

CHƯƠNG 05

ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ 3 PHA

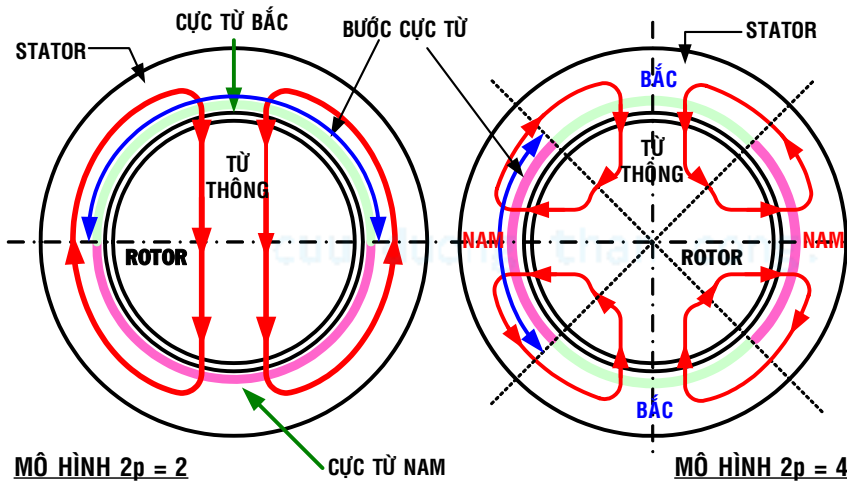
5.1. TỔNG QUAN VỀ TỪ TRƯỜNG TRONG MẠCH TỬ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN :

Mạch từ của động cơ cảm ứng hay động cơ không đồng bộ 3 pha gồm hai thành phần:

- ✚ **Stator** : phần đứng yên không quay.
- ✚ **Rotor**: phần quay của động cơ.

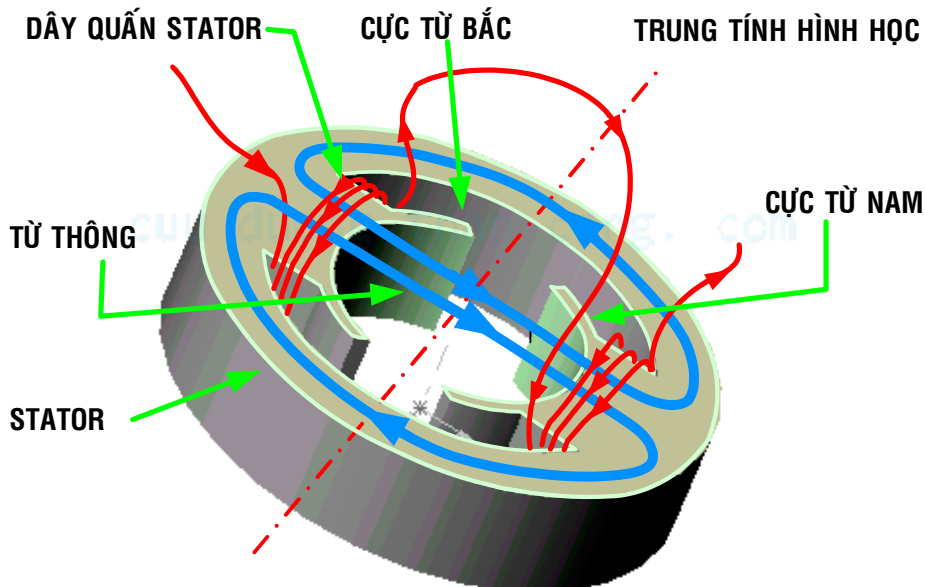
Khi cho dòng điện qua các bộ dây quấn trên stator để tạo thành hệ thống đường sức từ trường hay từ thông trong mạch từ. Hệ thống đường sức từ trường thỏa các qui luật sau đây:

- Đường sức từ trường luôn **có hướng** và **khép kín trên mạch từ** .
- Đường sức từ **đi theo đường ngắn nhất** có **từ trở nhỏ nhất** và **tập trung mạnh nhất trong vật liệu dẫn từ**.
- Một hệ thống đường sức từ khép kín được gọi là **múi đường sức**.
- **Số múi đường sức bằng với số cực từ** hình thành trong động cơ



Số cực từ của động cơ (ký hiệu là $2p$), luôn luôn là **số chẵn**. Các **cực từ đối tính** luôn luôn **xếp liên tiếp xen kẽ nhau** trong không gian của rotor và stator. Trong hình 5.1 trình bày phân bố đường sức từ trường dạng tổng quát trên mạch từ của động cơ với các trường hợp $2p = 2$ cực và $2p = 4$ cực.

HÌNH 5.1: Phân bố đường sức từ trường trong mạch từ



HÌNH 5.2: Phân bố đường sức từ trường trong mạch từ stator động cơ $2p = 2$ cực.

Trong hình 5.2, ta có thể hình dung rõ ràng hơn dạng đường sức từ trường (hay từ thông) qua mạch từ của mạch từ động cơ có $2p = 2$. Từ thông tạo ra trong mạch từ là do các cuộn dây quấn trên stator khi cho dòng điện đi qua. Quan sát hệ thống đường sức hình thành trên mạch từ ta rút ra các nhận xét như sau:

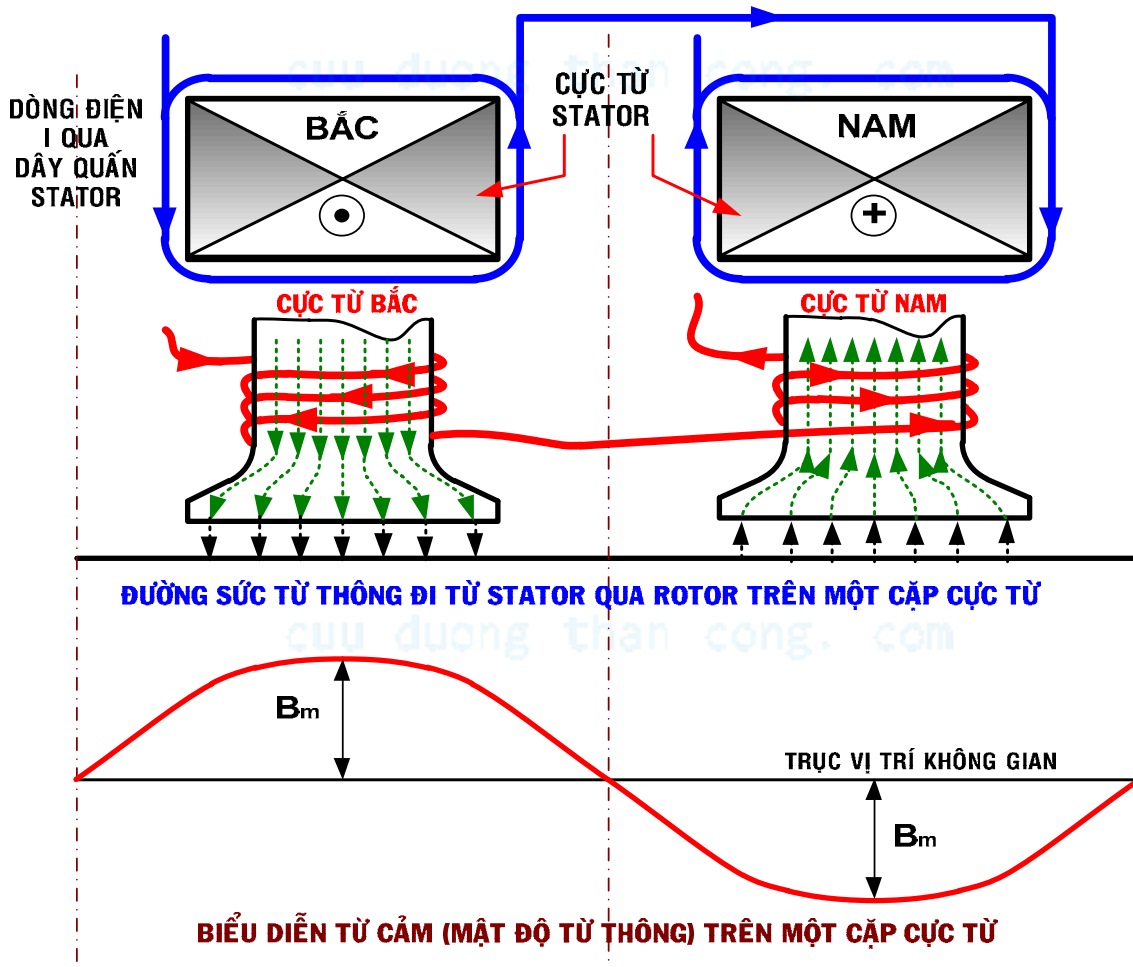
- * Tại mặt cực từ có đường sức đi hướng ra là mặt cực từ Bắc
- * Tại mặt cực từ có đường sức đi hướng vào là mặt cực từ Nam.
- * Đường sức từ trường **tập trung mạnh nhất** ngay **giữa mặt cực từ**.
- * Đường thẳng nối liền tâm của các mặt cực từ (trong kết cấu $2p = 2$) gọi là **trục cực từ**.
- * Đường thẳng **vuông góc với trục cực từ** gọi là đường **trung tính hình học**.

5.1.1. PHÂN BỐ TỪ TRƯỜNG TRONG KHÔNG GIAN :

Muốn hiểu rõ phân bố từ thông **trong khoảng khe hở không khí giữa rotor và stator**, ta có thể khai triển kết cấu trong hình 5.2 từ dạng không gian đưa về dạng khai triển trong mặt phẳng xem hình 5.3. Theo điện từ học, **tại những vị trí nào đường sức tập trung dày đặc**, mật độ đường sức từ trường phân bố tăng cao, **từ cảm B có giá trị cao**. Ngược lại tại các vị trí nào **ĐƯỜNG SỨC TỪ TRƯỜNG PHÂN BỐ THƯA THÓT**, **từ cảm B có giá trị thấp**. Tương tự, tại các vị trí không có đường sức từ đi qua, từ cảm có giá trị là **$B = 0$** .

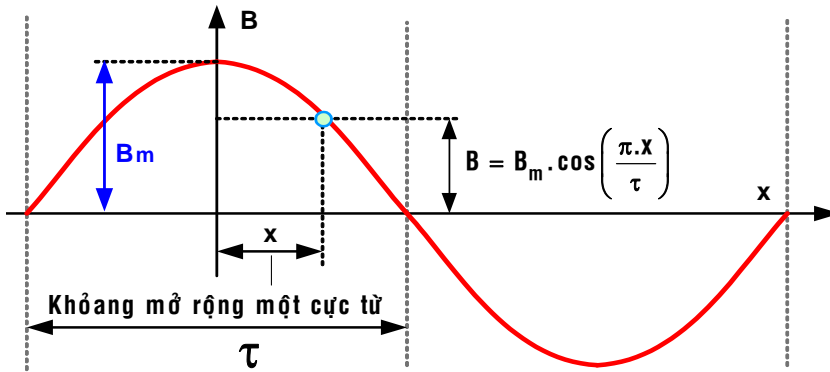
Tuy nhiên để phân biệt tính chất của các cực từ Bắc và Nam trên kết cấu mạch từ, ta có thể qui ước như sau :

- + Tại cực Bắc qui ước giá trị **$B > 0$** .
- + Tại cực Nam qui ước giá trị **$B < 0$** .



HÌNH 5.3: Phân bố từ trường một cặp cực từ theo vị trí không gian, dạng khai triển trên mặt phẳng.

Trong hình 5.3, trình bày đồ thị (hay đường biểu diễn) mô tả giá trị tức thời của từ cảm B tại từng vị trí không gian trên một cặp cực từ. Tùy thuộc vào sự phân bố của hệ thống đường sức, giá trị B thay đổi theo từng vị trí.



HÌNH 5.4: Phân bố từ cảm dạng sin trong không gian

$$B = B_m \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) \tag{5.1}$$

Trong đó :

- * B_m : biên độ cực đại của từ cảm B.
- * τ : bước cực từ, hay khoảng mở rộng của một cực từ (tương ứng phạm vi góc điện 180° theo vị trí không gian)
- * x : là tọa độ của vị trí khảo sát trong không gian.

5.1.2. TỪ TRƯỜNG ĐẬP MẠCH :

Theo nội dung đã phân tích trong mục 5.1.1, ta chú ý các trường hợp sau:

➡ Khi cấp **dòng một chiều vào dây quấn stator**, **phân bố từ cảm tại khe hở không khí** (giữa rotor và stator) có dạng **sin trong vị trí không gian** tương ứng với độ lớn của giá trị dòng điện được cấp vào dây quấn. Điều cần nhớ là: **phân bố từ cảm trong không gian không phụ thuộc biến số thời gian t mà chỉ phụ thuộc vào biến số vị trí x.**

➡ Khi cấp **dòng điện xoay chiều hình sin** vào dây quấn stator, giá trị **dòng tức thời** hình sin **thay đổi theo từng thời điểm khảo sát** (biên độ dòng điện biến thiên theo biến số thời gian). **Phân bố từ cảm trong không gian có biên độ thay đổi theo từng thời điểm khảo sát**, nhưng vẫn phải **đảm bảo qui tắc phân bố sin theo vị trí không gian**. Giả sử , biểu thức tức thời của dòng điện có dạng sau :

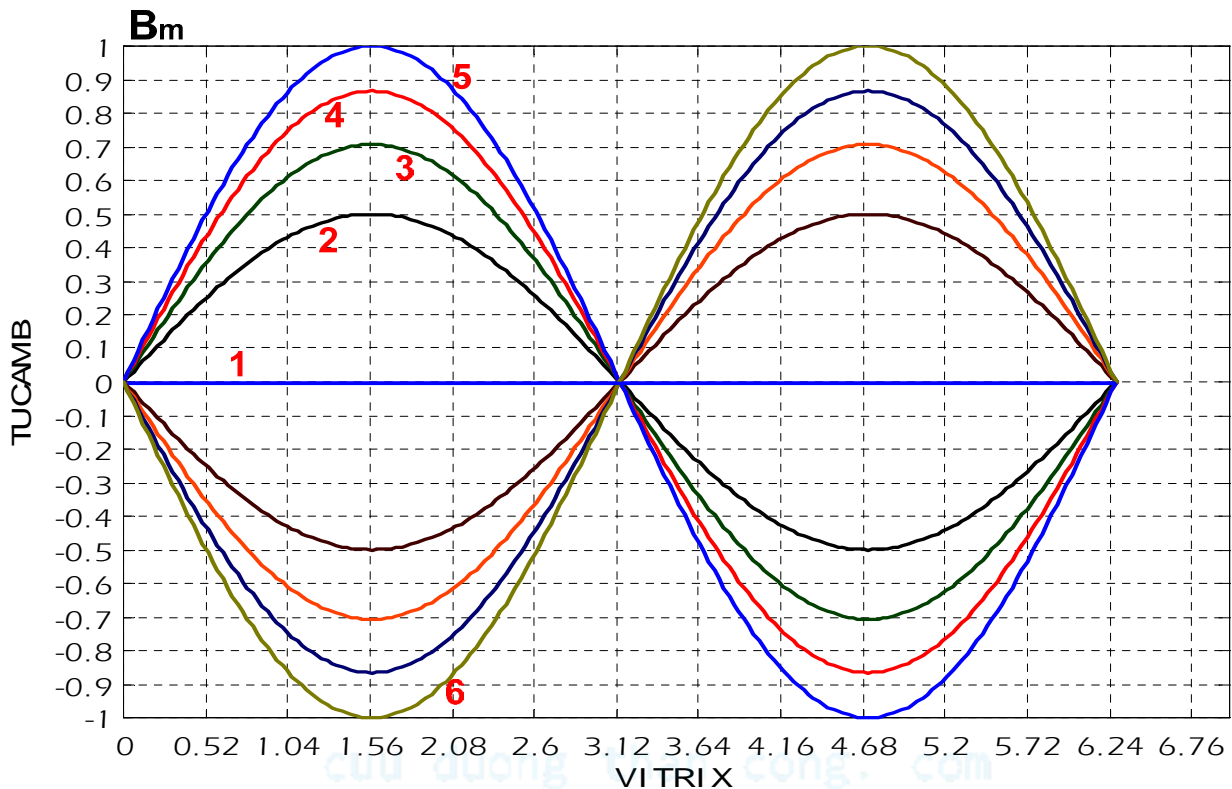
$$i(t) = I_m \cdot \sin(\omega t) \tag{5.2}$$

Vì biên độ của từ cảm **B** cũng như từ thông Φ tỉ lệ thuận với dòng điện i, nên biên độ B_m trong (5.1) thay đổi theo thời gian t (**phụ thuộc từng thời điểm khảo sát**) . Chúng ta có thể viết lại biểu thức phân bố từ cảm B theo vị trí và theo từng thời điểm khảo sát như trong (5.3).

$$B(t, x) = B_m \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) \tag{5.3}$$

Tóm lại khi **cấp dòng hình sin vào dây quấn stator**, từ trường nhận được tại khe hở không khí là **hàm theo hai biến số x** (vị trí không gian) và **t** (biến số thời gian) . Nói cách khác, **phân bố từ cảm tại khe hở không khí có dạng sin trong không gian** và **biên độ biến thiên theo qui luật sin đối với thời gian**. Từ trường phân bố theo qui luật trên được gọi là **từ trường đập mạch**.

