

CHƯƠNG 02

ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ 3 PHA

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

2.1.1. CÁC QUI TẮC PHÂN BỐ ĐƯỜNG SỨC TRONG MẠCH TỪ :

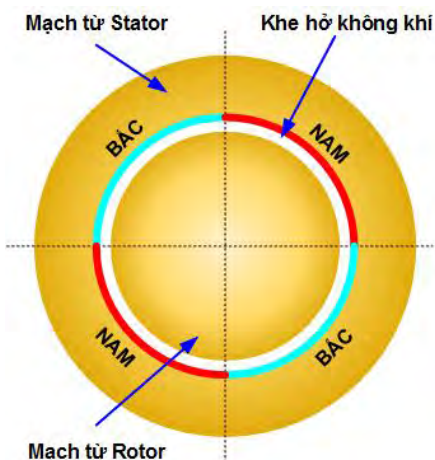
Mạch từ của động cơ cảm ứng hay động cơ không đồng bộ 3 pha gồm hai thành phần:

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

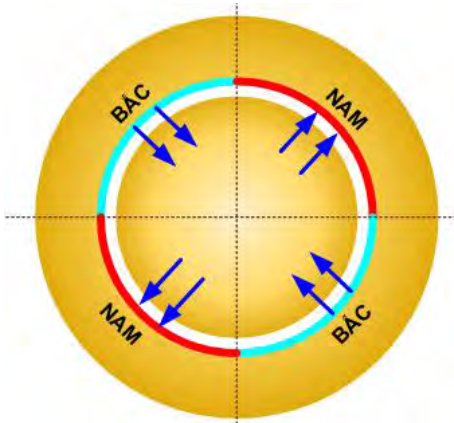
Phần tĩnh Stator thường là lõi thép hình trụ vành khăn nằm ngoài cùng, còn phần quay rotor là lõi thép hình trụ nằm bên trong. Các lõi thép rotor và stator **đồng trục và cách ly bằng khoảng hở không khí**. Bề rộng của khe hở không khí giữa rotor và stator rất bé từ **0,25 mm đến 0,5m**. Bề rộng của khe hở không khí **thay đổi theo cấp công suất và số cực từ** được tạo thành cho động cơ.

Khi cấp dòng vào các bộ dây quấn trên stator, sức từ động được tạo thành trong mạch từ, hệ thống đường sức từ trường hay từ thông trong mạch từ thỏa các qui tắc sau :

- ➡ Đường sức từ trường luôn **có hướng** và **khép kín trên mạch từ**.
- ➡ Đường sức từ trường **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.



Hình H2.1



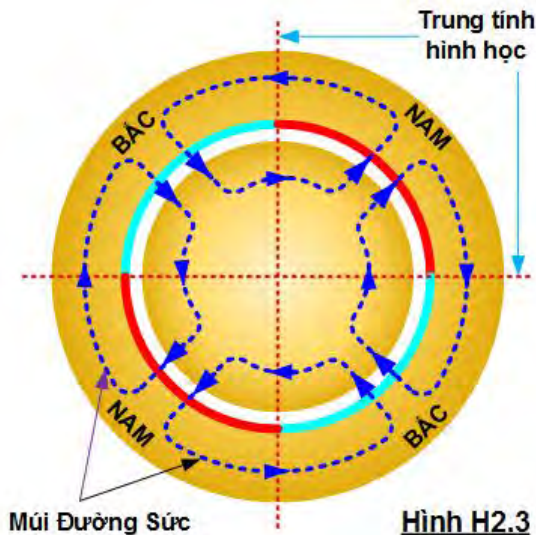
Hình H2.2

Số cực từ được tạo thành trong động cơ luôn luôn là **số chẵn**, được ký hiệu là **2p**. Các cực từ có cực tính được ký hiệu là **cực bắc** hay **cực nam**, tương tự như cực tính của nam châm vĩnh cửu. Các cực từ luôn luôn **xếp liên tiếp lân cận và đối tính xen kẽ nhau** tại khe hở không khí giữa rotor và stator. Đường sức từ luôn có **hướng đi ra từ cực bắc** và có **hướng đi vào cực nam**.

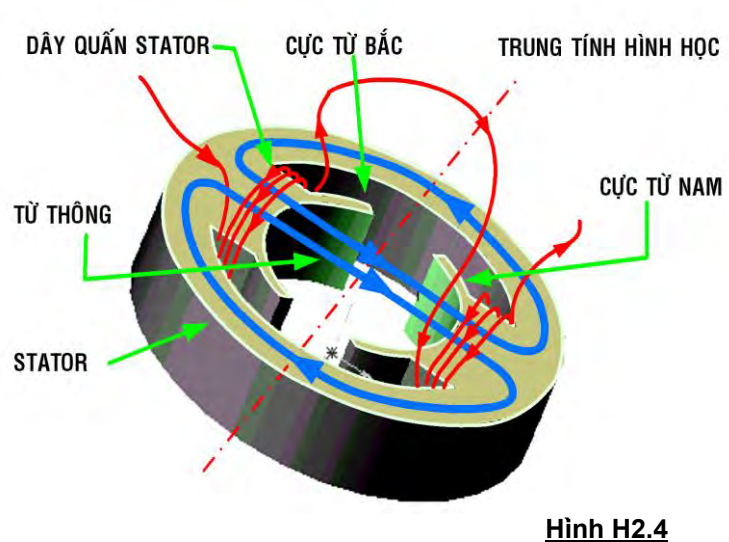
Trong hình H2.1 trình bày phương pháp xây dựng hệ thống đường sức từ đi trong mạch từ của động cơ có **2p = 4 cực**. Đầu tiên, vẽ hai đường thẳng tạo thành hai trục đối xứng **chia không gian của rotor và stator thành 4 vùng bằng nhau**. Số vùng phân chia **bằng với số cực**. Diện tích của mỗi cực từ bằng diện tích của một phần tư mặt trụ trong của lõi thép stator. Đánh dấu cực tính bắc, nam cho các cực từ liên tiếp xen kẽ nhau.

Các đường thẳng đi qua biên giới phân cách giữa hai cực từ kế cận nhau được gọi là **đường trung tính**. Trong hình H2.2 trình bày cách định hướng đường sức từ trường tại vị trí tâm của các cực từ. Tùy thuộc vào cực tính của cực từ, vẽ sơ bộ hướng đường sức từ trường theo tính chất vừa nêu ở nội dung trên. Thực hiện nội dung này nhằm **đảm bảo tính chất đường sức từ có hướng**.

Tuy nhiên, đường sức từ luôn tạo thành **đường khép kín**, chủ yếu tập trung trong mạch từ, vật liệu có từ tính. Hơn nữa đường sức phải đi theo **đường ngắn nhất**. Dựa vào các đường sức định hướng vẽ sơ bộ trong hình H2.2, nối các đường sức lại với nhau để tạo thành các đường sức khép kín mạch, xem hình H2.3.



Hình H2.3

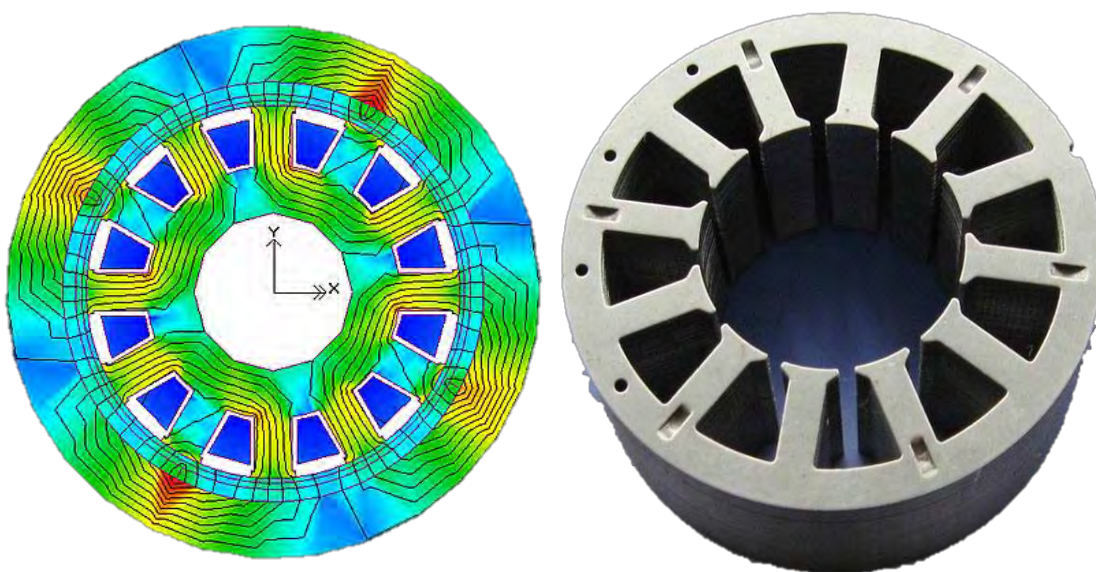


Hình H2.4

Trong hình H2.4 trình bày phương pháp tạo thành $2p = 2$ cực trên mạch từ stator của động cơ dạng cực từ lõi. Lõi thép stator được ghép từ các lá thép kỹ thuật điện đã được dập định hình sẵn hai cực từ. Chọn cực bắc và cực nam cho hai cực từ. Dựa vào các tính chất của đường sức từ đã nêu trên, vẽ hệ thống đường sức từ đi trong mạch từ. Mạch từ stator có 2 cực tương ứng với hai mũi đường sức từ vẽ được trong hình H2.4.

Theo nguyên tắc cơ bản, muốn tạo thành hệ thống đường sức từ đi trong mạch từ, trong mạch từ phải tồn tại sức từ động. Theo định luật Ampere muốn tạo được sức từ động trong mạch từ cần phải quấn các bộ dây quấn trên mạch từ và cho dòng đi qua dây quấn. Hướng của đường sức từ phụ thuộc vào chiều dòng điện đi trong dây quấn và được xác định theo quy tắc bàn tay phải. Trong hình H2.4 mô tả chiều dòng điện đi qua các bộ dây quấn lắp trên các cực từ để tạo thành số cực $2p = 2$ cực trên lõi thép stator.

Quy tắc phân bố đường sức từ trong mạch từ vừa trình bày cho động cơ hay máy điện quay nói chung, có thể xem là phương pháp thực hành áp dụng định tính sự phân bố từ trường theo số cực cần tạo ra cho động cơ. Mặc dù các quy tắc trên được phát biểu đơn giản nhưng hoàn toàn dựa vào các tính chất vật lý. Trong quá trình thiết kế máy điện dựa trên công cụ toán học và phần mềm mô phỏng, kết quả nhận được hoàn toàn giống như những điều vừa phân tích trên, xem hình H2.5.



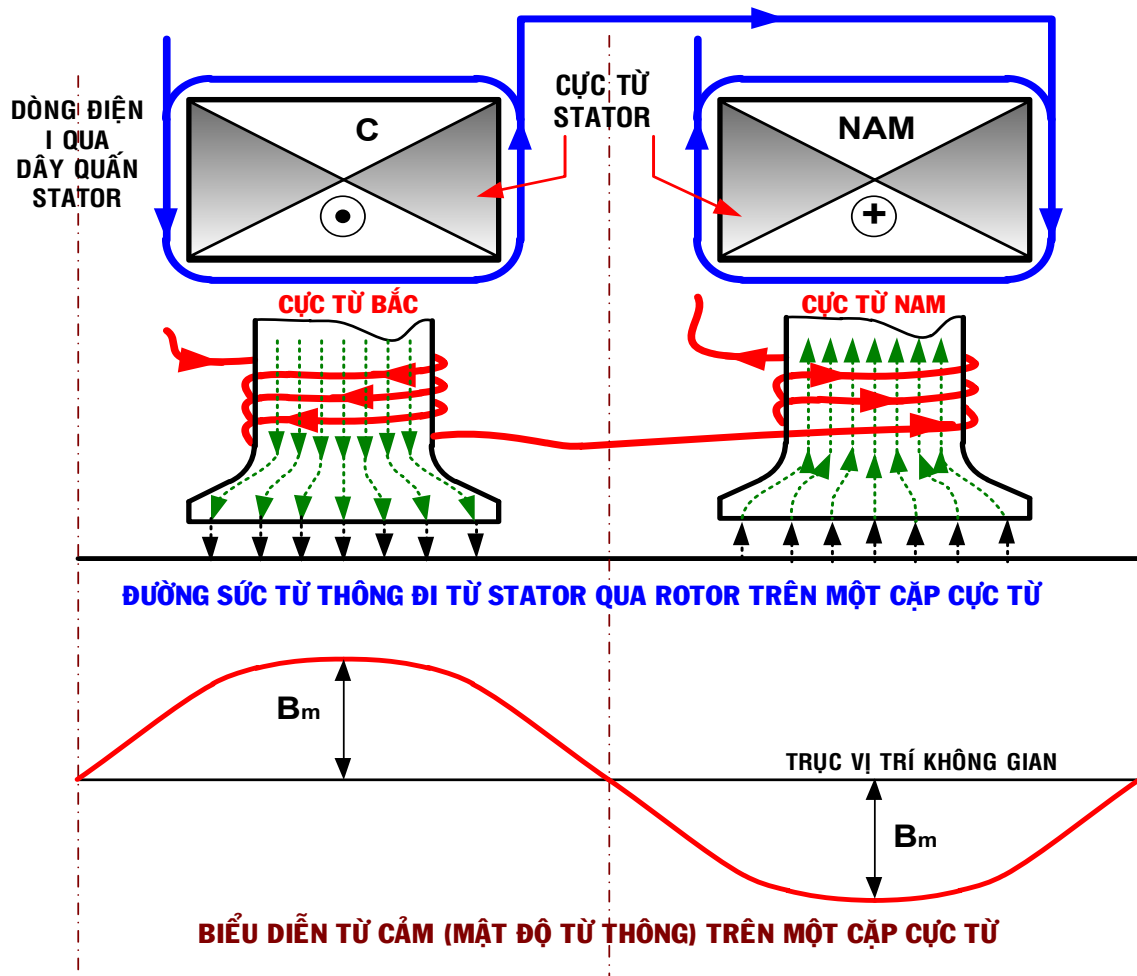
Hình H2.5: Phân bố đường sức từ trong mạch từ stator động cơ bằng phương pháp phân tử hữu hạn (Mạch từ thực hiện số cực $2p = 4$).

2.1.2. PHÂN BỐ TỪ TRƯỜNG TẠI KHE HỒ KHÔNG KHÍ :

Muốn hiểu rõ phân bố từ trường **tại khe hở không khí giữa rotor và stator**, cần vẽ lại kết cấu mạch từ trong hình H2.4 từ dạng phối cảnh ba chiều đưa về dạng khai triển trong mặt phẳng, xem hình H2.6.

