^2} \quad (2-102)$$

### 4.3. Hãm động năng

Giống như động cơ một chiều, động cơ không đồng bộ cũng có 2 trạng thái hãm động năng là hãm động năng kích từ độc lập và hãm động năng tự kích từ.

#### 4.3.1. Hãm động năng kích từ độc lập.

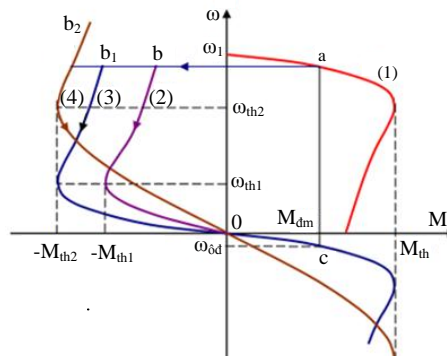
Trạng thái hãm động năng kích từ độc lập xảy ra khi động cơ đang làm việc, ta cắt mạch stator động cơ khỏi lưới điện xoay chiều rồi đóng vào nguồn một chiều để tạo ra từ trường không đổi trên stator (Từ trường này có thể điều chỉnh giá trị bằng cách thay đổi dòng kích từ nhờ  $R_f$  (Hình 2.45). Rotor của động cơ do quán tính vẫn tiếp tục quay theo chiều cũ, nên các thanh dẫn rotor cắt ngang từ trường đứng yên và sinh ra sức điện động cảm ứng  $e_2$ .



**Hình 2.45:** Sơ đồ nguyên lý hãm động năng kích từ độc lập động cơ không đồng bộ ba pha

Do rotor kín mạch nên xuất hiện dòng điện  $i_2$  chạy trong rotor. Chiều của dòng điện  $i_2$  và sức điện động  $e_2$  được xác định theo quy tắc bàn tay phải.

Dòng điện cảm ứng này lại tương tác với từ trường một chiều sinh ra lực điện từ ngược chiều quay rotor tạo thành mômen hãm làm tốc độ rotor giảm nhanh. Phần động năng còn lại chuyển hóa thành điện năng tiêu thụ trên tổng trở mạch rotor (bao gồm điện trở của dây quấn rotor và điện trở nối thêm vào mạch rotor (nếu có)).



**Hình 2.46:** Đặc tính cơ hãm động năng kích từ độc lập động cơ không đồng bộ ba pha

Giả sử trước khi hãm, động cơ làm việc tại điểm a trên đặc tính cơ (1) (Hình 2.46), khi hãm động năng nếu tải có tính phản kháng thì mômen hãm ban đầu sẽ rất nhỏ, động cơ chuyển sang làm việc tại điểm b trên đặc tính (2) ở góc phần tư thứ II, năng lượng động cơ tiêu hao nhanh chóng, nên tốc độ giảm nhanh trên đoạn bO (đặc tính hãm) và bằng 0 tại O.

Ngược lại, nếu tải có tính thế năng thì mômen hãm ban đầu có giá trị lớn hơn, động cơ bắt đầu quá trình hãm tại điểm  $b_1$  trên đặc tính (3). Vì mômen âm nên tốc độ động cơ giảm trên đoạn  $b'O$ , nhưng tại O, khi tốc độ bằng 0, trọng lượng tải sẽ kéo động cơ quay ngược theo đoạn đặc tính (3) trong góc phần tư thứ IV, động cơ tăng tốc theo chiều ngược lại cho đến điểm c có mômen động cơ cân bằng với mômen tải và ổn định tốc độ tại đó ( $\omega_{od}$ ) (quá trình hãm ghìm hạ tải xuống đều).

Điện trở phụ mạch rotor và dòng kích từ một chiều cấp cho stator lúc hãm động năng có ảnh hưởng nhất định tới hình dạng của các đặc tính cơ khi hãm. Trên Hình

2.44, các đặc tính hãm (2) và (3) có cùng giá trị điện trở hãm trong mạch rotor ( $R_{h2} = R_{h3}$ ) nhưng các dòng kích từ có giá trị khác nhau ( $I_{kt2} < I_{kt3}$ ). Các đặc tính hãm (3) và (4) có cùng một dòng kích từ ( $I_{kt3} = I_{kt4}$ ) nhưng khác giá trị điện trở hãm trong mạch rotor ( $R_{h3} < R_{h4}$ ).