Để hiểu rõ hơn **tính chất và ý nghĩa hình học** của từ trường đập mạch, chúng ta khảo sát hình 5.5, trong đó ta lần lượt thay đổi các thông số của quan hệ (5.3) theo từng thời điểm; và vẽ dạng phân bố của từ cảm B theo vị trí không gian (theo biến x). Các thời điểm khảo sát được chọn trước và tính toán như sau đây :



HÌNH 5.5: Các đường biểu diễn biên độ từ cảm B (phân bố từ trường) theo vị trí không gian, khi thời gian thay đổi. (Hình vẽ mô tả biến đổi của phân bố từ cảm khi thời gian ωt biến đổi)

$$\ast \text{ Khi } \omega t = 0, \quad B = B_m \cdot \sin(0) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot 0}{\tau}\right) = 0 \quad (\text{đường 1 hình 5.5})$$

$$\ast \text{ Khi } \omega t = \frac{\pi}{6}, \quad B = B_m \cdot \sin\left(\frac{\pi}{6}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) = \left(\frac{B_m}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) \quad (\text{đường 2 hình 5.5}).$$

$$\ast \text{ Khi } \omega t = \frac{\pi}{4}, \quad B = B_m \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) = \left(\frac{B_m}{\sqrt{2}}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) \quad (\text{đường 3 hình 5.5}).$$

$$\ast \text{ Khi } \omega t = \frac{\pi}{3}, \quad B = B_m \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) = \left(\frac{B_m \sqrt{3}}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) \quad (\text{đường 4 hình 5.5}).$$

$$\ast \text{ Khi } \omega t = \frac{\pi}{2}, \quad B = B_m \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) = B_m \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) \quad (\text{đường 5 hình 5.5}).$$

$$\ast \text{ Khi } \omega t = \pi, \quad B = B_m \cdot \sin(\pi) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) = 0 \quad (\text{đường 1 hình 5.5}).$$

$$\ast \text{ Khi } \omega t = \frac{3\pi}{2}, \quad B = B_m \cdot \sin\left(\frac{3\pi}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) = -B_m \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) \quad (\text{đường 6 hình 3.5}).$$

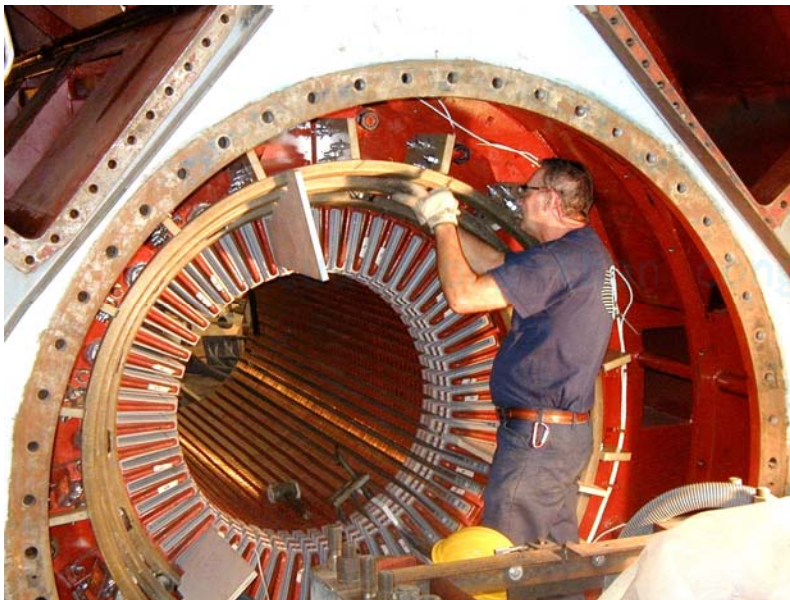
Khi khảo sát đường biểu diễn phân bố từ trường trong không gian tại nhiều thời điểm liên tiếp, chúng ta rút ra nhận xét sau:

- ✚ Tại các vị trí không gian có **từ trường đạt biên độ cực đại**, khi thời gian biến đổi **biên độ của các vị trí này lúc nào cũng cực đại**.
- ✚ Tương tự, tại các vị trí không gian **từ trường đạt biên độ triệt tiêu**, khi thời gian biến đổi **biên độ ở các vị trí này lúc nào cũng triệt tiêu**.
- ✚ Như vậy, **từ trường đập mạch** được xem tương đương với **hiện tượng sóng dừng** của tổng hợp sóng cơ học hay giao thoa sóng cơ.
- ✚ Các vị trí không gian **tương ứng với biên độ từ cảm $B = 0$** , tương ứng **nút dao động** của sóng dừng, các vị trí này **được gọi là trung tính của cực từ**.
- ✚ Các vị trí không gian tương ứng với **biên độ từ cảm đạt cực đại**, tương ứng **bụng dao động** của sóng dừng, các vị trí này đang ở ngay **chính tâm các mặt các cực từ của động cơ**.

Tóm lại, **trên stator động cơ, khi cho dòng điện xoay chiều đi qua dây quấn** sẽ hình thành **từ trường đập mạch** trong khoảng hở không khí giữa rotor và stator.

5.2.CẤU TẠO CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ (ĐỘNG CƠ CẢM ỨNG):

Động cơ không đồng bộ (hay cảm ứng) gồm có hai thành phần chính:

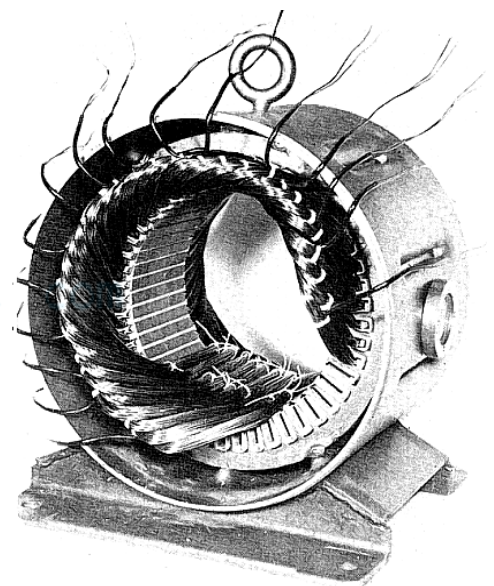


HÌNH 5.6: lõi thép stator động cơ cảm ứng 3 pha(công suất lớn)

Hình 5.7 trình bày một mẫu stator đang được quấn dây và hình 5.8 trình bày bộ dây quấn hoàn chỉnh. Với động cơ không đồng bộ 3 pha, trên stator bố trí 3 bộ dây quấn độc lập nhau tuân theo một số qui luật định trước để hình thành từ trường quay tròn tại khe hở không khí stator và rotor.

➔ **ROTOR:** là phần quay của động cơ. Với động cơ cảm ứng, rotor thường được chế tạo theo một trong hai dạng: rotor lồng sóc (hình 5.9 và 5.10) và rotor dây quấn (hình 5.11 và 5.12). Với yêu cầu vận hành bình thường, động cơ thường có dạng rotor lồng sóc, trong trường hợp cần điều chỉnh thay đổi tốc độ động cơ ta mới động cơ rotor dây quấn. Rotor lồng sóc gồm các thanh đồng hay nhôm, được đúc xuyên qua các rãnh của rotor, các thanh này được hàn nối tắt bởi hai vành ngắn mạch ở hai đầu rotor.

✚ **STATOR:** phần đứng yên của động cơ, được tạo thành từ nhiều lá thép kỹ thuật điện ghép lại thành hình trụ vành khăn. Các lá thép tạo thành stator, được dập các rãnh phân bố đều theo vòng tròn trong của stator. Trong các rãnh người ta lót cách điện trước khi lắp đặt các bộ dây quấn vào rãnh stator. Trong hình 5.6 trình bày kết cấu lõi thép stator động cơ 3 pha công suất lớn **đang được làm vệ sinh rãnh** trước khi bố trí dây quấn .



HÌNH 5.7: Dây quấn stator



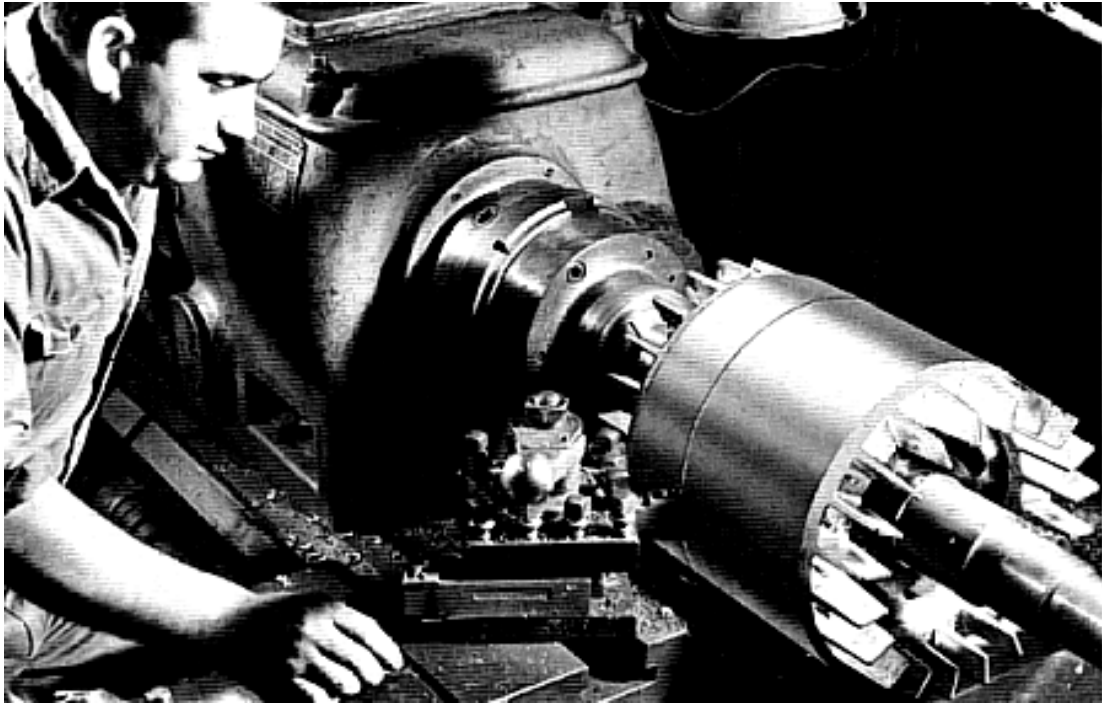
HÌNH 5.8: Dây quấn stator sau khi quấn hoàn chỉnh.



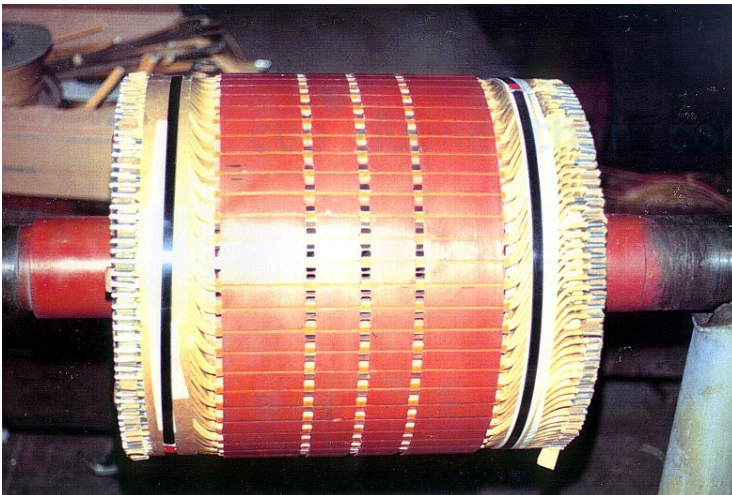
HÌNH 5.9: Rotor lồng sóc.

Trên các vành gắn mạch người ta thường đúc thêm các cánh khuấy để trộn gió, giải nhiệt cho động cơ trong quá trình vận hành. Ngoài ra chúng ta có thể lợi dụng các cánh khuấy này để thêm các đối trọng cân bằng động cho rotor trong quá trình quay.



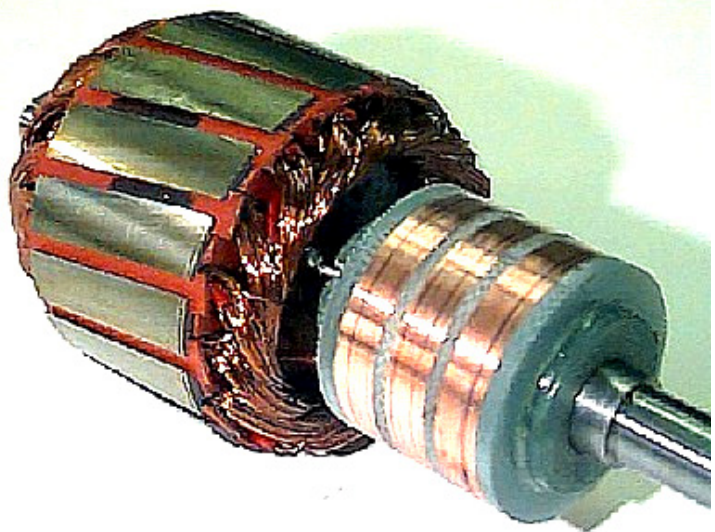


HÌNH 5.10: Rotor đang được gia công tiện láng bề mặt sau ghi ép trực vào rotor.

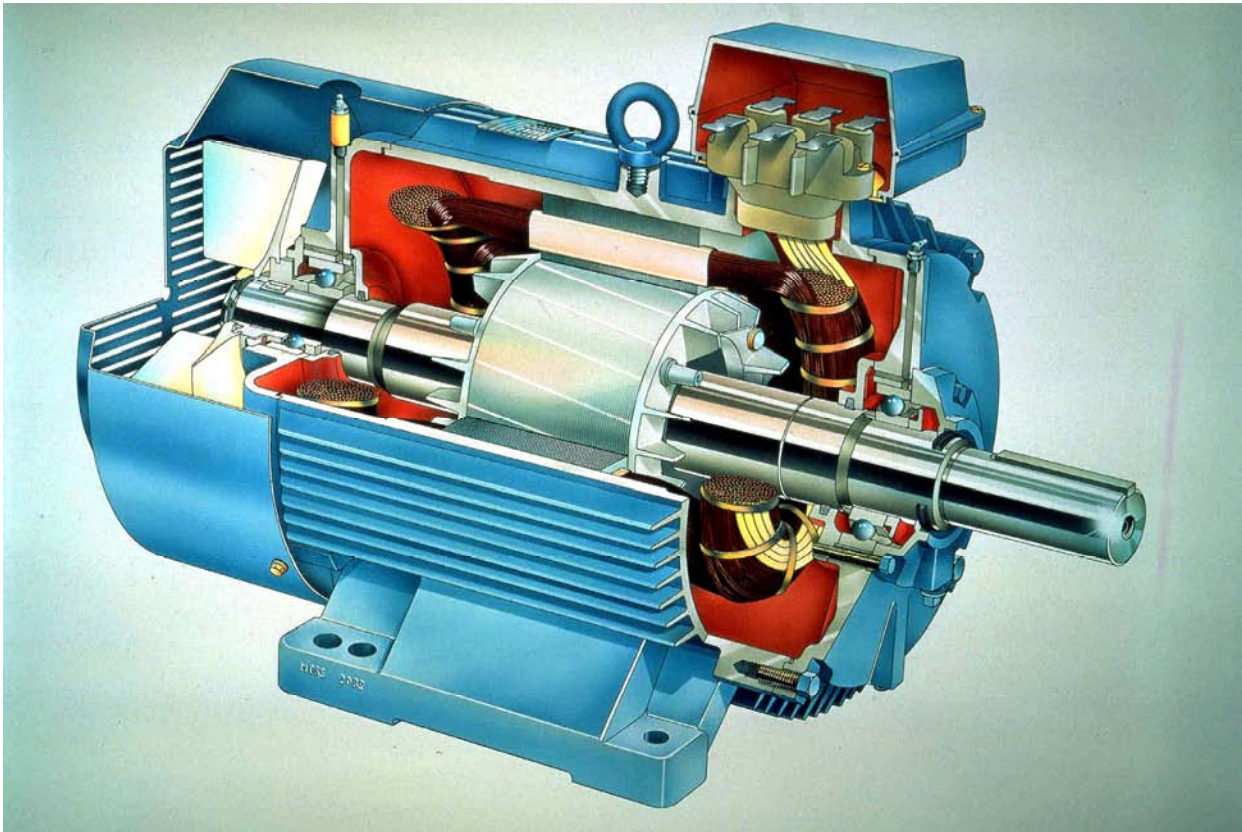


HÌNH 5.11: Rotor dây quấn công suất lớn sau khi gia công quấn dây.

