

CHƯƠNG 04

MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

4.1.CẤU TẠO CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU:

4.1.1. CÁC THÀNH PHẦN CHÍNH :

Máy điện một chiều (hay máy điện **DC**) là danh từ dùng gọi chung cho máy phát hay động cơ một chiều. **Máy phát và động cơ có cấu tạo giống hệt nhau, nói cách khác máy phát và động cơ một chiều có tính thuận nghịch.** Có thể hiểu một cách đơn giản như sau: khi cấp dòng **DC** vào dây quấn stator và dùng động cơ sơ cấp quay rotor của máy điện một chiều, máy điện một chiều hoạt động và có tính năng của máy phát điện. Khi cấp dòng **DC** vào dây quấn rotor và stator của máy điện một chiều, máy điện hoạt động và có tính năng của động cơ điện. Máy điện một chiều gồm có 3 thành phần chính như sau, xem hình **H4.1**.

- ✚ Stator (Phần Cảm) dùng tạo ra từ trường kích thích **không biến thiên theo thời gian**.
- ✚ Rotor (Phần Ứng) có nhiệm vụ tùy thuộc vào chế độ làm việc. Tại chế độ máy phát, phần ứng sẽ phát ra áp khi được quay bởi động cơ sơ cấp trong từ trường tạo bởi phần cảm. Tại chế độ động cơ phần ứng sẽ quay khi được cấp dòng một chiều vào dây quấn stator và rotor.
- ✚ Hệ thống cổ góp và chổi than.



HÌNH H 4.1: Phần cảm (stator) và phần ứng (rotor) của máy điện một chiều.

✚ **PHẦN CẢM:** là stator của máy điện, có nhiệm vụ tạo ra từ trường kích thích bởi dòng một chiều. Phần cảm được hình thành từ các lá thép ghép, dạng cực từ lõi với dây quấn dạng tập trung.