Theo điện từ học, tại vị trí có đường sức tập trung dày đặc hay **mật độ đường sức từ trường phân bố tăng cao** thì **từ cảm B có giá trị lớn**. Ngược lại, tại các vị trí có đường sức từ phân bố thưa thớt, **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 $B = 0$. Để phân biệt cực tính của các cực từ bắc và nam trên kết cấu mạch từ, có thể qui ước như sau :

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

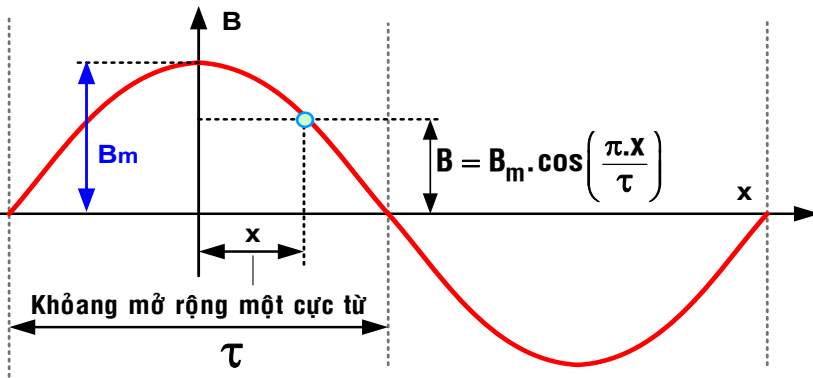


Hình H2.6: Phân bố từ trường của một cặp cực từ theo vị trí không gian.
(dạng khai triển trên mặt phẳng)

Trong hình H2.6, trình bày đồ thị (hay đường biểu diễn) mô tả **giá trị tức thời của từ cảm B tại từng vị trí không gian trong phạm vi một cặp cực từ**. Tùy thuộc vào sự phân bố của hệ thống đường sức, giá trị B thay đổi theo từng vị trí trong không gian. Phân bố Từ Cảm trong không gian có dạng tuần hoàn gần giống như dạng sin theo vị trí không gian.

Trong thiết kế máy điện, **phân bố từ cảm** trong không gian được qui đơn giản về **dạng sin trong không gian**, ta có:

$$B = B_m \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) \quad (2.1)$$



Trong đó :

- * B_m : biên độ cực đại của từ cảm B .
- * τ : bước cực từ, hay khoảng không gian trải 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.

HÌNH H2.6: Phân bố từ cảm dạng sin trong không gian

CHÚ Ý:

Giả sử máy điện có hai cực từ, bộ dây quấn trên mạch từ stator có N vòng và cho dòng $i(t)$ đi qua các vòng dây quấn. Theo lý thuyết, sức từ động hình thành trong mạch từ là $F(t) = N \cdot i(t)$.

Nếu xem như vật liệu sắt từ có **hệ số từ thẩm vô cùng**, gọi δ là bề rộng của khe hở không khí, sức từ động sẽ gởi các đường sức từ trường từ stator sang rotor thông qua khe hở không khí. Theo định luật Ampere ta có:

$$F(t) = N \cdot i(t) \cong (2 \cdot \delta) \cdot H_\delta = (2 \cdot \delta) \frac{B_\delta}{\mu_0} \quad (2.2)$$

Từ quan hệ (2.2) cho thấy Từ Cảm tại khe hở không khí B_δ **tỉ lệ thuận** với dòng $i(t)$ cấp vào dây quấn. Nói cách khác **Từ Cảm cực đại B_δ tại khe hở không khí phụ thuộc vào biên độ của dòng $i(t)$** . Tóm lại :

✚ Nếu $i(t) = A$ (A là hằng số) dòng cấp vào dây quấn là dòng một chiều thì Từ Cảm cực đại B_δ có giá trị **không biến thiên theo thời gian** nhưng phụ thuộc vào độ lớn của dòng điện. Trong trường hợp này cực tính của các cực từ tạo thành trên stator **luôn luôn duy trì tính chất đã có**. Tuy nhiên Từ Cảm **vẫn duy trì dạng phân bố sin trong không gian**.

Các dạng từ trường này thường gặp trong máy điện một chiều.

✚ Nếu $i(t) = I_m \cdot \sin(\omega t)$, dòng cấp vào dây quấn là xoay chiều thì Từ Cảm cực đại B_δ **có giá trị biến thiên theo thời gian** tương ứng. Từ trường này thường gặp trong máy điện xoay chiều và được gọi là **từ trường đập mạch**.

2.1.3. TỪ TRƯỜNG ĐẬP MẠCH :

Với mô hình phân bố từ trường trên một cặp cực từ theo hình **H2.6**, nếu cấp dòng xoay chiều hình sin $i(t) = I_m \cdot \sin(\omega t)$ vào dây quấn thì Từ Cảm cực đại tại khe hở không khí có biên độ biến thiên theo thời gian vì tỉ lệ thuận với biên độ dòng điện, tuy nhiên Từ Cảm vẫn phải duy trì tính phân bố sin theo vị trí không gian đã có trước.

Biểu thức tức thời mô tả cho Từ Cảm B **phân bố theo vị trí không gian tại từng thời điểm** khảo sát có dạng là:

$$B(t, x) = B_m \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) \quad (2.3)$$

Từ Cảm phân bố tại khe hở không khí có dạng **đập mạch**: **phân bố sin theo vị trí không gian** nhưng **biên độ tại mỗi vị trí lại biến thiên theo qui luật sin đối với thời gian**.

Biểu thức Từ Cảm trình bày trong quan hệ (2.3) có dạng tương tự như **sóng dừng cơ học**.

Để hiểu rõ hơn tính chất và ý nghĩa hình học của từ trường đập mạch, xem hình H2.7, trong đó lần lượt **thay đổi thông số thời gian t** trong quan hệ (2.3) 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 :

* Khi $\omega t = 0$, $B = B_m \cdot \sin(0) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot 0}{\tau}\right) = 0$ (đường 1 hình 2.7)

* Khi $\omega t = \frac{\pi}{6}$, $B = B_m \cdot \sin\left(\frac{\pi}{6}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) = \left(\frac{B_m}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right)$ (đường 2 hình 2.7).

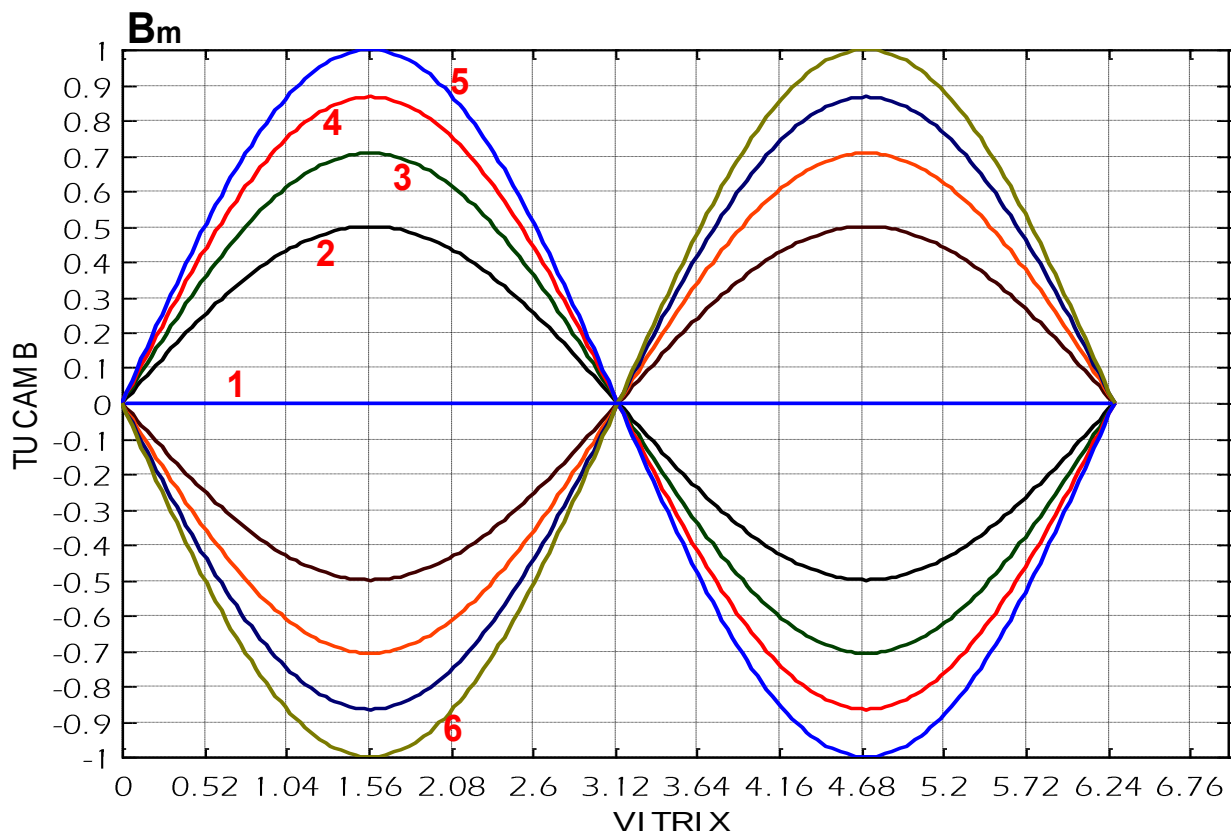
* Khi $\omega t = \frac{\pi}{4}$, $B = B_m \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) = \left(\frac{B_m}{\sqrt{2}}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right)$ (đường 3 hình 2.7).

* Khi $\omega t = \frac{\pi}{3}$, $B = B_m \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) = \left(\frac{B_m \sqrt{3}}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right)$ (đường 4 hình 2.7).

* Khi $\omega t = \frac{\pi}{2}$, $B = B_m \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) = B_m \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right)$ (đường 5 hình 2.7).

* Khi $\omega t = \pi$, $B = B_m \cdot \sin(\pi) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) = 0$ (đường 1 hình 2.7).

* Khi $\omega t = \frac{3\pi}{2}$, $B = B_m \cdot \sin\left(\frac{3\pi}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) = -B_m \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right)$ (đường 6 hình 3.7).



HÌNH H2.7: Các đường biểu diễn 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)

Các kết luận rút ra từ đường biểu diễn phân bố từ trường trong không gian tại nhiều thời điểm liên tiếp khác nhau:

✚ 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**.

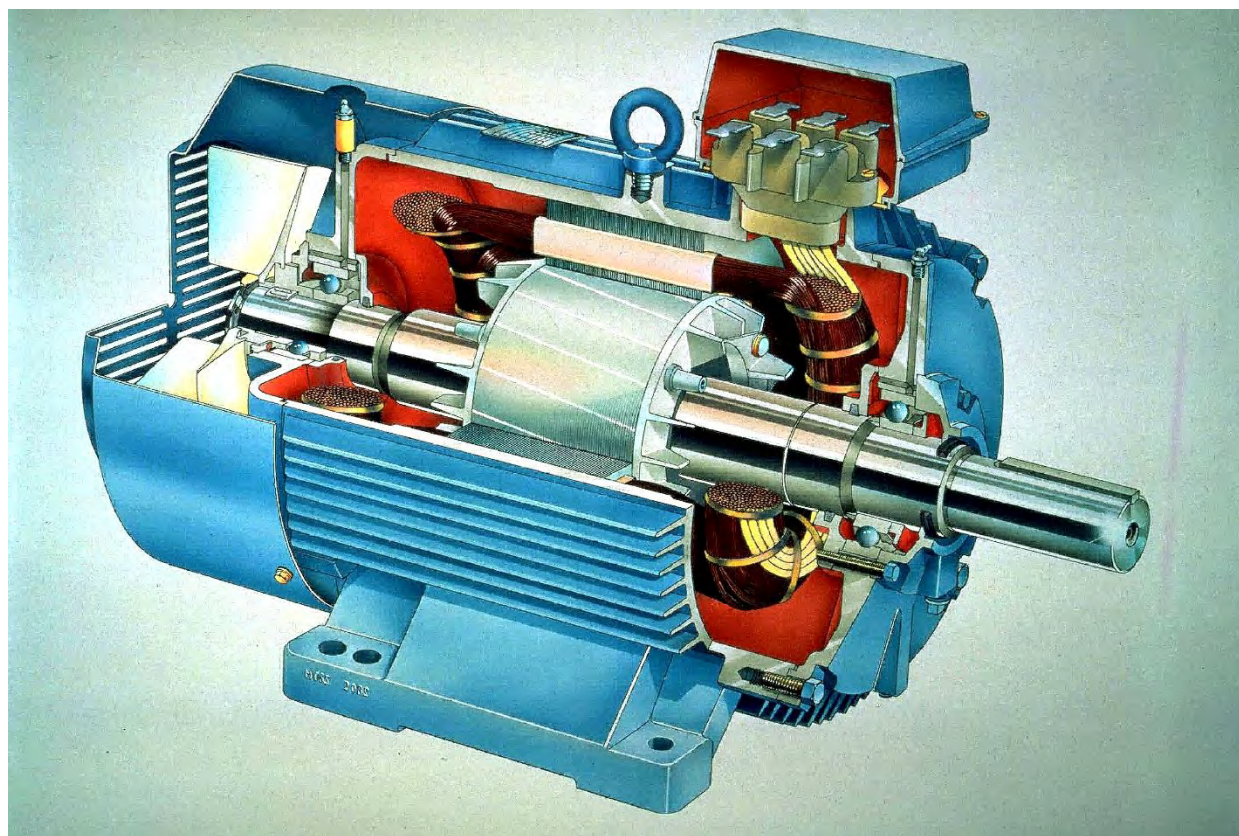
✚ Như vậy, **từ trường đập mạch** được xem tương đương với **hiện tượng sóng dừng** của tổng hợp sóng cơ học hay giao thoa sóng cơ.

✚ 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 mắt các cực từ của động cơ**.