Với rotor dây quấn, người ta quấn dây trên các rãnh rotor, dây quấn bao gồm 3 bộ dây 3 pha độc lập nhau (bố trí tương tự như dây quấn trên stator). Dây quấn trên rotor được đấu thành hình Y, toàn bộ 3 đầu dây ra của dây quấn rotor được nối đến 3 vành trượt bố trí trên trục của rotor. Khi vận hành động cơ, ta phải dùng 3 chổi than để nối tất 3 vành trượt này với nhau, hay nối 3 vành trượt này đến 3 đầu của bộ biến trở đầu Y bố trí bên ngoài.



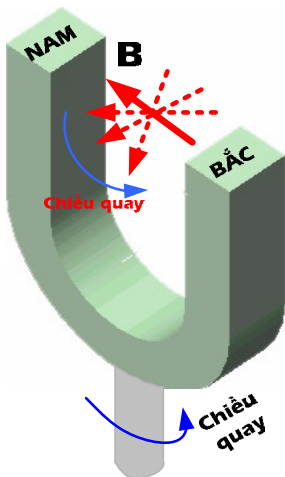
HÌNH 5.12: Rotor dây quấn công suất nhỏ với vành trượt



HÌNH 5.13: cấu tạo động cơ không đồng bộ 3 pha, rotor lồng sóc.

cuu duong than cong. com

5.3. KHAI NIỆM VỀ TỪ TRƯỜNG QUAY TRÒN:



HÌNH 5.14: Hình ảnh từ trường quay tròn khi quay thanh nam châm vĩnh cửu quanh trục đứng.

Để hình dung và hiểu được từ trường quay, xem hình 5.14; với thanh nam châm vĩnh cửu hình chữ U được đặt trên trục thẳng đứng. Khi chú ý đến khoảng không gian giữa hai cực Bắc Nam của nam châm, chúng ta biểu diễn hướng của đường sức từ trường trong không gian này bằng vector cảm ứng từ B . Khi quay tròn đều thanh nam châm quanh trục, vector B cũng quay tròn đều cùng chiều quay và cùng tốc độ với trục quay.

Hình ảnh của vector B quay tròn trong không gian cho ta **hình tương đơn giản của một từ trường quay tròn.**

Muốn hình thành từ trường quay tròn trong động cơ không đồng bộ ba pha, ta cần các điều kiện sau :

- ⚡ Trên stator bố trí **3 bộ dây quấn độc lập.**
- ⚡ Ba bộ dây được lắp đặt **lệch vị trí không gian từng đôi 120°**
- ⚡ Cấp các dòng điện xoay chiều **lệch pha thời gian từng đôi 120°** vào 3 bộ dây

Điều kiện **bố trí lệch vị trí không gian của các bộ dây quấn được thực hiện trong quá trình chế tạo**, khi quấn dây stator. Với ba bộ dây quấn được chế tạo giống hệt nhau về số liệu, ta xem **ba bộ dây là tải 3 pha cân bằng** .

Muốn tạo dòng điện hình sin lệch pha thời gian từng đôi 120° qua ba bộ dây, chúng ta chỉ cần **đấu 3 bộ dây theo dạng hình Y hay Δ** ; sau đó cấp nguồn ba pha vào hệ thống dây quấn sau khi đã được đấu nối.

Áp dụng kết quả vừa khảo sát trong mục 5.2; ta có nhận xét như sau:

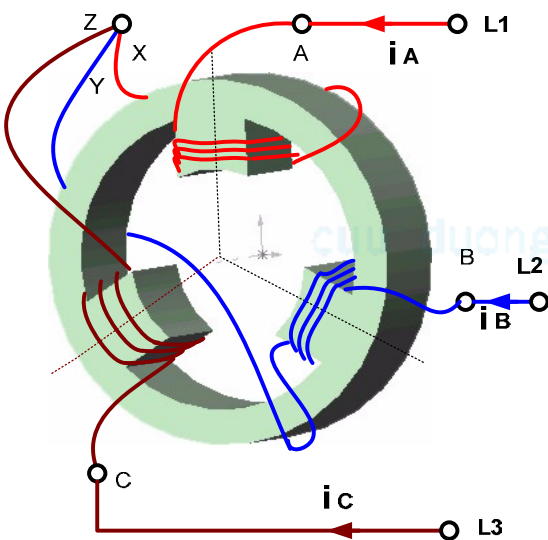
- ✚ Từ trường tạo bởi mỗi pha dây quấn là **từ trường đập mạch**.
- ✚ Do vị trí bố trí trong không gian và dòng điện qua các bộ dây lệch pha thời gian với nhau, tại thời điểm khảo sát bất kỳ nếu từ trường tạo bởi một trong ba bộ dây có giá trị cực đại, thì các từ trường hình thành trong hai bộ dây còn lại không đạt giá trị cực đại.
- ✚ **Từ trường tổng hợp** từ **ba từ trường đập mạch** (tạo bởi ba bộ dây quấn) là **từ trường quay tròn**.

Chúng ta khảo sát từ trường tổng hợp theo một trong hai phương pháp sau:

PHƯƠNG PHÁP 1: áp dụng **phương pháp toán học** tổng hợp các từ trường đập mạch để tìm ra biểu thức cho từ trường tổng hợp, và chứng minh từ trường tổng có dạng quay tròn. Sau đó vẽ dạng từ trường tổng hợp khi thời gian thay đổi.

PHƯƠNG PHÁP 2: áp dụng **phương pháp tổng hợp vector** xác định từ trường tổng tại các thời điểm liên tiếp.

5.3.1 PHƯƠNG PHÁP 1 : (ÁP DỤNG GIẢI TÍCH KHẢO SÁT TỪ TRƯỜNG QUAY)



Trong hình 5.15 ba bộ dây stator lệch vị trí không gian 120^0 ; các bộ dây được đấu Y và cấp nguồn áp ba pha thứ tự thuận và dây quấn. Với hệ thống nguồn ba pha thứ tự thuận các biểu thức tức thời của dòng điện qua mỗi bộ dây quấn là :

$$\begin{aligned} i_A(t) &= I_m \cdot \sin(\omega t) \\ i_B(t) &= I_m \cdot \sin(\omega t - 120^0) \\ i_C(t) &= I_m \cdot \sin(\omega t - 240^0) \end{aligned} \quad (5.4)$$

Chọn trục vị trí không gian chuẩn là trục của bộ dây AX , từ trường đập mạch tạo nên do bộ dây này khi có dòng i_A đi qua là:

$$B_A(t, x) = B_m \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) \quad (5.5)$$

HÌNH 5.15

Đối với bộ dây BY, do bố trí lệch không gian so với bộ dây AX một góc là 120^0 , đồng thời cho dòng điện i_B đi qua, từ trường đập mạch có dạng sau:

$$B_B(t, x) = B_m \cdot \sin(\omega t - 120^0) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau} - 120^0\right) \quad (5.6)$$

Xét tương tự cho bộ dây CZ, ta nhận được từ trường đập mạch do bộ dây này tạo ra (khi cho dòng i_C đi qua):

$$B_C(t, x) = B_m \cdot \sin(\omega t - 240^0) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau} - 240^0\right) \quad (5.7)$$

Gọi B là từ trường tổng hợp từ các từ trường đập mạch thành phần :

$$B(t, x) = B_A(t, x) + B_B(t, x) + B_C(t, x) \quad (5.8)$$

Muốn xác định biểu thức giải tích của B ta áp dụng công thức biến đổi lượng giác cơ bản $\sin p \cdot \cos q = \frac{1}{2} [\sin(p + q) + \sin(p - q)]$ để biến đổi các quan hệ (5.5); (5.6) và (5.7) rồi tổng hợp.

Ta có kết quả sau:

$$B_A(t, x) = \frac{1}{2} \cdot B_m \left[\sin\left(\omega t + \frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) + \sin\left(\omega t - \frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) \right] \quad (5.9)$$

$$B_B(t, x) = \frac{1}{2} \cdot B_m \left[\sin\left(\omega t + \frac{\pi \cdot X}{\tau} - 240^\circ\right) + \sin\left(\omega t - \frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) \right] \quad (5.10)$$

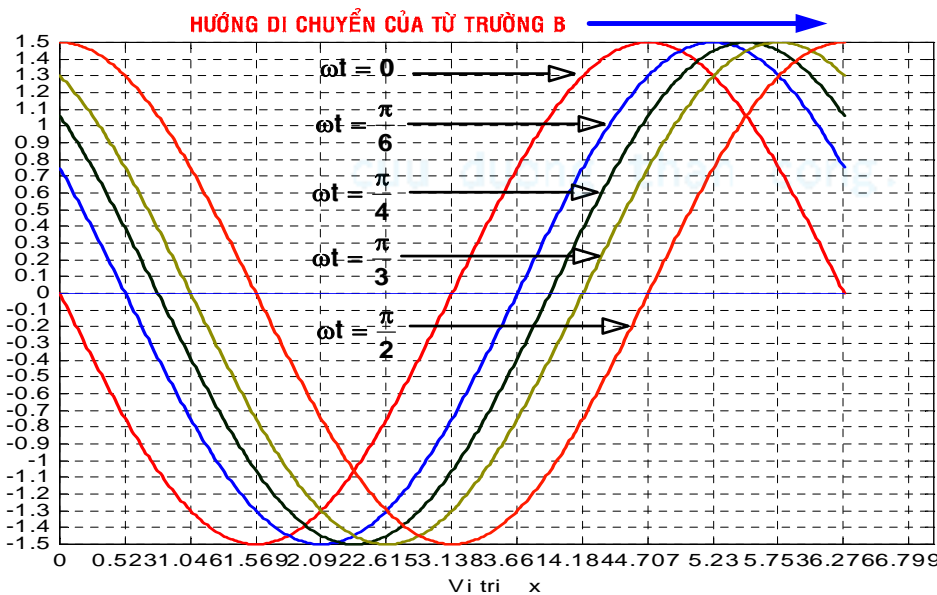
$$B_C(t, x) = \frac{1}{2} \cdot B_m \left[\sin\left(\omega t + \frac{\pi \cdot X}{\tau} - 480^\circ\right) + \sin\left(\omega t - \frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) \right] \quad (5.11)$$

Cần chú ý tính chất sau:

$$\sin\left(\omega t + \frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) + \sin\left(\omega t + \frac{\pi \cdot X}{\tau} - 240^\circ\right) + \sin\left(\omega t + \frac{\pi \cdot X}{\tau} - 480^\circ\right) = 0 \quad (5.12)$$

Phối hợp (5.9); (5.10) và (5.11) suy ra biểu thức giải tích của từ trường tổng hợp, ta có:

$$B(t, x) = \frac{3 \cdot B_m}{2} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) \quad (5.13)$$



HÌNH 5.16: Đồ thị mô tả từ trường hình sin đang chuyển động

Muốn nhìn thấy được từ trường tổng $B(t, x)$ là từ trường quay tròn trong không gian, ta **chọn trước thời điểm ωt** rồi **vẽ quan hệ B theo vị trí x** ; thực hiện lặp lại với nhiều thời điểm liên tiếp nhau, ta sẽ thấy được **đường sin của từ trường di chuyển theo phương của vị trí x** .

Các thời điểm được chọn lựa để vẽ đường phân bố từ trường tổng như sau:

$$\begin{aligned} \text{➤ } \omega t = 0; B &= \left(\frac{3 \cdot B_m}{2}\right) \sin\left(\frac{-\pi \cdot X}{\tau}\right) & \omega t = \frac{\pi}{6}; B &= \left(\frac{3 \cdot B_m}{2}\right) \sin\left(\frac{\pi}{6} - \frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) \\ \text{➤ } \omega t = \frac{\pi}{4}; B &= \left(\frac{3 \cdot B_m}{2}\right) \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) & \omega t = \frac{\pi}{3}; B &= \left(\frac{3 \cdot B_m}{2}\right) \sin\left(\frac{\pi}{3} - \frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) \\ \text{➤ } \omega t = \frac{\pi}{2}; B &= \left(\frac{3 \cdot B_m}{2}\right) \sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi \cdot X}{\tau}\right) \end{aligned}$$

Trong hình 5.16 trình bày dạng của từ trường tổng di chuyển theo không gian khi vẽ tại các thời điểm liên tiếp nhau. trục hoành biểu diễn vị trí không gian tại khe hở không khí giữa stator và rotor động cơ.

Ta rút ra nhận xét sau:

- ✚ Từ trường tổng phân bố theo dạng sin trong không gian .
- ✚ Khi thời gian thay đổi, từ trường sin này di chuyển theo hướng trục x (trên hình vẽ di chuyển từ trái sang phải).

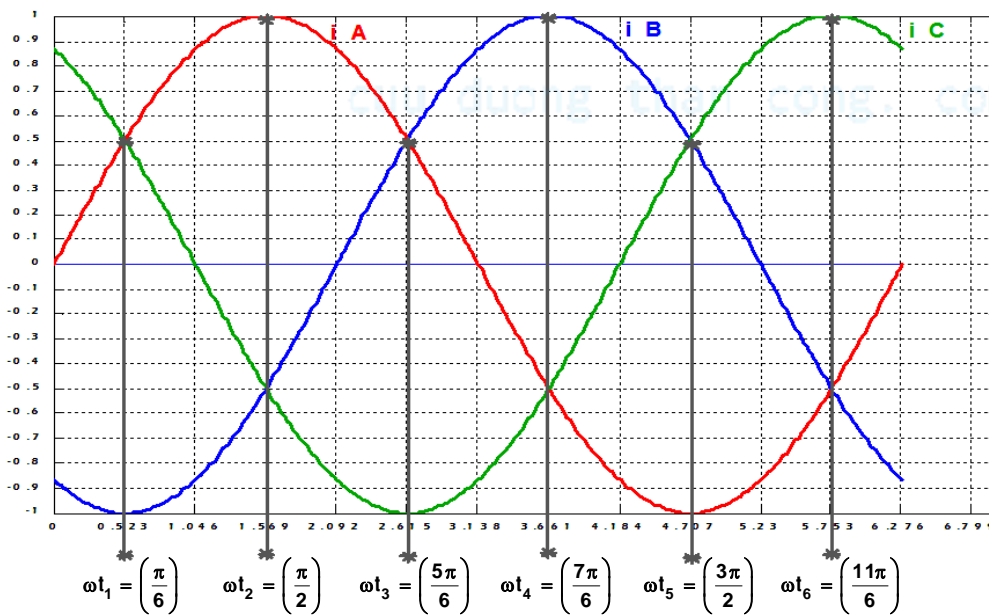
Tóm lại, từ trường tổng di chuyển trong không gian theo hướng trục vị trí x. Nếu **trục vị trí được uốn cong thành hình tròn** (theo không gian của khe hở không khí thực sự giữa rotor và stator) **từ trường này sẽ di chuyển dọc theo chu vi trong của stator**. Chuyển động này chứng tỏ **từ trường tổng hợp là dạng từ trường quay tròn** bên trong động cơ.