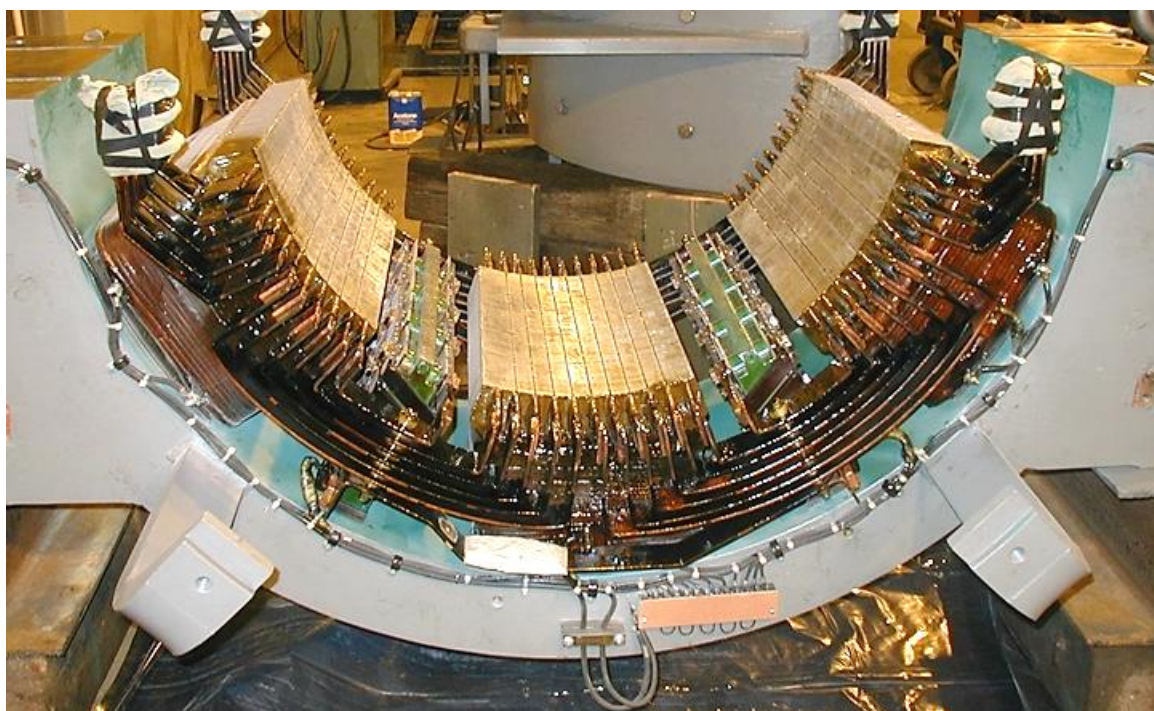


Stator có cực từ chính và phụ



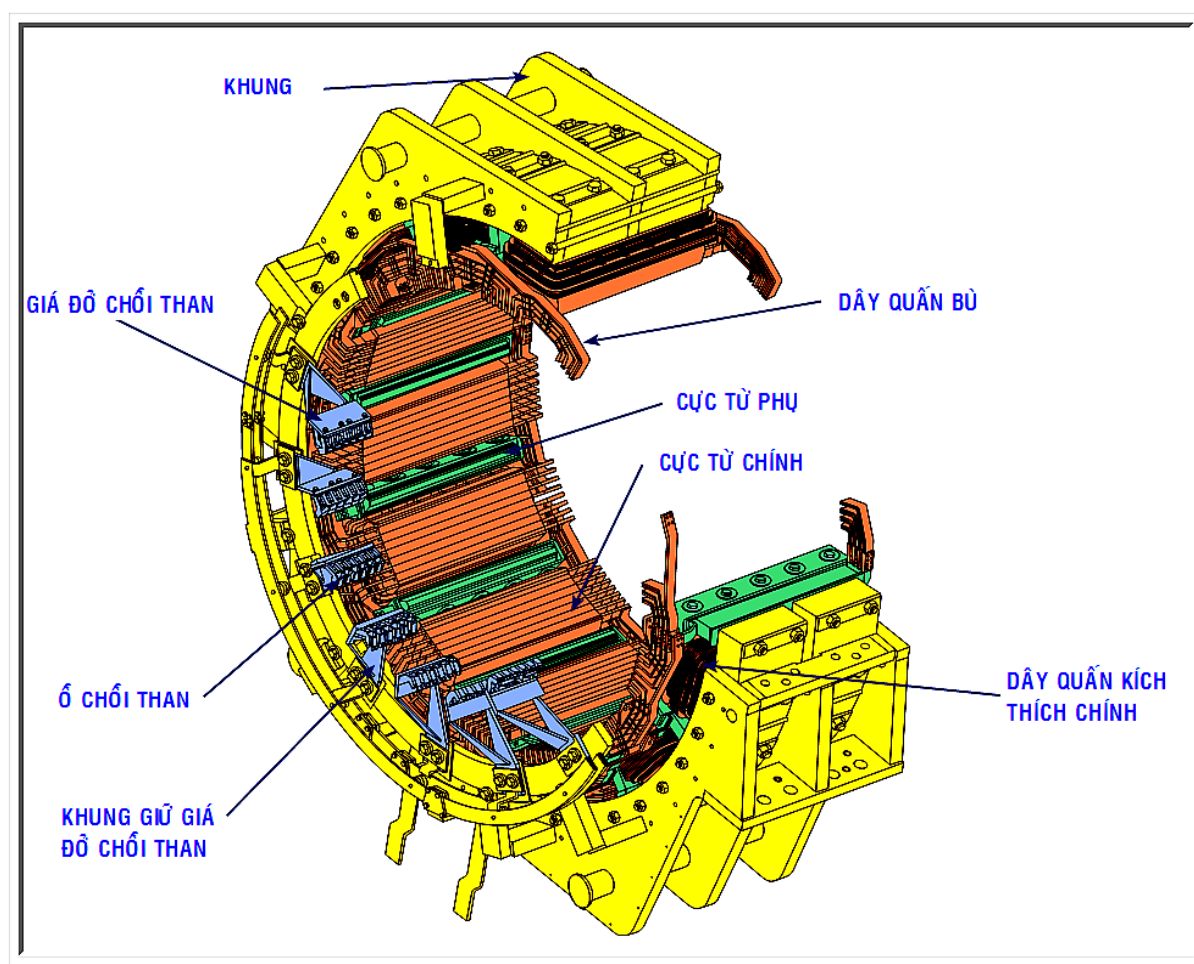
Stator chỉ có cực từ chính

HÌNH H 4.2: Các cực từ trên phần cảm

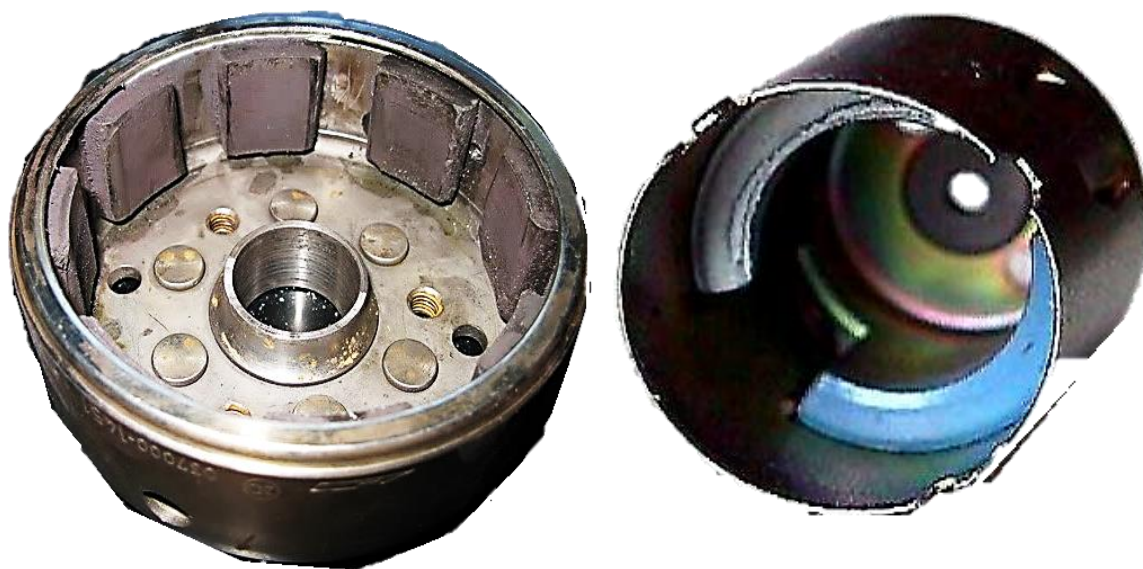


HÌNH H 4.3: Các cực từ trên từng phần của phần cảm stator

Trong hình **H4.2** trình bày các cực từ của phần cảm đang được thi công quấn dây. Với máy điện một chiều công suất lớn, stator có thể được ghép từ từng thành phần rời và được giữ chặt trong khung vỏ máy, xem hình **H4.3** và hình **H4.4**. Trên stator ngoài các cực từ chính còn được lắp đặt các cực từ phụ xen giữa các cực từ chính để cải thiện ảnh hưởng tạo bởi phản ứng phần ứng.