Xác định dòng điện dc và mômen hãm động năng:

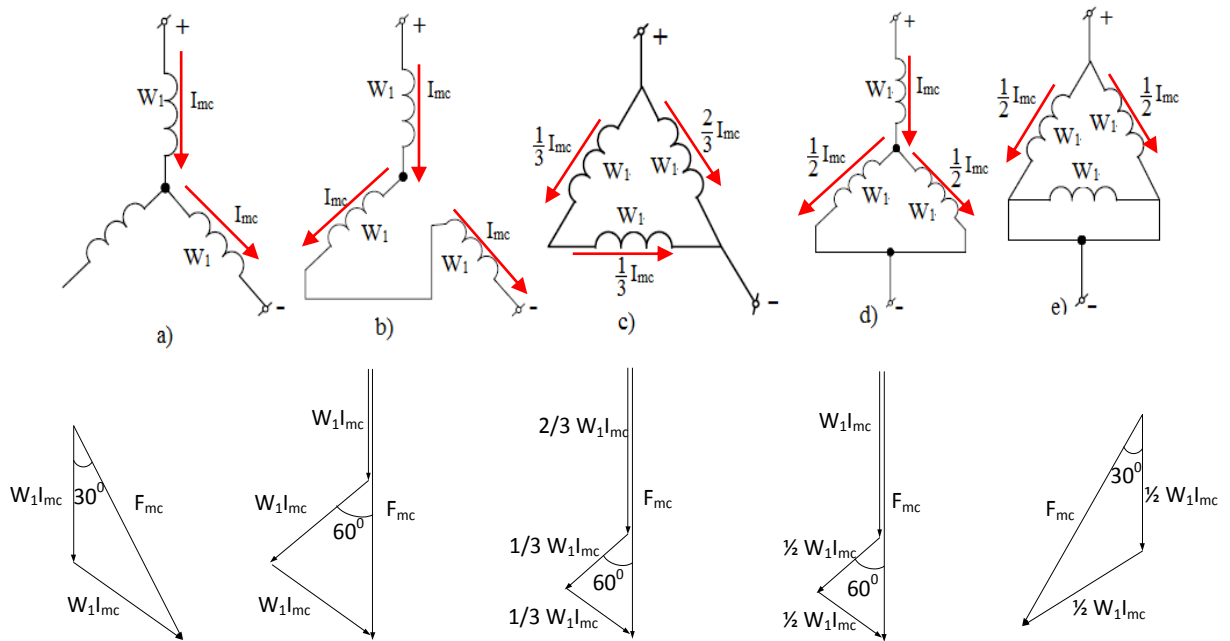
Để xác định dòng điện dc và mômen hãm, ta có thể sử dụng phương pháp quy đổi tương đương sức từ động. Tức là cuộn dây stator nối vào nguồn một chiều nhưng ta xem như đấu vào nguồn xoay chiều có giá trị bằng dòng điện stator  $I_1$ . Điều kiện đẳng trị là sức từ động do dòng một chiều sinh ra ( $F_{mc}$ ) bằng sức từ động do dòng điện xoay chiều đẳng trị sinh ra ( $F_{xc}$ ).

$$F_{mc} = F_{xc}$$

$$F_{xc} = \frac{3}{2} \cdot \sqrt{2} W_1 I_1 \quad (2-103)$$

$$F_{mc} = a W_1 I_{mc} \quad (2-104)$$

a: Là hệ số phụ thuộc vào sơ đồ mạch đấu dây khi hãm động năng (thể hiện trên Hình 2.45)



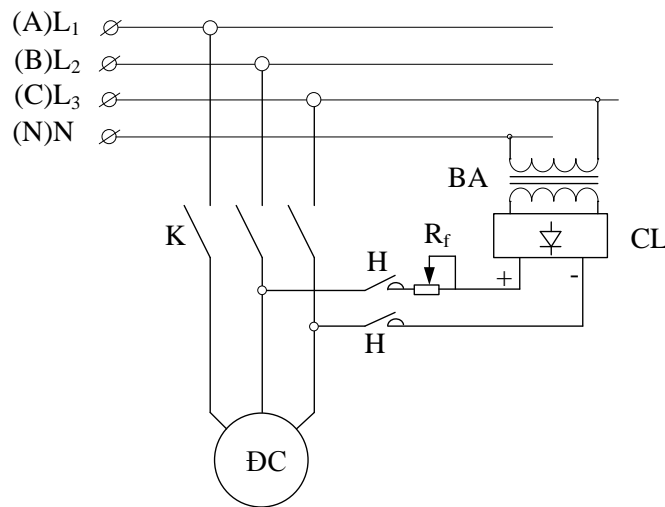
Hình	a)	b)	c)	d)	e)
Điện trở	$2R_1$	$3R_1$	$\frac{2}{3}R_1$	$1.5R_1$	$0.5R_1$
Hệ số A	$\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$	$\frac{2\sqrt{2}}{3}$	$\frac{\sqrt{2}}{3}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{6}}$