TÓM LẠI :

Trong stator động cơ 3 pha, khi lắp đặt 3 bộ dây quấn độc lập thỏa các qui tắc: lệch vị trí không gian 120° , và dòng điện qua các bộ dây này lệch pha thời gian 120° ; ta có kết luận như sau:

- ✚ Từ trường tạo bởi mỗi bộ dây là dạng **từ trường đập mạch**.
- ✚ Từ trường tổng tạo bởi 3 từ trường đập mạch thành phần (từ 3 bộ dây quấn) là **từ trường quay tròn**.
- ✚ Biên độ từ trường tổng bằng $\left(\frac{3}{2}\right)$ lần biên độ của từ trường thành phần

5.3.2 PHƯƠNG PHÁP 2 : (TỔNG HỢP VECTOR)



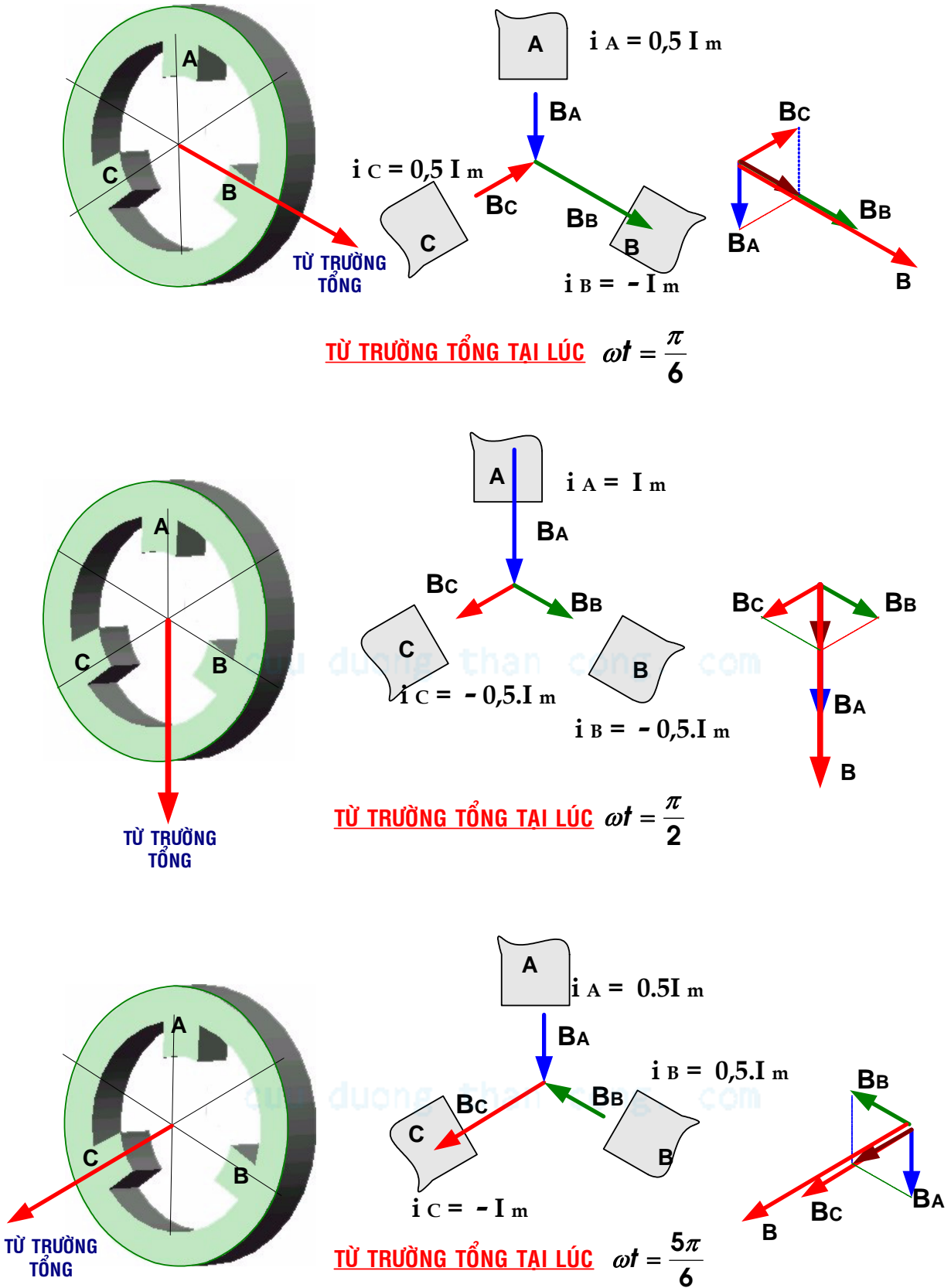
HÌNH 5.17: Đồ thị dòng tức thời của nguồn 3 pha theo thời gian.

Muốn khảo sát sự hình thành từ trường quay; dựa vào giá trị tức thời của dòng 3 pha qua 3 bộ dây quấn, suy ra các vector từ trường B tạo bởi mỗi bộ dây tại từng thời điểm ; sau cùng tổng hợp các vector từ trường B thành phần để có được vector từ trường tổng tạo tại thời điểm khảo sát. Thực hiện lại phương pháp trên tại vài thời điểm liên tiếp; ta có thể thấy được hình ảnh từ trường tổng là từ trường quay.

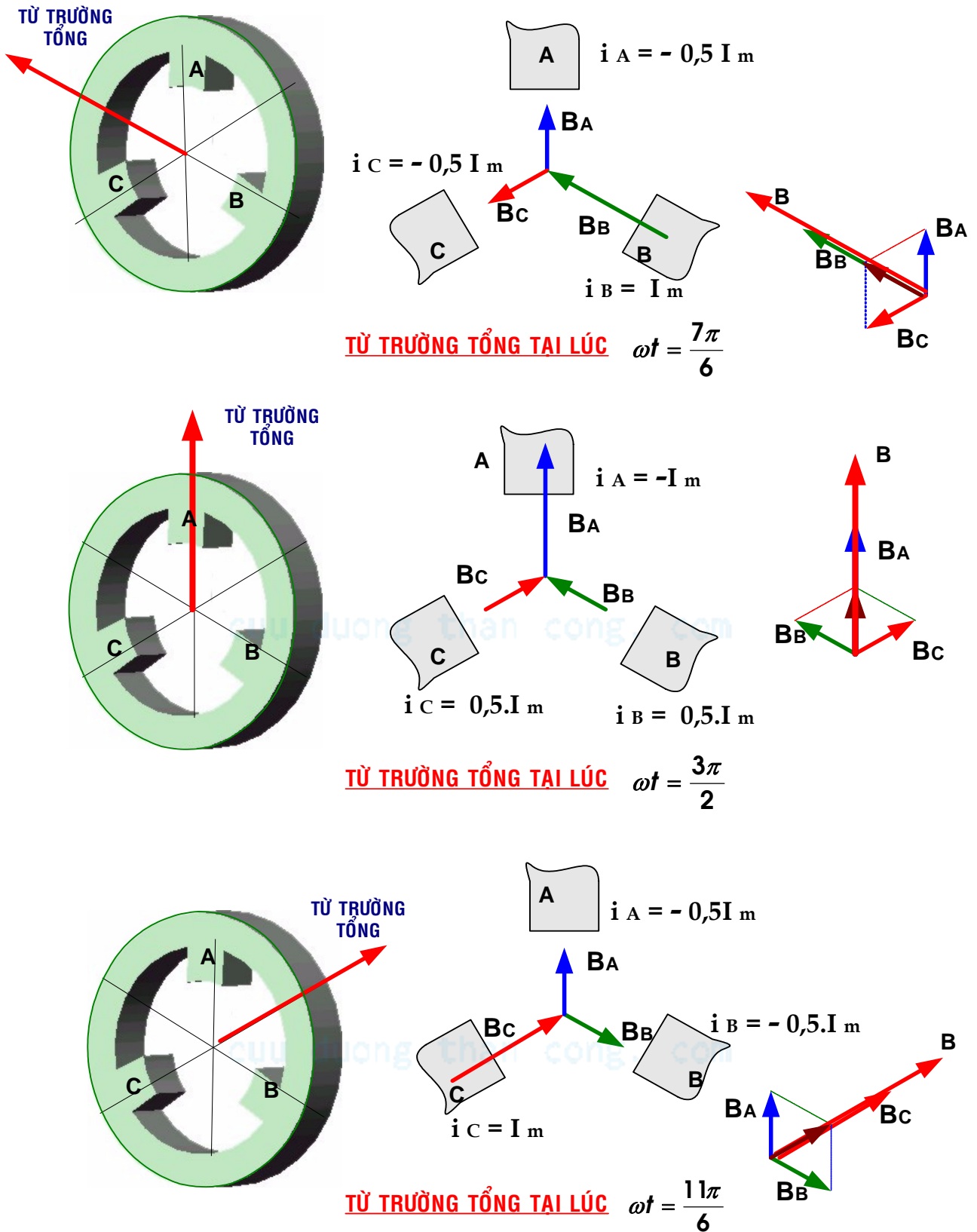
Trên hình 5.17, ta có đồ thị biểu diễn các dòng 3 pha tức thời qua dây quấn, chúng ta khảo sát giá trị tức thời của các dòng điện i_A, i_B, i_C tại 6 thời điểm; ta có bảng giá trị sau:

ωt	$\pi/6$	$\pi/2$	$5\pi/6$	$7\pi/6$	$3\pi/2$	$11\pi/6$
i_A	$0,5 I_m$	I_m	$0,5 I_m$	$-0,5 I_m$	$- I_m$	$-0,5 I_m$
i_B	$- I_m$	$-0,5 I_m$	$0,5 I_m$	I_m	$0,5 I_m$	$-0,5 I_m$
i_C	$0,5 I_m$	$-0,5 I_m$	$- I_m$	$-0,5 I_m$	$0,5 I_m$	I_m

Các giá trị từ trường đập mạch (tạo ra do các bộ dây) tỉ lệ thuận với giá trị dòng điện qua dây quấn, dựa vào bảng giá trị tức thời của dòng điện 3 pha ta có thể biểu diễn các vector từ cảm (đặc trưng cho từ trường) tạo ra tại từng thời điểm. Áp dụng phép tổng hợp vector suy ra vector từ trường tổng, xem hình 5.18 và 5.19 sau đây:



HÌNH 5.18: Khảo sát từ trường quay tại các thời điểm: $\omega t = \left(\frac{\pi}{6}\right)$, $\omega t = \left(\frac{3\pi}{6}\right)$, $\omega t = \left(\frac{5\pi}{6}\right)$



HÌNH 5.19: Khảo sát từ trường quay tại các thời điểm: $\omega t = \left(\frac{7\pi}{6}\right)$, $\omega t = \left(\frac{9\pi}{6}\right)$, $\omega t = \left(\frac{11\pi}{6}\right)$

5.3.3 ĐẶC ĐIỂM CỦA TỪ TRƯỜNG QUAY :

5.3.3.1. VẬN TỐC CỦA TỪ TRƯỜNG QUAY :

Vận tốc của từ trường quay được ký hiệu là n_1 hay n_{db} , còn được gọi là vận tốc đồng bộ. Vận tốc này phụ thuộc :

- Tần số f của nguồn điện cấp vào dây quấn stator.
- Số đôi cực (p) của động cơ.

Với các phương pháp trình bày trong các mục 5.3.1 và 5.3.2 về phương thức hình thành từ trường quay chúng ta rút ra các nhận xét như sau **đối với máy điện chỉ có $2p = 2$ cực**:

✚ Với các dòng sin 3 pha cấp vào các bộ dây quấn theo (5.4), giá trị ω trong các biểu thức của các dòng điện là tần số góc. Giá trị này **quan hệ với tần số nguồn điện** theo quan hệ:

$$\omega = 2\pi.f \quad (5.14)$$

✚ Với biểu thức (5.13) cho thấy **từ cảm tổng hợp B** là hàm điều hòa theo thời gian t, như vậy **vector đặc trưng cho từ cảm tổng hợp là vector phase quay** nhận giá trị ω làm **vận tốc góc**. Như vậy giá trị này có quan hệ với vận tốc từ trường quay n_1 theo quan hệ sau:

$$\omega = 2\pi.n_1 \quad (5.15)$$

✚ Từ (5.14) và (5.15) ta suy ra **với máy điện có $2p = 2$ cực** quan hệ giữa tần số nguồn điện cung cấp với số cực $2p$ thỏa quan hệ sau:

$$f = n_1 \quad (5.16)$$

Nói theo cách khác, **khi dòng điện sin hoàn tất một chu kỳ** thì từ trường quay đã quét qua đúng một khoảng bằng 2 cực từ của máy điện.

✚ Từ đó suy ra với máy có $2p = 4$ cực, muốn từ trường quay quét qua trọn vẹn không gian tương ứng với 4 cực ta cần 2 chu kỳ của dòng điện hình sin cấp từ nguồn. Một cách tổng quát với máy điện có $2p$ cực quan hệ giữa tần số nguồn điện với vận tốc từ trường quay thỏa quan hệ sau:

$$f = p.n_1 \quad (5.17)$$

Trong đó, p là **số đôi cực** từ; $[f] = [Hz]$ và $[n_1] = \left[\frac{\text{vòng}}{s} \right]$. Nếu đổi đơn vị đo của vận tốc

$[n_1] = \left[\frac{\text{vòng}}{\text{phút}} \right]$ ta ghi lại như sau:

$$f = \frac{p.n_1}{60} \quad (5.18)$$

5.3.3.2. CHIỀU QUAY CỦA TỪ TRƯỜNG :

Chiều quay của từ trường phụ thuộc vào thứ tự pha của dòng điện cấp vào dây quấn stator. Khảo sát trên hình 5.18 và 5.19 ta rút ra nhận xét sau:

✚ Hướng của vector từ trường tổng B luôn luôn cùng hướng với vector từ trường tạo bởi bộ dây quấn nào đang cho dòng điện có giá trị cực đại ($+I_m$) hay giá trị cực tiểu ($-I_m$) qua nó .

✚ Trong hình 5.18 đi dọc theo chu vi của stator ; các dòng điện qua các bộ dây có biên độ cực đại ($+I_m$) lần lượt theo thứ tự A,B,C ; chiều của từ trường quay hình thành quét qua các bộ dây theo thứ tự tương ứng A, B, C.

✚ **Khi hoán vị hai trong ba pha nguồn cấp** vào dây quấn stator, thứ tự của hệ thống thay đổi, nên chiều quay của từ trường sẽ đảo hướng ngược lại.

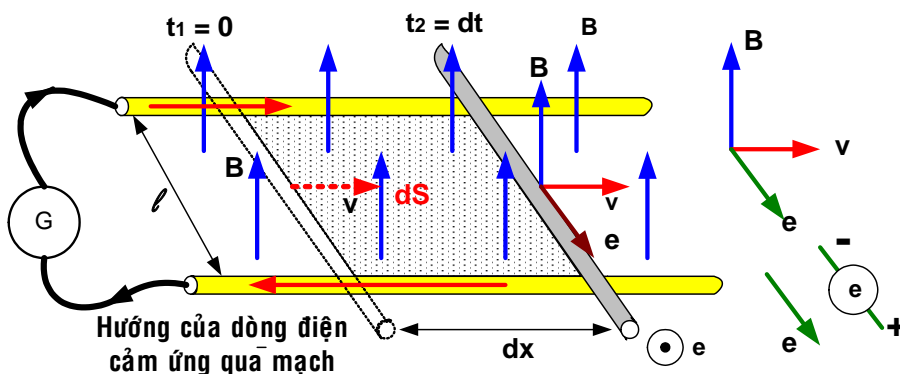
5.4. NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ :

5.4.1. CÁC ĐỊNH LUẬT ĐIỆN TỬ ÁP DỤNG KHI KHẢO SÁT NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG:

Nguyên tắc hoạt động của động cơ không đồng bộ được giải thích dựa trên các định luật điện tử học cơ bản sau đây:

- ✦ Định luật cảm ứng điện từ khảo sát hiện tượng hình thành sức điện động trong thanh dẫn di chuyển cắt đường sức từ trường.
- ✦ Định luật Laplace khảo sát lực điện từ tác động lên thanh dẫn đang mang dòng điện và đặt trong từ trường.

5.4.1.1. ĐỊNH LUẬT CẢM ỨNG ĐIỆN TỬ:



Trong hình 5.20, bố trí hai thanh dẫn song song nhau, cách nhau khoảng cách là l . Đặt thanh dẫn thứ ba vuông góc với hai thanh dẫn trên. Toàn bộ hệ thống thanh dẫn được đặt trong từ trường đều, các đường sức từ có hướng vuông góc với mặt phẳng tạo bởi các thanh dẫn.

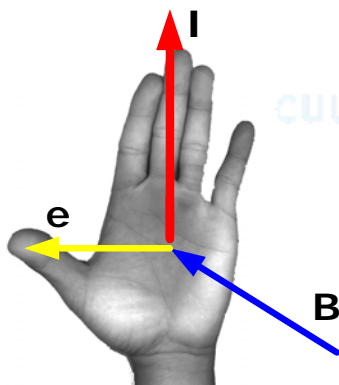
HÌNH 5.20: Sức điện động hình thành khi di chuyển thanh dẫn trong từ trường

Tác động bằng ngoại lực để kéo thanh dẫn thứ ba này di chuyển thẳng đều với vận tốc là v . Giả sử tại thời điểm ban đầu $t_1 = 0$ từ thông xuyên qua diện tích giới hạn bởi các thanh dẫn là Φ_1 ; sau khoảng khoảng thời gian dt , tại thời điểm $t_2 = dt$, thanh dẫn di chuyển đến vị trí khác. Tại đây ta có từ thông xuyên qua tiết diện mới là Φ_2 .

Áp dụng công thức Faraday, sức điện động cảm ứng trên thanh dẫn di động thỏa quan hệ:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{dt} = - \frac{B \cdot (S_2 - S_1)}{dt} \tag{5.19}$$

$$e = - \frac{B \cdot dS}{dt} = -B \cdot l \left(\frac{dx}{dt} \right) = -B \cdot l \cdot v \tag{5.20}$$



HÌNH 5.21: Qui tắc bàn tay trái định hướng sức điện động e.

Dấu (-) trong biểu thức (5.20) thể hiện tính đối kháng của sức điện động sinh ra; khi vận tốc dài làm tăng từ thông xuyên qua tiết diện, sức điện động hình thành có khuynh hướng làm giảm từ thông xuyên qua tiết diện.

