

# Chương 9: Máy điện đồng bộ

## 9.1. Khái quát chung về máy điện đồng bộ

### 9.1.1. Định nghĩa

- Máy điện xoay chiều có tốc độ quay rôto  $n$  bằng tốc độ quay của từ trường  $n_1$  là máy điện đồng bộ
- Có 2 dây quấn: - dây quấn stato nối với lưới điện có tần số  $f$  không đổi  
- dây quấn rôto được kích thích bằng dòng điện 1 chiều.

Ở chế độ xác lập, máy điện đồng bộ có tốc độ quay rôto luôn không đổi khi tải thay đổi.

### 9.1.2. Công dụng của máy điện đồng bộ

- Máy phát điện đồng bộ là nguồn điện chính của các lưới điện quốc gia, trong đó động cơ sơ cấp là các tuabin hơi, tuabin khí và tuabin nước. Công suất của máy phát có thể đạt tới 600MVA hoặc lớn hơn, thường làm việc song song. Ở các lưới điện công suất nhỏ, máy phát điện đồng bộ được kéo bởi các động cơ điêzen hoặc các tuabin khí, có thể làm việc đơn lẻ hoặc hai, ba máy làm việc song song.
- Động cơ đồng bộ được sử dụng khi truyền động công suất lớn, có thể đạt đến vài chục MW. Trong công nghiệp luyện kim, khai thác mỏ, thiết bị lạnh, động cơ đồng bộ được sử dụng để truyền động các máy bơm, nén khí, quạt gió... với tốc độ không đổi. Động cơ đồng bộ công suất nhỏ được sử dụng trong các thiết bị như đồng hồ điện, dụng cụ từ ghi, thiết bị điện sinh hoạt...
- Ngoài ra trong hệ thống điện còn sử dụng máy bù đồng bộ để phát công suất phản kháng cho lưới điện để bù hệ số công suất và ổn định điện áp.

## 9.2. Cấu tạo máy điện không đồng bộ

Máy điện đồng bộ gồm 2 bộ phận chính là stato và rôto.

1 - lá thép stato, 2 - dây quấn stato

3 - lá thép rôto, 4 - dây quấn rôto

### 9.2.1. Stato

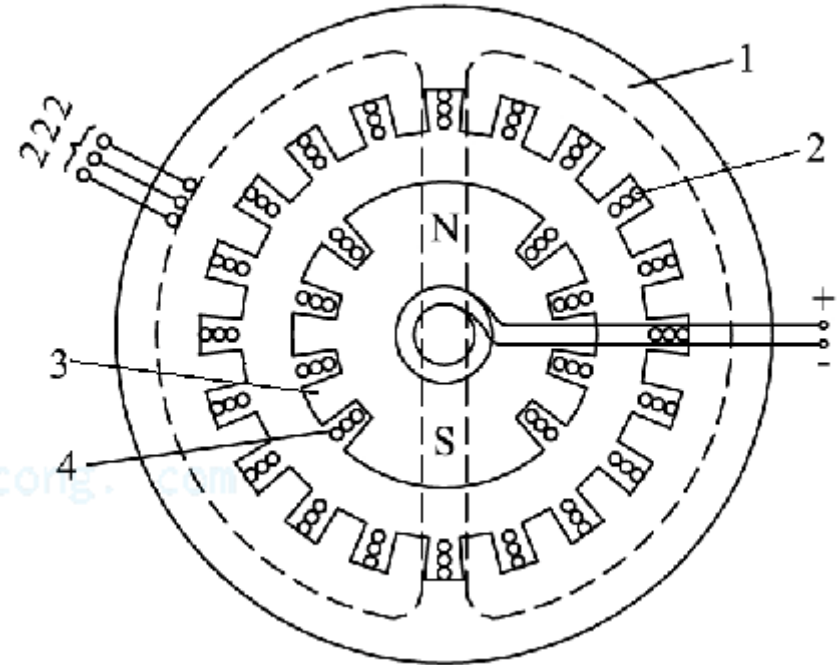
Tương tự như máy điện không đồng bộ, stato của máy điện đồng bộ gồm 2 bộ phận chính là lõi thép stato và dây quấn ba pha stato (gọi là dây quấn phản ứng)