Hình 2.45: Các sơ đồ hãm động năng kích từ độc lập động cơ không đồng bộ ba pha  
 Từ (2-98) và (2-99) ta có:

$$\begin{aligned} \frac{3}{2} \cdot \sqrt{2} W_1 I_1 &= a W_1 I_{mc} \\ I_1 &= \frac{a}{\frac{3}{2} \cdot \sqrt{2}} I_{mc} = A I_{mc} \\ \rightarrow A &= \frac{\sqrt{2}}{3} a \end{aligned} \quad (2-105)$$

Như vậy từ phương trình (2-100) ta cần xác định hệ số A. Từ đó tính được dòng điện một chiều ( $I_{mc}$ ) để chọn công suất của biến áp và linh kiện chỉnh lưu của bộ nguồn hãm động năng theo tùy theo công suất của động cơ (Hình 2.46).

**Lưu ý:** Điện áp  $U. = (0.2 \div 0.5)U_{ph}$



**Hình 2.46:** Sơ đồ nguyên lý hãm động năng động cơ không đồng bộ ba pha dùng biến áp và bộ chỉnh lưu.

Ví dụ tính toán hệ số A Hình 2.45:

- Hình a:

Ta có sức từ động tổng một chiều như sau:

$$F_{mc} = W_1 I_{mc} \cos 30^\circ + W_1 I_{mc} \cos 30^\circ = 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} W_1 I_{mc} = \sqrt{3} W_1 I_{mc}$$

$$\rightarrow A = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{3} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

- Hình b:

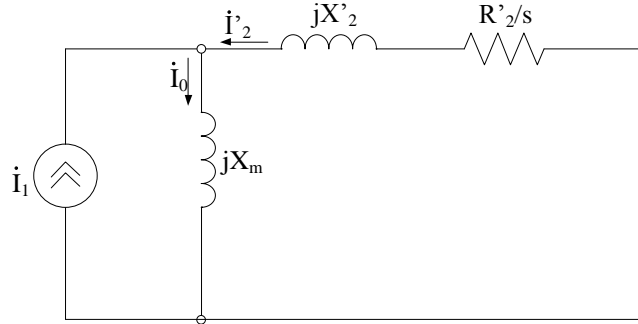
$$F_{mc} = W_1 I_{mc} + 2W_1 I_{mc} \cos 60^\circ = 2W_1 I_{mc}$$

$$\rightarrow A = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot 2 = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

Tương tự tính cho các hình c; d; e.

Ở trạng thái hãm động năng kích từ độc lập dòng điện một chiều không đổi nên dòng điện xoay chiều đẳng trị cũng không đổi, nguồn cấp cho stato là nguồn dòng.

Mặt khác, vì tổng trở trong mạch rotor thay đổi theo tốc độ nên dòng  $I'_2$  và dòng từ hóa  $I_m$  cũng thay đổi theo.

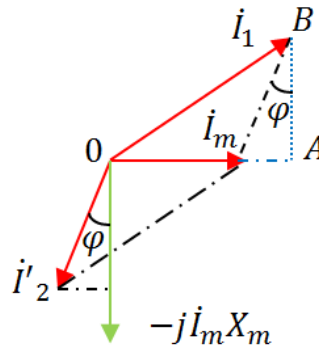


**Hình 2.47:** Sơ đồ thay thế tương đương khi hãm động năng kích từ độc lập.

Gọi  $S = \frac{\omega}{\omega_1}$

$$i'_2 = \frac{\dot{I}_1 X_m}{\frac{R'_2}{s} + jX'_2} \text{ hay } I'_2 = \frac{I_m X_m S}{\sqrt{(R'_2)^2 + (SX'_2)^2}} \quad (2-100)$$