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

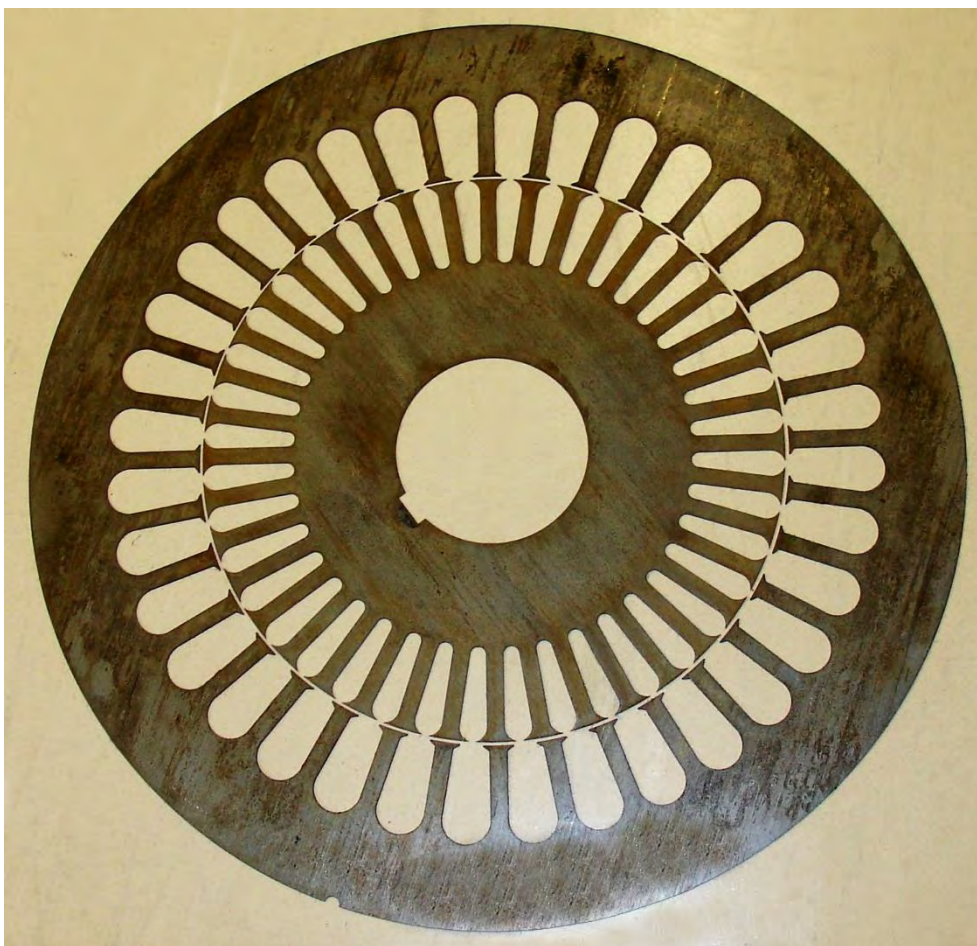
2.2.CẤU TẠO CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ (ĐỘNG CƠ CẢM ỨNG) :



HÌNH H2.8: Cấu tạo động cơ không đồng bộ 3 pha, rotor lồng sóc (squirrel cage rotor)

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

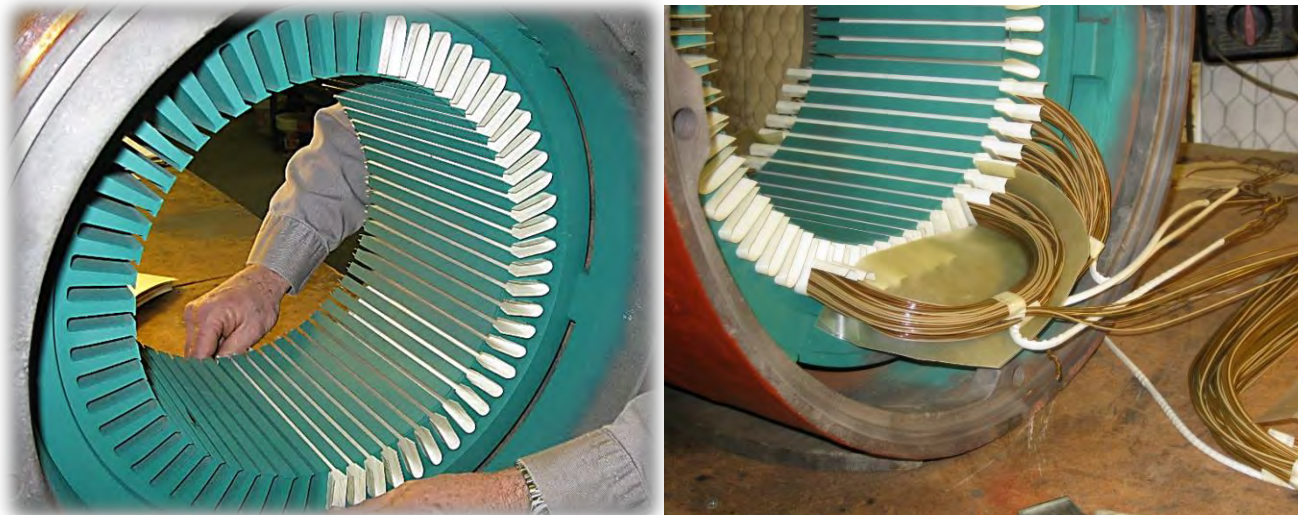
✚ **STATOR:** phần đứng yên của động cơ. Stator được tạo thành từ nhiều lá thép kỹ thuật điện đã được dập định hình rãnh trước và ghép lại với nhau thành khối. Trong hình H2.9 trình bày hình dạng của một bộ lá thép stator và rotor đã được dập rãnh hoàn chỉnh. Bề dày của mỗi lá thép từ **0,35mm đến 0,5 mm**, trên mặt của các lá thép đã sơn phủ lớp cách điện để giảm thấp tổn hao do dòng xoáy. Trong hình H2.10 trình bày mạch từ stator và rotor sau khi đã được ghép hoàn chỉnh từ các lá thép rời.



HÌNH H2.9: Hình dạng một bolá thép stator và rotor đã được dập định hình răng rãnh.



HÌNH H2.10: Mạch từ stator và rotor đã được ghép thành khối từ các lá thép rời.



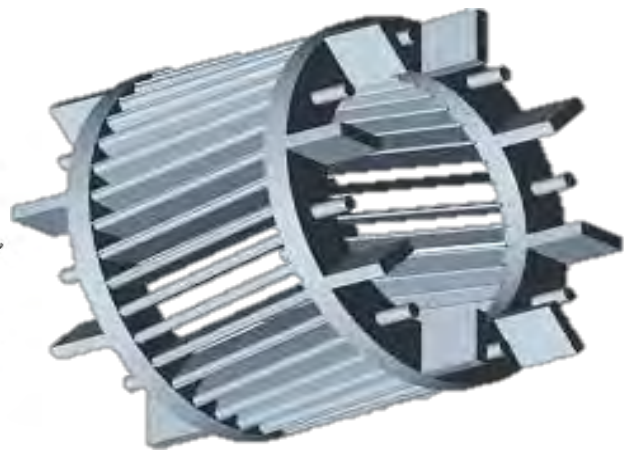
HÌNH H2.11: Công đoạn lót cách điện rãnh và lồng ba pha dây quấn vào stator.

Stator còn được gọi là phần cảm của động cơ **có nhiệm vụ tạo thành từ trường quay kích thích ban đầu**. Trên stator của động cơ không đồng bộ 3 pha được lắp ba bộ dây quấn độc lập. Các bộ dây quấn được lắp vào các rãnh stator theo dạng quấn rải. Cả ba bộ dây quấn được phân bố đều trên stator theo qui luật định trước để **ba bộ dây có thể lệch vị trí không gian từng đôi 120°** . Trong hình **H2.11** trình bày công đoạn lót cách điện rãnh trên stator trước khi thi công lồng ba bộ dây quấn vào các rãnh của stator. Khi vận hành động cơ, nguồn áp 3 pha sẽ được cấp vào ba bộ dây quấn, **từ trường tạo bởi mỗi bộ dây là từ trường đập mạch** nhưng **từ trường tổng hợp** của ba bộ dây sẽ **là từ trường quay tròn**. Nội dung này sẽ được khảo sát trong các mục sau.

+ 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 và rotor dây quấn. Với yêu cầu vận hành bình thường, động cơ thường có dạng rotor lồng sóc. Các thanh dẫn trong rãnh rotor được đúc nhôm và được nối tắt kín mạch với nhau bằng hai vành ngắn mạch ở hai đầu. Trên vành ngắn mạch thường có thêm các cánh khuấy để giải nhiệt cho động cơ lúc rotor quay. Các phần nhôm dư do đầu ngót của khuôn đúc tạo ra trên vành ngắn mạch thường dùng để cân bằng động cho rotor. Trong hình **H2.12** trình bày cấu tạo rotor lồng sóc thanh dẫn bằng nhôm. Với các động cơ cấp công suất lớn hay cần có momen quán tính lớn, thanh dẫn rotor lồng sóc bằng đồng, kết cấu rotor thuộc dạng này được trình bày trong hình **H2.13**.

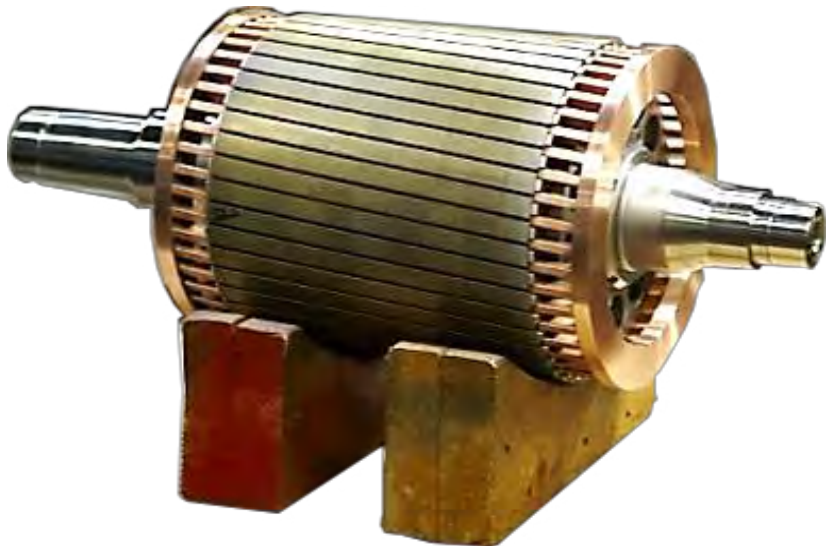
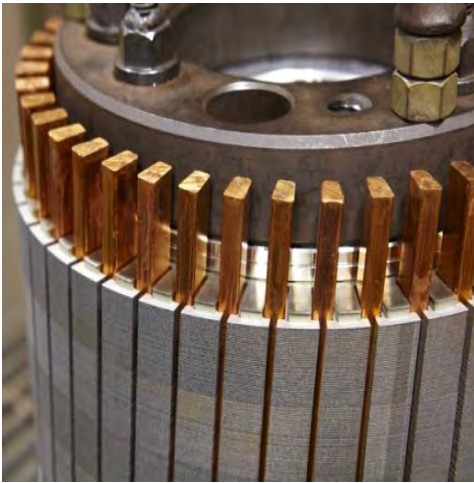


Rotor lồng sóc bằng nhôm sau khi đúc

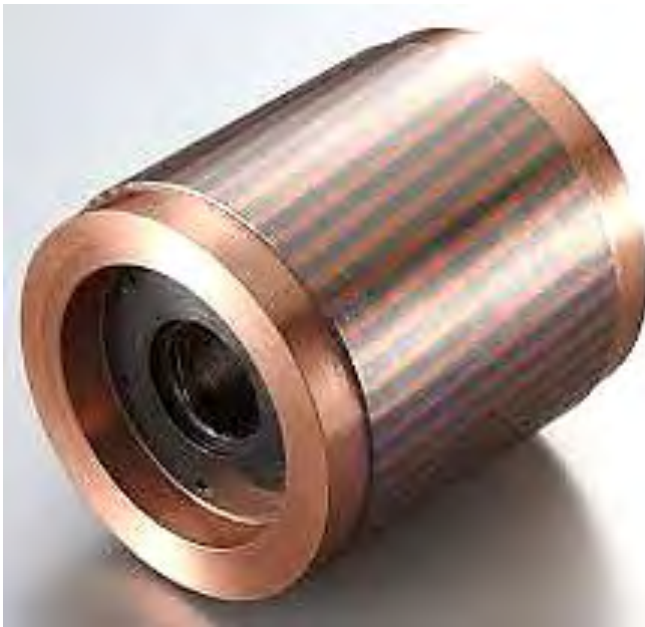


Cấu trúc của lồng sóc khi bỏ đi mạch từ rotor

HÌNH H2.12: Rotor lồng sóc với thanh dẫn nhôm.



HÌNH H2.13: Rotor lồng sóc với thanh dẫn đồng.

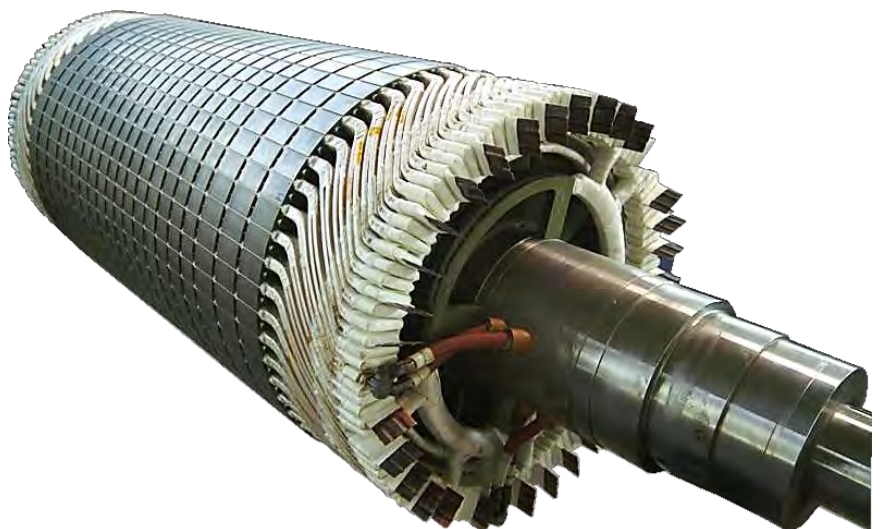


Trong hình **H2.14** trình bày một dạng rotor lồng sóc đặc biệt với thanh dẫn và vành ngắn mạch được **đúc bằng đồng**. Công nghệ chế tạo loại rotor này phức tạp và giá thành cao, thường dùng trong các dạng động cơ với yêu cầu điều khiển đặc biệt. Cấu tạo của rotor lồng sóc đúc bằng đồng trong hình **H2.14** hoàn toàn khác với cấu trúc của rotor lồng sóc có thanh dẫn bằng đồng được hàn nối với vành ngắn mạch như trong hình **H2.13**.