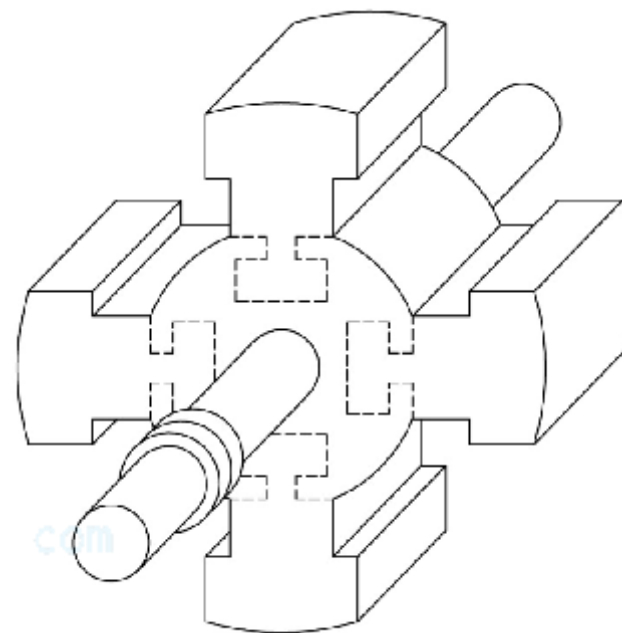
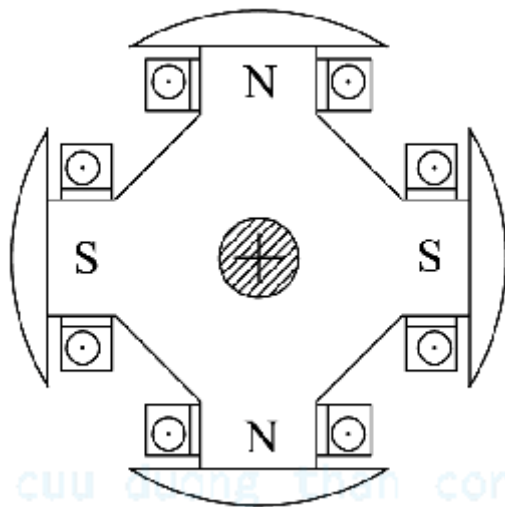
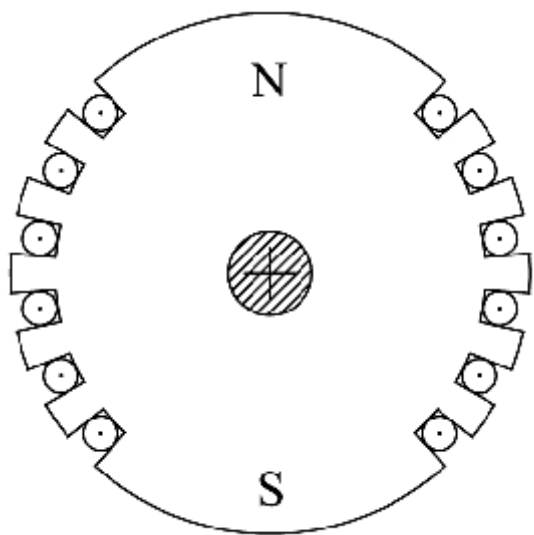
### 9.2.2. Rôto

Rôto có các cực từ và dây quấn kích từ, dùn từ trường cho máy. Đối với máy nhỏ, rôto là nam châm vĩnh cửu.

Rôto của máy điện đồng bộ có 2 loại:

- Rôto cực ần: dùng ở các máy có tốc độ cao 3000vg/ph, có một đôi cực
- Rôto cực lồi: dùng ở các máy có tốc độ thấp, có nhiều đôi cực





Để có sức điện động sin, từ trường của cực từ rôto phải phân bố hình sin dọc theo khe hở không khí giữa stato và rôto, ở đỉnh các cực từ có từ cảm cực đại.

Rôto cực ẩn: dây quấn kích từ được đặt trong các rãnh

Rôto cực lồi: dây quấn kích từ được quấn xung quanh thân cực từ

Hai đầu của dây quấn kích từ đi luôn trong trục và nối với hai vòng trượt đặt ở đầu trục, thông qua hai chổi điện để nối với nguồn kích từ.

### 9.3. Nguyên lý làm việc của máy phát điện đồng bộ

Cho dòng điện kích từ (dòng điện không đổi) vào dây quấn kích từ

→ sinh ra từ trường rôto

→ rôto quay, từ trường rôto sẽ cắt các dây quấn phản ứng stato và cảm ứng sức điện động xoay chiều hình sin có trị số hiệu dụng

$$E_o = 4,44fw_1k_{dq}\phi_o$$

$E_o$  : sức điện động pha

$w_1$  : số vòng dây một pha

$k_{dq}$  : hệ số dây quấn

$\phi_o$  : từ thông cực từ rôto

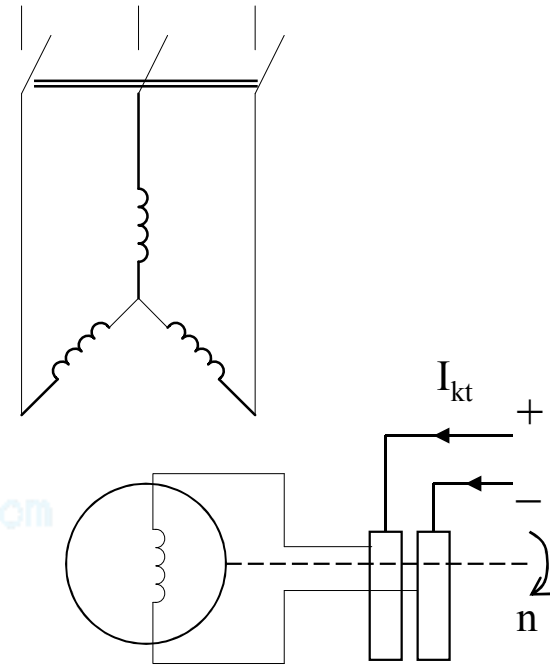
Nếu rôto có p đôi cực, khi rôto quay được 1 vòng, sức điện động phản ứng sẽ biến thiên p chu kỳ, như vậy tần số của sđđ sẽ là:

$$f = \frac{pn}{60} \text{ (vg/ph)}$$

Dây quấn ba pha stato có trục lệch nhau trong không gian góc  $120^\circ$

Nên sđđ các pha lệch nhau góc pha  $120^\circ$

Khi dây quấn stato nối với tải, trong các dây quấn sẽ có dòng điện ba pha. Dòng điện ba pha trong ba dây quấn sẽ tạo nên từ trường quay với tốc độ  $n_1=60f/p$ , bằng tốc độ n của rôto



## 9.4. Phản ứng phần ứng của máy phát điện đồng bộ

Khi máy phát điện làm việc, từ thông của cực từ rôto  $\phi_o$  cắt dây quấn stato, cảm ứng ra sđđ  $E_o$  chậm pha so với  $\phi_o$  góc  $90^\circ$ . Dây quấn stato nối với tải sẽ tạo nên dòng điện  $I$  cung cấp cho tải. Dòng điện này tạo nên từ trường quay phần ứng. Từ thông phần ứng quay đồng bộ với  $\phi_o$ . Góc lệch pha  $E_o$  và  $I$  do tính chất của tải quyết định. Tác dụng của từ trường phần ứng lên từ trường cực từ gọi là phản ứng phần ứng.

- Tải thuần trở:  $\psi = 0$ ,  $E_o$  và  $I$  cùng pha, dòng điện  $I$  sinh ra từ thông phần ứng cùng pha với dòng điện.

Từ thông phần ứng theo hướng ngang trục, làm méo từ trường cực từ, gọi là phản ứng phần ứng ngang trục

- Tải thuần cảm:  $\psi = 90^\circ$ , dòng điện  $I$  sinh ra từ thông phần ứng ngược chiều với  $\phi_o$ , gọi là phản ứng phần ứng dọc trục khử từ, làm giảm từ trường tổng.

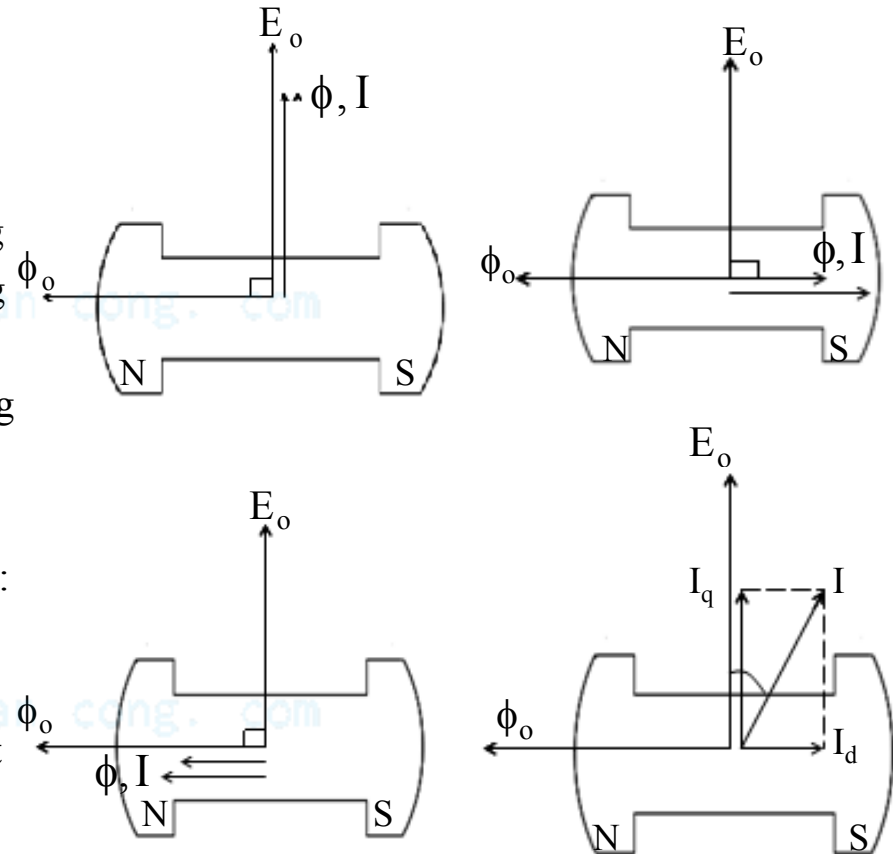
- Tải thuần dung:  $\psi = -90^\circ$ , dòng điện sinh ra từ thông phần ứng cùng chiều với  $\phi_o$ , gọi là phản ứng phần ứng dọc trục trợ từ, làm tăng từ trường tổng