Ta có đồ thị vector dòng điện như sau:



Xét tam giác OAB ta có:

$$OB^2 = OA^2 + BA^2 \text{ hay } I_1^2 = (I_m + I'_2 \sin\varphi)^2 + (I'_2 \cos\varphi)^2 \quad (2-106)$$

$$\sin\varphi = \frac{X'_2 S}{\sqrt{(R'_2)^2 + (SX'_2)^2}} \quad (2-107)$$

Từ (2-102) ta có:

$$I_1^2 = I_m^2 + 2I_m I'_2 \sin\varphi + (I'_2 \sin\varphi)^2 + (I'_2 \cos\varphi)^2 \quad (2-108)$$

$$I_1^2 = I_m^2 + 2I_m I'_2 \sin\varphi + I_2'^2 \quad (2-109)$$

Từ (2-100) đến (2-104) ta có:

$$I_1 = I_m \cdot \sqrt{1 + \frac{2X_m X'_2 S^2}{(R'_2)^2 + (SX'_2)^2} + \frac{X_m^2 S^2}{(R'_2)^2 + (SX'_2)^2}} \quad (2-110)$$

$$\rightarrow I_m = I_1 \cdot \frac{\sqrt{(R'_2)^2 + (SX'_2)^2}}{\sqrt{(R'_2)^2 + (SX'_2)^2 + 2X_m X'_2 S^2 + X_m^2 S^2}}$$

$$= I_1 \cdot \frac{\sqrt{(R'_2)^2 + (SX'_2)^2}}{\sqrt{(R'_2)^2 + S^2(X'_2 + X_m)^2}} \quad (2-111)$$

Thay (2-107) vào (2-101) ta có:

$$I'_2 = \frac{I_1 X_m S}{\sqrt{(R'_2)^2 + S^2(X'_2 + X_m)^2}} \quad (2-112)$$

Theo Hình 2.44 quá trình hãm xảy ra ở góc phần tư thứ II nên  $M_{hđn} < 0$  và có giá trị là:

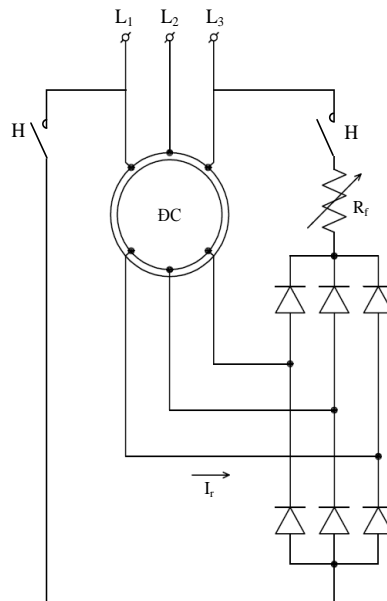
$$M_{hđn} = -\frac{3}{\omega_1} \frac{I_1'^2 R'_2}{S} \text{ hay } M_{hđn} = -\frac{3}{\omega_1} \frac{I_1^2 X_m^2 S R'_2}{(R'_2)^2 + S^2(X'_2 + X_m)^2} \quad (2-113)$$

Bằng cách lấy đạo hàm theo biến S, ta xác định độ trượt  $S_{hth}$  tại đó mômen hãm cực đại:

$$S_{hth} = -\frac{R'_2}{X'_2 + X_m} \text{ và } M_{hđn \max} = -\frac{3}{2\omega_1} \frac{I_1^2 X_m^2}{(X'_2 + X_m)} \quad (2-114)$$

#### 4.3.2. Hãm động năng tự kích từ

Trong phương pháp hãm động năng kích từ độc lập, từ trường lúc hãm được tạo ra nhờ nguồn một chiều độc lập bên ngoài và có *giá trị không đổi*. Còn đối với phương pháp hãm động năng tự kích từ, từ trường lúc hãm được tạo ra từ năng lượng động cơ đã tích lũy được trong chuyển động biến đổi thành điện năng (tạo ra dòng điện cảm ứng xoay chiều trên phần ứng qua bộ chỉnh lưu thành dòng một chiều) cấp cho mạch kích từ. Do đó, khi tốc độ động cơ giảm thì sức điện động cảm ứng giảm theo làm cho từ trường hãm *biến thiên giá trị và suy yếu nhanh* khiến cho quá trình hãm thiếu hiệu quả.