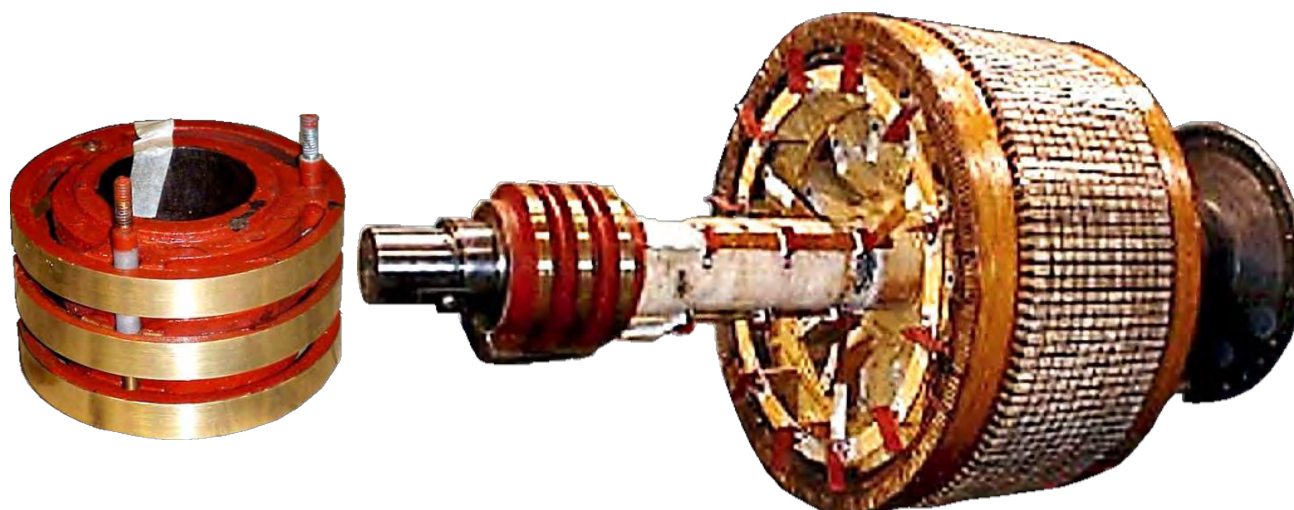
Các rotor lồng sóc **thường có dạng rãnh xiên**, không song song với trục của rotor. Công dụng của rãnh rotor xiên dùng chống rung cho động cơ trong quá trình vận hành do ảnh hưởng của các momen phụ sinh ra bởi sóng hài bậc cao khi từ trường phân bố tại khe hở không khí không hoàn toàn sin.

HÌNH H2.14: Rotor lồng sóc đúc bằng đồng.

Trong trường hợp cần điều chỉnh thay đổi tốc độ động cơ hay điều chỉnh gia tăng momen mở máy, rotor được chế tạo theo dạng dây quấn. Trên rotor cũng bố trí ba bộ dây quấn độc lập **có số cực bằng với số cực tạo bởi dây quấn stator**. Dây quấn rotor được đấu Y, ba đầu dây ra của dây quấn trên rotor được đấu nối vào 3 vành trượt bằng đồng được định vị trên trục rotor. Trong hình **H2.15** trình bày dây quấn rotor đang trong quá trình thi công.



HÌNH H2.15: Dây quấn trên rotor.

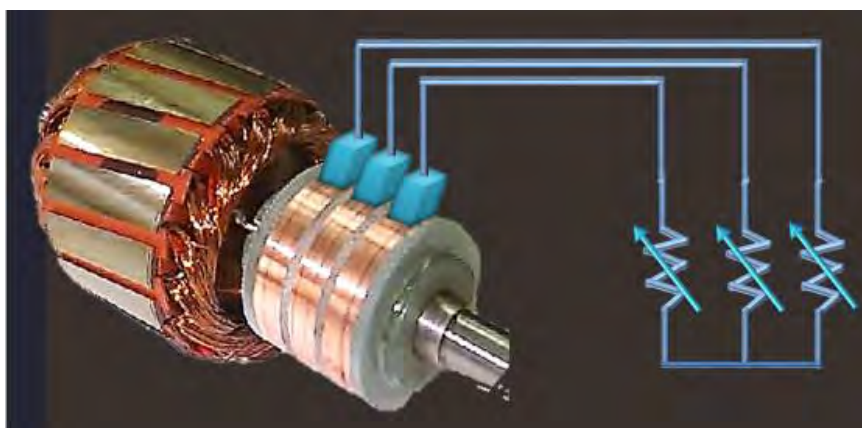


Vành trượt 3 pha

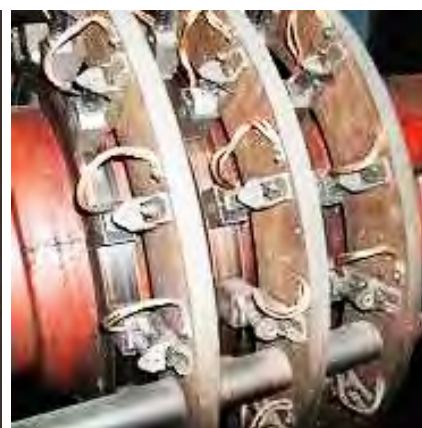
Dây quấn 3 pha của rotor đã đấu nối lên 3 vành trượt

HÌNH H2.15: Rotor dây quấn với hệ thống vành trượt.

Các vành trượt có mặt ngoài bằng đồng, phần bên trong cùng là ống thép để tra ép toàn bộ hệ thống vành trượt lên phần trục rotor. Lớp đồng bên ngoài và ống thép bên trong được liên kết bằng vật liệu cách điện có độ bền nhiệt và độ bền cơ học cao. Các vành trượt cách ly nhau không liên lạc điện. Dây quấn rotor sau khi đã được nối đến 3 vành trượt được nối tắt kín mạch bằng bộ ba biến trở ngoài, xem hình H2.16.



Sơ đồ kết nối dây quấn rotor với biến trở ngoài



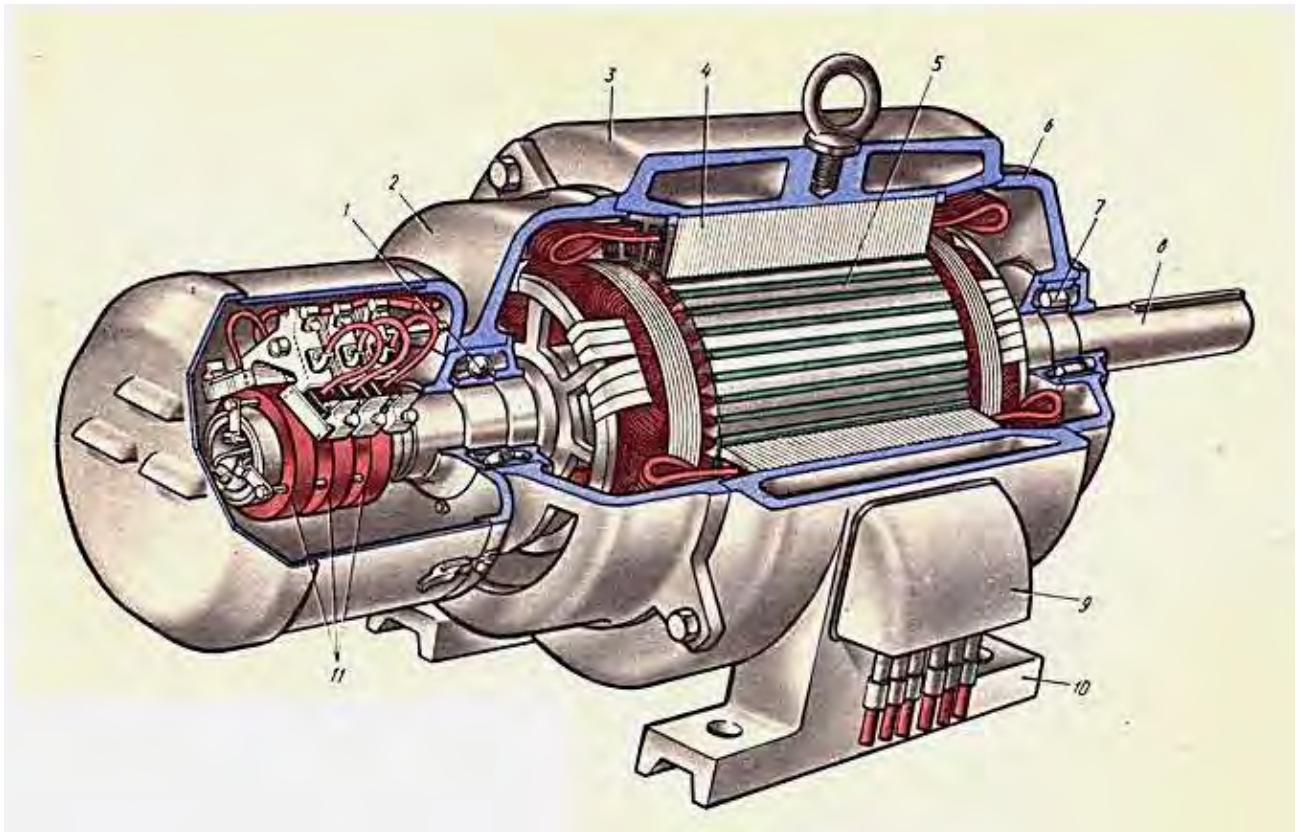
Ổ giữ chổi than

HÌNH H2.16: Dây quấn rotor nối tắt bằng bộ 3 biến trở ngoài.

Tóm lại, Rotor Động Cơ Không Đồng Bộ có hai dạng: rotor lồng sóc và rotor dây quấn. Dây quấn của tất cả các loại rotor này luôn trong trạng thái ngắn mạch khi vận hành. Nội trở của rotor lồng sóc không điều chỉnh được, nhưng nội trở của rotor dây quấn có thể điều chỉnh thay đổi bằng biến trở ngoài.

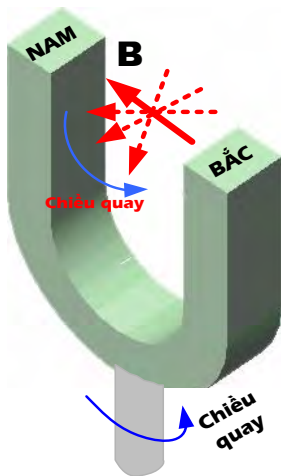
Cấu trúc của động cơ không đồng bộ 3 pha rotor dây quấn được trình bày trong hình H2.17.

Trong quá trình hoạt động, từ trường quay tạo bởi stator quét lên các thanh dẫn rotor sẽ tạo thành các sức điện động cảm ứng trong thanh dẫn rotor, từ đó sinh ra dòng cảm ứng và lực điện từ làm quay rotor. Do tác động này, Rotor là phần quay và còn được gọi là phần ứng của động cơ không đồng bộ 3 pha.



HÌNH H2.17: Cấu tạo động cơ không đồng bộ 3 pha, rotor dây quấn (wound rotor)

2.3. KHÁI NIỆM VỀ TỪ TRƯỜNG QUAY TRÒN:



HÌNH H2.18: Hình ảnh từ trường quay tròn khi quay thành nam châm vĩnh cửu quanh trục đứng.

Trong hình **H2.18** trình bày thanh nam châm vĩnh cửu hình chữ **U** được đặt trên trục thẳng đứng. Vẽ vector cảm ứng từ **B** trong khoảng không gian giữa hai cực Bắc Nam của nam châm để biểu diễn hướng của đường sức từ trường. Khi quay tròn đều thành 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 tượng 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^\circ\$](#)
- ✚ Cấp các dòng điện xoay chiều [lệch pha thời gian từng đôi \$120^\circ\$](#) 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, chỉ cần **đấu 3 bộ dây theo dạng hình Y hay Δ** , sau đó cấp nguồn áp ba pha vào bộ dây quấn đã được đấu nối.

Từ kết quả khảo sát được trong mục 2.2, ta có :

✚ Từ trường tạo bởi mỗi pha dây quấn là từ trường đập mạch.

✚ Do các bộ dây quấn được đặt lệch vị trí trong không gian và dòng qua các bộ dây lệch pha thời gian, 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.

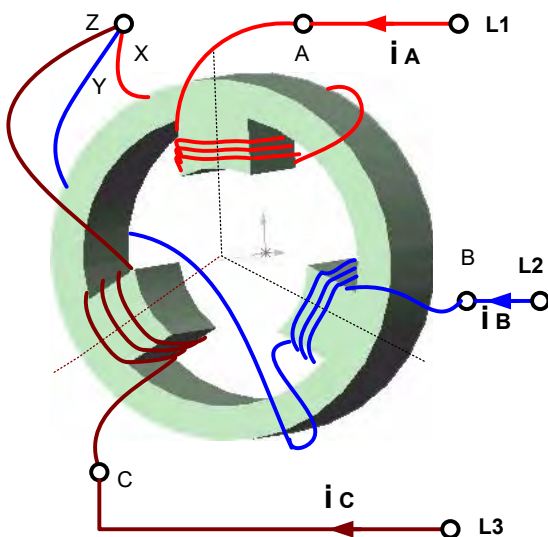
✚ **Từ trường tổng hợp** từ **ba từ trường đập mạch** (tạo bởi ba bộ dây quấn) là từ trường quay tròn.

Từ trường tổng hợp được khảo sát 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.

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



HÌNH H2.19

Trong hình H2.19 trình bày mô hình stator với ba bộ dây được đặt lệch vị trí không gian 120° , các bộ dây được đấu Y và cấp nguồn áp ba pha **thứ tự thuận** vào dây quấn. Các biểu thức tức thời của dòng 3 pha thứ tự thuận qua mỗi bộ dây quấn là :

$$\begin{aligned} i_A(t) &= I_m \cdot \sin(\omega t) \\ i_B(t) &= I_m \cdot \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_C(t) &= I_m \cdot \sin(\omega t - 240^\circ) \end{aligned} \quad (2.4)$$

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

$$B_A(t, x) = B_m \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) \quad (2.5)$$

Bộ dây BY lệch vị trí không gian so với bộ dây AX một góc 120° điện và cho dòng i_B đi qua, nên từ trường đập mạch có dạng sau:

$$B_B(t, x) = B_m \cdot \sin(\omega t - 120^\circ) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau} - 120^\circ\right) \quad (2.6)$$

Tương tự bộ dây CZ, tạo ra từ trường đập mạch khi cho dòng i_C đi qua là :

$$B_C(t, x) = B_m \cdot \sin(\omega t - 240^\circ) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau} - 240^\circ\right) \quad (2.7)$$

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

$$B(t, x) = B_A(t, x) + B_B(t, x) + B_C(t, x) \quad (2.8)$$

Muốn xác định biểu thức giải tích của **B** cần áp dụng công thức biến đổi lượng giác cơ bản

$$\sin p \cdot \cos q = \frac{1}{2} [\sin(p + q) + \sin(p - q)] \text{ biến đổi các quan hệ (2.5); (2.6) và (2.7) rồi tổng hợp lại.}$$

Ta có kết quả sau:

$$B_A(t, x) = \frac{1}{2} \cdot B_m \left[\sin\left(\omega t + \frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) + \sin\left(\omega t - \frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) \right] \quad (2.9)$$

$$B_B(t, x) = \frac{1}{2} \cdot B_m \left[\sin\left(\omega t + \frac{\pi \cdot x}{\tau} - 240^\circ\right) + \sin\left(\omega t - \frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) \right] \quad (2.10)$$