- Tải bất kỳ: phân tích dòng điện  $I$  thành 2 thành phần:

- Thành phần dọc trục  $I_d = I \sin \psi$

- Thành phần ngang trục  $I_q = I \cos \psi$

Dòng điện  $I$  sinh ra từ trường phần ứng vừa có tính chất ngang trục, vừa có tính chất dọc trục trợ từ hoặc khử từ tùy theo tính chất của tải



## 9.5. Mô hình toán của máy phát điện đồng bộ

### 9.5.1. Phương trình điện áp của máy phát điện đồng bộ cực lồi

Ở máy điện cực lồi, vì khe hở dọc trục và ngang trục không giống nhau, nên ta phải phân tích ảnh hưởng của phản ứng phân ứng theo hướng dọc trục và ngang trục.

Từ trường chính phản ứng ngang trục tạo nên sđđ ngang trục:  $\dot{E}_{uq} = -j\dot{I}_q X_{uq}$

Từ trường chính phản ứng dọc trục tạo nên sđđ dọc trục:  $\dot{E}_{ud} = -j\dot{I}_d X_{ud}$

trong đó  $X_{ud}$ ,  $X_{uq}$  là điện kháng pupur dọc trục và ngang trục

Từ thông tản của dq stato đặc trưng bởi điện kháng tản  $X_t$  không phụ thuộc vào hướng dọc trục hay ngang trục  $\dot{E}_t = -j\dot{I}X_t = -j\dot{I}_d X_t - j\dot{I}_q X_t$

Bỏ qua điện áp rơi trên dây quấn phần ứng, ta có phương trình điện áp của máy phát điện đồng bộ cực lồi:

$$\begin{aligned}\dot{U} &= \dot{E}_o - j\dot{I}_d X_{ud} - j\dot{I}_q X_{uq} - j\dot{I}_d X_t - j\dot{I}_q X_t \\ &= \dot{E}_o - j\dot{I}_d (X_{ud} + X_t) - j\dot{I}_q (X_{uq} + X_t)\end{aligned}$$

$X_d = X_{ud} + X_t$  : điện kháng đồng bộ dọc trục

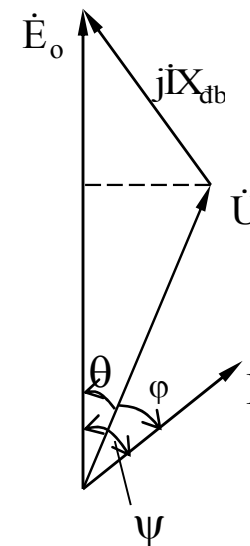
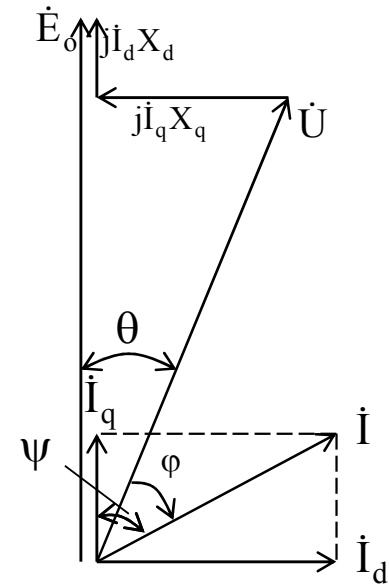
$X_q = X_{uq} + X_t$  : điện kháng đồng bộ ngang trục

$$\longrightarrow \dot{U} = \dot{E}_o - j\dot{I}_d X_d - j\dot{I}_q X_q$$

### 9.5.2. Phương trình điện áp của máy phát điện đồng bộ cực ẩn

Máy phát điện đồng bộ cực ẩn là trường hợp đặc biệt của máy phát điện đồng bộ cực lồi với  $X_d = X_q = X_{db}$  gọi là điện kháng đồng bộ

→ Phương trình điện áp:  $\dot{U} = \dot{E}_o - j\dot{I}X_{db}$



## 9.6. Công suất điện từ của máy phát điện đồng bộ cực lồi

### 9.6.1. Công suất tác dụng

Công suất tác dụng của máy phát cung cấp cho tải:

$$P = mUI \cos \varphi$$

$$= mUI \cos(\psi - \theta) = mUI \cos \psi \cos \theta + mUI \sin \psi \sin \theta$$

$$\text{Có: } I \cos \psi = I_q = \frac{U \sin \theta}{X_q} \quad ; \quad I \sin \psi = I_d = \frac{E_o - U \cos \theta}{X_d}$$

$$\rightarrow P_{dt} = mU \frac{E_o}{X_d} \sin \theta + m \frac{U^2}{2} \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta$$

