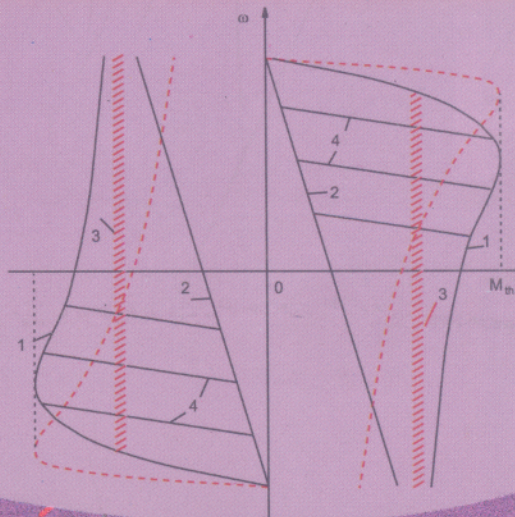


GIÁO TRÌNH

# TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

SÁCH DÙNG CHO CÁC TRƯỜNG ĐÀO TẠO HỆ TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP



NHA XUẤT BẢN GIÁO DỤC

PGS.TS. BÙI ĐÌNH TIỂU

*Giáo trình*

# TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

*(Sách dùng cho các trường đào tạo hệ Trung học chuyên nghiệp  
và hệ cao đẳng kỹ thuật)*

*(Tái bản lần thứ ba)*

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

Bản quyền thuộc HEVOBCO – Nhà xuất bản Giáo dục

---

11 – 2007/CXB/29 – 2119/GD

Mã số : 6H146T7 – DAI

# Lời giới thiệu

---

Năm 2002, Vụ Giáo dục Chuyên nghiệp – Bộ Giáo dục và Đào tạo đã phối hợp với Nhà xuất bản Giáo dục xuất bản 21 giáo trình phục vụ cho đào tạo hệ THCN. Các giáo trình trên đã được nhiều trường sử dụng và hoan nghênh. Để tiếp tục bổ sung nguồn giáo trình đang còn thiếu, Vụ Giáo dục Chuyên nghiệp phối hợp cùng Nhà xuất bản Giáo dục tiếp tục biên soạn một số giáo trình, sách tham khảo phục vụ cho đào tạo ở các ngành : Điện – Điện tử, Tin học, Khai thác cơ khí. Những giáo trình này trước khi biên soạn, Vụ Giáo dục Chuyên nghiệp đã gửi đề cương về trên 20 trường và tổ chức hội thảo, lấy ý kiến đóng góp về nội dung đề cương các giáo trình nói trên. Trên cơ sở nghiên cứu ý kiến đóng góp của các trường, nhóm tác giả đã điều chỉnh nội dung các giáo trình cho phù hợp với yêu cầu thực tiễn hơn.

Với kinh nghiệm giảng dạy, kiến thức tích lũy qua nhiều năm, các tác giả đã cố gắng để những nội dung được trình bày là những kiến thức cơ bản nhất nhưng vẫn cập nhật được với những tiến bộ của khoa học kỹ thuật, với thực tế sản xuất. Nội dung của giáo trình còn tạo sự liên thông từ Dạy nghề lên THCN.

Các giáo trình được biên soạn theo hướng mở, kiến thức rộng và cố gắng chỉ ra tính ứng dụng của nội dung được trình bày. Trên cơ sở đó tạo điều kiện để các trường sử dụng một cách phù hợp với điều kiện cơ sở vật chất phục vụ thực hành, thực tập và đặc điểm của các ngành, chuyên ngành đào tạo.

Để việc đổi mới phương pháp dạy và học theo chỉ đạo của Bộ Giáo dục và Đào tạo nhằm nâng cao chất lượng dạy và học, các trường cần trang bị đủ sách cho thư viện và tạo điều kiện để giáo viên và học sinh có đủ sách theo ngành đào tạo. Những giáo trình này cũng là tài liệu tham khảo tốt cho học sinh đã tốt nghiệp cần đào tạo lại, nhân viên kỹ thuật đang trực tiếp sản xuất.

Các giáo trình đã xuất bản không thể tránh khỏi những sai sót. Rất mong các thầy, cô giáo, bạn đọc góp ý để lần xuất bản sau được tốt hơn. Mọi góp ý xin gửi về : Công ty Cổ phần sách Đại học – Dạy nghề 25 Hàn Thuyên – Hà Nội.

**VỤ GIÁO DỤC CHUYÊN NGHIỆP - NXB GIÁO DỤC**

# Mở đầu

Truyền động điện là một trong các môn học cơ sở kỹ thuật của các chuyên ngành điện, cơ điện và tự động hoá. Nó nhằm cung cấp cho người học những kiến thức cơ bản về việc sử dụng hợp lý động cơ điện để trang bị cho các máy sản xuất.

Theo mục tiêu trên, nội dung môn học được chia thành 6 chương như sau:

- Chương I : Những vấn đề chung của hệ truyền động điện.
- Chương II : Đặc tính cơ của động cơ điện.
- Chương III : Điều chỉnh các thông số đầu ra của truyền động điện.
- Chương IV : Các hệ truyền động điều chỉnh thông dụng.
- Chương V : Quá trình quá độ trong hệ truyền động điện.
- Chương VI : Tính chọn công suất động cơ.

Các chương mục trên được sắp xếp theo trình tự phù hợp với nhận thức và phát triển nhận thức của người học, bắt đầu từ tiếp cận vấn đề, đề ra bài toán, giải quyết vấn đề, công cụ phân tích và các mục tiêu cần đạt được. Trong từng chương mục, thường nêu khái quát nội dung sau đó lần lượt trình bày từng chi tiết từ đơn giản đến phức tạp, từ các khâu đến tổng thể. Một số mục quan trọng còn có thêm những ví dụ phân tích bằng số hoặc sơ đồ mạch điện.

Đối với hệ trung học yêu cầu bắt buộc là nắm vững các chương I, II, III, VI. Các sơ đồ trong chương IV có thể được thầy giáo lựa chọn một số khâu cần thiết để làm ví dụ ứng dụng cho bài học ở chương III.