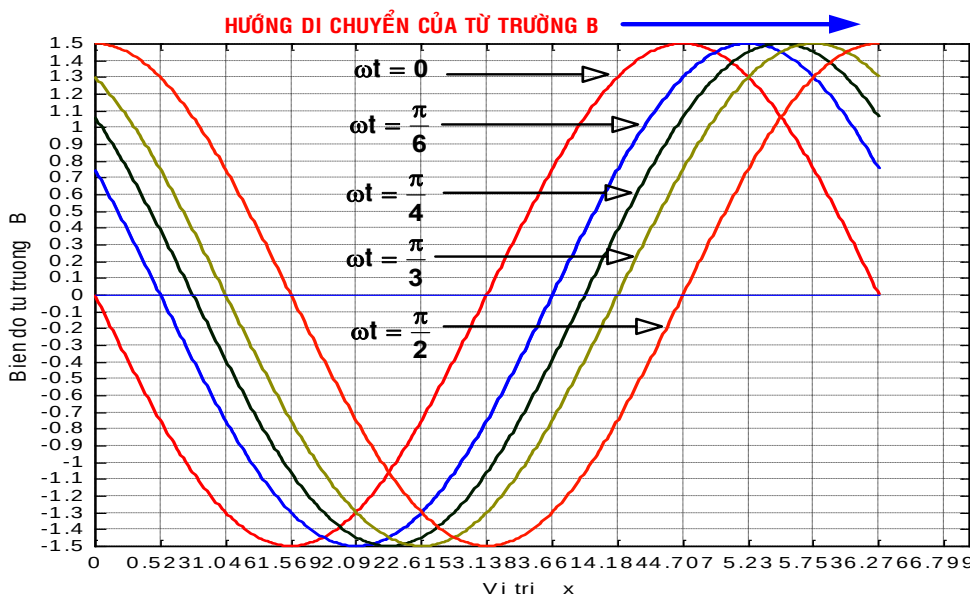
$$B_C(t, x) = \frac{1}{2} \cdot B_m \left[\sin\left(\omega t + \frac{\pi \cdot x}{\tau} - 480^\circ\right) + \sin\left(\omega t - \frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) \right] \quad (2.11)$$

Cần chú ý tính chất sau:

$$\sin\left(\omega t + \frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) + \sin\left(\omega t + \frac{\pi \cdot x}{\tau} - 240^\circ\right) + \sin\left(\omega t + \frac{\pi \cdot x}{\tau} - 480^\circ\right) = 0 \quad (2.12)$$

Phối hợp (2.9); (2.10) và (2.11) suy ra biểu thức giải tích của từ trường tổng hợp, ta có:

$$B(t, x) = \frac{3 \cdot B_m}{2} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) \quad (2.13)$$



HÌNH H2.20: Đồ thị mô tả từ trường hình sin đang chuyển động

Muốn nhìn thấy từ trường tổng hợp là từ trường quay trong không gian, trước thời điểm vẽ quan hệ B vị trí x. Thực hiện lại tại nhiều thời điểm liên tiếp sẽ thấy đường sin của hướng di chuyển phương của vị trí

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

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

Trong hình H2.20 trình bày dạng của từ trường tổng hợp di chuyển trong 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 di chuyển theo hướng trục x** (trên hình H2.20 di chuyển từ trái sang phải).

Từ trường tổng di chuyển trong không gian theo 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 :

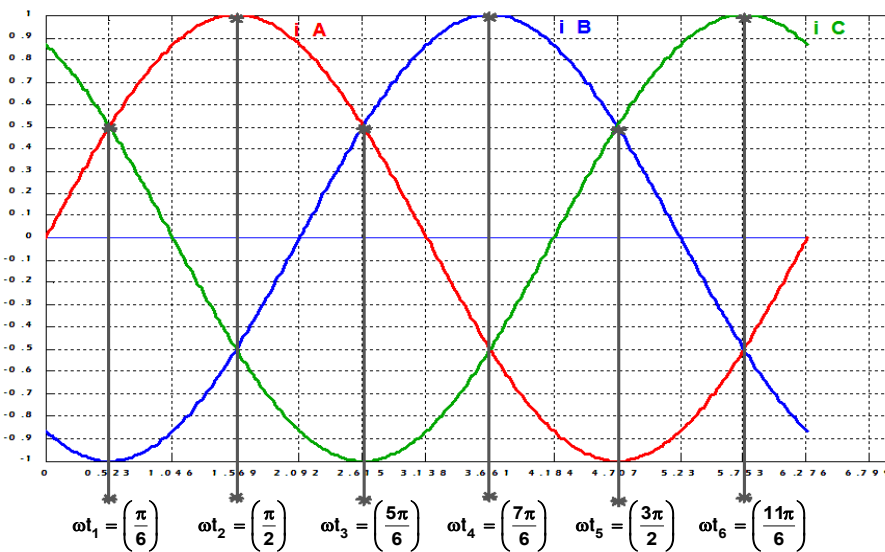
Nếu lắp đặt 3 bộ dây quấn độc lập trên stator động cơ 3 pha, thỏa các qui tắc ; lệch vị trí không gian **120°** và dòng qua các bộ dây lệch pha thời gian từng đôi **120°** thì kết quả nhận được là :

✱ **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**

2.3.2 PHƯƠNG PHÁP 2 : (TỔNG HỢP VECTOR)



HÌNH H2.21: Đồ thị dòng tức thời của nguồn 3 pha .

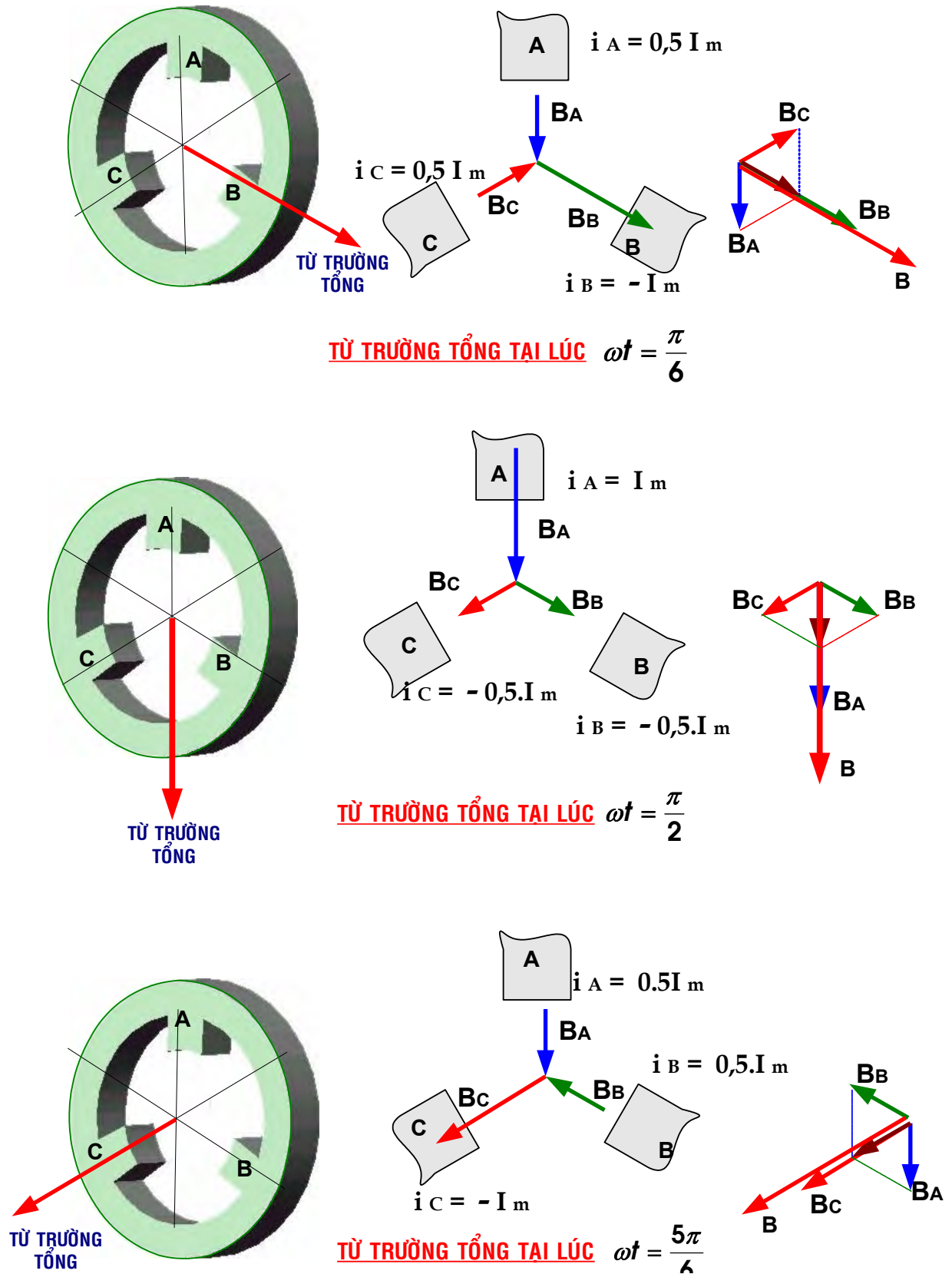
Từ đồ thị biểu diễn dòng 3 pha tức thời qua dây quấn trong hình H2.21, lập bảng ghi nhận giá trị tức thời của các dòng điện i_A , i_B , i_C tại 6 thời điểm.

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

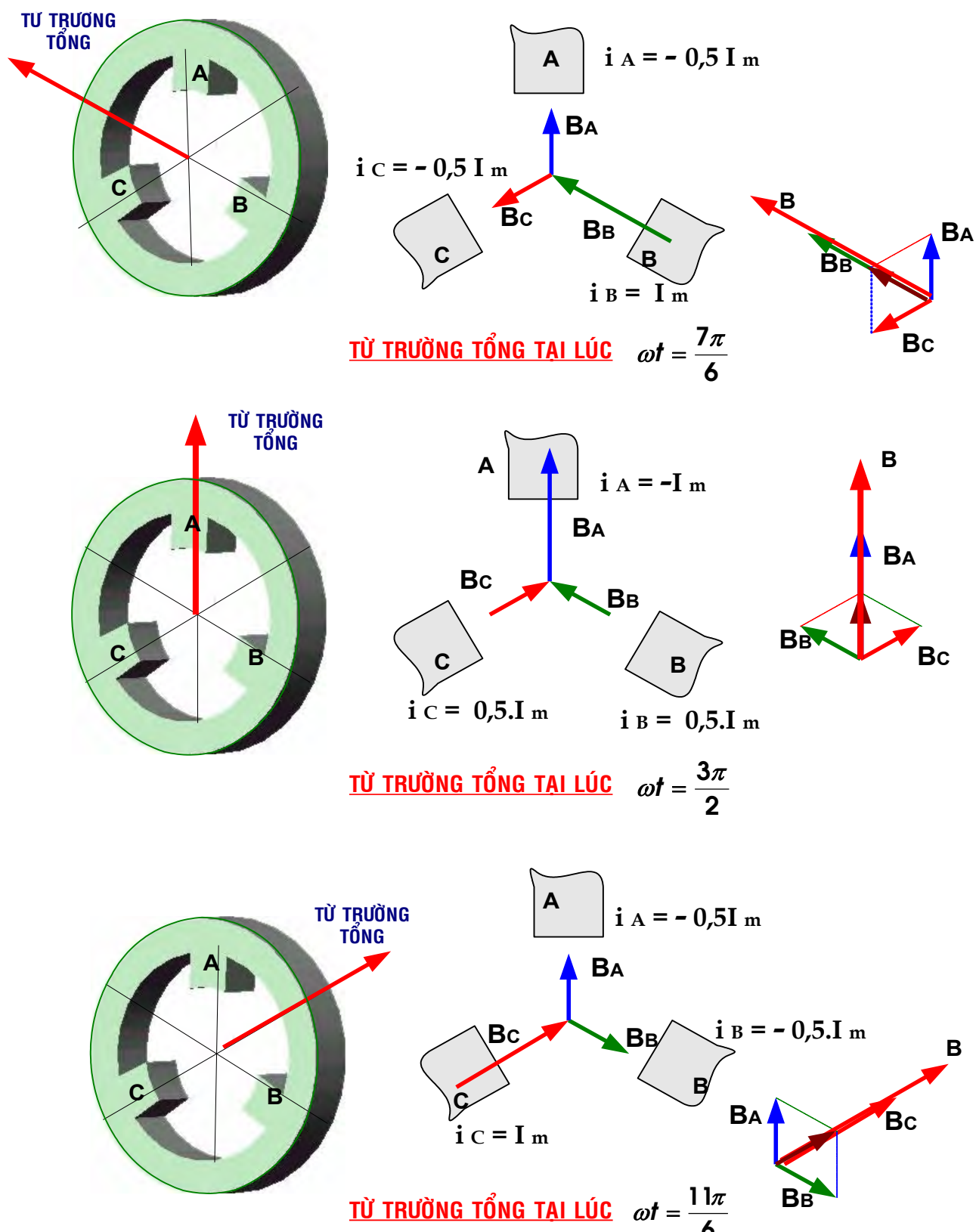
Các giá trị từ trường đập mạch tạo bởi mỗi bộ dây tỉ lệ thuận với giá trị dòng tức thời qua dây quấn. Dựa vào bảng giá trị tức thời của dòng 3 pha, biểu diễn các vector từ cảm đặc trưng cho từ trường tạo ra tại từng thời điểm. Áp dụng phép tổng hợp vector suy ra vector từ trường tổng, xem hình H2.22 và H2.23 sau đây:

Muốn khảo sát sự hình thành từ trường quay bằng phương pháp vector, 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, có thể thấy được hình ảnh từ trường tổng là từ trường quay.



HÌNH H2.23: 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 H2.24: Khảo sát từ trường quay tại các thời điểm: $\omega t = \left(\frac{7\pi}{6}\right)$, $\omega t = \left(\frac{9\pi}{6}\right)$, $\omega t = \left(\frac{11\pi}{6}\right)$

2.3.3 ĐẶC ĐIỂM CỦA TỪ TRƯỜNG QUAY :

2.3.3.1. VẬN TỐC CỦA TỪ TRƯỜNG QUAY :

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

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

Với các phương pháp khảo sát cách thức tạo thành từ trường quay trong các mục 2.3.1 và 2.3.2, từ đó rút ra các nhận xét như sau **đối với máy điện có $2p = 2$ cực hay $p = 1$ đôi cực**.

✚ Khi cấp dòng sin 3 pha vào các bộ dây quấn, trong quan hệ (2.4) giá trị ω trong các biểu thức tức thời dòng 3 pha là **tần số góc**. Giá trị này **quan hệ với tần số f của nguồn điện** là:

$$\omega = 2\pi.f \quad (2.14)$$

✚ Trong biểu thức (2.13) 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**. Giá trị này có quan hệ với vận tốc từ trường n_1 như sau:

$$\omega = 2\pi.n_1 \quad (2.15)$$

✚ Từ (2.14) và (2.15) suy ra **với máy điện có $2p = 2$ cực, tần số nguồn điện cấp vào stator và số cực $2p$ thỏa quan hệ sau**:

$$f = n_1 \quad (2.16)$$

Nói theo cách khác, **khi dòng điện sin hoàn tất một chu kỳ** thì **từ trường quay đã quét qua khoảng không gian trải rộng bằng 1 cặp 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 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:

$$f = p.n_1 \quad (2.17)$$

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** $[n_1] = \left[\frac{\text{vòng}}{\text{phút}} \right]$ thì quan hệ được ghi lại như sau:

$$f = \frac{p.n_1}{60} \quad (2.18)$$

2.3.3.2. 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 H2.23 và H2.24 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 có dòng đạt giá trị cực đại ($+I_m$) hay giá trị cực tiểu ($-I_m$) qua nó.