Hướng của sức điện động e sinh ra phụ thuộc vào hướng của \vec{B} và vận tốc \vec{v} , để xác định hướng của \vec{e} ta áp dụng qui tắc sau: $(\vec{v}, \vec{B}, \vec{e})$ tạo thành tam diện thuận (hình 5.20) hoặc dùng qui tắc bàn tay trái, xem hình 5.21.

Với qui ước này xem thanh dẫn tương đương với nguồn áp e hình thành trong thanh dẫn với dấu (+) ở vị trí ngọn vector \vec{e} và dấu (-) ở vị trí gốc vector \vec{e} (xem hình 5.20). Một cách khác có thể xem hướng của e hình thành trong thanh dẫn chính là hướng của dòng cảm ứng đi qua thanh dẫn (khi mạch ở trạng thái kín).

5.4.1.2. ĐỊNH LUẬT VỀ LỰC ĐIỆN TỬ :

Trong hình 5.22 trình bày một thanh dẫn thẳng mang dòng điện i và được đặt trong từ trường B ; theo định luật Laplace thanh dẫn chịu tác dụng của lực điện từ F .

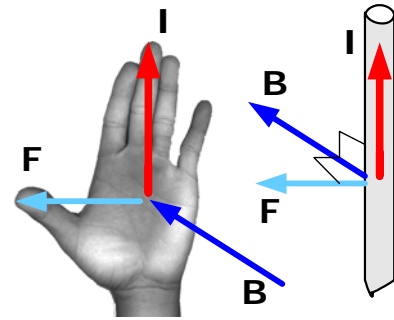
Trong trường hợp tổng quát, phương của dòng điện i và phương của B hợp nhau một góc có giá trị là α , lực điện từ F được xác định theo quan hệ sau:

$$F = B \cdot I \cdot L \cdot \sin \alpha \quad (5.21)$$

Trong đó L là bề dài của thanh dẫn đang mang dòng điện I . Khi phương của dòng điện I và phương của vector từ cảm B hợp nhau góc 90° ; lực điện từ xác định theo quan hệ sau:

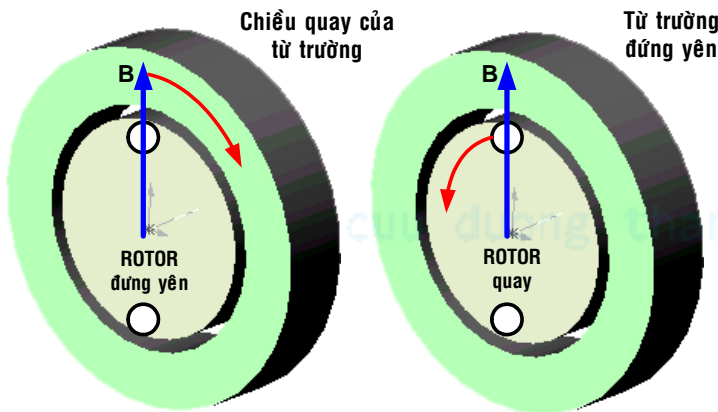
$$F = B \cdot I \cdot L \quad (5.22)$$

Hướng của lực điện từ F được xác định theo qui tắc bàn tay trái (hình 5.22)

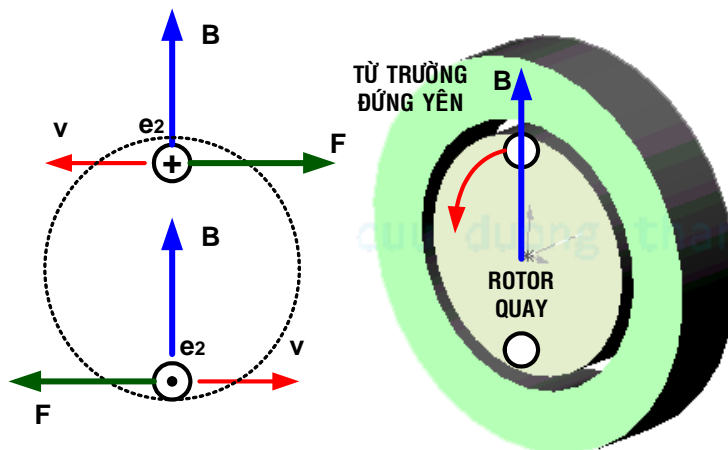


HÌNH 5.22: Qui tắc bàn tay trái định hướng lực điện từ.

5.4.2. NGUYÊN TẮC HOẠT ĐỘNG CỦA ĐỘNG CƠ CẢM ỨNG :



HÌNH 5.23: Áp dụng chuyển động tương đối giải thích nguyên lý hoạt động của động cơ không đồng bộ.



HÌNH 5.24: Sức điện động sinh ra trong thanh dẫn rotor.

Giả sử trên rotor chỉ có hai thanh dẫn, hướng của dòng cảm ứng sinh ra trên mỗi thanh dẫn trình bày trong hình 5.24.

Trong hình 5.23, trình bày mô hình đơn giản của động cơ không đồng bộ. Giả sử dây quấn trên stator tạo ra từ trường quay tròn (vector từ cảm tổng B quay tròn trong không gian với vận tốc n_1). Dây quấn rotor nối tắt được mô tả đơn giản như là khung dây kín, trong hình 5.22 khung dây được biểu diễn bằng các mặt cắt của hai thanh dẫn tạo thành khung dây. Từ trường quay tạo bởi dây quấn stator chuyển động và quét lên các thanh dẫn của rotor; áp dụng chuyển động tương đối trong cơ học ta có thể xem: trạng thái thanh dẫn rotor đứng yên và từ trường quay tròn (giả sử theo chiều kim đồng hồ); tương đương với trạng thái từ trường đứng yên và thanh dẫn rotor quay tương đối theo chiều ngược lại (chiều quay tương đối của thanh dẫn rotor là chiều ngược kim đồng hồ).

Tóm lại khí khảo sát theo chuyển động tương đối, thanh dẫn rotor quay tròn và cắt đường sức từ trường, trên thanh dẫn hình thành sức điện động cảm ứng e_2 . Tốc độ quay tương đối của thanh dẫn bằng tốc độ của từ trường quay là n_1 . Vì rotor ngắn mạch nên sức điện động e_2 sẽ tạo ra dòng cảm ứng i_2 trong các thanh dẫn.

Giả sử trên rotor chỉ có hai thanh dẫn, hướng của dòng cảm ứng sinh ra trên mỗi thanh dẫn trình bày trong hình 5.24.

Khi các thanh dẫn rotor có dòng cảm ứng đi qua và các thanh dẫn này đặt trong từ trường B, các thanh dẫn sẽ chịu tác động của lực điện từ F. Hướng của lực điện từ tác động lên các thanh dẫn xác định theo qui tắc bàn tay trái. Các lực điện từ tác động lên các thanh dẫn hình thành ngẫu lực làm rotor quay theo hướng ngược với hướng chuyển động tương đối của các thanh dẫn trên rotor, nói khác đi **chiều quay rotor cùng chiều với chiều của từ trường quay.**

Nên nhớ **vận tốc của rotor không thể đạt bằng vận tốc của từ trường**; vì nếu hai tốc độ quay bằng nhau lúc đó thanh dẫn rotor và từ trường xem như đứng yên khi so tương đối với nhau. Tóm lại, **vận tốc của rotor luôn luôn nhỏ hơn vận tốc của từ trường quay.**

Ta có định nghĩa cho độ trượt s là vận tốc chênh lệch tương đối giữa vận tốc rotor so với vận tốc của từ trường quay. Gọi :

- ❖ n_1 : vận tốc của từ trường quay (hay tốc độ đồng bộ).
- ❖ n_2 : vận tốc của rotor .
- ❖ s : độ trượt của động cơ.

Trong đó ta định nghĩa độ trượt bằng quan hệ sau:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = 1 - \frac{n_2}{n_1} \quad (5.23)$$

Hay

$$n_2 = n_1 \cdot (1 - s) \quad (5.24)$$

THÍ DU 5.1:

Động cơ không đồng bộ ba pha **2p = 4 cực**, được cấp nguồn xoay chiều 3 pha có tần số là **f = 50Hz**. Bảng lý lịch của động cơ có ghi tốc độ định mức là **1425 vòng/phút** . Xác định :

- a./ Tốc độ của từ trường quay.
- b./ Độ trượt của động cơ tại tải định mức.

GIẢI

TỐC ĐỘ CỦA TỪ TRƯỜNG QUAY:

Áp dụng công thức (3.15) ta suy ra tốc độ đồng bộ hay tốc độ từ trường quay:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = \frac{3000}{2} = 1500 \text{ [vòng/phút]}$$

ĐỘ TRƯỢT CỦA ĐỘNG CƠ:

- ❖ Vận tốc của từ trường quay : $n_1 = 1500$ vòng/phút.
- ❖ Vận tốc của rotor tại lúc tải định mức : $n_2 = 1425$ vòng/phút.

Độ trượt s của động cơ :

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = 1 - \frac{n_2}{n_1} = 1 - \frac{1425}{1500} = \frac{1500 - 1425}{1500} = \frac{75}{1500} = 0,05$$

5.5. CÁC PHƯƠNG TRÌNH CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ:

5.5.1. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ÁP Ở STATOR:

Với ba bộ dây quấn stator được chế tạo cùng số liệu và hoàn toàn giống nhau, ta nói dây quấn ba pha cân bằng. Dây quấn stator có thể đấu theo dạng Y hay Δ tùy theo áp hiệu dụng định mức cho phép đặt ngang qua hai đầu mỗi pha dây quấn. Khi cấp nguồn áp 3 pha cân bằng vào dây quấn stator, mạch điện stator là mạch 3 pha cân bằng, do đó ta chỉ khảo sát trên 1 pha tương đương . Gọi :

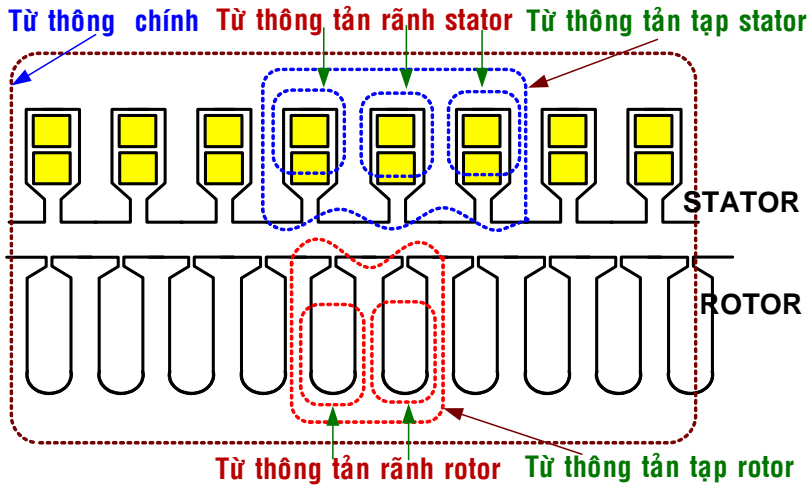
- ❖ V_1 : **Áp pha hiệu dụng** cấp vào mỗi pha dây quấn phía stator.
- ❖ f_1 : tần số nguồn điện cấp vào dây quấn stator.

Tương tự như máy biến áp, dây quấn stator xem là dây quấn sơ cấp, khi cấp dòng hình sin qua dây quấn stator **mỗi pha dây quấn tạo thành từ thông đập mạch** với biên độ là Φ_m . Từ thông này biến thiên theo thời gian nên hình thành các sức điện động cảm ứng trên mỗi pha dây quấn. Sức điện động cảm ứng hiệu dụng trên mỗi pha dây quấn xác định theo quan hệ sau:

$$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot N_1 \cdot K_{dq1} \cdot \Phi_m \quad (5.25)$$

Trong đó :

- ✚ N_1 : tổng số vòng một pha dây quấn stator.
- ✚ K_{dq1} : hệ số dây quấn một pha stator, tính đến sự phân bố dây quấn trên một cặp cực từ



Trên dây quấn stator, chúng ta cần để ý đến các thành phần :

- ✚ Điện trở nội R_1 của mỗi pha dây quấn.
- ✚ Thành phần điện kháng tản từ đặc trưng cho từ thông tản (thành phần từ thông tạo nên do dây quấn stator, khép kín mạch trên dây quấn stator nhưng không móc vòng qua rotor). Các thành phần từ thông tản trong máy điện quay gồm có từ thông tản trong rãnh và từ thông tản tạp (hình 5.25).

HÌNH 5.25: Phân bố từ thông tản trong rãnh stator và rotor

Gọi x_{t1} là thành phần **điện kháng tản từ** mỗi pha dây quấn stator. Phương trình cân bằng áp viết cho một pha dây quấn phía stator được viết như sau:

$$\dot{V}_1 + \dot{E}_1 = (R_1 + jX_{t1}) \cdot \dot{I}_1 \quad (5.26)$$

Phương trình này đúng cho trường hợp động cơ vận hành ở chế độ không tải cũng như khi động cơ mang tải. Khi tải trên trục động cơ thay đổi, dòng điện I_1 thay đổi giá trị tương ứng.

5.5.2. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ÁP Ở ROTOR:

Khi khảo sát phương trình cân bằng áp phía rotor, ta chia ra các trường hợp sau :

- ❖ Trường hợp **rotor đứng yên** không quay.
- ❖ Trường hợp **rotor quay**.

Trong mỗi trường hợp điều quan trọng cần chú ý: sự thay đổi f_2 : **tần số dòng điện rotor** và các **thông số mạch phía rotor**.

5.5.2.1. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ÁP ROTOR (LÚC ROTOR ĐỨNG YÊN):

Khi **rotor đứng yên**, từ trường quay quét qua dây quấn rotor hình thành sức điện động cảm ứng E_2 trên mỗi pha dây quấn rotor. **Sức điện động rotor** này **cùng tần số** với **sức điện động phía stator**:

$$E_2 = 4,44 \cdot f_2 \cdot N_2 \cdot K_{dq2} \cdot \Phi_m \quad (\text{Rotor đứng yên}) \quad (5.27)$$

$$f_2 = f_1 \quad (\text{Rotor đứng yên}) \quad (5.28)$$

- ✚ N_2 : tổng số vòng một pha dây quấn rotor.
- ✚ K_{dq2} : hệ số dây quấn của một pha rotor.

Vì rotor thuộc dạng ngắn mạch, phương trình cân bằng áp mỗi pha phía rotor lúc đứng yên có dạng sau:

$$\dot{E}_2 = (R_2 + j.X_{12}) \cdot \dot{I}_2 \quad (\text{Rotor đứng yên}) \quad (5.29)$$

Trong đó:

- R_2 : điện trở nội của mỗi pha dây quấn rotor
- X_{12} : điện kháng tản từ mỗi pha phía rotor

5.5.2.2. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ÁP Ở ROTOR (LÚC ROTOR QUAY):

Khi rotor quay với tốc độ quay là n_2 trong khi từ trường quay có tốc độ là $n_1 > n_2$, **tốc độ quay tương đối** giữa từ trường quay và rotor là $s.n_1 = (n_1 - n_2)$. Vì **tần số dòng điện phía rotor tỉ lệ thuận với tốc độ quét của từ trường quay lên thanh dẫn rotor**, ta có nhận xét như sau

TRẠNG THÁI	TỐC ĐỘ TỪ TRƯỜNG QUAY SO VỚI ROTOR	TẦN SỐ ROTOR
Rotor đứng yên	n_1	$f_2 = f_1$
Rotor quay	$s.n_1$	f_2

Tần số phía rotor lúc đang quay được xác định như sau:

$$f_2 = \frac{s.n_1 \cdot f_1}{n_1} = s \cdot f_1$$

Tóm lại :

$$f_2 = s \cdot f_1 \quad (\text{Khi rotor đang quay}) \quad (5.30)$$

Khi tải trên trục động cơ thay đổi làm thay đổi tốc độ quay của động cơ, do **đó tần số phía rotor luôn thay đổi theo tốc độ quay của rotor**. Các **phần tử mạch phía rotor** có liên quan đến tần số **đều thay đổi**.

Điện kháng tản từ, sức điện động cảm ứng phía rotor thay đổi theo giá trị tần số f_2 khi rotor thay đổi tốc độ quay. Gọi :

- E_{2s} : sức điện động phía rotor (khi rotor quay).
- X_{12s} : điện kháng tản từ phía rotor lúc rotor đang quay.