Đối với hệ cao đẳng kỹ thuật, yêu cầu nắm vững cả 6 chương của giáo trình. Kết cấu chương mục và nội dung tổng thể này cũng có thể tham khảo cho bậc đại học. Tuy nhiên trong các bài giảng có thể tăng cường lý thuyết phân tích, tính toán các đại lượng và có thêm các sơ đồ minh họa cho các phương pháp và luật điều khiển các loại động cơ.

Trong quá trình biên soạn quyển sách này chúng tôi đã dựa vào các tài liệu tham khảo chính nêu ở cuối sách, kết hợp với kinh nghiệm giảng dạy ở các bậc đào tạo trung học chuyên nghiệp, cao đẳng kỹ thuật và đại học. Chúng tôi cố gắng trình bày các vấn đề một cách đơn giản, dễ tiếp thu nhưng vẫn bao quát được nội dung cơ bản của môn học, gắn với thực tế sản xuất kỹ thuật hiện nay.

Tuy nhiên, do thời gian và trình độ có hạn quyển sách chắc chắn vẫn còn sai sót, rất mong được sự đóng góp xây dựng của bạn đọc.

*Tác giả*

## Chương I

# NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG CỦA

# HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

## 1.1. CẤU TRÚC CỦA HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

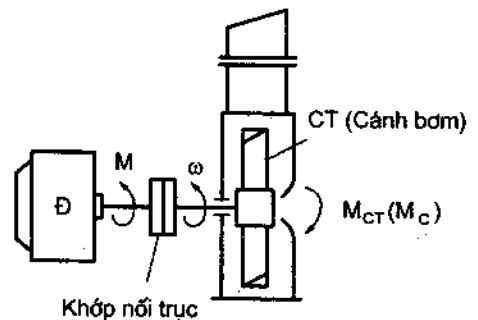
### 1.1.1. Định nghĩa hệ truyền động điện

Hệ truyền động điện là tổ hợp của nhiều thiết bị và phần tử điện – cơ dùng để biến đổi điện năng thành cơ năng cung cấp cho cơ cấu công tác trên các máy sản xuất, đồng thời có thể điều khiển dòng năng lượng đó tùy theo yêu cầu công nghệ của máy sản xuất.

### 1.1.2. Hệ truyền động của máy sản xuất

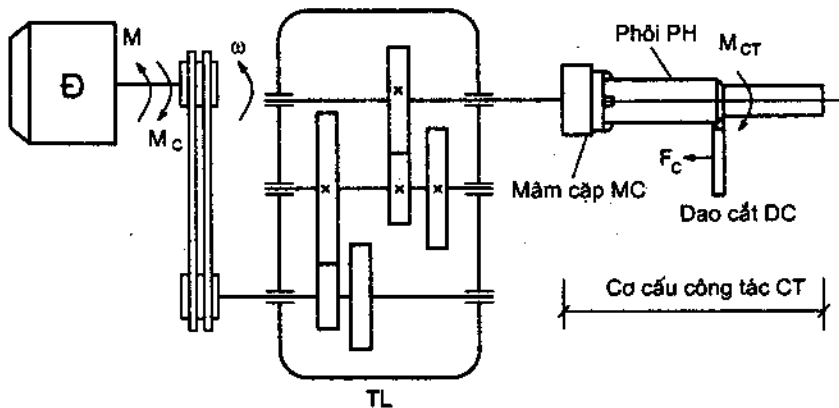
Hãy xét sơ đồ truyền động của 3 loại máy sau đây :

a) *Truyền động của máy bơm nước* (hình 1-1). Động cơ điện Đ biến đổi điện năng thành cơ năng tạo ra momen  $M$  làm quay trục máy và các cánh bơm. Cánh bơm chính là cơ cấu công tác CT, nó chịu tác động của nước tạo ra momen  $M_{CT}$  ngược chiều tốc độ quay  $\omega$  của trục, chính momen này tác động lên trục động cơ, ta gọi nó là momen cản  $M_C$ . Nếu  $M_C$  cân bằng với momen động cơ :  $M=M_C$  thì hệ sẽ có chuyển động ổn định với tốc độ không đổi  $\omega = \text{const}$ .



Hình 1 -1. Truyền động của máy bơm nước

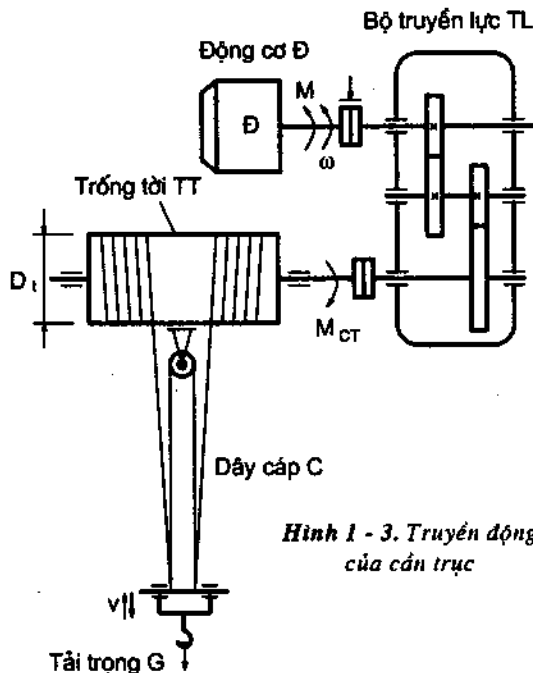
b) *Truyền động mâm cặp máy tiện (hình 1-2).* Cơ cấu công tác CT bao gồm mâm cặp MC, phôi (kim loại) PH được kẹp trên mâm và dao cắt DC. Khi làm việc động cơ Đ tạo ra momen  $M$  làm quay trục, qua bộ truyền lực TL gồm đai truyền và các cặp bánh răng, chuyển động quay được truyền đến mâm cặp và phôi. Lực cắt do dao tạo ra trên phôi sẽ hình thành momen  $M_{CT}$  tác động trên cơ cấu công tác có chiều ngược với chiều chuyển động. Nếu dời điểm đặt của  $M_{CT}$  về trục động cơ ta sẽ có momen cản  $M_C$  (thay thế cho  $M_{CT}$ ). Cũng tương tự như ở ví dụ trước, khi  $M = M_C$  hệ sẽ làm việc ổn định với tốc độ quay  $\omega = \text{const}$  và tốc độ cắt của dao trên phôi cũng sẽ không đổi.