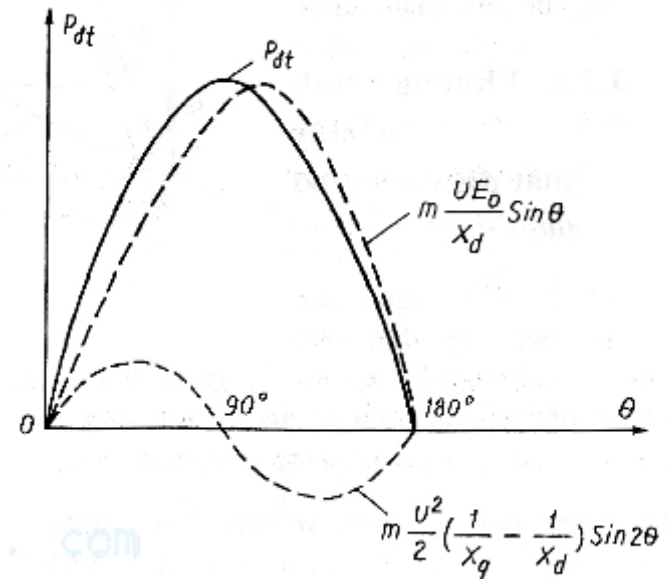
Công suất điện từ gồm 2 thành phần:

- Thành phần  $mU \frac{E_o}{X_d} \sin \theta$  do dòng điện kích từ tạo nên, là thành phần công suất chủ yếu của máy phát
- Thành phần  $m \frac{U^2}{2} \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta$  không phụ thuộc vào dòng kích từ, chỉ có khi  $X_d \neq X_q$  (máy cực lồi)

Do ảnh hưởng của thành phần này, đối với máy cực lồi không cần dòng điện kích từ mà cũng tạo nên được mômen quay, đó là nguyên lý của động cơ phản kháng

Ta có đặc tính góc công suất của máy phát điện không đồng bộ  $P = f(\theta)$

Máy phát làm việc ổn định khi  $\theta = 0 \div \frac{\pi}{2}$ , khi tải định mức  $\theta = 20^\circ \div 30^\circ$



### 9.6.2. Công suất phản kháng

Công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ:

$$Q = mUI \sin \varphi \\ = mUI \sin(\psi - \theta) = mUI \sin \psi \cos \theta + mUI \cos \psi \sin \theta$$

Ta tìm được: 
$$Q = mU \frac{E_o}{X_d} \cos \theta + m \frac{U^2}{2} \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \cos 2\theta - \frac{mU^2}{2} \left( \frac{1}{X_q} + \frac{1}{X_d} \right)$$

### 9.6.3. Điều chỉnh công suất tác dụng và công suất phản kháng

a/ Điều chỉnh công suất tác dụng:

Máy phát biến đổi cơ năng thành điện năng, vì thế muốn điều chỉnh công suất tác dụng P, phải điều chỉnh công suất cơ của động cơ sơ cấp

b/ Điều chỉnh công suất phản kháng:

Xét máy điện đồng bộ cực ản:  $X_d = X_q = X_{db}$

$$Q = \frac{mU(E_o \cos \theta - U)}{X_{db}}$$

Giữ U, f, P không đổi: nếu:

- $E_o \cos \theta < U \rightarrow Q < 0$  : máy không phát công suất phản kháng mà nhận công suất phản kháng của lưới điện để tạo ra từ trường, máy thiếu kích từ
- $E_o \cos \theta = U \rightarrow Q = 0$
- $E_o \cos \theta > U \rightarrow Q > 0$  : máy phát công suất phản kháng cung cấp cho tải, máy quá kích từ

Ta thấy, muốn thay đổi công suất phản kháng, phải thay đổi  $E_o$ , nghĩa là điều chỉnh dòng kích từ. Muốn tăng công suất phản kháng thì phải tăng kích từ. Khi tăng dòng kích từ,  $E_o$  tăng, có  $E_o \sin \theta = \text{const}$  nên  $\cos \theta$  tăng, do đó Q sẽ tăng



## 9.7. Đặc tính ngoài và đặc tính điều chỉnh

### 9.7.1. Đặc tính ngoài của máy phát điện đồng bộ

Là quan hệ điện áp  $U$  trên cực máy phát và dòng điện tải  $I$  khi tính chất tải không đổi ( $\cos \varphi_t = const$ ), tần số và dòng điện kích từ máy phát không đổi. Điện áp máy phát phụ thuộc vào dòng điện và đặc tính của tải:

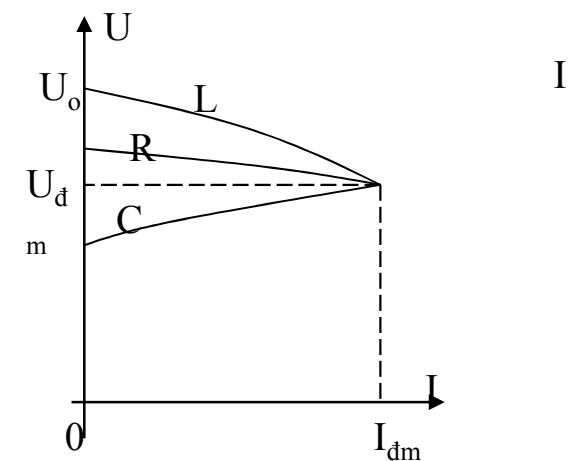
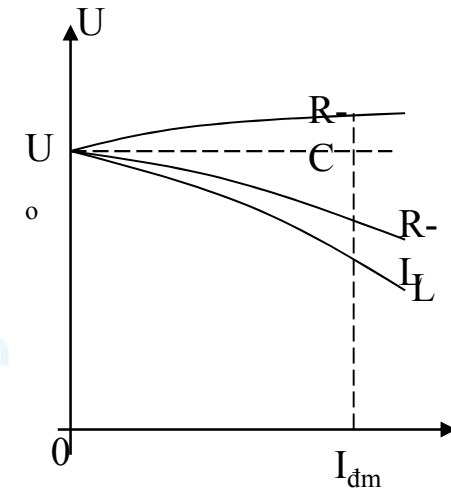
- Tải cảm và tải trở: khi tải tăng, điện áp giảm
- Tải dung: khi tải tăng, điện áp tăng

Để giữ điện áp bằng  $U_{dm}$  phải thay đổi  $E_o$  bằng cách điều chỉnh  $I_{kt}$ , ta được đường đặc tính:

$$\Delta U\% = \frac{U_o - U_{dm}}{U_{dm}} 100 = \frac{E_o - U_{dm}}{U_{dm}}$$

Vì  $X_{db}$  khá lớn nên giá trị này

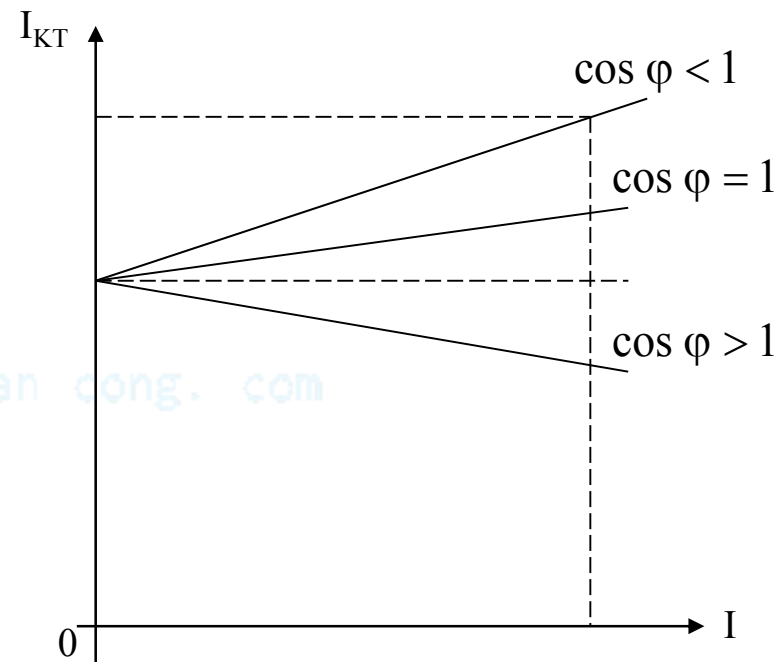
Có thể đạt đến vài chục phần trăm



## 9.7.2. Đặc tính điều chỉnh

Đường đặc tính điều chỉnh là quan hệ giữa dòng điện kích từ và dòng điện tải khi điện áp  $U$  không đổi bằng định mức

Phần lớn các máy phát điện đồng bộ có bộ tự động điều chỉnh dòng kích từ giữ cho điện áp không đổi



## 9.8. Sự làm việc song song của các máy phát điện đồng bộ

Các hệ thống điện gồm nhiều máy phát điện đồng bộ làm việc song song với nhau tạo thành lưới điện. Công suất của lưới điện rất lớn so với công suất mỗi máy riêng rẽ, do đó điện áp cũng như tần số của lưới có thể giữ không đổi, khi thay đổi tải.

Để các máy làm việc song song phải đảm bảo các điều kiện sau:

- Điện áp của máy phát phải bằng điện áp của lưới và trùng pha nhau
- Tần số của máy phát phải bằng tần số của lưới điện
- Thứ tự pha của máy phát phải giống thứ tự pha của lưới điện

Nếu không đảm bảo các điều kiện trên, sẽ có dòng điện lớn chạy quẩn trong máy, phá hỏng máy và gây rối loạn hệ thống điện.

Để đóng máy phát điện vào lưới, ta dùng thiết bị hòa đồng bộ.