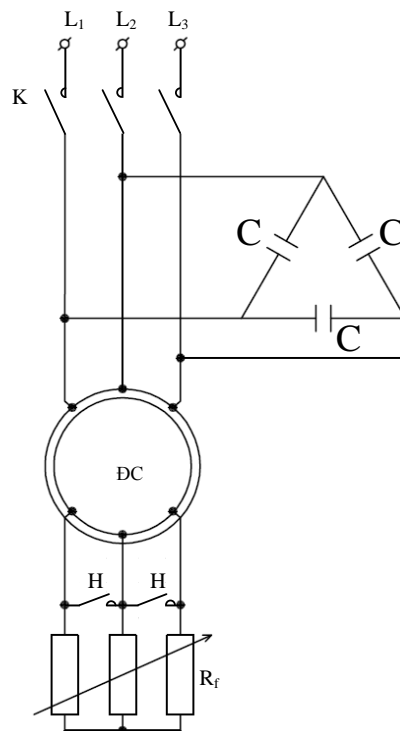
**Hình 2.48:** Sơ đồ nguyên lý hãm động năng tự kích từ.

### 4.3.3. Hãm động năng bằng bộ tụ điện

Trong kỹ thuật, đối với các động cơ không đồng bộ công suất nhỏ người ta sử dụng phổ biến phương pháp hãm động năng bằng bộ tụ điện nhằm kết thúc nhanh chuyển động của rotor, rút ngắn hành trình hãm, nâng cao độ chính xác khi dừng. Đây là phương pháp cho hiệu quả hãm tốt hơn các phương pháp hãm đã nêu trên.

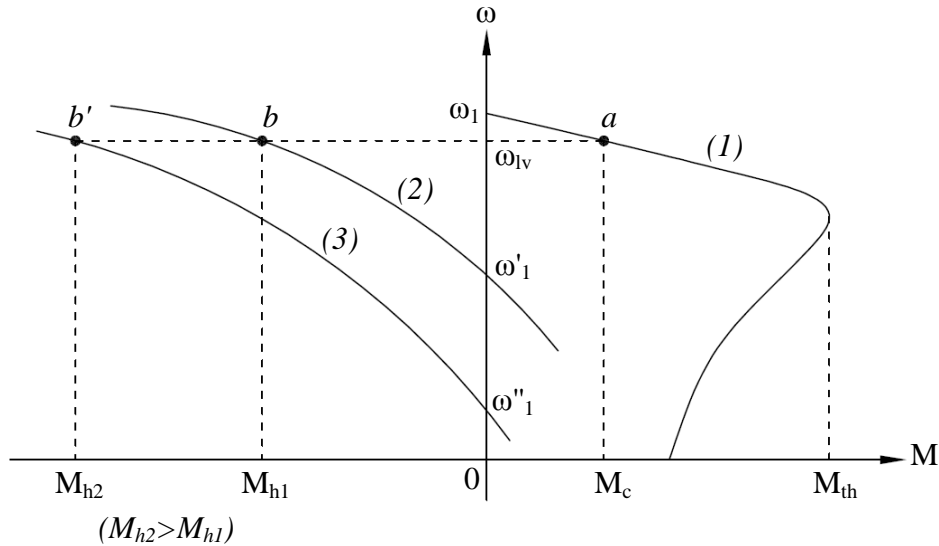
Hình 2.48 trình bày sơ đồ nguyên lý kết nối mạch động cơ hãm động năng bằng bộ tụ điện. Trong sơ đồ kết nối này, các tụ điện được nối hình  $\Delta$  và được mắc song song với động cơ.

Khi động cơ làm việc với tốc độ  $\omega_a$  tại điểm a trên đặc tính cơ làm việc (1) (Hình 2.49), bộ tụ điện C nhận năng lượng trực tiếp từ nguồn và tự động tích nạp đầy điện tích. Khi động cơ được cắt ra khỏi lưới điện thì các tụ điện này sẽ thực hiện quá trình phóng điện qua dây quấn stator tạo ra từ trường quay trên stator động cơ với tốc độ không tải lý tưởng  $\omega'_1$  thấp hơn rất nhiều so với tốc độ làm việc  $\omega_a$  và tốc độ không tải lý tưởng  $\omega_1$  của đặc tính cơ (1). Bởi vì  $\omega_a > \omega'_1$  nên động cơ chuyển sang trạng thái hãm tái sinh tại điểm b trên đường đặc tính cơ (2) và giảm nhanh tốc độ theo đường này để xuống đến giá trị  $\omega'_1$ .