Hình 1 - 2. Truyền động mâm cặp máy tiện

c) *Truyền động của cần trục hoặc máy nâng (hình 1-3)*

Cơ cấu công tác gồm trống tời TT, dây cáp C và tải trọng G. Lực trọng trường  $G$  tác động lên trống tời tạo ra momen trên cơ cấu công tác  $M_{CT}$  và nếu dời điểm đặt của nó về trục động cơ ta sẽ có momen cản  $M_C$  (thay thế cho  $M_{CT}$ ). Còn động cơ Đ thì tạo ra momen quay  $M$ . Khác với hai ví dụ trước, ở cần trục và máy nâng  $M_{CT}$  (hoặc  $M_C$ ) có chiều tác động do lực trọng trường quyết định nên không phụ thuộc chiều của tốc độ, nghĩa là có trường hợp nó ngược chiều chuyển động - cơ



Hình 1 - 3. Truyền động của cần trục

cấu công tác tiêu thụ năng lượng do động cơ cung cấp và có trường hợp  $M_{CT}$  cùng chiều chuyển động - cơ cấu công tác gây ra chuyển động, tạo ra năng lượng cấp cho trục động cơ.

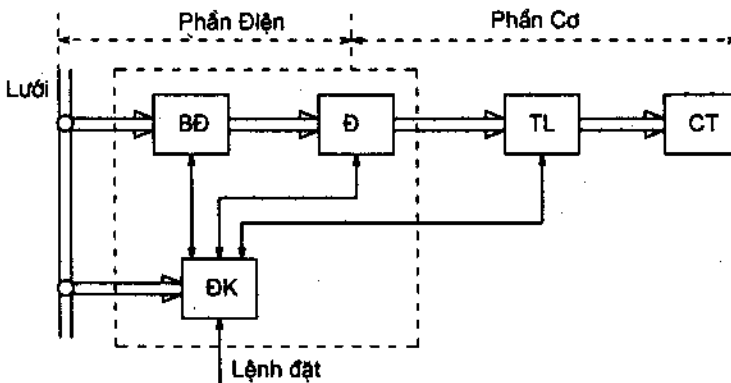
Ví dụ, khi nâng tải trọng, động cơ cấp năng lượng để gây ra chuyển động :  $M$  cùng chiều  $\omega$ . Tải trọng cản trở chuyển động và tiêu thụ năng lượng do động cơ cấp vào hệ :  $M_c$  ngược chiều  $\omega$ .

Khi hạ tải trọng nặng, tải trọng với lực trọng trường và thế năng sẽ làm trống tời quay. Chính thế năng đó cấp vào hệ và gây ra chuyển động :  $M_{CT}$  (hoặc  $M_c$ ) cùng chiều  $\omega$ . Năng lượng qua bộ truyền TL sẽ đưa về động cơ làm quay trục động cơ. Lúc này động cơ làm việc như một máy phát điện, tiêu thụ cơ năng và biến thành điện năng. Đồng thời momen do động cơ sinh ra sẽ ngược chiều quay của trục :  $M$  ngược chiều  $\omega$ . Động cơ đã biến thành một bộ phanh hãm.

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

Trong các ví dụ trên, động cơ Đ có thể được nối trực tiếp vào lưới điện công nghiệp hoặc cũng có thể được nối vào một bộ nguồn riêng, gọi là thiết bị biến đổi (BĐ) để tạo ra dạng điện năng cần thiết với những thông số phù hợp với yêu cầu của động cơ.

Có thể mô tả khái quát cấu trúc của hệ truyền động điện bằng sơ đồ khối hình 1-4. Ngoài các khâu đã giới thiệu ở trên hệ còn có bộ điều khiển ĐK để đóng cắt, bảo vệ và điều khiển toàn hệ thống.



Hình 1 - 4. Cấu trúc của hệ truyền động điện

Để thuận tiện cho việc khảo sát ta chia các khâu của hệ truyền động thành hai phần : phần điện và phần cơ.

Phần điện gồm lưới điện, bộ biến đổi BĐ, mạch điện - từ của động cơ Đ và các thiết bị điều khiển ĐK.



Phần cơ gồm roto và trục động cơ, khâu truyền lực TL và cơ cấu công tác CT. Việc nghiên cứu hệ thống sẽ được bắt đầu từ phần cơ.

#### 1.1.4. Phân loại các hệ truyền động điện

Người ta phân loại truyền động điện theo nhiều cách tùy theo đặc điểm của động cơ điện, mức độ tự động hoá, đặc điểm hoặc chủng loại thiết bị biến đổi, công suất của hệ thống ... Từ cách phân loại sẽ hình thành ra tên gọi của hệ, ví dụ :

a) *Theo đặc điểm của động cơ điện* ta có truyền động điện một chiều (dùng động cơ điện một chiều), truyền động điện không đồng bộ (dùng động cơ điện không đồng bộ), truyền động điện đồng bộ (dùng động cơ điện đồng bộ), truyền động bước (dùng động cơ bước) ...

Truyền động điện một chiều được sử dụng cho các máy sản xuất có yêu cầu điều chỉnh tốc độ và momen. Nó có chất lượng điều chỉnh tốt, tuy nhiên động cơ điện một chiều có cấu tạo phức tạp và giá thành cao, hơn nữa nó đòi hỏi phải có bộ nguồn một chiều, do đó trong những trường hợp không có yêu cầu cao về điều chỉnh, người ta thường sử dụng truyền động không đồng bộ. Trong những năm gần đây, truyền động không đồng bộ phát triển mạnh mẽ, đặc biệt là các hệ có điều khiển tần số. Những hệ này đã đạt được chất lượng điều chỉnh cao, tương đương với hệ truyền động một chiều. Tuy chúng đòi hỏi về bộ biến đổi (biến tần) phức tạp nhưng bù lại chúng được trang bị động cơ không đồng bộ rẻ và đơn giản hơn so với động cơ điện một chiều.