Đối với máy phát điện công suất nhỏ có thể đóng vào lưới bằng phương pháp tự đồng bộ: dây quấn kích từ không đóng vào nguồn điện kích từ mà khép mạch qua điện trở phóng điện để tránh xuất hiện điện áp cao, phá hỏng dây quấn kích từ. Quay rôto đến gần tốc độ đồng bộ, sau đó đóng máy phát vào lưới và cuối cùng đóng dây quấn kích từ vào nguồn điện kích từ, máy sẽ làm việc đồng bộ.

## 9.9. Động cơ điện đồng bộ

### 9.9.1. Nguyên lý làm việc, phương trình điện áp và đồ thị vectơ

Nguyên lý làm việc của động cơ điện đồng bộ:

Khi ta cho dòng điện ba pha  $i_A, i_B, i_C$  vào ba dây quấn stato, dòng điện ba pha ở stato sẽ sinh ra từ trường quay với tốc độ  $n_1 = 60f/p$ , hình dung từ trường quay này như một nam châm quay. Khi cho dòng điện một chiều vào dây quấn rôto, rôto biến thành một nam châm điện.

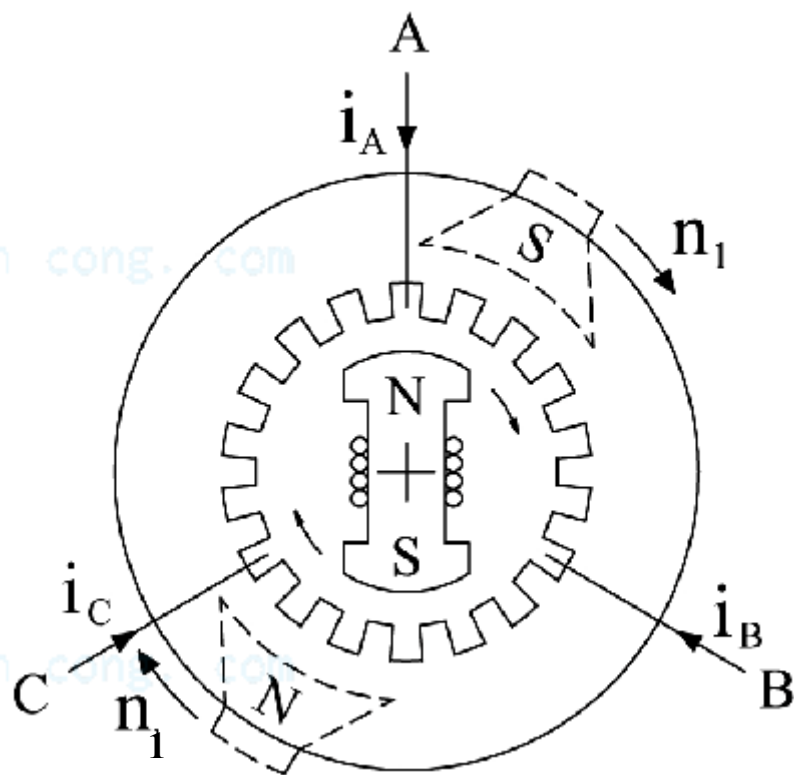
Tác dụng tương hỗ giữa từ trường stato và từ trường rôto sẽ có lực tác dụng lên rôto. Khi từ trường stato quay với tốc độ  $n_1$ , lực tác dụng ấy sẽ kéo rôto quay với tốc độ  $n = n_1$ .

Nếu trục rôto nối với một máy nào đó, ĐCĐ sẽ kéo máy quay với tốc độ  $n$  không đổi.

Phương trình điện áp:  $\dot{U} = \dot{E}_o + \dot{I}R + j\dot{I}X_{db}$

Khi bỏ qua điện trở dây quấn stato  $R$ , ta có:

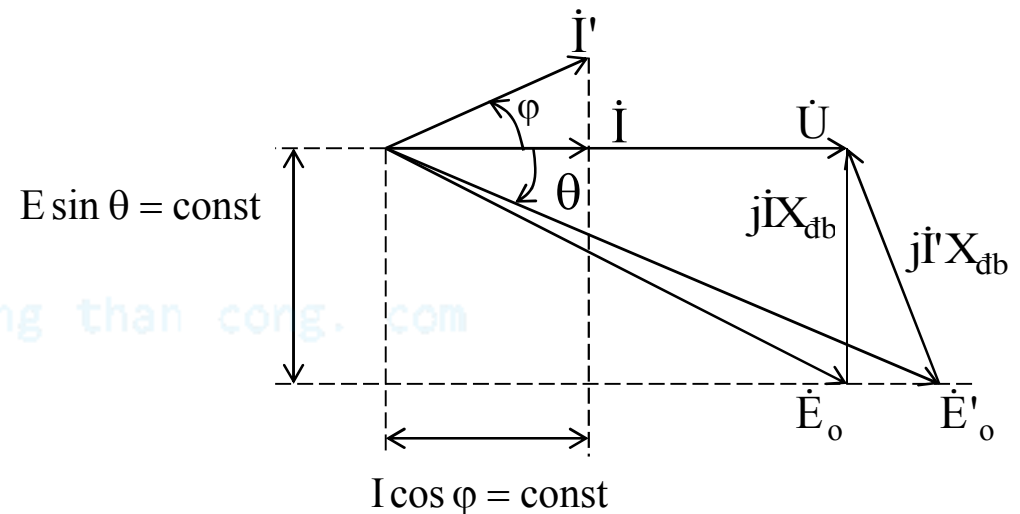
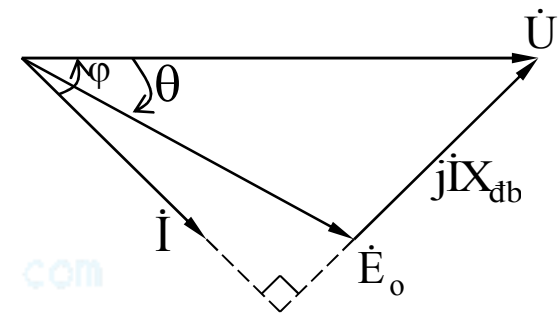
$$\dot{U} = \dot{E}_o + j\dot{I}X_{db}$$