✚ Trong hình H2.23 đi dọc theo chu vi của stator, các dòng 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.

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

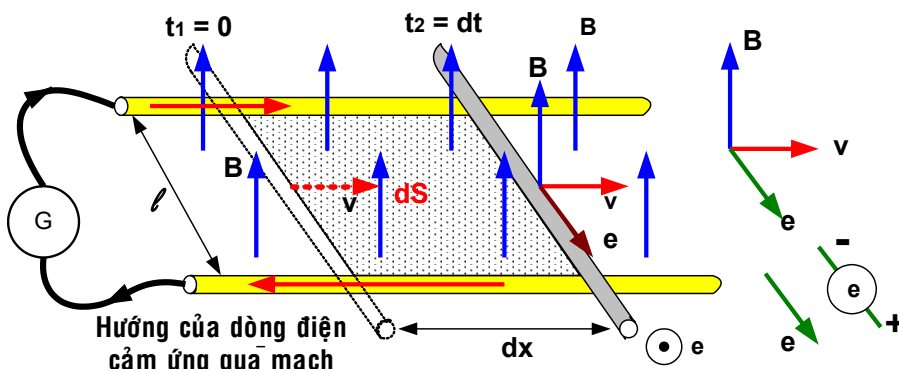
2.4.1. CÁC ĐỊNH LUẬT ĐIỆN TỪ ÁP DỤNG KHI KHẢO SÁT NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG:

Nguyên tắc hoạt động của động cơ không đồng bộ được giải thích dựa trên các định luật điện từ 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.

2.4.1.1. ĐỊNH LUẬT CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ:



HÌNH H2.24: Sức điện động hình thành khi di chuyển thanh dẫn trong từ trường

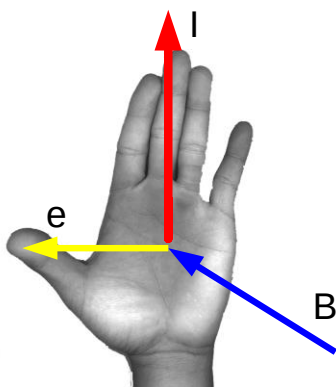
Trong hình H2.24, đặt hai thanh dẫn song song nhau, cách nhau khoảng cách là l . Đặt thanh dẫn thứ ba vuông góc với hai thanh dẫn trên. Toàn bộ các thanh dẫn được đặt trong từ trường đều, các đường sức từ có hướng vuông góc với mặt phẳng tạo bởi các thanh dẫn.

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 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:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{dt} = -\frac{B \cdot (S_2 - S_1)}{dt} \quad (2.19)$$

$$e = -\frac{B \cdot dS}{dt} = -B \cdot l \left(\frac{dx}{dt} \right) = -B \cdot l \cdot v \quad (2.20)$$



HÌNH H2.25: Qui tắc bàn tay phải định hướng sức điện động e .

Dấu (-) trong biểu thức (2.20) 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 như trong hình H2.25. hoặc **dùng qui tắc bàn tay trái**, hình H2.25.

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 H2.24). Nói 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).

2.4.1.2. ĐỊNH LUẬT VỀ LỰC ĐIỆN TỪ :

Trong hình H2.26 trình bày một **thanh dẫn thẳng mang dòng điện i** được **đặt trong từ trường B** , theo định luật Laplace **thanh dẫn chịu tác dụng của lực điện từ F** .

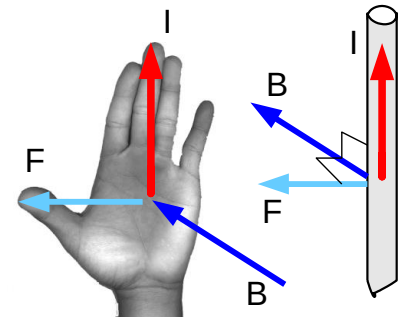
Trong trường hợp tổng quát, phương của dòng i và phương của B hợp nhau một góc có giá trị là α , lực điện từ F được xác định theo quan hệ sau:

$$F = B \cdot I \cdot L \cdot \sin \alpha \quad (2.21)$$

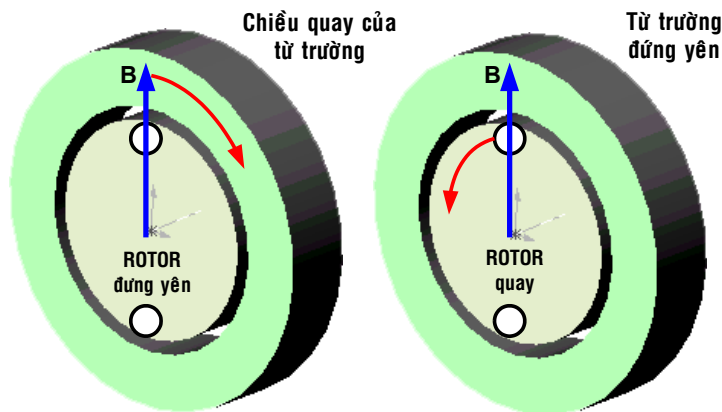
Trong đó L là bề dài của thanh dẫn đang mang dòng I . Khi phương của dòng I và phương của vector từ cảm B hợp nhau góc 90° , lực điện từ cực đại thỏa quan hệ sau:

$$F = B \cdot I \cdot L \quad (2.22)$$

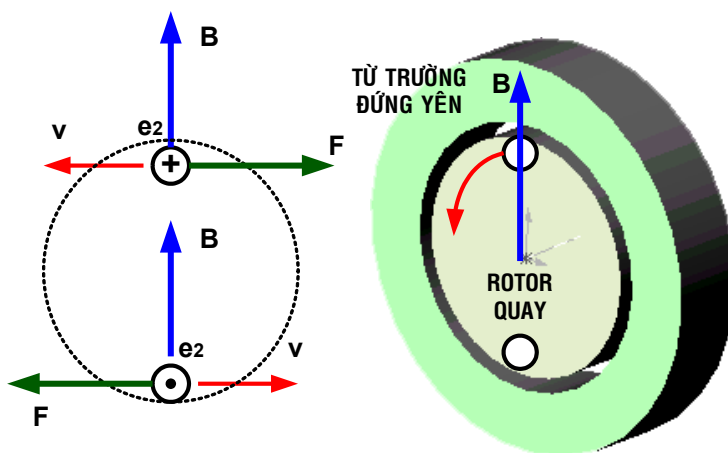
Hướng của lực điện từ F được xác định theo qui tắc bàn tay trái (hình 2.22)



HÌNH H2.26: Qui tắc bàn tay trái định hướng lực điện từ.

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

HÌNH H2.27: Áp dụng chuyển động tương đối giải thích nguyên lý hoạt động của động cơ không đồng bộ.



HÌNH H2.28: 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 H2.28.

Trong hình H2.27, 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 H2.27 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, 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).

Như vậy **khi áp dụng chuyển động tương đối** ta có: **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**.

Khi các thanh dẫn rotor có dòng cảm ứng đi qua và các thanh dẫn này đang đặt trong từ trường **B** như vậy 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 quay rotor.

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**.

Tuy nhiên, **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:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = 1 - \frac{n_2}{n_1} \quad (2.23)$$

Hay

$$n_2 = n_1 \cdot (1 - s) \quad (2.24)$$

THÍ DU 2.1:

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 vận tốc định mức là **1425 vòng/phút**. Xác định :

- a./ Vận tốc 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 (2.18) suy ra **vận tốc đồng bộ** hay **vận tốc 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.

$$\text{Độ trượt } s \text{ của động cơ : } s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = 1 - \frac{n_2}{n_1} = 1 - \frac{1425}{1500} = \frac{1500 - 1425}{1500} = \frac{75}{1500} = 0,05$$

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

2.5.1. 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 tại stator là mạch 3 pha cân bằng, như vậy tách mạch 3 pha cân bằng bằng 3 mạch 1 pha tương đương.

Tóm lại chỉ cần khảo sát động cơ dựa trên mạch 1 pha tương đương.

Gọi

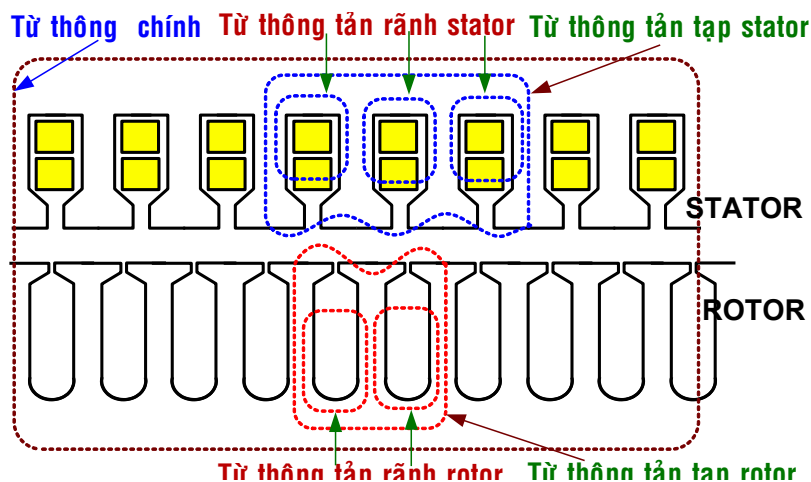
- ❖ V_1 : **Áp pha hiệu dụng** cấp vào mỗi pha dây quấn phía stator.
- ❖ f_1 : **tần số nguồn điện** cấp vào dây quấn stator.

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:

$$E_1 = 4,44.f_1.N_1.K_{dq1}.\Phi_m \quad (2.25)$$

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, cần để ý thêm các phần tử sau:

- ✚ 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, từ thông tản tậpxem hình H2.29

HÌNH H2.29: Phân bố từ thông tản trong rãnh stator và rotor

Gọi X_{t1} là thành phần **điện kháng tản từ** trên mỗi pha dây quấn stator. Phương trình cân bằng áp viết cho một pha dây quấn phía stator tương tự như đã thực hiện trong biến áp là:

$$\dot{V}_1 + \dot{E}_1 = (R_1 + j.X_{t1}).\dot{I}_1 \quad (2.26)$$

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.

2.5.2. 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**.

2.5.2.1. 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. Tại lúc này, **Sức điện động rotor cùng tần số** với **sức điện động phía stator**:

$$E_2 = 4,44.f_2.N_2.K_{dq2}.\Phi_m \text{ (Rotor đứng yên)} \quad (2.27)$$

$$f_2 = f_1 \text{ (Rotor đứng yên)} \quad (2.28)$$

- ✚ 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:

$$\dot{E}_2 = (R_2 + j.X_{t2}).\dot{I}_2 \quad \text{(Rotor đứng yên)} \quad (2.29)$$

Trong đó:

- R_2 : điện trở nội của mỗi pha dây quấn rotor
- X_{t2} : điện kháng tản từ mỗi pha phía rotor

2.5.2.2. 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** suy ra:

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

Tóm lại : $f_2 = s.f_1 \quad \text{(Khi rotor đang quay)} \quad (2.30)$

Tần số phía rotor phụ thuộc vào độ trượt s , nên luôn thay đổi theo tốc độ quay của động cơ. Như vậy khi tải trên động cơ thay đổi, tốc độ thay đổi, 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_{t2s} : điện kháng tản từ phía rotor lúc **rotor đang quay**.

TRẠNG THÁI	SỨC ĐIỆN ĐỘNG CẢM ỨNG ROTOR	ĐIỆN KHÁNG TẢN TỪ ROTOR
Rotor đứng yên	$E_2 = 4,44.f_1.N_2.k_{dq2}.\Phi_m$	$X_{t2} = 2\pi.f_1.L_{t2}$
Rotor quay	$E_{2s} = 4,44.f_2.N_2.k_{dq2}.\Phi_m$	$X_{t2s} = 2\pi.f_2.L_{t2}$

Suy ra:

$$\frac{E_{2s}}{E_2} = \frac{f_2}{f_1} = \frac{s.f_1}{f_1} = s \quad \text{Hay} \quad E_{2s} = s.E_2 \quad (2.31)$$

Tương tự ta suy ra :

$$\frac{X_{t2s}}{X_{t2}} = \frac{2\pi.f_2.L_{t2}}{2\pi.f_1.L_{t2}} = \frac{s.f_1}{f_1} = s \quad \text{Hay} \quad X_{t2s} = s.X_{t2} \quad (2.32)$$

Khi rotor đang quay, phương trình cân bằng áp phía rotor là:

$$\dot{E}_{2s} = (R_2 + j.X_{l2s}).\dot{I}_2 \quad (\text{Rotor đang quay, tần số } f_2) \quad (2.33)$$

THÍ DỤ 2.2:

Với động cơ trong thí dụ 2.1, 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 (2.30) suy ra tần số phía rotor lúc tải định mức là

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

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

2.5.3. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG DÒNG ĐIỆN :

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

✚ Khi lắp trên stator dây quấn ba pha và cấp dòng 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 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 $f_2 = s.f_1$

✚ 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 (2.18) suy ra tốc độ quay của từ trường quay hình thành trên rotor.

$$n_r = \frac{60.f_2}{p} = \frac{60.s.f_1}{p} = s \cdot \frac{60f_1}{p} \quad (2.34)$$

$$n_r = s.n_1$$

✚ 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 $(n_2 + n_r)$. Ta có:

$$n_2 + n_r = n_1.(1-s) + s.n_1 \quad (2.35)$$

$$n_2 + n_r = n_1$$

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

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

Lý luận tương tự như khi khảo sát nguyên lý của máy biến áp, ta có: 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 cảm ứng 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.

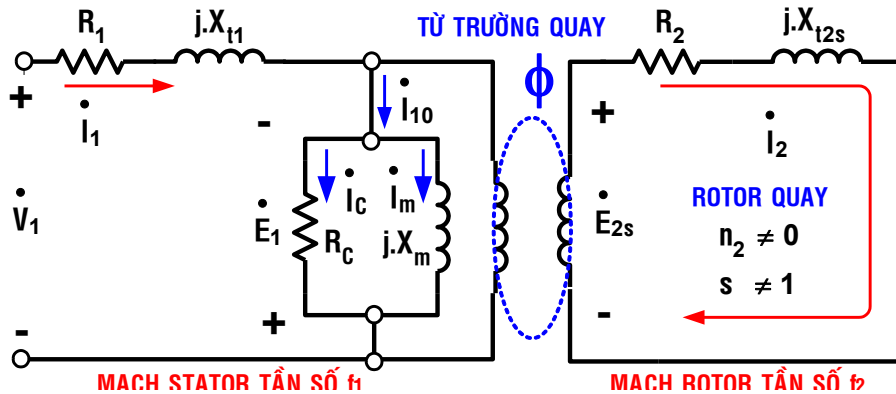
Gọi:

- ✚ $N_1 k_{dq1} \cdot I_1$: sức từ động tạo bởi một pha dây quấn stator (khi động cơ mang tải).
- ✚ $N_2 k_{dq2} \cdot I_2$: sức từ động tạo bởi một pha dây quấn rotor (khi mang tải).
- ✚ $N_1 k_{dq1} \cdot I_{10}$: sức từ động tạo bởi một pha dây quấn stator (khi không tải).