b) *Theo tính năng điều chỉnh* ta có truyền động không điều chỉnh (khi động cơ điện chỉ làm việc ở một cấp tốc độ) và truyền động điều chỉnh. Các hệ truyền động không điều chỉnh thường phải kết hợp với một hộp tốc độ để thực hiện điều chỉnh bằng cơ khí, do đó kết cấu của phần cơ phức tạp, chất lượng điều chỉnh thấp, giá thành của máy sản xuất cao. Các hệ truyền động điều chỉnh cho phép điều chỉnh tốc độ và momen của máy sản xuất bằng cách điều chỉnh từ động cơ điện (phương pháp điều khiển điện), do đó kết cấu máy đơn giản, chất lượng điều chỉnh cao và thuận tiện trong thao tác. Một số trường hợp, khi dải điều chỉnh tốc độ của động cơ đủ rộng, người ta có thể không dùng hộp biến tốc, khi đó hệ truyền động được gọi là “truyền động không có hộp biến tốc”.

c) *Theo mức độ tự động hoá* ta có hệ truyền động điện không tự động và hệ truyền động tự động. Các hệ không tự động thường là đơn giản và được sử dụng cho bất kỳ ở đâu nếu có thể được. Lúc đó phần điện của hệ có thể chỉ có động cơ điện không đồng bộ và một vài khí cụ đóng cắt - bảo vệ như aptômát, khởi động từ. Các hệ truyền động tự động là các hệ truyền động điều chỉnh vòng kín có vài mạch phản hồi.

Chất lượng điều chỉnh của các hệ này là rất cao, có thể đáp ứng bất kỳ yêu cầu nào của quá trình công nghệ của máy sản xuất.

*d) Một số cách phân loại khác* : như truyền động đảo chiều và không đảo chiều, truyền động đơn (nếu dùng một động cơ) và truyền động nhiều động cơ (nếu dùng nhiều động cơ để phối hợp truyền động cho một cơ cấu công tác), truyền động van (nếu dùng thiết bị biến đổi van bán dẫn) ...

Tên gọi của một hệ truyền động có thể hình thành từ nhiều cách phân loại, ví dụ hệ truyền động tiristo một chiều có đảo chiều, hệ truyền động điện không đồng bộ điều chỉnh momen dùng nghịch lưu dòng điện ...

## 1.2. PHẦN CƠ CỦA HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

### 1.2.1. Các đại lượng đặc trưng cho các phần tử cơ học

Như đã nêu, phần cơ của hệ bao gồm các phần tử chuyển động từ roto động cơ cho đến cơ cấu công tác (hình 1-1, 1-2, 1-3). Mỗi phần tử chuyển động được đặc trưng bởi các đại lượng sau :

Lực tác động (F) : N (Niuton)

Momen tác động (M) : Nm (Niuton mét)

Tốc độ góc ( $\omega$ ) : rad/s (radian/giây)

Tốc độ thẳng (v) : m/s (mét/giây)

Momen quán tính (J) :  $\text{kgm}^2$  (kilôgamkhối mét<sup>2</sup>)

Khối lượng (m) : kg (kilôgam khối)

Chú ý : Nếu các đại lượng trên cho theo các đơn vị khác, thì khi tính toán cần đổi về hệ đơn vị đo lường quốc tế (SI) như đã nêu. Ví dụ, nếu lực cho theo KG, momen cho theo KGm, tốc độ cho theo vòng/phút, quán tính cho theo momen đà  $\text{GD}^2$  với đơn vị là  $\text{KGm}^2$ , thì :  $1\text{KG} = 9,8\text{N}$ ;  $1\text{KGm} = 9,8\text{N.m}$ ;  $1\text{v}/\text{ph} = 9,55\text{rad/s}$ ;  $\text{GD}^2 [\text{KGm}^2] = 4\text{J} [\text{Kgm}^2]$ .

### 1.2.2. Sơ đồ tính toán phần cơ

Trường hợp đơn giản như truyền động của máy bơm (hình 1-1), động cơ và cơ cấu công tác cùng làm việc với một tốc độ. Trục động cơ được nối trực tiếp với trục máy bơm không qua hộp giảm tốc. Ta có thể ghép hai phần tử thành một khối như trên hình 1-5, trong đó :

M – momen của động cơ

$M_C = M_{CT}$  – momen cản do cánh bơm tạo ra đặt trên trục động cơ



Sau khi quy đổi ta được sơ đồ tính toán đơn khối như trên hình 1-5. Trong đó :  $M$ - momen động cơ ;  $M_C = M_{CT} ( 1/ i\eta )$  ;  $J_t = J_d + \Sigma J_{i,qđ}$

**\* Ví dụ 1 - 1 :** Lập sơ đồ tính toán đơn khối cho phần cơ của một cần trục có sơ đồ động học như trên hình 1-6.

Lấy tốc độ tính toán là tốc độ động cơ  $\omega$ , khi đó momen động cơ  $M$  được giữ nguyên.

Momen phụ tải do tải trọng  $G$  gây ra, tác động lên trống tời sẽ là:

$$M_{CT} = G \cdot \frac{D_t}{2} \cdot \frac{1}{\eta_t}, \text{ N.m}$$

Hình 1 - 6. Sơ đồ động học của cần trục

- Trong đó :
- $G$  - Tải trọng của vật nâng, N;
  - $D_t$  - Đường kính trống tời, m;
  - $\eta_t$  - Hiệu suất của trống tời.

Quy đổi  $M_{CT}$  từ tốc độ  $\omega_{CT}$  về tốc độ  $\omega$ , tức dời điểm đặt của  $M_{CT}$  từ trục trống tời về trục động cơ, theo (1-1) :

$$M_c = M_{CT} \frac{1}{i \cdot \eta}, \text{ N.m}$$

- Trong đó :
- $i = \omega / \omega_{ct}$  ;
  - $\eta$  - hiệu suất của hộp giảm tốc;

Cũng có thể xác định momen cản  $M_C$  bằng cách quy đổi lực trọng trường  $G$  của tải trọng từ tốc độ thẳng  $v$  về tốc độ  $\omega$  của động cơ, theo (1-2) :

$$M_C = G \cdot \frac{1}{\rho \eta'}$$

Trong đó :  $\rho = \omega / v$  ;  $\eta' = \eta \cdot \eta_t$  ( tích của hiệu suất hộp giảm tốc và hiệu suất của trống tời).