**Hình 2.49:** Sơ đồ nguyên lý hãm động năng tự kích từ dùng tụ điện.





**Hình 2.50:** Đặc tính cơ hãm động năng tự kích từ dùng tụ điện

Trị số điện dung của bộ tụ điện càng lớn thì mômen hãm ban đầu càng lớn, tốc độ không tải lý tưởng  $\omega'_1$  càng nhỏ (như trường hợp đường đặc tính (3) trên Hình 2.50), khi đó quá trình hãm có xu hướng kéo nhanh tốc độ động cơ hạ xuống giá trị thấp hơn ( $\omega''_1 < \omega'_1$ ), và vì thế, việc hãm cũng trở nên đạt hiệu quả hơn.

Để giá trị dòng điện hãm ban đầu không vượt quá dòng điện mở máy, cần chọn bộ tụ điện có điện dung thỏa công thức:

$$C = 3185k \frac{I_m}{U_{dm}} \quad \{\mu F\} \quad (2-115)$$

Trong đó:

$I_m$ : dòng từ hóa một pha của động cơ, (A)

$U_{dm}$ : điện áp định mức, (V)

$k$ : hệ số quyết định mômen hãm hay dòng điện hãm ban đầu ( $k = 4 \div 6$ )

Quá trình hãm bằng bộ tụ điện kết thúc khi tốc độ động cơ giảm xuống còn 30% ÷ 40% tốc độ định mức, và lúc này động năng dự trữ trong quá trình làm việc trước đó của động cơ hầu như đã bị tiêu tán tới trên 3/4 giá trị. Trên thực tế, để thực hiện quá trình hãm dừng động cơ với hiệu quả tốt nhất, người ta thường phối hợp đồng thời cả hai phương pháp hãm động năng kích từ độc lập và hãm động năng dùng tụ điện.

## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG II

- 1/ Viết phương trình đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ độc lập và kích từ nối tiếp.
- 2/ Nêu các phương pháp tính điện trở khởi động của động cơ một chiều kích từ độc lập, song song. Viết các công thức tính toán.
- 3/ Nếu các thông số ảnh hưởng đến đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ độc lập, kích từ nối tiếp, động cơ không đồng bộ.
- 4/ Nêu các trạng thái hãm động cơ một chiều, động cơ không đồng bộ. Vẽ sơ đồ đầu dây và đặc tính cơ cho từng phương pháp.
- 5/ Tại sao phải thêm điện trở phụ vào mạch phần ứng khi khởi động động cơ?.
- 6/ Nêu ứng dụng thực tế của từng phương pháp hãm.

**Bài 1:** Cho động cơ một chiều kích từ độc lập với thông số:  $K\Phi_{dm}=3,0Vs/rad$ ;  $U_{udm}=200V$ ;  $I_{udm}=5A$ ,  $\eta=0,8$

- a. Xác định các thông số  $M_{dm}$ ,  $M_{kd}$ ,  $I_{kd}$  khi nguồn điện cấp bằng định mức.
- b. Xác định điện áp nguồn điện cấp để dòng khởi động bằng 6 lần giá trị định mức.
- c. Trong trường hợp giảm dòng khởi động bằng điện trở phụ nối tiếp với phần ứng, xác định giá trị điện trở phụ để đạt giá trị dòng như câu b.

*Đáp số*

$$M_{dm} = 15 Nm$$

$$M_{kd} = 150 Nm$$

$$I_{urkd} = 50 A$$

$$U = 120 V$$

$$R_f = 2,67 \Omega$$

**Bài 2:** Cho động cơ một chiều kích từ song song với các thông số sau:  $K\Phi_{dm}=3,0Vs/rad$ ;  $U_{udm}=200V$ ;  $I_{udm}=10,5A$ ;  $n_{dm}=620vòng/phút$ ;  $R_r=0,5\Omega$ ;  $R_{kt}=400\Omega$ ;  $M_c=M_{dm}$ . Tính vận tốc động cơ khi nguồn điện cung cấp  $U_d=175V$ . Giả thiết mạch từ tuyến tính và mômen tải không đổi.