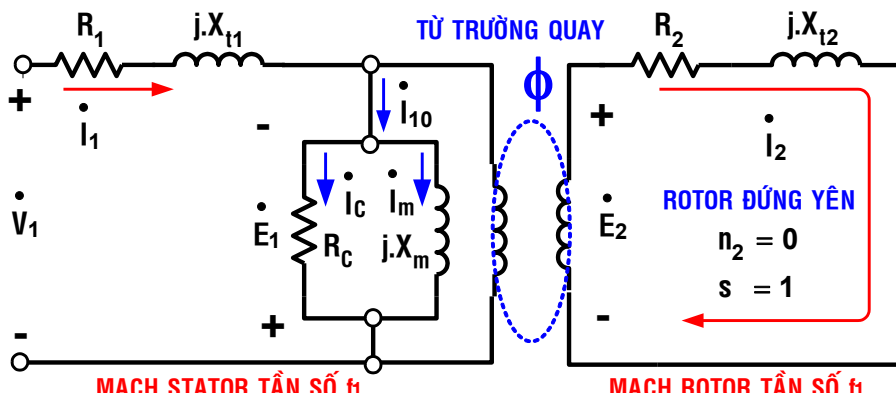
Ta có :

$$N_1 \cdot K_{dq1} \cdot \dot{I}_1 + N_2 \cdot K_{dq2} \cdot \dot{I}_2 = N_1 \cdot K_{dq1} \cdot \dot{I}_{10} \quad (2.36)$$

2.6.MẠCH ĐIỆN TƯƠNG ĐƯƠNG 1 PHA CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ:



HÌNH H2.30: Mạch tương đương 1 pha lúc rotor đang quay.



HÌNH H2.31: Mạch tương đương 1 pha lúc rotor đứng yên.

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 lúc động cơ đang quay thỏa phương trình cân bằng áp (2.26). Khi có **chú ý đến tổn hao lõi thép do dòng xoáy và chu trình từ trễ** mạch tương đương 1 pha có dạng theo hình H2.30.

Hình H2.31 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.

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**.

✚ **Qui đổi mạch rotor** từ **tần số f_2 sang tần số f_1** , (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).

✚ Khi **đã qui đổi mạch rotor sang tần số f_1** , chúng ta **qui đổi rotor về stator**.

2.6.1. QUI ĐỔI MẠCH ROTOR TỪ TẦN SỐ f_2 SANG TẦN SỐ f_1 :

Phương trình cân bằng áp phía rotor lúc đang quay ứng với tần số f_2 thỏa quan hệ (2.33).

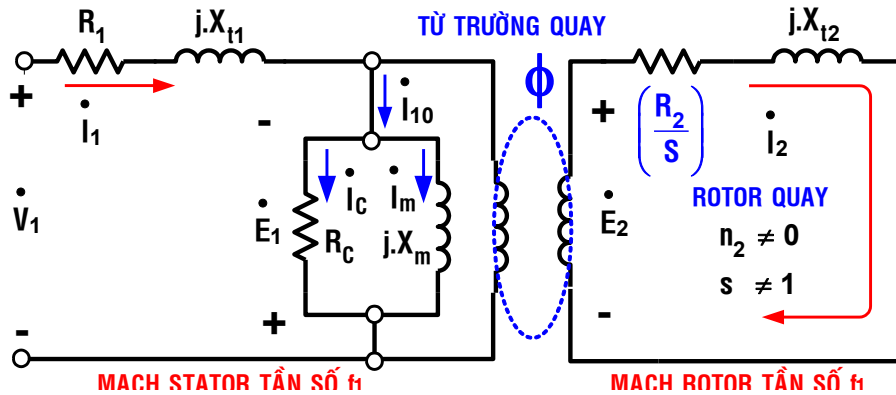
$$\dot{E}_{2s} = (R_2 + jX_{12s}) \cdot \dot{I}_2 \quad (\text{Rotor đang quay, tần số là } f_2)$$

Thay các quan hệ (2.31), (2.32) vào quan hệ (2.33) ta suy ra :

$$s \cdot \dot{E}_2 = (R_2 + j s X_{12}) \cdot \dot{I}_2 \quad (2.37)$$

Chia hai vế quan hệ (2.37) cho s , ta được:

$$\dot{E}_2 = \left(\frac{R_2}{s} + jX_{t2} \right) \cdot \dot{I}_2 \quad (2.38)$$



Từ quan hệ (2.38) 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 H2.32.

HÌNH H2.32: Mạch tương đương 1 pha lúc rotor quay và tần số rotor qui về f_1

2.6.2. 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 (2.25), (2.27) và (2.38). **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 :

$$K_{bd} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{4,44 \cdot f_1 \cdot N_1 \cdot K_{dq1} \cdot \Phi_m}{4,44 \cdot f_1 \cdot N_2 \cdot K_{dq2} \cdot \Phi_m} = \frac{N_1 \cdot K_{dq1}}{N_2 \cdot K_{dq2}} \quad (2.39)$$

Từ (2.36) 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 :

$$\dot{I}'_2 = \left(\frac{N_2 \cdot K_{dq2}}{N_1 \cdot K_{dq1}} \right) \cdot \dot{I}_2 = \frac{\dot{I}_2}{K_{bd}} \quad (2.40)$$

Đặt :

$$\dot{E}'_2 = K_{bd} \cdot \dot{E}_2 \quad (2.41)$$

Từ quan hệ (2.38), nhân 2 vế cho K_{ba} suy ra :

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

$$K_{ba} \cdot \dot{E}_2 = \left(K_{ba} \right)^2 \cdot \left(\frac{R_2}{s} + jX_{t2} \right) \cdot \frac{\dot{I}'_2}{K_{ba}} \quad (2.42)$$

Đặt

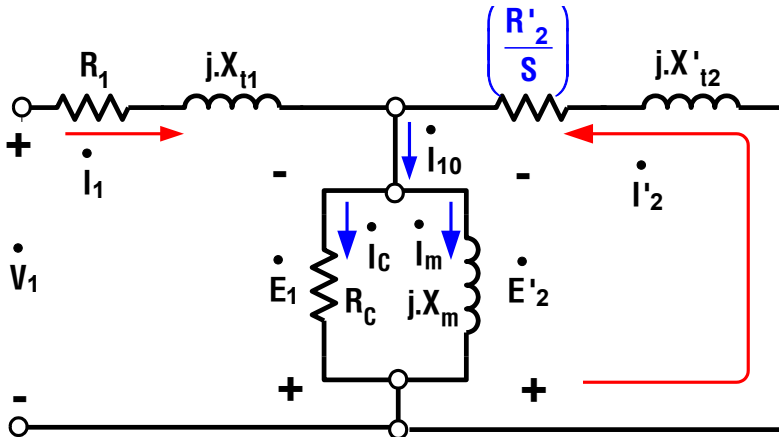
$$R'_2 = (K_{bd})^2 \cdot R_2 \quad (2.43)$$

$$X'_{t2} = (K_{bd})^2 \cdot X_{t2} \quad (2.43)$$

Các quan hệ (2.40) và (2.42) được viết lại như sau:

$$\dot{E}_1 = \dot{E}'_2 = \left(\frac{R'_2}{s} + jX'_{t2} \right) \cdot \dot{I}'_2 \quad (2.43)$$

$$\dot{I}_1 + \dot{I}'_2 = \dot{I}_{10} \quad (2.54)$$



Căn cứ vào các quan hệ (2.26), (2.43) và (2.54) suy ra mạch tương đương 1 pha dạng chính xác qui đổi rotor về stator theo hình H2.33.

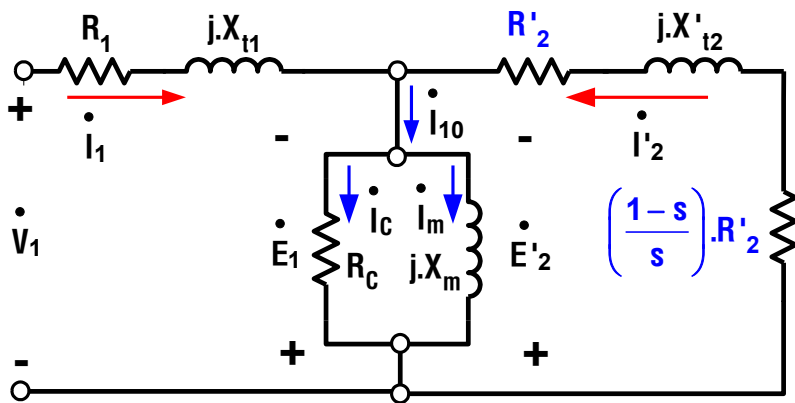
HÌNH H2.33: Mạch tương đương chính xác 1 pha qui đổi rotor về stator

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

Muốn hiểu rõ ý nghĩa của thông số này cần, tách phần tử thành hai thành phần:

$$\frac{R'_2}{s} = R'_2 + \left(\frac{1-s}{s} \right) \cdot R'_2 \quad (2.55)$$

Trong (2.55), 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.

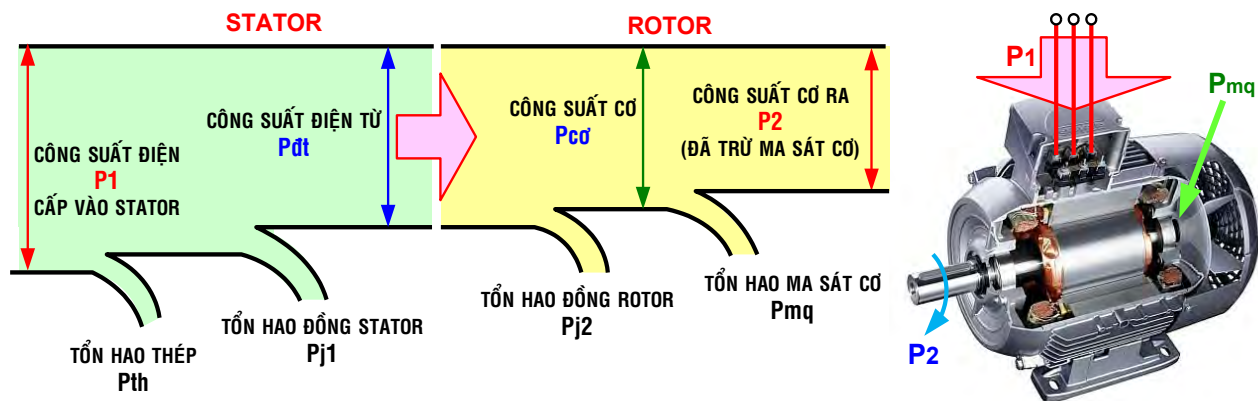
HÌNH H2.34: Mạch tương đương chính xác 1 pha qui đổi rotor về stator

Mạch tương đương hình H2.33 được vẽ lại theo hình H3.24, đây là mạch tương đương 1 pha dạng chính xác qui đổi rotor về phía stator.

CHÚ Ý:

Khi tính toán các công suất hay momen cho động cơ, cần nhớ **động cơ không đồng bộ 3 pha có 3 mạch 1 pha tương đương** dạng chính xác qui đổi rotor về stator theo hình H2.34.

2.7. GIẢN ĐỒ PHÂN BỐ CÔNG SUẤT – HIỆU SUẤT CỦA ĐỘNG CƠ:



HÌNH H2.35: Giản đồ phân bố công suất trong động cơ không đồng bộ.

Từ mạch điện tương đương trong hình **H2.34** suy ra các thành phần công suất từ dòng năng lượng cấp vào động cơ như sau:

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

$$P_1 = 3.V_1.I_1.\cos\varphi_1 \quad (2.56)$$

Trong đó :

V_1 : áp pha cấp vào mỗi pha dây quần stator.

I_1 : dòng qua mỗi pha dây quần stator.

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

TỶ LỆ TỶ SỐ

$$P_{th} = 3.R_C.I_C^2 \quad (2.57)$$

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

$$P_{j1} = 3.R_1.I_1^2 \quad (2.58)$$

CÔNG SUẤT ĐIỆN TỪ CHUYỂN TỪ STATOR SANG ROTOR:

$$\begin{aligned} P_{\text{điện từ}} &= P_1 - (P_{th} + P_{j1}) \\ P_{\text{điện từ}} &= 3.\left(\frac{R'_2}{s}\right).I_2'^2 = 3.\left(\frac{R_2}{s}\right).I_2^2 \end{aligned} \quad (2.59)$$

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

$$P_{j2} = 3.R'_2.I_2'^2 = 3.R_2.I_2^2 \quad (2.60)$$

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

$$P_{cv} = 3.R'_2.\left(\frac{1-s}{s}\right).I_2'^2 = 3.R_2.\left(\frac{1-s}{s}\right).I_2^2 \quad (2.61)$$

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

Nếu tính đến tổn hao ma sát cơ khí do ổ bi, quạt gió ..và gọi tổn hao này là P_{mq} thì công suất ra thực sự trên trục của động cơ là P_2 thỏa quan hệ :

$$P_2 = P_{cv} - P_{mq} \quad (2.62)$$

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

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + (P_{th} + P_{j1} + P_{j2} + P_{mq})} \quad (2.63)$$

Khi khảo sát phân bố năng lượng phía rotor , cần chú ý thêm các mối quan hệ giữa 3 thành phần công suất : $P_{điện từ}$, P_{j2} và $P_{cơ}$. Từ (2.59), (2.60) và (2.61) suy ra các quan hệ sau:

$$P_{điện từ} = P_{j2} + P_{cơ} \quad (2.64)$$

$$P_{j2} = s.P_{điện từ} \quad (2.65)$$

$$P_{cơ} = (1 - s).P_{điện từ} \quad (2.66)$$

THÍ DU 2.3:

Cho động cơ không đồng bộ ba pha: **100HP** , **2p = 4 cực**, tần số nguồn điện cấp vào động cơ là **f = 50Hz**, tốc độ định mức **1445 vòng/phút**.