Momen quán tính của động cơ  $J_d$  và của bánh răng 1 ( $J_{b1}$ ) không phải quy đổi vì hai phần tử này làm việc với tốc độ  $\omega$ .

Momen quán tính bánh răng 2 ( $J_{b2}$ ) được quy đổi từ tốc độ  $\omega_{CT}$  về  $\omega$  theo (1-3) :

$$J_{b2,qđ} = J_{b2} \cdot \frac{1}{i^2}, \text{ Kgm}^2$$

Tương tự, momen quán tính  $J_{tt}$  của trống tời được quy đổi thành :

$$J_{tt,qd} = J_{tt} \cdot \frac{1}{i^2} \text{ , Kgm}^2$$

Momen quán tính quy đổi của tải trọng  $G$  có khối lượng là  $m$  và vận tốc  $v$  :

$$J_{G,qd} = m \cdot \frac{1}{\rho^2} \text{ , Kgm}^2$$

Kết quả ta được sơ đồ tính toán đơn khối hình 1-5 với các đại lượng sau :

$M$  – momen động cơ.

$M_{CT}$  – momen cản do tải trọng  $G$  hoặc  $M_{CT}$  trên trống tời quy đổi .

$J_t = J_d + J_{b1} + J_{b2,qd} + J_{tt,qd} + J_{G,qd}$  - momen quán tính tổng của hệ.

\* Ví dụ 1 - 2 : Xác định momen cản và momen quán tính của tải trọng và dây cáp quy đổi về trục động cơ biết rằng cơ cấu nâng hạ có sơ đồ động học tương tự như trên hình 1-6, trong đó bộ truyền gồm 2 cặp bánh răng có tỷ số truyền của từng cặp  $i_1 = i_2 = 5$ , trọng lượng của vật nâng  $G = 10\text{KN}$ , trọng lượng dây cáp  $G_c = 10\% G$  ; tốc độ nâng  $v = 16,5 \text{ m/s}$  ; Hiệu suất mỗi cặp bánh răng  $\eta_1 = \eta_2 = 0,95$  ; Hiệu suất trống tời  $\eta_t = 0,93$  ; Đường kính trống tời  $D_t = 0,6 \text{ m}$ .

**Giải :**

Lấy tốc độ tính toán là tốc độ động cơ  $\omega$ , khi đó momen động cơ  $M$  được giữ nguyên.

Tổng trọng lượng được nâng hạ :

$$G_t = G + G_c = 10 + 1 = 11\text{KN} = 11.000 \text{ N}$$

Momen cản do  $G_t$  gây ra trên trống tời :

$$M_{CT} = G_t \cdot \frac{D_t}{2} \cdot \frac{1}{\eta_t} = 11.000 \cdot \frac{0,6}{2} \cdot \frac{1}{0,93} = 3548 \text{ Nm}$$

Tỷ số truyền của hộp giảm tốc (tính từ trục động cơ đến trục trống tời) :

$$i = i_1 \cdot i_2 = 5 \cdot 5 = 25$$

Hiệu suất của hộp giảm tốc:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 = 0,95^2 = 0,9$$

Vậy momen cản tính của tải trọng và dây cáp ( $G_t$ ) quy đổi về trục động cơ sẽ là:

$$M_c = M_{CT} \cdot \frac{1}{i\eta} = 3548 \cdot \frac{1}{25 \cdot 0,9} = 157,7 \text{ Nm}$$

Khối lượng của tải trọng và dây cáp tính theo kg :

$$m = \frac{G_t}{9,81} = \frac{11.000}{9,81} = 1121 \text{ kg}$$

Quan hệ giữa tốc độ quay  $n_t$  (vg/ph) của trống tời với tốc độ nâng  $v$  (m/s) của tải trọng :

$$n_t = \frac{60v}{\pi D_t}$$

Thay  $n_t = \frac{60}{2\pi} \omega_t$ , ta được  $\frac{60}{2\pi} \omega_t = \frac{60}{\pi D_t} v$

Từ đó, rút ra tỷ số truyền (tỷ số biến đổi tốc độ từ  $\omega_t$  sang  $v$ ) của trống tời- dây cáp:

$$\rho_t = \frac{\omega_t}{v} = \frac{2}{D_t} = \frac{2}{0,6} = 3,33 \quad 1/m$$

Tỷ số truyền từ trục động cơ đến dây cáp :

$$\rho = \frac{\omega}{v} = \frac{\omega}{\omega_t} \cdot \frac{\omega_t}{v} = i \cdot \rho_t = 25 \cdot 3,33 = 83,25 \quad 1/m$$

Vậy momen quán tính của tải trọng và dây cáp quy đổi về trục động cơ sẽ là :

$$J_{G, qd} = m \cdot \frac{1}{\rho^2} = 1121 \cdot \frac{1}{83,25^2} = 0,16 \text{ kgm}^2$$

### 1.2.3. Phân loại momen cản

Momen cản được hình thành tại cơ cấu công tác và phụ thuộc đặc điểm công nghệ của máy sản xuất, do đó rất đa dạng. Vì momen cản tác động lên trục động cơ, do đó tính chất của nó sẽ ảnh hưởng đến sự làm việc của động cơ và hệ thống truyền động. Vì vậy, khi khảo sát các hệ truyền động, ta cần biết được momen cản có dạng như thế nào, hoặc thuộc loại nào.

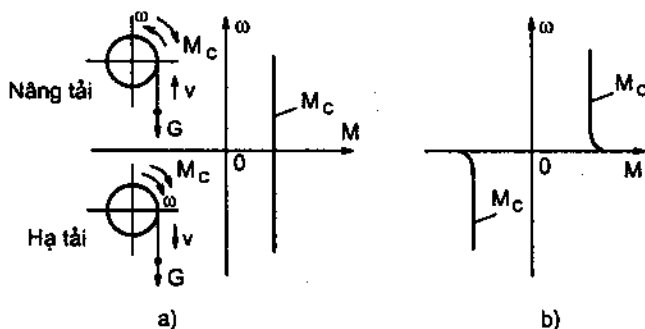
Có thể phân loại momen cản theo nhiều cách dựa vào những dấu hiệu đặc trưng của chúng. Tuy nhiên, hay dùng nhất là ba cách phân loại sau : Phân loại theo chiều tác dụng (so với chiều tốc độ) ; phân loại theo hàm số phụ thuộc tốc độ; và phân loại theo thời gian tác dụng.