### 9.9.2. Điều chỉnh hệ số công suất $\cos \varphi$ của động cơ điện đồng bộ

Khi dòng điện  $I$  chậm pha sau điện áp  $U$ , động cơ tiêu thụ công suất phản kháng của lưới điện, làm cho hệ số công suất của lưới điện giảm xuống, do đó không để động cơ làm việc ở chế độ này.

Trong công nghiệp, người ta cho động cơ làm việc ở chế độ quá kích từ, dòng điện  $I$  vượt trước pha so với điện áp  $U$ , động cơ vừa tạo ra cơ năng, vừa phát công suất phản kháng nhằm nâng cao hệ số công suất của lưới, đó là một ưu điểm của động cơ đồng bộ



### 9.9.3. Mở máy động cơ điện đồng bộ

Khi cho dòng điện vào dây quấn stato sẽ tạo nên từ trường quay, kéo rôto quay. Rôto có quán tính lớn nên vẫn đứng yên, do đó lực tác dụng tương hỗ giữa từ trường quay stato và từ trường cực từ thay đổi chiều, rôto không quay được.

Muốn động cơ làm việc phải tạo nên mômen mở máy để quay rôto đồng bộ với từ trường quay stato, giữ cho lực tác dụng tương hỗ giữa hai từ trường không đổi chiều.

Để tạo mômen mở máy, trên các mặt cực từ rôto, người ta đặt các thanh dẫn, được nối ngắn mạch như lồng sóc ở động cơ không đồng bộ

Khi mở máy, nhờ có dây quấn mở máy ở rôto, động cơ sẽ làm việc như động cơ không đồng bộ, các động cơ thường được chế tạo với hệ số mở máy  $M_{mm}/M_{đm}$  bằng từ 0,8 đến 1

Trong quá trình mở máy, ở dây quấn kích từ sẽ cảm ứng điện áp rất lớn, có thể phá hỏng dây quấn kích từ, vì thế dây quấn kích từ sẽ được khép mạch qua điện trở phóng điện có trị số bằng 6 – 10 lần điện trở của dây quấn kích từ. Khi rôto đã quay đến tốc độ gần bằng tốc độ đồng bộ  $n_1$ , đóng nguồn điện một chiều vào dây quấn kích từ, động cơ sẽ làm việc đồng bộ.

Với động cơ công suất nhỏ, khi mở máy có thể đóng trực tiếp dây quấn stato vào lưới điện.

Với động cơ công suất lớn, phải hạn chế dòng mở máy bằng cách giảm điện áp đặt vào stato, thường dùng điện kháng hay máy tự biến áp nối vào mạch stato.

Nhược điểm của động cơ điện đồng bộ là mở máy và cấu tạo phức tạp nên giá thành đắt so với động cơ điện không đồng bộ

## 9.10. Các máy điện đồng bộ có cấu tạo đặc biệt

Ngoài máy phát và động cơ điện ba pha, ta còn gặp máy phát điện đồng bộ một pha cung cấp điện cho các tải công suất nhỏ, lưu động và động cơ đồng bộ một pha dùng trong hệ tự động và thiết bị điện sinh hoạt.

Ngoài máy có dây quấn kích từ, ta còn gặp các máy rôto là nam châm vĩnh cửu hoặc rôto cực lõi không nam châm (động cơ phản kháng). Các loại này thường có công suất nhỏ.

Trong công nghiệp, người ra còn dùng động cơ đồng bộ công suất lớn làm việc không tải và dòng điện kích từ điều chỉnh được để động cơ phát ra công suất phản kháng hoặc tiêu thụ công suất phản kháng, mục đích để điều chỉnh điện áp lưới điện. Trong trường hợp này, máy điện được gọi là máy bù đồng bộ. Máy bù đồng bộ phát ra công suất phản kháng giống như tụ điện để nâng cao hệ số công suất cho lưới điện.

cuu duong than cong. com