TRẠNG THÁI	SỨC ĐIỆN ĐỘNG CẢM ỨNG ROTOR	DIỆN KHÁNG TẢN TỪ ROTOR
Rotor đứng yên	$E_2 = 4,44 \cdot f_1 \cdot N_2 \cdot k_{dq2} \cdot \Phi_m$	$X_{12} = 2\pi \cdot f_1 \cdot L_{12}$
Rotor quay	$E_{2s} = 4,44 \cdot f_2 \cdot N_2 \cdot k_{dq2} \cdot \Phi_m$	$X_{12s} = 2\pi \cdot f_2 \cdot L_{12}$

Suy ra:

$$\frac{E_{2s}}{E_2} = \frac{f_2}{f_1} = \frac{s \cdot f_1}{f_1} = s$$

$$E_{2s} = s \cdot E_2 \quad (5.31)$$

Tương tự ta suy ra :

$$\frac{X_{12s}}{X_{12}} = \frac{2\pi \cdot f_2 \cdot L_{12}}{2\pi \cdot f_1 \cdot L_{12}} = \frac{s \cdot f_1}{f_1} = s$$

$$X_{12s} = s \cdot X_{12} \quad (5.32)$$

Phương trình cân bằng áp phía rotor (khi rotor đang quay):

$$\dot{E}_{2s} = (R_2 + jX_{t2s}) \cdot \dot{I}_2 \quad (\text{Rotor đang quay, tần số } f_2) \quad (5.33)$$

THÍ DU 5.2:

Với động cơ trong thí dụ 5.1, xác định tần số phía rotor khi động cơ đang tải định mức.

GIẢI

Với hệ số trượt của động cơ tại lúc mang tải định mức là $s = 0,05$; áp dụng quan hệ (5.30) suy ra tần số phía rotor lúc tải định mức là

$$f_2 = s \cdot f_1 \quad (\text{Khi rotor đang quay})$$

$$f_2 = 0,05 \cdot 50 = 2,5 \text{ Hz}$$

5.5.3. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG DÒNG ĐIỆN :

5.5.3.1. TỐC ĐỘ TỪ TRƯỜNG QUAY STATOR VÀ TỪ TRƯỜNG QUAY ROTOR KHI ĐỘNG CƠ QUAY:

✚ Khi bố trí trên stator dây quấn ba pha và cấp dòng điện 3 pha có tần số f_1 vào dây quấn, từ trường quay có tốc độ quay là $\left(n_1 = \frac{60f_1}{p} \right)$. Dưới tác dụng của từ trường quay, **rotor quay theo cùng chiều với từ trường quay**, tốc độ quay của rotor là $n_2 = n_1(1-s)$; tần số dòng điện trong rotor là $f_2 = s \cdot f_1$.

✚ Với động cơ rotor lồng sóc (**đang rotor có dây quấn nhiều pha**); khi có dòng cảm ứng qua dây quấn rotor, **trên rotor cũng hình thành từ trường quay tròn** với vận tốc quay là n_r . **Vận tốc của từ trường quay tạo bởi rotor tỉ lệ thuận với tần số rotor và tỉ lệ nghịch với số đôi cực** tạo bởi dây quấn trên rotor. Áp dụng quan hệ (3.15) ta suy ra tốc độ quay của từ trường quay hình thành trên rotor.

$$n_r = \frac{60 \cdot f_2}{p} = \frac{60 \cdot s \cdot f_1}{p} = s \cdot \frac{60f_1}{p} \quad (5.34)$$

$$n_r = s \cdot n_1$$

✚ Khi **rotor đang quay** với vận tốc là n_2 và **mang theo từ trường quay tạo bởi rotor** có vận tốc là n_r này, suy ra **vận tốc của từ trường quay tạo bởi dây quấn rotor so tương đối với tốc độ từ trường quay tạo bởi dây quấn stator** là $(n_2 + n_r)$. Suy ra:

$$n_2 + n_r = n_1 \cdot (1-s) + s \cdot n_1 \quad (5.35)$$

$$n_2 + n_r = n_1$$

Tóm lại :

Vận tốc của từ trường quay (tạo bởi dây quấn stator) và tốc độ của từ trường quay (tạo bởi dây quấn rotor) bằng nhau

5.5.3.2. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG DÒNG (KHI ĐỘNG CƠ ĐANG QUAY):

Lý luận tương tự như khi khảo sát nguyên lý của máy biến áp; từ trường (hay từ thông) quay stator được tạo bởi sức từ động stator khi có dòng 3 pha qua các pha dây quấn stator. Khi rotor mang tải, dòng điện qua dây quấn rotor hình thành sức từ động rotor có tính chất đối kháng với sức từ động stator. Hiện tượng đối kháng này sẽ cân bằng và đảm bảo sức từ động tổng luôn luôn không đổi và bằng với sức từ động hình thành do dây quấn stator lúc không tải.

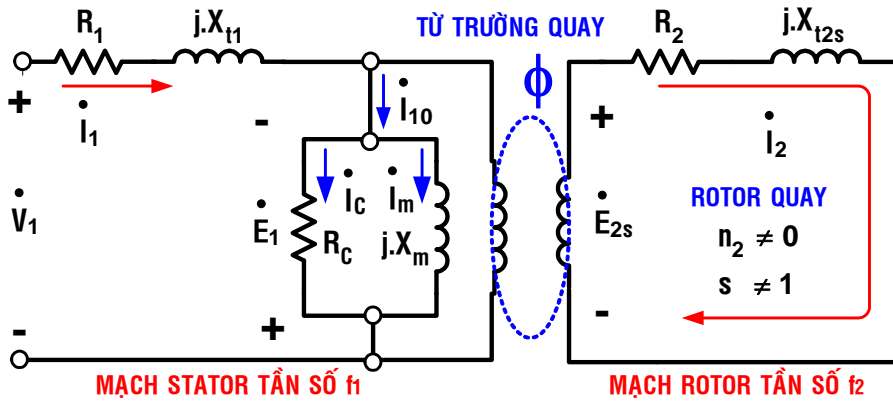
Gọi:

- \oplus $N_1 k_{dq1} \cdot \dot{I}_1$: sức từ động tạo bởi một pha dây quấn stator (khi động cơ mang tải).
- \oplus $N_2 k_{dq2} \cdot \dot{I}_2$: sức từ động tạo bởi một pha dây quấn rotor (khi mang tải).
- \oplus $N_1 k_{dq1} \cdot \dot{I}_{10}$: sức từ động tạo bởi một pha dây quấn stator (khi không tải).

Ta có :

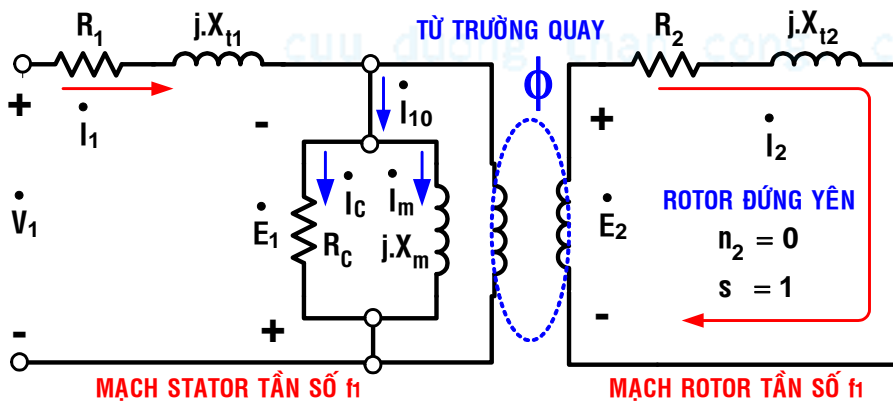
$$\boxed{N_1 \cdot K_{dq1} \cdot \dot{I}_1 + N_2 \cdot K_{dq2} \cdot \dot{I}_2 = N_1 \cdot K_{dq1} \cdot \dot{I}_{10}} \quad (5.36)$$

5.6.MẠCH ĐIỆN TƯƠNG ĐƯƠNG CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ:



Thực hiện quá trình khảo sát tương tự như đã thực hiện khi khảo sát mạch tương đương của máy biến áp. Mạch tương đương 1 pha khi động cơ đang quay thỏa phương trình cân bằng áp (5.26) và khi có **chú ý đến tổn hao lõi thép do dòng xoáy và chu trình từ trễ** tạo ra được trình bày trong hình 5.26.

HÌNH 5.26: Mạch tương đương 1 pha lúc rotor đang quay.



Hình 5.27 trình bày mạch tương đương 1 pha của động cơ **khi rotor đứng yên**. Tại trạng thái này tần số phía rotor và stator bằng nhau. Trong thực tế trạng thái này xảy ra tại **thời điểm động cơ khởi động** hay khi rotor mang tải có momen tải quá lớn so với momen ra trên trục động cơ làm rotor bị ghim đứng yên không quay.

HÌNH 5.27: Mạch tương đương 1 pha lúc rotor đứng yên.

Muốn qui đổi mạch rotor về phía stator để đơn giản đi tác động của từ trường quay lên rotor tương tự như mạch qui đổi đã thực hiện cho máy biến áp, ta **cần thực hiện 2 lượt qui đổi**.

- \oplus **Qui đổi mạch rotor** từ **tần số f₂ sang tần số f₁**, (nói cách khác là qui đổi các thông số mạch rotor lúc đang quay thành các thông số khác tương đương như lúc rotor đứng yên).
- \oplus Khi **đã qui đổi mạch rotor sang tần số f₁**, chúng ta **qui đổi rotor về stator**.

5.6.1. QUI ĐỔI MẠCH ROTOR TỪ TẦN SỐ f₂ SANG TẦN SỐ f₁:

Phương trình cân bằng áp phía rotor lúc đang quay ứng với tần số f₂ thỏa quan hệ (5.33).

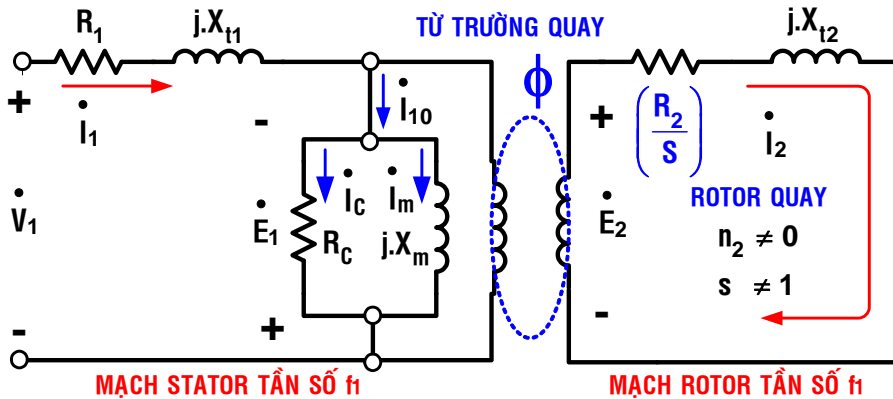
$$\dot{E}_{2s} = (R_2 + j \cdot X_{t2s}) \cdot \dot{I}_2 \quad (\text{Rotor đang quay, tần số là } f_2)$$

Thay các quan hệ (5.31) , (5.32) vào quan hệ (5.33) ta suy ra :

$$s \cdot \dot{E}_2 = (R_2 + j \cdot s \cdot X_{t2}) \cdot \dot{I}_2 \quad (5.37)$$

Chia hai vế quan hệ (5.37) cho s, ta được:

$$\dot{E}_2 = \left(\frac{R_2}{s} + j.X_{t2}\right) \cdot \dot{I}_2 \tag{5.38}$$



Từ quan hệ (5.38) cho thấy các thông số mạch rotor đã được qui đổi về tần số f_1 , mạch điện tương đương của động cơ lúc này được trình bày trong hình 5.28.

HÌNH 5.28: Mạch tương đương 1 pha lúc rotor quay và tần số rotor qui về f_1

5.6.2. QUI ĐỔI MẠCH ROTOR VỀ STATOR :

Sau khi qui đổi mạch rotor từ tần số f_2 sang tần số f_1 , muốn qui đổi mạch rotor về phía stator, ta căn cứ vào các phương trình cân bằng áp và dòng (5.25), (5.27) và (5.38). **Phương pháp và cơ sở qui đổi thực hiện tương tự như đã trình bày trong bài máy biến áp.**

Căn cứ vào các biểu thức sức điện động hiệu dụng của mỗi pha dây quấn phía stator và rotor suy ra **tỉ số biến đổi** K_{bd} như sau :

$$K_{bd} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{4,44 \cdot f_1 \cdot N_1 \cdot K_{dq1} \cdot \Phi_m}{4,44 \cdot f_1 \cdot N_2 \cdot K_{dq2} \cdot \Phi_m} = \frac{N_1 \cdot K_{dq1}}{N_2 \cdot K_{dq2}} \tag{5.39}$$

Từ (5.36) suy ra :

$$\dot{I}_1 + \left(\frac{N_2 \cdot K_{dq2}}{N_1 \cdot K_{dq1}}\right) \cdot \dot{I}_2 = \dot{I}_{10}$$

Đặt :

$$\dot{I}'_2 = \left(\frac{N_2 \cdot K_{dq2}}{N_1 \cdot K_{dq1}}\right) \cdot \dot{I}_2 = \frac{\dot{I}_2}{K_{bd}} \tag{5.40}$$

Đặt :

$$\dot{E}'_2 = K_{bd} \cdot \dot{E}_2 \tag{5.41}$$

Từ quan hệ (5.38), nhân 2 vế cho K_{ba} suy ra :

$$K_{ba} \cdot \dot{E}_2 = K_{ba} \cdot \left(\frac{R_2}{s} + j.X_{t2}\right) \cdot \dot{I}_2$$

$$K_{ba} \cdot \dot{E}_2 = \left(K_{ba}\right)^2 \cdot \left(\frac{R_2}{s} + j.X_{t2}\right) \cdot \frac{\dot{I}'_2}{K_{ba}} \tag{5.42}$$

Đặt

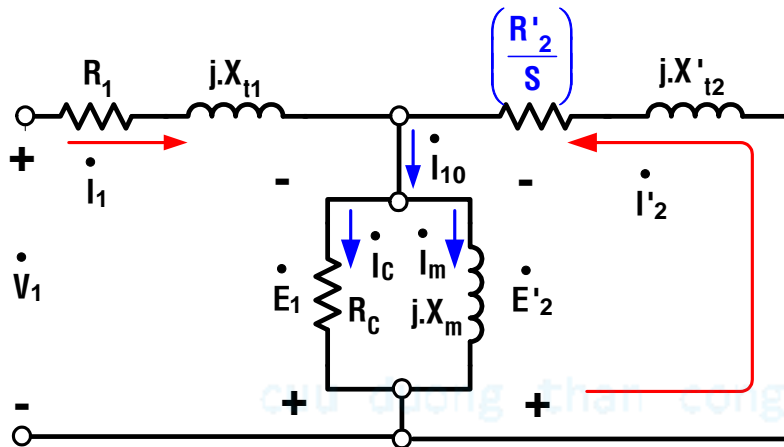
$$R'_2 = (K_{bd})^2 \cdot R_2 \tag{5.43}$$

$$X'_{t2} = (K_{bd})^2 \cdot X_{t2} \tag{5.43}$$

Các quan hệ (5.40) và (5.42) được viết lại như sau:

$$\dot{E}_1 = \dot{E}'_2 = \left(\frac{R'_2}{s} + j \cdot X'_{t2} \right) \cdot \dot{I}'_2 \tag{5.43}$$

$$\dot{I}_1 + \dot{I}'_2 = \dot{I}_{10} \tag{5.54}$$



Căn cứ vào các quan hệ (5.26), (5.43) và (5.54) suy ra mạch tương đương 1 pha dạng chính xác qui đổi rotor về stator theo hình 5.29.