#### a) Phân loại momen cản $M_c$ theo chiều tác dụng

Theo đặc điểm về chiều tác dụng của  $M_c$  so với chiều của tốc độ  $\omega$  ta chia momen cản thành hai loại :

- *Momen cản thế năng* : là loại có chiều không phụ thuộc vào chiều tốc độ, ví dụ momen cản do tải trọng sinh ra ở máy nâng, cần trục. Nó có chiều luôn hướng theo lực trọng trường không phụ thuộc vào chiều nâng hay hạ tải

trọng. Có thể biểu diễn loại  $M_c$  này như trên hình 1-7a, ở đó  $M_c$  không đổi dấu dù  $\omega > 0$  hay  $\omega < 0$ , nghĩa là  $M_c$  có thể cùng chiều hoặc ngược chiều với tốc độ chuyển động.



Hình 1 - 7. a) Đồ thị momen cản thế năng ; b) Đồ thị momen cản phản kháng

Rõ ràng là khi  $M_c$  tác động ngược chiều  $\omega$ , cơ cấu công tác có tác dụng cản trở chuyển động, nghĩa là nó tiêu thụ năng lượng, còn động cơ nhận điện năng từ lưới, biến đổi thành cơ năng để cung cấp cho cơ cấu công tác. Đó chính là trường hợp nâng tải trọng, được minh họa bằng các mũi tên chỉ chiều của  $M_c$ ,  $\omega$ ,  $v$ ,  $G$  trên hình 1-7a (phần phía trên trục hoành).

Ngược lại, khi  $M_c$  cùng chiều tốc độ, như trong trường hợp hạ tải trọng, thì  $M_c$  hỗ trợ chuyển động, nghĩa là cơ cấu công tác lấy thế năng của tải trọng  $G$ , tạo ra cơ năng cung cấp cho động cơ. Như vậy momen cản thế năng là loại phụ tải có khả năng trao đổi năng lượng thuận nghịch với động cơ điện.

- *Momen cản phản kháng* : luôn luôn có chiều ngược lại với tốc độ, ví dụ momen do lực ma sát sinh ra. Các cơ cấu công tác có momen cản loại này chỉ tiêu thụ năng lượng mà thôi. Đồ thị biểu diễn momen cản phản kháng được vẽ trên hình 1-7b.

Cách phân loại này thường sử dụng khi phân tích các trạng thái làm việc của động cơ và hệ thống.

**b) Phân loại theo hàm số phụ thuộc giữa momen cản và tốc độ - Đặc tính cơ của máy sản xuất**

Tùy thuộc vào từng loại máy sản xuất, tức phụ thuộc vào đặc điểm của công nghệ từng máy, lực cản hoặc momen cản có giá trị phụ thuộc tốc độ làm việc theo những hàm số  $M_c = f(\omega)$  khác nhau. Quan hệ  $M_c = f(\omega)$  được gọi là đặc tính cơ của máy sản xuất.

Mặc dù hàm số  $M_c = f(\omega)$  của các máy sản xuất rất đa dạng, nhưng để thuận tiện trong việc khảo sát, người ta phân chúng thành 4 loại sau :

- *Momen cản loại máy tiện, có quan hệ tỷ lệ nghịch với tốc độ :*

$$M_c = M_{co} + M_{dm} \cdot \frac{\omega_{dm}}{\omega} \approx \frac{M_{dm} \cdot \omega_{dm}}{\omega} \quad (1-5)$$

Trong đó :  $M_{co}$  - momen cản khi tốc độ  $\omega = 0$ .

$M_{dm}, \omega_{dm}$  - momen và tốc độ định mức.

Đặc điểm của loại này là tốc độ làm việc càng thấp thì momen cản (lực cản) càng lớn. Đó chính là đặc điểm gia công cắt gọt kim loại trên máy tiện và một số máy công cụ.

- *Momen cản loại cần trục có giá trị không đổi, không phụ thuộc tốc độ làm việc, ví dụ momen cản do tải trọng gây ra như đã xét trong tiết 1-2 :*

$$M_c = M_{dm} = \text{const} \quad (1-6)$$

- *Momen cản loại ma sát nhớt tỷ lệ bậc nhất đối với tốc độ làm việc :*

$$M_c = M_{co} + M_{dm} \cdot \frac{\omega}{\omega_{dm}} \approx \frac{M_{dm}}{\omega_{dm}} \cdot \omega \quad (1-7)$$

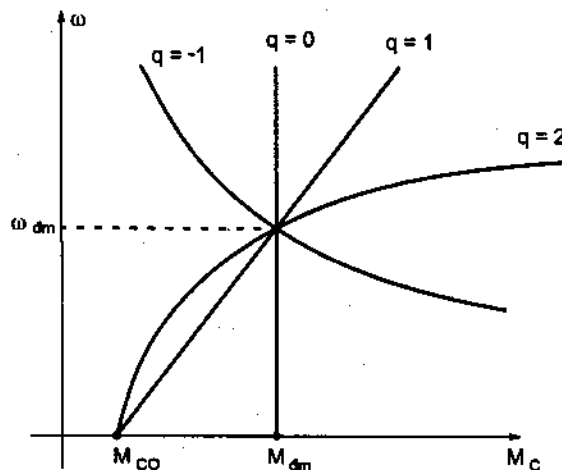
Đây là momen cản do lực ma sát nhớt gây ra, hoặc momen cản do máy phát điện gây ra trên trục động cơ sơ cấp.

- *Momen cản loại quạt gió: tỷ lệ với bình phương của tốc độ làm việc :*

$$M_c = M_{co} + M_{dm} \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_{dm}} \right)^2 \approx M_{dm} \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_{dm}} \right)^2 \quad (1-8)$$

Đây là momen cản của quạt gió, máy bơm nước và các máy có cơ cấu công tác dạng cánh quạt, chân vịt ...