*Đáp số*

$$n_{dc} = 540 \text{ vòng/phút}$$

**Bài 3:** Một động cơ điện một chiều kích từ độc lập đang làm việc trên đặc tính cơ tự nhiên với  $M_c=30Nm$ . Động cơ có các thông số sau:  $U_{dm}=220V$ ,  $I_{dm}=30A$ ,  $n_{dm}=1000vòng/phút$ ,  $P_{dm}=4KW$ . Xác định trị số điện trở phụ cần thêm vào để động cơ

đổi chiều quay sang tốc độ  $n=800$  vòng/phút và vẽ đặc tính cơ khi tốc độ  $n=800$  vòng/phút.

*Đáp số*

$$R_f = 7,9964 \Omega$$

**Bài 4:** Một động cơ kích từ độc lập có các thông số sau:  $P_{dm}=10$  KW,  $U_{dm}=110$  V,  $I_{dm}=100$  A,  $n_{dm}=500$  vòng/phút. Trang bị cho một cơ cấu nâng đang làm việc trên đường đặc tính tự nhiên với phụ tải  $M_c=0,8M_{dm}$  và động cơ đã nâng hàng xong. Hãy vẽ đặc tính cơ và xác định  $R_f$  cần nối vào mạch phần ứng để động cơ hạ tải với tốc độ bằng  $1/2$  tốc độ nâng.

*Đáp số*

$$R_f = 1,9875 \Omega$$

**Bài 5:** Một động cơ một chiều kích từ độc lập có các tham số sau:  $P_{dm}=4,2$  KW,  $U_{dm}=220$  V,  $I_{dm}=20$  A,  $n_{dm}=500$  vòng/phút,  $R_u=0,25$   $\Omega$  được trang bị cho một cơ cấu nâng. Khi động cơ đang nâng tải trên đặc tính cơ tự nhiên. Người ta đọc được giá trị dòng điện chạy trong mạch phần ứng 21 A. Để dừng tải lại người ta sử dụng hãm động năng kích từ độc lập.

- Hãy vẽ đặc tính cơ và xác định trị số điện trở hãm dùng để nối kín mạch phần ứng sao cho dòng điện hãm ban đầu nằm trong phạm vi cho phép.
- Hãy vẽ đặc tính cơ và xác định giá trị  $R$  dùng để nối kín mạch phần ứng để động cơ hạ tải trong trạng thái hãm động năng với tốc độ hãm bằng  $1/2$  tốc độ nâng.

*Đáp số*

$$R_f = 4 \div 5 \Omega$$

$$R_f = 15,3 \Omega$$

**Bài 6:** Một động cơ kích từ độc lập có  $P_{dm}=10$  KW,  $U_{dm}=110$  V,  $I_{dm}=100$  A,  $n_{dm}=500$  vòng/phút. Đang làm việc trên đặc tính cơ tự nhiên với phụ tải  $M_c=0,8M_{dm}$ . Khi động cơ đang làm việc ổn định thì đột ngột điện áp giảm xuống còn 90 V. Xác định dòng điện chạy qua phần ứng động cơ và vẽ đặc tính cơ của động cơ tại thời điểm điện áp vừa thay đổi.

*Đáp số*

$$I_u = 80 \text{ A}$$

**Bài 7:** Một động cơ một chiều kích từ độc lập có  $P_{dm}=4$  KW,  $U_{dm}=220$  V,  $I_{dm}=20$  A,  $n=1000$  vòng/phút. Động cơ khởi động với  $M_c=0,8M_{dm}$ . Dòng điện lớn nhất trong quá trình khởi động  $I_1=50$  A,  $I_2=I_{dm}$ . Hãy xác định số cấp khởi động và xác định giá trị của  $R$  cần cắt ra khi chuyển đặc tính.

*Đáp số*

$$m = 2 \text{ cấp}$$

$$R_{f1} = 0,75 \Omega$$

$$R_{f2} = 1,875 \Omega$$

**Bài 8:** Cho động cơ một chiều kích từ nối tiếp 220V chạy thuận chiều kim đồng hồ với tốc độ 1000 vòng/phút và có dòng điện qua mạch phần ứng bằng 100A. Điện trở mạch kích từ và mạch phần ứng đều bằng nhau và bằng 0,05. Động cơ kéo tải với mômen không đổi. Hãy xác định giá trị và chiều quay của vận tốc, xác định giá trị dòng điện qua phần ứng nếu ta thực hiện đảo các cực nguồn điện cấp và phần ứng, số cạnh tác dụng cuộn ứng giảm còn 80%.