Cho **1HP $\cong$ 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 công suất, ta có:

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

✚ Vận tốc 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 :

$$P_1 = P_{điện từ} + P_{j1} + P_{thép} = 78.788,93 + 2.700 + 4.200$$

$$P_1 = 85.688,93W$$

✚ Hiệu suất của động cơ :

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

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

2.8.1. BIỂU THỨC TỔNG QUÁT CỦA MOMEN:

Momen có thể hiểu một cách đơn giản là công cấp cho một vật để vật thực hiện chuyển động quay. Với động cơ điện, gọi P_2 là công suất cơ ra trên trục ứng với vận tốc là n_2 . Đặt M_2 là momen cơ ra trên trục của động cơ nếu gọi Ω_2 là vận tốc quay góc thì momen được định nghĩa như sau:

$$M_2 = \frac{P_2}{\Omega_2} = \frac{P_2}{2\pi \cdot n_2} \quad (2.67)$$

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

Nếu đơn vị đo của $[n_2] = \left[\frac{\text{vòng}}{\text{phút}} \right]$ thì quan hệ (2.67) được viết lại như sau:

$$M_2 = \frac{60 \cdot P_2}{2\pi \cdot n_2} = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n_2} \quad (2.68)$$

THÍ DU 2.4:

Cho động cơ không đồng bộ ba pha: **100HP** có tốc độ định mức **1445 vòng/phút** nếu **1HP = 746W** thì **momen cơ ra định mức trên trục lúc tải định mức** là:

$$M_2 = 9,55 \cdot \frac{100 \cdot 746}{1445} \cong 493 \text{ Nm}$$

2.8.2. MOMEN CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ:

Nếu giả sử **tổn hao ma sát cơ không đáng kể** thì **Momen cơ ra trên trục** được xác định theo quan hệ sau đây:

$$M_2 = 9,55 \cdot \frac{P_{cô}}{n_2} = 9,55 \cdot \frac{3R'_2 \cdot \left(\frac{1-s}{s} \right) \cdot I_2'^2}{n_2} \quad (2.69)$$

$$\text{Hay} \quad M_2 = 9,55 \cdot \frac{P_{cô}}{n_2} = 9,55 \cdot 3 \left(\frac{R'_2}{s} \right) \cdot I_2'^2 \cdot \left(\frac{1-s}{n_2} \right) \quad (2.70)$$

Theo định nghĩa của hệ số trượt ta có:

$$\frac{n_2}{n_1} = 1-s \quad \text{Hay:} \quad \frac{1-s}{n_2} = \frac{1}{n_1} \quad (2.71)$$

Thế quan hệ (2.71) vào (2.70), suy ra:

$$M_2 = 9,55 \cdot \frac{P_{cô}}{n_2} = 9,55 \cdot \frac{3 \left(\frac{R'_2}{s} \right) \cdot I_2'^2}{n_1} = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{điện từ}}}{n_1} \quad (2.71)$$

$$\text{Tóm lại} \quad 9,55 \cdot \frac{P_{cô}}{n_2} = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{điện từ}}}{n_1} \quad (2.72)$$

Đặt Momemen điện từ thỏa quan hệ sau:

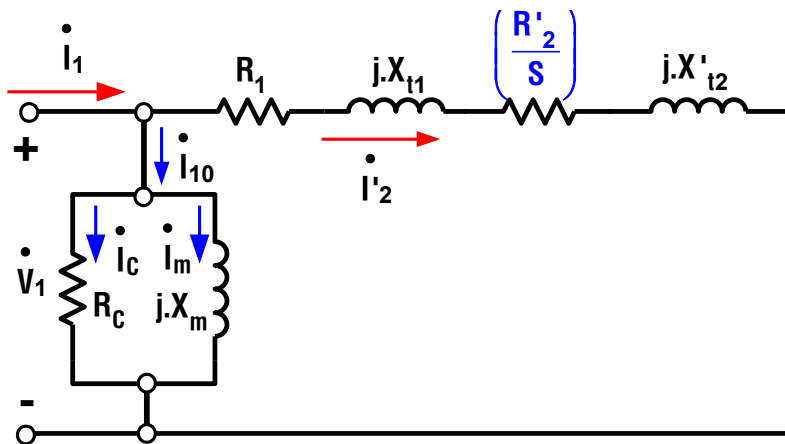
$$M_{\text{điện từ}} = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{điện từ}}}{n_1} = 9,55 \cdot \frac{3 \left(\frac{R'_2}{s} \right) I_2'^2}{n_1} \quad (2.73)$$

Từ các quan hệ (2.69), (2.72) và (2.73) suy ra **$M_2 = M_{\text{điện từ}}$ khi tổn hao ma sát cơ không đáng kể**. Một trong các nguyên nhân được dùng đến để giải thích lý do vì sao cần xây dựng quan hệ (2.73) là :

✚ 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 (2.69) ta **không thể xác định được giá trị của momen lúc khởi động** vì quan hệ này có **dạng vô định** $\left(\frac{0}{0} \right)$.

✚ Như vậy, từ quan hệ (2.73) được định nghĩa, ta xác định được **giá trị momen mở máy** dựa vào **biểu thức của momen điện từ**.

2.8.3. BIỂU THỨC TÍNH GẦN ĐÚNG CỦA MOMEN ĐIỆN TỪ :



HÌNH H2.36: Mạch tương đương 1 pha dạng gần đúng .

Theo quan hệ (2.73), khi cần xác định momen điện từ tại một điểm làm việc ứng với vận tốc định trước hay tại độ trượt cho trước, ta cần dựa vào mạch tương đương theo hình H2.33 hay H2.34.

Trong một số trường hợp cần xác định nhanh 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 H2.36 với các giả thiết sau:

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

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

$$\text{Thành phần điện trở ngắn mạch / 1 pha : } R_n = R_1 + R'_2 \quad (2.74)$$

$$\text{Thành phần điện kháng ngắn mạch / 1 pha : } X_n = X_{t1} + X'_{t2} \quad (2.75)$$

$$\text{Tổng trở ngắn mạch tương đương / 1 pha : } Z_n = \sqrt{R_n^2 + X_n^2} \quad (2.76)$$

Từ mạch tương đương hình 2.31, suy ra :

$$I'_2 = \frac{V_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_n^2}} \quad (2.77)$$

Momen điện từ được xác định theo quan hệ như sau :

$$M_{\text{điện từ}} = M_{\text{dt}} = \left(\frac{9,55 \cdot 3 \cdot V_1^2}{n_1} \right) \cdot \frac{\left(\frac{R'_2}{s} \right)}{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_n^2} \quad (2.78)$$

2.8.4. 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 hàm giữa momen quay theo biến số độ trượt s.

Nếu **giá trị của các phần tử trong mạch tương đương 1 pha của động cơ là hằng số**, áp pha nguồn V_1 cấp vào stator không thay đổi thì hàm momen điện từ theo độ trượt s được khảo sát để suy ra đồ thị của đặc tính cơ như sau.

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 : $\frac{dM_{\text{dt}}}{ds} = \frac{vu' - uv'}{v^2}$. Ta chỉ cần quan tâm **đến tử số của đạo hàm**, ta có:

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

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

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

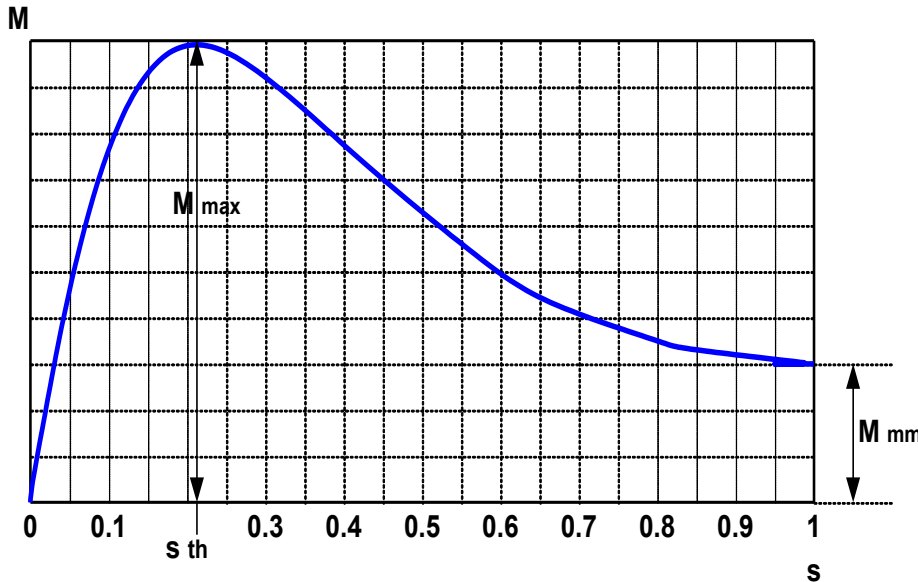
Đạo hàm $\frac{dM_{\text{dt}}}{ds} \equiv \frac{vu' - uv'}{v^2} = 0$ khi $\left[R_1^2 + X_n^2 - \left(\frac{R'_2}{s} \right)^2 \right] = 0$. Suy ra, momen đạt cực trị khi

$$s_{\text{th}} = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_n^2}} \quad (2.79)$$

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:

$$M_{\max} = \left(\frac{9,55 \cdot 3 \cdot V_1^2}{n_1} \right) \cdot \frac{1}{2 \left(R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_n^2} \right)} \quad (2.80)$$



Từ quan hệ (2.78) 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 (2.81).

HÌNH H2.37: Đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ

$$M_{mm} = \left(\frac{9,55 \cdot 3 \cdot V_1^2}{n_1} \right) \cdot \frac{R'_2}{R_n^2 + X_n^2} \quad (2.81)$$

THÍ DU 2.5:

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: $P_{dm} = 55 \text{ KW}$.
- ✚ **Áp dây định mức:** $V_{dm} = 660V / 380V - Y/\Delta$. (Tần số nguồn điện $f = 50 \text{ Hz}$).
- ✚ **Tốc độ định mức** của động cơ: $n_{dm} = 980 \text{ vòng/phút}$.
- ✚ **Hiệu suất định mức** là: $\eta_{dm} = 93,5\%$.
- ✚ **Hệ số công suất** lúc tải định mức: $\cos\varphi_{dm} = 0,86$.
- ✚ **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 dòng rotor**.
- 2./ **Dòng 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.

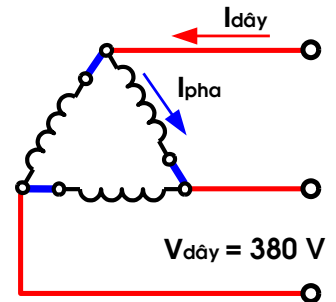
GẢI:**1. TẦN SỐ DÒNG ĐIỆN ROTOR KHI TẢI ĐỊNH MỨC:**

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

✚ Độ trượt định mức là: $s = \frac{n_1 - n_{dm}}{n_1} = \frac{1000 - 980}{1000} = 0,02$

✚ Tần số dòng rotor lúc tải định mức là:

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

**2. DÒNG 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:

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

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

✚ Tổng tổn hao của động cơ:

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

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

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

$$P_{mq} = (15\%) \cdot \sum \text{Tổnhao} = 0,15 \cdot 3823,53 = 573,53\text{W}$$

✚ 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 $s = 0,02$, suy ra công suất điện từ cấp vào rotor:

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

4. TỔN HAO TRÊN DÂY QUẤN TẠI TẢI ĐỊNH MỨC – ĐIỆN TRỞ PHA DÂY QUẤN STATOR:

Tại tải định mức ứng với hệ số trượt định mức $s_{dm} = 0,02$, tổn hao trên dây quấn rotor được xác định theo quan hệ sau:

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

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

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

✚ Tổn hao trên dây quấn stator:

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

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

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

✚ Điện trở trên một pha dây quấn stator: $R_1 = \frac{P_{j1}}{3 \cdot I_{dmpha}^2} = \frac{1170}{3 \cdot 60^2} = 0,1083\Omega$

BÀI TẬP CHƯƠNG 5

BÀI TẬP 2.1

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 rotor: **263 W**; tổn hao ma sát cơ quạt gió: **197 W**. Tìm:

- a./ Vận Tốc động cơ.
- b./ Công suất cơ cấp đến tải.
- c./ Momen cơ ra trên trục động cơ.

ĐÁP SỐ:

- a./ 1767,6 vòng/phút
- b./ 14120 W
- c./ 76,29 Nm

BÀI TẬP 2.2

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:

- a./ Công suất điện cấp vào động cơ.
- b./ Tổng tổn hao của động cơ.
- c./ Công suất điện từ.
- d./ Vận tốc động cơ.
- e./ Hệ số công suất của động cơ.
- f./ Tổn hao ma sát cơ + quạt gió.
- g./ Momen cơ ra trên trục .

ĐÁP SỐ:

- a./ 81978 W
- b./ 7378 W
- c./ 77478 W
- d./ 1176 vòng/phút
- e./ HSCS = 0,944
- f./ 1329 W
- g./ 605,8 Nm

BÀI TẬP 2.3

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 thép là **1559 W**. Nếu đặt tổn hao thép về sát vị trí của tổn hao ma sát cơ trong giản đồ phân bố công suất. Xác định:

- a./ Công suất cơ trên trục.
- b./ Hệ số trượt
- c./ Tốc độ động cơ.
- d./ Momen cơ ra
- e./ Dòng dây từ nguồn cấp vào động cơ.
- f./ Tổn hao thép.

ĐÁP SỐ:

- a./ 23872 W
- b./ 0,03653
- c./ 867,12 vòng/phút
- d./ 262,913 Nm
- e./ 8,333 A
- f./ 673,7 W

BÀI TẬP 2.4

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 .Tại hệ số tải là **125 %** , động cơ có hiệu suất là **85,4%** .và tổn hao đồng stator, tổn hao đồng rotor, tổn hao thép lần lượt là : **223,2 W ; 153 W** và **114,8 W** . Xác định:

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

ĐÁP SỐ:

- a./ 1746,2 vòng/phút
- b./ 25,5 Nm
- c./ 1,674 Nm

BÀI TẬP 2.5

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**.

Bây giờ giảm thấp tần số 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**

Xác định **công suất cơ trên trục, tốc độ quay và hiệu suất** trong điều kiện mới.

ĐÁP SỐ:

- a./ 16435,63 W
- b./ 3150,53 vòng/phút
- c./ 84,284 %

BÀI TẬP 2.6

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 quá 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:

- a./ Tốc độ động cơ
- b./ Hiệu suất của động cơ.
- c./ Momen cơ trên trục.
- d./ Hệ số công suất.

ĐÁP SỐ:

- a./ 1651,59 vòng/phút
- b./ 90 %
- c./ 152,83 Nm
- d./ 0,76654

BÀI TẬP 2.7

Cho động cơ không đồng bộ 3 pha: **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 gần đúng**, xác định:

- a./ Hệ số trượt.
- b./ Dòng dây cấp vào dây quấn stator.
- c./ Công suất điện và hệ số công suất của động cơ.
- d./ Tổn hao đồng stator, tổn hao đồng rotor.
- e./ Công suất điện từ.
- f./ Hiệu suất của động cơ.
- g./ Công suất cơ và momen cơ trên trục

ĐÁP SỐ:

- a./ 0,0125
- b./ 15,9 A
- c./ 10985,97 W
- HSCS = 0,867
- d./ 102,163 W ; 127,7 W
- e./ 10216,3 W
- f./ 90,32 %
- g./ 9922,6 W ; 79,967 Nm

BÀI TẬP 2.8

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

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

Áp dụng mạch tương đương dạng gần đúng, xác định:

- a./ Tốc độ tại lúc đạt momen cực đại.
- b./ Momen cực đại và momen định mức.
- c./ Momen mở máy.