Các biểu thức (1-5), (1-6), (1-7), (1-8) được gọi là các phương trình đặc tính cơ của máy sản xuất .



*Hình 1 - 8. Đặc tính cơ của máy sản xuất :*

*q = 1 - Đặc tính cơ (loại momen cản) máy tiện*

*q = 0 - loại cần trục ;*

*q = 1 - loại ma sát nhớt*

*q = 2 - loại quạt gió*



Thường người ta biểu diễn tổng quát cả bốn dạng nêu trên bằng một phương trình chung:

$$M_c = M_{c0} + M_{dm} \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_{dm}} \right)^q \quad (1-9)$$

Trong đó,  $q = -1; 0; 1; 2$  – số mũ, tương ứng với các loại momen cản máy tiện, cản trục, ma sát nhớt, quạt gió.

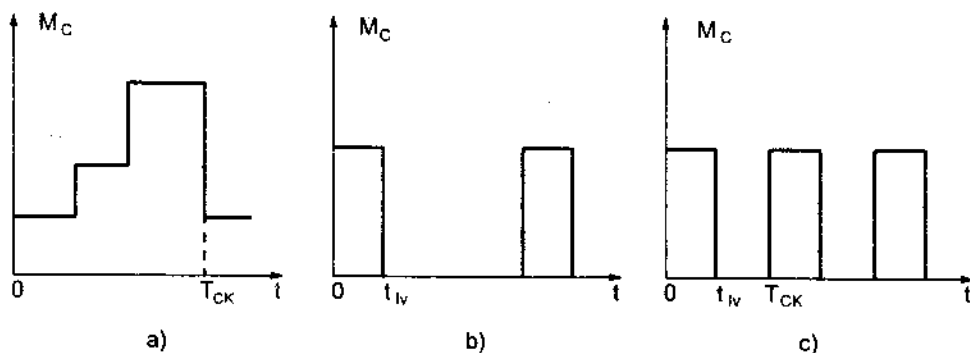
Dạng các đặc tính cơ theo (1-5) +(1-9) được biểu diễn trên hình 1-8.

Cách phân loại này được ứng dụng kết hợp với đặc tính cơ của động cơ điện trong các phép tính toán về điều chỉnh và điều khiển hệ thống.

### c) Phân loại momen cản theo thời gian tác dụng - Đồ thị phụ tải

Người ta còn phân loại momen cản theo hàm số phụ thuộc thời gian  $M_c = f(t)$ , còn gọi là “đồ thị phụ tải”. Theo đó ta phân momen cản (hoặc phụ tải của động cơ) thành ba loại chính : phụ tải dài hạn (hình 1-9a), phụ tải ngắn hạn (hình 1-9b), và phụ tải ngắn hạn lặp lại (hình 1-9c). Trong từng loại, ở mỗi chu kỳ làm việc ( $T_{CK}$ ) giá trị  $M_c$  có thể không đổi hoặc biến đổi.

Phương pháp phân loại này được sử dụng trong các bài toán chọn công suất động cơ và sẽ được đề cập đầy đủ trong chương VI.



Hình 1 - 9. Đồ thị phụ tải (momen cản phụ thuộc thời gian)  
a) Loại dài hạn; b) Loại ngắn hạn ; c) Loại ngắn hạn lặp lại.

## 1.3. PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA HỆ TRUYỀN ĐỘNG

Ta đã biết, đối với một vật rắn chuyển động thẳng, tổng các lực tác động lên vật bằng tích của khối lượng (quán tính) và gia tốc của nó:

$$\Sigma F_i = m \cdot a \quad (1-10)$$

Đối với hệ truyền động, sau khi quy đổi các đại lượng như đã nêu trong mục 1-2, phần cơ của hệ được đưa về dạng sơ đồ tính toán đơn khối như trên hình 1-5, tương tự như một vật rắn có chuyển động quay. Do đó, cũng tương tự như biểu thức (1-10), đối với hệ truyền động ta cũng có quan hệ sau : Tổng các momen tác động lên hệ sẽ bằng tích của momen quán tính và gia tốc góc của nó :

$$\Sigma M_i = J_t \cdot \varepsilon \quad (1 - 11)$$

: Như ta đã biết, hệ truyền động có hai lượng momen tác động và thường ngược chiều nhau : momen động cơ  $M$  và momen cản  $M_c$ , do đó ta viết :

$$\Sigma M_i = M - M_c = M_{dg}$$

Tổng  $(M - M_c)$  còn được gọi là momen động ( $M_{dg}$ ), là đại lượng quyết định gia tốc của hệ. Gia tốc góc  $\varepsilon$  được xác định bằng lượng biến thiên của tốc độ góc trong một đơn vị thời gian. Nếu lấy lượng biến thiên là vi phân của tốc độ  $d\omega$  tương ứng với khoảng thời gian  $dt$ , ta có :

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$$

Thay  $\Sigma M_i$  và  $\varepsilon$  vào (1-11) ta được “phương trình chuyển động của hệ truyền động điện” :

$$M - M_c = J_t \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (1-12)$$

Trong một số trường hợp, có thể coi tốc độ biến thiên tuyến tính theo thời gian, gia tốc  $\varepsilon$  có thể xác định theo lượng sai phân của tốc độ  $\Delta\omega$  trong khoảng thời gian tương ứng  $\Delta t$ , còn momen động  $M_{dg}$  cũng có thể lấy theo giá trị trung bình :  $M_{dg, tb}$ , ta có :

$$M - M_c = J_t \cdot \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad ; \quad M_{dg, tb} = J_t \cdot \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

Các phương trình trên được viết cho trường hợp đơn giản nhất khi coi hệ truyền động có phần cơ đơn khối và momen quán tính tổng là hằng số ( $J_t = \text{const}$ ).

Khi sử dụng phương trình (1-12) cần chú ý cách lấy dấu của các đại lượng như sau :

- Trước hết lấy chiều của tốc độ  $\omega$  làm chuẩn (ví dụ coi là chiều dương)
- Dấu của momen động cơ :

$M > 0$  nếu cùng chiều  $\omega$  ;

$M < 0$  nếu ngược chiều  $\omega$ .