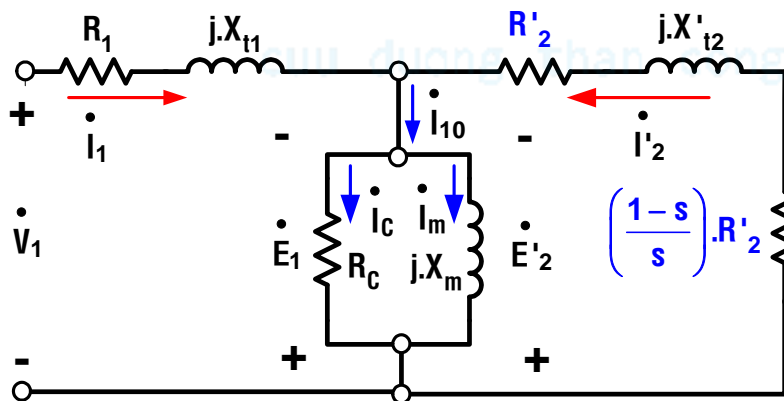
HÌNH 5.29: Mạch tương đương chính xác 1 pha qui đổi rotor về stator

5.6.3. Ý NGHĨA VẬT LÝ CỦA $\left(\frac{R'_2}{s} \right)$:

Muốn hiểu rõ ý nghĩa của thông số này chúng ta tách phần tử thành hai thành phần :

$$\frac{R'_2}{s} = R'_2 + \left(\frac{1-s}{s} \right) \cdot R'_2 \tag{5.55}$$

Trong (5.55), các thành phần phân tích mang ý nghĩa như sau :



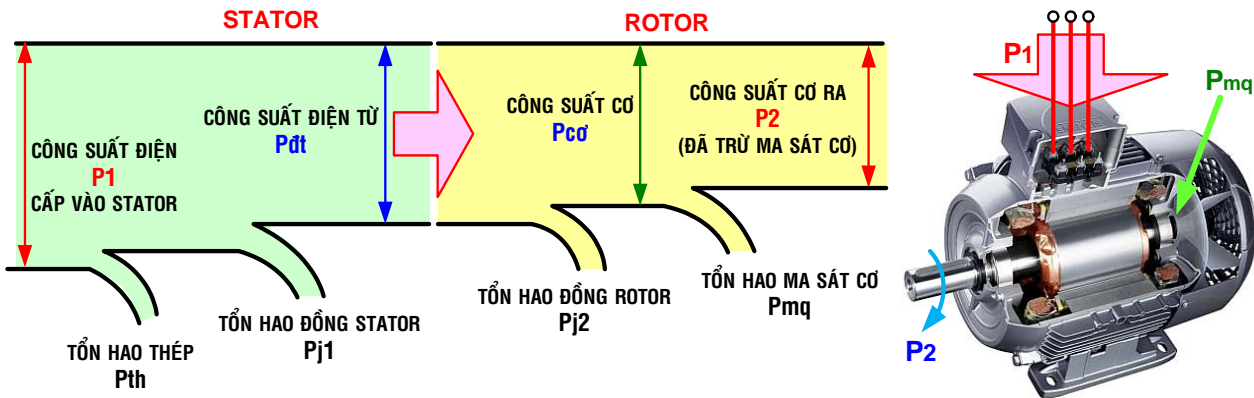
R'_2 : điện trở dây quấn rotor qui về stator.

$\left(\frac{1-s}{s} \right) \cdot R'_2$: đặc trưng cho cơ năng hữu ích trên trục của động cơ.

Mạch tương đương hình 5.29 được vẽ lại theo hình 5.30

HÌNH 5.30: Mạch tương đương chính xác 1 pha qui đổi rotor về stator

5.7. GIẢN ĐỒ PHÂN BỐ NĂNG LƯỢNG – HIỆU SUẤT CỦA ĐỘNG CƠ:



HÌNH 5.31: Giản đồ phân bố năng lượng trong động cơ không đồng bộ.

Từ mạch điện tương đương trong hình 5.30 suy ra các thành phần công suất từ dòng năng lượng cấp vào động cơ như sau:

CÔNG SUẤT ĐIỆN CUNG CẤP VÀO ĐỘNG CƠ (THÔNG QUA DÂY QUẦN STATOR):

$$P_1 = 3 \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 \quad (5.56)$$

Trong đó :

V_1 : điện áp pha cấp vào mỗi pha dây quấn stator.

I_1 : dòng qua mỗi pha dây quấn stator.

$\cos \varphi_1$: hệ số công suất mỗi pha dây quấn stator.

TỶ LỆ THẤP

$$P_{th} = 3 \cdot R_c \cdot I_c^2 \quad (5.57)$$

TỶ LỆ TRÊN DÂY QUẦN STATOR (TỶ LỆ ĐỒNG STATOR):

$$P_{j1} = 3 \cdot R_1 \cdot I_1^2 \quad (5.58)$$

CÔNG SUẤT ĐIỆN TỪ CHUYỂN TỪ STATOR SANG ROTOR:

$$\begin{aligned} P_{\text{điện từ}} &= P_1 - (P_{th} + P_{j1}) \\ P_{\text{điện từ}} &= 3 \cdot \left(\frac{r_2'}{s} \right) \cdot I_2'^2 = 3 \cdot \left(\frac{r_2}{s} \right) \cdot I_2^2 \end{aligned} \quad (5.59)$$

TỶ LỆ TRÊN DÂY QUẦN ROTOR (TỶ LỆ ĐỒNG ROTOR):

$$P_{j2} = 3 \cdot R_2' \cdot I_2'^2 = 3 \cdot R_2 \cdot I_2^2 \quad (5.60)$$

CÔNG SUẤT CƠ TRÊN TRỤC CỦA ĐỘNG CƠ (CHƯA TRỪ ĐI TỶ LỆ MÃ SẮT CƠ QUẠT GIÓ)

$$P_{co} = 3 \cdot R_2' \cdot \left(\frac{1-s}{s} \right) \cdot I_2'^2 = 3 \cdot R_2 \cdot \left(\frac{1-s}{s} \right) \cdot I_2^2 \quad (5.61)$$

CÔNG SUẤT CƠ RA TRÊN TRỤC ĐỘNG CƠ (ĐÃ TRỪ TỶ LỆ MÃ SẮT CƠ QUẠT GIÓ)

Trong trường hợp có tính đến tổn hao ma sát cơ khí do ổ bi, quạt gió .. công suất ra thực sự trên trục của động cơ là P_2 , ta có:

$$P_2 = P_{co} - P_{\text{ma sát cơ}} \quad (5.62)$$

Hiệu suất của động cơ không đồng bộ được xác định theo quan hệ sau :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + (P_{th} + P_{j1} + P_{j2} + P_{mq})} \quad (5.63)$$

Khi khảo sát phân bố năng lượng phía rotor ta cần chú ý thêm các mối quan hệ giữa 3 thành phần công suất : $P_{điện\ từ}$, P_{j2} và $P_{cơ}$. Từ (5.59), (5.60) và (5.61) suy ra các quan hệ sau:

$$P_{điện\ từ} = P_{j2} + P_{cơ} \quad (5.64)$$

$$P_{j2} = s.P_{điện\ từ} \quad (5.65)$$

$$P_{cơ} = (1 - s).P_{điện\ từ} \quad (5.66)$$

THÍ DU 5.3:

Cho động cơ không đồng bộ ba pha: **100HP** có **2p = 4 cực**, tần số nguồn điện cấp vào động cơ là **f = 50Hz**, tốc độ định mức **1445 vòng/phút**. Cho **1HP ≅ 750W** , biết tổn hao ma sát cơ là **900 W**, tổn hao thép **4200 W**, tổn hao đồng stator là **2700 W** ; xác định hiệu suất của động cơ,.

GIẢI

Áp dụng các quan hệ đã trình bày trong giản đồ phân bố năng lượng, lần lượt xác định các thành phần công suất của động cơ tại **tải định mức** là :

- Công suất cơ hữu ích trên trục của động cơ (đã trừ đi ma sát cơ) :

$$P_2 = 100.750 = 75.000W$$

- Công suất cơ :

$$P_{cơ} = P_2 + P_{ma\ s\at\ c\ c\ o} = 75.000 + 900 = 75.900W$$

- Tốc độ đồng bộ của động cơ:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60.50}{2} = 1500 \text{ [vòng / phút]}$$

- Độ trượt của động cơ, lúc mang tải đúng định mức:

$$s = \left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right) = \left(1 - \frac{1445}{1500}\right) = 0,03667$$

- Công suất điện từ chuyển từ stator sang rotor :

$$P_{điện\ từ} = \frac{P_{cơ}}{(1-s)} = \frac{75.900}{1 - 0.03667} = 78.788,93W$$

- Công suất điện cấp vào động cơ :

$$P_1 = P_{điện\ từ} + P_{j1} + P_{th\ e\ p} = 78.788,93 + 2.700 + 4.200$$

$$P_1 = 85.688,93W$$

- Hiệu suất của động cơ :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{75.000}{85.688,93} = 0,87525 = 87,53\%$$

5.8. ĐẶC TINH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ:

5.8.1. BIỂU THỨC TỔNG QUÁT CỦA MOMEN:

Momen có thể hiểu là năng lượng cấp cho một vật để vật thực hiện chuyển động quay quanh một trục một góc bằng 1 rad.

Với động cơ điện, gọi P_2 là công suất cơ cấp đến trục của động cơ đang quay với vận tốc là n_2 ; M là momen cơ trên trục của động cơ và Ω_2 là vận tốc quay góc; ta có định nghĩa của momen như sau:

$$M = \frac{P_2}{\Omega_2} = \frac{P_2}{2\pi \cdot n_2} \quad (5.67)$$

Trong đó đơn vị của các đại lượng là: $[P_2] = [W]$; $[n_2] = \left[\frac{\text{vòng}}{s} \right]$; $[M] = [Nm]$.

Trong trường hợp đơn vị đo của $[n_2] = \left[\frac{\text{vòng}}{\text{phút}} \right]$ quan hệ (5.67) được viết lại như sau:

$$M = \frac{60 \cdot P_2}{2\pi \cdot n_2} = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n_2} \quad (5.68)$$

THÍ DU 5.4:

Với động cơ không đồng bộ ba pha: **100HP** có tốc độ định mức **1445 vòng/phút** và **1 HP = 746W**; tại lúc tải định mức momen định mức trên trục động cơ là:

$$M = 9,55 \cdot \frac{100 \cdot 746}{1445} \cong 493 \text{ Nm}$$

5.8.2. MOMEN CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ:

Khi xem như **tổn hao ma sát cơ không đáng kể**, **Momen cơ ra trên trục động cơ** được xác định theo quan hệ sau đây:

$$M_2 = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{cơ}}}{n_2} = 9,55 \cdot \frac{3R'_2 \cdot \left(\frac{1-s}{s} \right) \cdot I_2'^2}{n_2} \quad (5.69)$$

Ta viết lại như sau:

$$M_2 = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{cơ}}}{n_2} = 9,55 \cdot 3 \left(\frac{R'_2}{s} \right) \cdot I_2'^2 \cdot \left(\frac{1-s}{n_2} \right) \quad (5.70)$$

Theo định nghĩa của hệ số trượt ta có:

$$\frac{n_2}{n_1} = 1 - s \quad \text{Hay:} \quad \frac{1-s}{n_2} = \frac{1}{n_1} \quad (5.71)$$

Thế quan hệ (5.71) vào (5.70), suy ra:

$$M_2 = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{cơ}}}{n_2} = 9,55 \cdot \frac{3 \left(\frac{R'_2}{s} \right) \cdot I_2'^2}{n_1} = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{điện từ}}}{n_1} \quad (5.71)$$

Tóm lại

$$9,55 \cdot \frac{P_{cơ}}{n_2} = 9,55 \frac{P_{điện\ từ}}{n_1} \tag{5.72}$$

Nếu đặt Momemen điện từ thỏa quan hệ sau:

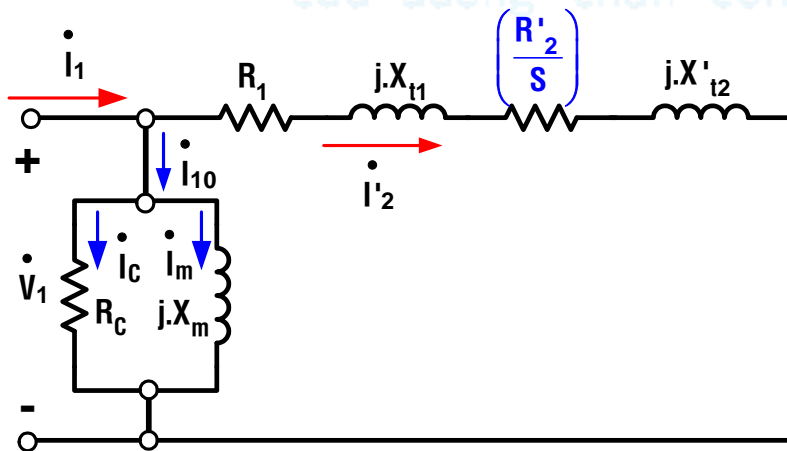
$$M_{điện\ từ} = 9,55 \cdot \frac{P_{điện\ từ}}{n_1} = 9,55 \cdot \frac{3 \left(\frac{R'_2}{s} \right) \cdot I_2^2}{n_1} \tag{5.73}$$

Từ các quan hệ (5.69), (5.72) và (5.73) suy ra $M_2 = M_{điện\ từ}$ khi tổn hao ma sát cơ không đáng kể. Một trong các nguyên nhân dùng giải thích lý do cần xây dựng quan hệ (5.73) được trình bày sau đây.

✚ Tại lúc động cơ khởi động (hay mở máy) ta có tốc độ động cơ $n_2 = 0$; nên hệ số trượt lúc mở máy là $s = 1$. Khi thế các giá trị này vào quan hệ (5.69) ta không thể xác định được giá trị của momen lúc khởi động vì quan hệ này có dạng vô định $\left(\frac{0}{0} \right)$.

✚ Do quan hệ (5.73) tìm được ta xác định được giá trị momen mở máy dựa vào biểu thức của momen điện từ.

5.8.3. BIỂU THỨC TÍNH GẦN ĐÚNG CỦA MOMEN ĐIỆN TỬ :



HÌNH 5.31: Mạch tương đương 1 pha dạng gần đúng .

Với quan hệ (5.73) khi cần xác định momen điện từ tại một điểm làm việc của động cơ tại một tốc độ định trước hay tại độ trượt viết trước, ta dựa vào mạch tương đương theo hình 5.29 hay 5.30.

Tuy nhiên trong một số trường hợp cần xác định định tính đặc tính của động cơ ta có thể áp dụng mạch tương đương 1 pha dạng gần đúng qui đổi rotor và stator theo hình 5.31 với các giả thiết sau:

- ✚ Xem như **Tổn hao thép độc lập với tải** được kéo trên trục động cơ.
- ✚ Xem như **Tổn hao thép chỉ phụ thuộc điện áp nguồn** cấp vào động cơ.

Tương tự như trường hợp máy biến áp, ta đặt các đại lượng sau:

$$R_n = R_1 + R'_2 \tag{5.74}$$

$$X_n = X_{t1} + X'_{t2} \tag{5.75}$$

$$Z_n = \sqrt{R_n^2 + X_n^2} \tag{5.76}$$

R_n : thành phần điện trở ngắn mạch ; X_n : thành phần điện kháng ngắn mạch và Z_n : tổng trở ngắn mạch của mạch tương đương 1 pha.

Từ mạch tương đương hình 5.31, suy ra :

$$I'_2 = \frac{V_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_n^2}} \quad (5.77)$$

Biểu thức xác định momen điện từ xác định như sau :

$$M_{\text{điện từ}} = \left(\frac{9,55 \cdot 3 \cdot V_1^2}{n_1} \right) \cdot \frac{\left(\frac{R'_2}{s} \right)}{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_n^2} \quad (5.78)$$

5.8.4. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ :

Đặc tính cơ của động cơ là đồ thị hay đường biểu diễn trình bày quan hệ giữa momen theo tốc độ quay.

Đối với động cơ không đồng bộ vì **độ trượt s phụ thuộc vào tốc độ quay n_2** của rotor, nên có thể xem **đặc tính cơ** là quan hệ giữa hàm momen quay theo biến số độ trượt s.

Khi xem các **thông số của các phần tử trong mạch tương đương của động cơ là hằng số**; áp pha nguồn V_1 cấp vào stator không thay đổi giá trị ; ta khảo sát hàm momen điện từ theo độ trượt s từ đó suy ra đồ thị của đặc tính cơ.

MIỀN XÁC ĐỊNH

- Khi **rotor đứng yên**, tại thời điểm động cơ bắt đầu khởi động, ta có $n_2 = 0$, suy ra $s = 1$.
- Khi **rotor quay không tải**, tốc độ quay xấp xỉ tốc độ từ trường quay $n_2 \cong n_1$, giá trị của $s \rightarrow 0$.
- Miền xác định của $s \in (0,1]$.