*Đáp số*

$$I_u = -123,2 \text{ A}$$

**Bài 9:** Một động cơ một chiều kích từ nối tiếp đang làm việc ở trạng thái động cơ trên đường đặc tính cơ tự nhiên, người ta đo được dòng điện chạy qua động cơ bằng 18A. Để hãm dừng nhanh động cơ, người ta áp dụng biện pháp đảo ngược cực tính điện áp phần ứng và nối thêm  $R_f$ . Hãy tính giá trị điện trở phụ  $R_f$  để dòng điện hãm ban đầu  $\leq 2,5I_{dm}$ . Thông số của động cơ:  $P_{dm}=4\text{KW}$ ;  $U_{dm}=220\text{V}$ ;  $I_{dm}=20\text{A}$ ;  $n_{dm}=500\text{vòng/phút}$ ,  $R_u=0.84\Omega$

*Đáp số*

$$R_f = 7,44 \Omega$$

**Bài 10:** Một động cơ điện không đồng bộ ba pha có thông số sau:  $P_{dm}=60\text{KW}$ ,  $n_{dm}=720\text{vòng/phút}$ ,  $f_{dm}=50\text{Hz}$ ,  $\lambda_m=2,2$ ,  $2p=8$ .

- Hãy xác định tốc độ của động cơ khi mômen phụ tải đặt lên trục động cơ  $M_C=0,8M_d$ .
- Khi động cơ mở máy trực tiếp thì mômen khởi động của động cơ là bao nhiêu?

*Đáp số*

$$n_{dc} = 728 \text{ vòng/phút}$$

$$M_{kd} = 578,52 \text{ Nm}$$

**Bài 11:** Một động cơ xoay chiều không đồng bộ ba pha có các thông số sau:  $P_{dm}=7,5\text{KW}$ ,  $n_{dm}=945\text{vòng/phút}$ ,  $f=50\text{Hz}$ ,  $\lambda_m=2,5$ ,  $2p=6$ ,  $I_{dm}=20\text{A}$ ,  $U_{dm}=380\text{V}$ .

- Hãy xác định mômen mở máy của động cơ khi mở máy trực tiếp.
- Tốc độ của động cơ khi động cơ làm việc trên đặc tính cơ tự nhiên với  $M_C=0,8M_{dm}$ .

*Đáp số*

$$M_{kd} = 92,3 \text{ Nm}$$

$$n_{dc} = 960 \text{ vòng/phút}$$

**Bài 12:** Một động cơ một chiều kích từ độc lập có các thông số sau:  $P_{dm}=25KW$ ,  $n_{dm}=500$ vòng/phút,  $I_{dm}=120A$ ,  $U_{dm}=220V$ . Mômen quán tính của Rotor  $J_A=3,7kgm^2$ ,  $M_c=382Nm$ ,  $J_{qd}=6,3kgm^2$ . Động cơ khởi động gián tiếp qua các cấp  $R_f$  và dòng điện lớn nhất trong quá trình khởi động là:  $I_1=2,5I_{dm}=300A$ . Hãy xác định các cấp  $R_f$ .

*Đáp số*

$$R_{f1} = 0,075 \Omega$$

$$R_{f2} = 0,1875 \Omega$$

$$R_{f3} = 0,46875 \Omega$$

**Bài 13:** Một động cơ điện không đồng bộ ba pha Rotor dây quấn đang làm việc trên đường đặc tính cơ tự nhiên với  $M_c=23,7Nm$ . Các số liệu của động cơ như sau:  $P_{dm}=2,2KW$ ,  $n_{dm}=885$ vòng/phút,  $\lambda_m=2,3$ ,  $2p=6$ ,  $I_{dm}=12,8A$ ,  $U_{dm}=220V$ ,  $f=50Hz$ ,  $E_2=135V$ .

- Xác định tốc độ động cơ khi thêm vào Rotor điện trở bằng  $1,5\Omega$ .
- Tính  $R_f$  cần thiết thêm vào khi động cơ làm việc với tốc độ  $n=-300$ vòng/phút.

*Đáp số*

$$n_{dc} = 730 \text{ vòng/phút}$$

$$R_f = 13,542 \Omega$$