- Dấu của momen cản :

$M_c > 0$  nếu ngược chiều  $\omega$

$M_c < 0$  nếu cùng chiều  $\omega$

Chú ý : Dấu “-” trong vế trái của (1-12) được giữ nguyên vì coi đó là dấu của phương trình.

Từ phương trình chuyển động (1-12) ta thấy nếu lấy chiều của  $\omega$  làm chuẩn dương :

- Khi  $M > M_c$  hoặc  $M_{dg} > 0$  thì  $d\omega/dt > 0$ , hệ tăng tốc, ví dụ khi khởi động hệ thống.

- Khi  $M < M_c$  hoặc  $M_{dg} < 0$  thì  $d\omega/dt < 0$ , hệ giảm tốc, ví dụ khi hãm dừng hệ thống.

- Khi  $M = M_c$  hoặc  $M_{dg} = 0$  thì  $d\omega/dt = 0$ , hệ làm việc xác lập với tốc độ ổn định  $\omega = \text{const}$ .

Phương trình chuyển động giúp ta xác định được các trạng thái xác lập của hệ, cũng như giải được các bài toán về quá trình quá độ, và được coi là một quan hệ cơ bản của truyền động điện.

## 1.4. KHÁI NIỆM VỀ ĐẶC TÍNH CƠ VÀ CÁC TRẠNG THÁI LÀM VIỆC CỦA HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Trong phương trình chuyển động (1-12), nếu biết giá trị của  $M$  và  $M_c$  ta có thể đánh giá được trạng thái làm việc của hệ và xác định các đại lượng liên quan khác. Cần nhớ rằng, trường hợp chung nhất  $M$  và  $M_c$  đều là những hàm số phụ thuộc tốc độ. Các quan hệ  $M = f(\omega)$  và  $M_c = f(\omega)$  được gọi là đặc tính cơ.

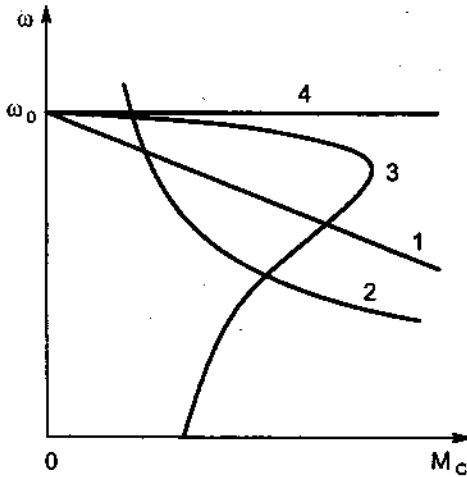
### 1.4.1. Đặc tính cơ của máy sản xuất

Như đã trình bày trong mục 1-2, quan hệ  $M_c = f(\omega)$  được gọi là đặc tính cơ của máy sản xuất, có các dạng điển hình như trên hình 1-8. Dạng của đặc tính này được đánh giá nhờ số mũ  $q$  trong phương trình (1 - 9), hoặc nhờ đại lượng “độ cứng đặc tính cơ”  $\beta_c$  :

$$\beta_c = dM_c/d\omega \quad (1-13)$$

### 1.4.2. Đặc tính cơ của động cơ điện

Quan hệ giữa momen và tốc độ của động cơ  $M = f(\omega)$  được gọi là đặc tính cơ của động cơ điện. Hình 1-10 trình bày dạng đặc tính cơ của một số động cơ điện thường gặp.



Hình 1 - 10. Đặc tính cơ của các động cơ điện

1 - Động cơ điện một chiều kích từ độc lập

2 - Động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp

3 - Động cơ không đồng bộ

4 - Động cơ đồng bộ

Thường thường người ta phân biệt hai loại đặc tính cơ :

- *Đặc tính cơ tự nhiên* là đặc tính có được khi động cơ nối theo sơ đồ bình thường, không sử dụng thêm thiết bị phụ trợ và các thông số nguồn là định mức. Như vậy mỗi động cơ chỉ có một đường đặc tính cơ tự nhiên.

- *Đặc tính cơ nhân tạo* hay *đặc tính cơ điều chỉnh* là đặc tính cơ nhận được khi thay đổi một thông số nào đó của nguồn, hoặc nối thêm thiết bị phụ trợ vào mạch hoặc sử dụng các sơ đồ đặc biệt. Mỗi động cơ có thể có rất nhiều đặc tính cơ nhân tạo.

### 1.4.3. Độ cứng của đặc tính cơ

Để đánh giá mức độ phụ thuộc giữa tốc độ và momen động cơ, nghĩa là để đánh giá dạng đặc tính, người ta sử dụng đại lượng “độ cứng đặc tính cơ” viết ở dạng có đơn vị đo  $\beta$  hoặc dạng đơn vị tương đối  $\beta^*$

$$\beta = \frac{dM}{d\omega} \approx \frac{\Delta M}{\Delta \omega} \quad ; \quad \beta^* = \frac{dM^*}{d\omega^*} \quad (1-14)$$

Trong đó :  $dM$  và  $d\omega$  là lượng biến thiên rất nhỏ (vi phân) của momen và tốc độ tương ứng ;  $\Delta M$  và  $\Delta \omega$  - lượng sai phân của momen và tốc độ tương ứng ;  $M^* = M/M_{dm}$  ;  $\omega^* = \omega/\omega_{dm}$  hoặc  $\omega^* = \omega/\omega_0$  - Giá trị tương đối của momen và tốc độ, tính theo giá trị định mức ( $M_{dm}$ ,  $\omega_{dm}$ ) hoặc theo một giá trị chuẩn quy ước như tốc độ không tải lý tưởng  $\omega_0$ .

Đặc tính cơ của các động cơ một chiều và phân làm việc trên đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ đều có  $\beta < 0$ . Giá trị tuyệt đối  $|\beta|$  càng lớn thì đặc tính càng cứng và ngược lại :  $|\beta|$  nhỏ, đặc tính mềm. Động cơ đồng bộ có đặc tính cứng tuyệt đối với  $|\beta| = \infty$ .