ĐẠO HÀM

Hàm momen điện từ theo độ trượt s có dạng $\left(\frac{u}{v} \right)$, với $u = \frac{R'_2}{s}$; $v = \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_n^2$

Suy ra : $\frac{dM}{ds} \equiv \frac{vu' - uv'}{v^2}$. Ta chỉ cần quan tâm **đến tử số của đạo hàm**, ta có:

$$vu' - uv' = \left(\frac{-R'_2}{s^2} \right) \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_n^2 \right] - \left(\frac{R'_2}{s} \right) \left[2 \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right) \cdot \left(\frac{-R'_2}{s^2} \right) \right]$$

$$vu' - uv' = \left(\frac{-R'_2}{s^2} \right) \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_n^2 - 2 \left(\frac{R'_2}{s} \right) \cdot \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right) \right]$$

$$vu' - uv' = \left(\frac{-R'_2}{s^2} \right) \left[R_1^2 + X_n^2 - \left(\frac{R'_2}{s} \right)^2 \right]$$

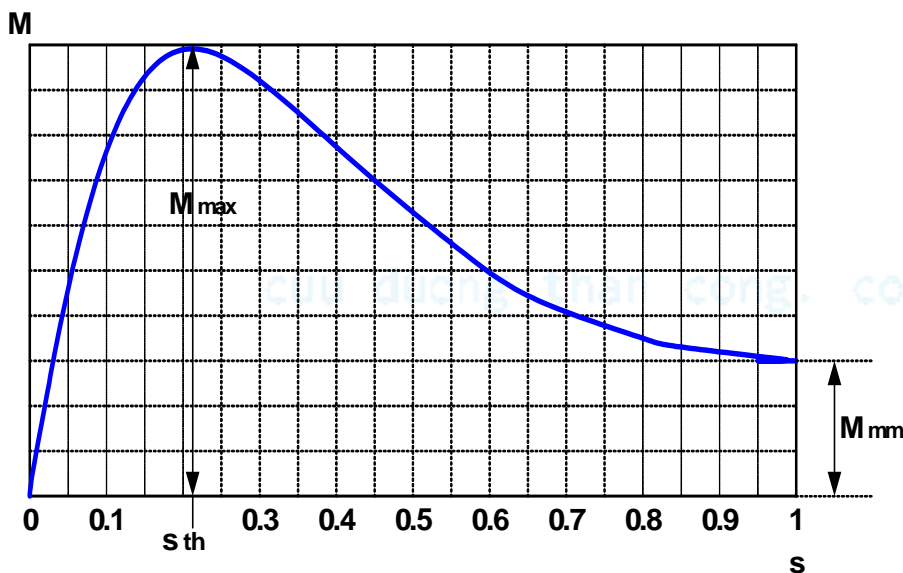
Đạo hàm $\frac{dM}{ds} \equiv \frac{vu' - uv'}{v^2} = 0$ khi $\left[R_1^2 + X_n^2 - \left(\frac{R'_2}{s} \right)^2 \right] = 0$. Suy ra, momen đạt cực trị khi

$$s_{th} = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_n^2}} \tag{5.79}$$

Giá trị độ trượt lúc momen đạt cực trị được gọi là độ trượt tới hạn.

Xét dấu đạo hàm, suy ra điểm cực trị là cực đại. Giá trị cực đại của momen được xác định như sau:

$$M_{max} = \left(\frac{9,55 \cdot 3 \cdot V_1^2}{n_1} \right) \cdot \frac{1}{2 \left(R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_n^2} \right)} \tag{5.80}$$



Từ quan hệ (5.78) thay thế giá trị độ trượt $s = 1$ suy ra giá trị của momen tại lúc $n_2 = 0$ đây chính là giá trị của momen động cơ lúc khởi động.

Momen khởi động hay momen mở máy M_{mm} xác định theo quan hệ (5.81).

HÌNH 5.32: Đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ

$$M_{mm} = \left(\frac{9,55 \cdot 3 \cdot V_1^2}{n_1} \right) \cdot \frac{R'_2}{R_1^2 + X_n^2} \tag{5.81}$$

THÍ DỤ 5.5:

Cho một động cơ không đồng bộ 3 pha, rotor lồng sóc của nhà sản xuất **CROMPTON GREAVES** (Anh quốc) loại **TEFC**; cách điện cấp F có các thông số sau:

- ⚡ **Công suất định mức** của động cơ: $P_{đm} = 55 \text{ KW}$.
- ⚡ **Áp dây định mức:** $V_{đm} = 660V / 380V - Y/\Delta$. (Tần số nguồn điện $f = 50 \text{ Hz}$).
- ⚡ **Tốc độ định mức** của động cơ: $n_{đm} = 980 \text{ vòng/phút}$.
- ⚡ **Hiệu suất định mức** là: $\eta_{đm} = 93,5\%$.
- ⚡ **Hệ số công suất** lúc tải định mức: $\cos\phi_{đm} = 0,86$.
- ⚡ **Bội số dòng điện mở máy** của động cơ là $m_l = 6$.

Khi cấp nguồn áp 3 pha **380V (áp dây)** vào động cơ, lúc mang tải định mức xác định:

- 1./ **Tần số của rotor** .
- 2./ **Dòng điện định mức cấp vào stator** động cơ .
- 3./ **Công suất điện từ** khi biết **tổn hao ma sát cơ**, **quạt gió** chiếm **15% tổng tổn hao của động cơ** ; **tổn hao thép** chiếm **25% tổng tổn hao**.
- 4./ **Tổn hao đồng** rotor và stator suy ra điện trở mỗi pha dây quấn stator.

GIAI:**1. TẦN SỐ CỦA ROTOR KHI TẢI ĐỊNH MỨC:**

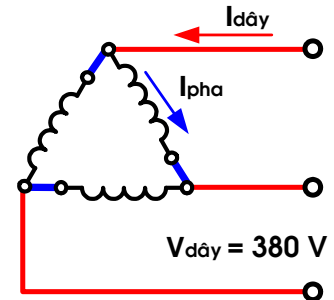
✚ Động cơ có tốc độ định mức $n_{dm} = 980$ vòng/phút ; khi vận hành tại tần số $f = 50\text{Hz}$; suy ra số cực động cơ là $2p = 6$ cực và tốc độ đồng bộ là $n_1 = 1000$ vòng/phút.

✚ Hệ số trượt định mức của động cơ là :

$$s = \frac{n_1 - n_{dm}}{n_1} = \frac{1000 - 980}{1000} = 0,02$$

✚ Tần số dòng điện rotor lúc tải định mức là :

$$f_2 = s \cdot f_1 = 0,02 \cdot 50 = 1\text{Hz}$$

**2. DÒNG ĐIỆN ĐỊNH MỨC ĐỘNG CƠ:**

✚ Dòng định mức từ nguồn cấp vào động cơ lúc tải định mức được xác định theo quan hệ sau (khi cấp nguồn áp 3 pha với áp dây là 380V vào dây quấn stator đang đấu theo sơ đồ Δ).

$$I_{dm\text{ dây}} = \frac{P_{dm}}{\sqrt{3} V_{dm} \cdot \eta_{dm} \cdot \cos \varphi_{dm}} = \frac{55000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,935 \cdot 0,86} = 103,92\text{A}$$

✚ Dòng pha định mức qua mỗi bộ dây quấn lúc tải định mức là:

$$I_{dm\text{ pha}} = \frac{I_{dm}}{\sqrt{3}} = \frac{103,92}{\sqrt{3}} = 59,99 \cong 60\text{A}$$

3. CÔNG SUẤT ĐIỆN TỪ CHUYỂN TỪ STATOR SANG ROTOR:

✚ Tổng tổn hao của động cơ:

$$\sum \text{Tổn hao} = P_{\text{điện}} - P_{dm} = \frac{P_{dm}}{\eta} - P_{dm} = P_{dm} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)$$

$$\sum \text{Tổn hao} = 55000 * \left(\frac{1}{0,935} - 1 \right) = 3823,53\text{W}$$

✚ Từ điều kiện, tổng tổn hao ma sát cơ, quạt gió chiếm 15% giá trị tổng tổn hao, suy ra:

$$P_{mq} = (15\%) * \sum \text{Tổn hao} = 0,15 * 3823,53 = 573,53\text{W}$$

✚ Công suất cơ (khi chưa trừ đi ma sát cơ):

$$P_{cơ} = P_{dm} + P_{mq} = 55000 + 573,53 = 55573,53\text{W}$$

✚ Tại tải định mức, ta có hệ số trượt $s = 0,02$; từ đó suy ra công suất điện từ cấp vào rotor:

$$P_{dt} = \frac{P_{cơ}}{(1-s)} = \frac{55573,53}{(1-0,02)} = 56707,68 \cong 56708\text{W}$$

4. TỶ HẠO TRÊN DÂY QUẤN TẠI TẢI ĐỊNH MỨC – ĐIỆN TRỞ PHA DÂY QUẤN STATOR:

Tại tải định mức ứng với hệ số trượt định mức $s_{dm} = 0,02$; ta có thể xác định tổn hao trên dây quấn rotor theo một trong các quan hệ sau:

$$P_{j2} = s \cdot P_{dt} = \frac{s \cdot P_{cơ}}{(1 - s)}$$

$$P_{j2} = 0,02 \cdot 56707,68 = 1134,15W$$

✚ Vì tổn hao thép chiếm 25% tổng tổn hao, ta suy ra :

$$P_{thép} = (25\%) * \sum \text{Tổnhao} = 0,25 \cdot 3823,53 = 955,88 \cong 956W$$

✚ Tổn hao trên dây quấn stator:

$$\sum \text{Tổnhao} = P_{thép} + P_{j1} + P_{j2} + P_{mq}$$

$$P_{j1} = \sum \text{Tổnhao} - (P_{thép} + P_{j2} + P_{mq})$$

$$P_{j1} = 3823,53 - (955,88 + 1124,15 + 573,53) = 1169,97 \cong 1170W$$

✚ Điện trở trên một pha dây quấn stator:

$$R_1 = \frac{P_{j1}}{3 \cdot I_{dmp}^2} = \frac{1170}{3 \cdot 60^2} = 0,1083\Omega$$

cuu duong than cong. com

BÀI TẬP CHƯƠNG 5

BÀI TẬP 5.1

Cho động cơ không đồng bộ 3 pha : **25 hp, 6 cực, 60 Hz** có rotor dây quấn; điện trở và điện kháng tương đương 1 pha là : $R_2 = 0,1 \Omega/\text{pha}$; $X_{t2} = 0,54 \Omega/\text{pha}$. Điện áp đo trên mỗi pha rotor khi rotor bị chặn là $E_2 = 150 \text{ V}$.

Khi động cơ vận hành, nếu rotor quay với tốc độ là **1164 vòng/phút**, xác định:

- Tốc độ đồng bộ (tốc độ n_1 của từ trường quay).
- Hệ số trượt.
- Tổng trở phía rotor lúc đang quay.
- Dòng điện rotor.
- Dòng điện qua dây quấn rotor khi thay đổi tải trên trục để có hệ số trượt $s = 1,24 \%$
- Tốc độ động cơ khi đạt điều kiện theo câu e.

ĐÁP SỐ: a./ 1200 vòng/phút

b./ $s = 0,03$

$$c./ \bar{Z}_R = \frac{R_2}{s} + jX_{t2} = 3,38 \angle 90^{\circ}20 [\Omega]$$

d./ $I_R = I_2 = 44,42 \text{ A}$

$$e./ \dot{I}_R = \dot{I}_2 = 18,6 \angle -3^{\circ}83 [\text{A}]$$

f./ 1185 vòng/phút

BÀI TẬP 5.2

Cho động cơ không đồng bộ 3 pha: **25 hp, 4 cực, 60 Hz; 460 V (áp dây)** có công suất điện từ cấp vào rotor là **14,58 kW**. Tổn hao đồng là **263 W**, tổn hao ma sát cơ quạt gió là **197 W**.

Xác định:

- Tốc độ động cơ.
- Công suất cơ cấp đến tải.
- Momen cơ trên trục động cơ.

ĐÁP SỐ: a./ 1767,6 vòng/phút

b./ 14317 W

c./ 77,35 Nm

BÀI TẬP 5.3

Cho động cơ không đồng bộ 3 pha: **100 hp; 6 cực ; 60 Hz ; 230 V (áp dây)** có hiệu suất là **91 %** khi được cấp dòng dây hiệu dụng là **218 A** . Cho tổn hao lõi thép, tổn hao đồng stator và tổn hao đồng rotor lần lượt là : **1697 W ; 2803 W và 1549 W** . Xác định:

- Công suất điện cấp vào động cơ.
- Tổng tổn hao của động cơ.
- Công suất điện từ.
- Tốc độ động cơ.
- Hệ số công suất của động cơ.
- Tổn hao ma sát cơ + quạt gió.
- Momen cơ ra trên trục .

ĐÁP SỐ: a./ 81978 W

b./ 7378 W

c./ 77478 W

d./ 1176 vòng/phút

e./ HSCS = 0,83

f./ 1329 W

g./ 605,8 Nm

BÀI TẬP 5.4

Cho động cơ không đồng bộ 3 pha: **40 hp; 8 cực, 60 Hz, 2300 V (áp dây)** vận hành **80 %** tải định mức tại điện áp thấp hơn định mức **6 %**. **Hiệu suất và hệ số công suất** của động cơ trong trạng thái này lần lượt là **85% và 90%**. Tổn hao ma sát cơ và quạt gió là **1011 W** , tổn hao đồng rotor là **969 W**, tổn hao đồng stator là **1559 W**. Xác định:

- Công suất cơ trên trục.
- Tốc độ động cơ.
- Momen cơ ra
- Hệ số trượt.
- Dòng dây từ nguồn cấp vào động cơ.
- Tổn hao thép.

BÀI TẬP 5.5

Cho động cơ không đồng bộ 3 pha: **5 hp, 4 cực, 60 Hz, 115 V (áp dây)** hoạt động tại áp định mức, tần số định mức và hệ số tải là **125 %** ; động cơ có hiệu suất là **85,4%** . Tổn hao đồng stator, tổn hao đồng rotor và tổn hao thép lần lượt là : **223,2 W ; 153 W và 114,8 W** . Xác định:

- Tốc độ động cơ.
- Momen ra trên trục.
- Momen sinh ra do ma sát cơ, quạt gió.

BÀI TẬP 5.6

Cho động cơ không đồng bộ 3 pha: **50 hp, 4 cực, 60 Hz, 230V (áp dây)** hoạt động tại áp định mức, tần số định mức . Động cơ bị qua tải khi tần số giảm thấp **5%** và áp nguồn giảm thấp **7%**. Để tránh tình trạng quá tải công suất cơ trên trục giảm còn **70%** công suất định mức . Dòng dây nguồn cấp vào động cơ lúc này là **100 A**. Các thành phần tổn hao trong trạng thái hoạt động này là; tổn hao đồng stator **1015 W** ; tổn hao đồng rotor **696 W** ; tổn hao thép **522 W** tổn hao do ma sát cơ và quạt gió là **667 W**. Xác định:

- Hiệu suất của động cơ.
- Tốc độ động cơ.
- Momen cơ trên trục.
- Hệ số công suất.

BÀI TẬP 5.7

Cho động cơ không đồng bộ 3 pha: **25 hp, 2 cực, 60 Hz, 230V (áp dây)** dùng kéo tải theo yêu cầu momen không đổi (momen là hằng số không phụ thuộc vào tốc độ quay). Động cơ hoạt động tại áp định mức, tần số định mức với tốc độ định mức là **3575 vòng/phút**.

Xác định công suất cơ trên trục, tốc độ quay và hiệu suất nếu tần số giảm thấp đến **54 Hz**.

Hệ số công suất và dòng dây nguồn trong điều kiện mới là **0,89** và **55 A**. Tổn hao đồng stator, tổn hao đồng rotor và tổn hao thép lần lượt là: **992,7 W , 496 W và 546 W**.

BÀI TẬP 5.8

Cho động cơ không đồng bộ 3 pha: **15 hp, 6 cực, 60 Hz, 460V (áp dây)** dây quấn stator đấu Y, dùng kéo bơm ly tâm tại tốc độ **1185 vòng/phút**. Tổn hao ma sát cơ và quạt gió là **166 W**. Thông số mạch tương đương 1 pha qui về stator là:

$$\begin{aligned} R_1 &= 0,2 \Omega ; & R'_2 &= 0,25 \Omega ; & R_c &= 317 \Omega \\ X_{t1} &= 1,2 \Omega ; & X'_{t2} &= 1,29 \Omega ; & X_m &= 42 \Omega \end{aligned}$$

Áp dụng mạch tương đương dạng chính xác, xác định:

- Hệ số trượt.
- Dòng dây cấp vào dây quấn stator.
- Công suất điện và hệ số công suất của động cơ.
- Tổn hao đồng stator, tổn hao đồng rotor.
- Công suất điện từ.
- Công suất cơ và momen cơ trên trục
- Hiệu suất của động cơ.

ĐÁP SỐ: a./ 0,0125 b./ 15,11 A c./ 10,4 kW ; HSCS = 0,864
 d./ 137 W, 121 W e./ 9655 W f./ 9368 W ; 75,5 Nm g./ 90%

BÀI TẬP 5.9

Cho động cơ không đồng bộ 3 pha: **40 hp, 4 cực, 60 Hz, 460V (áp dây)** có tốc độ định mức là **1751 vòng/phút** . Thông số mạch tương đương 1 pha qui về stator là:

$$\begin{aligned} R_1 &= 0,102 \Omega ; & R'_2 &= 0,153 \Omega ; & R_c &= 102,2 \Omega \\ X_{t1} &= 0,409 \Omega ; & X'_{t2} &= 0,613 \Omega ; & X_m &= 7,665 \Omega \end{aligned}$$

Xác định:

- Tốc độ tại lúc đạt momen cực đại.
- Momen cực đại và momen định mức

ĐÁP SỐ: a./ 1532 vòng/phút b./ 270,32 Nm ; 88,51 Nm

cuu duong than cong. com

cuu duong than cong. com