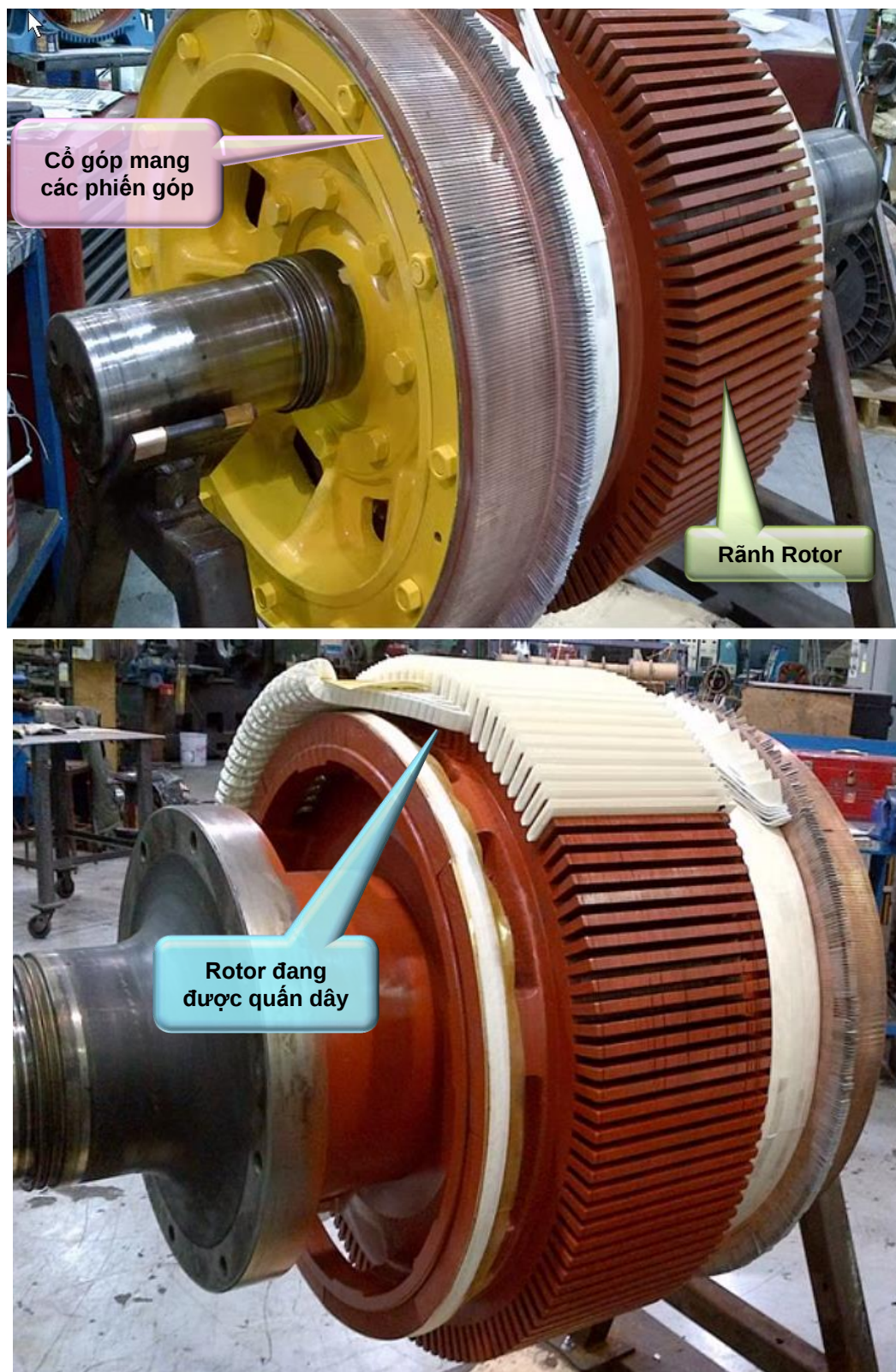
HÌNH H 4.4: Cấu tạo của phần cảm máy điện một chiều công suất lớn.



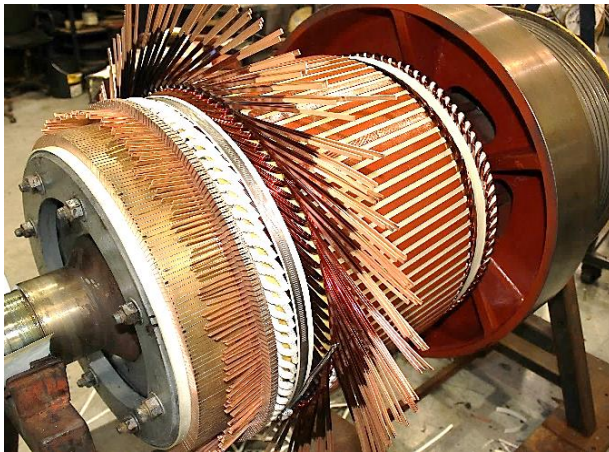
HÌNH H 4.5: Phần cảm máy điện một chiều dùng nam châm vĩnh cửu.

Với các máy điện một chiều công suất nhỏ, **khi không cần điều chỉnh thay đổi từ trường kích thích**, stator được tạo thành bởi các tấm nam châm vĩnh cửu có cực tính đối tính xếp liên tiếp xen kẽ nhau, xem hình H4.5.

✚ **PHẦN ỨNG**: là phần quay (rotor) của máy điện một chiều. Tùy thuộc vào chế độ làm việc là máy phát hay động cơ, phần ứng thực hiện các nhiệm vụ khác nhau. Phần ứng được hình thành do sự lắp ghép các lá thép kỹ thuật điện tạo thành khối trụ, trên mỗi lá thép có dập rãnh rãnh để lắp dây quấn. Hình dạng của phần ứng được trình bày trong hình **H4.6**



HÌNH H 4.6: Rotor (phần ứng) của máy điện một chiều công suất lớn



Rotor đang được quấn dây và hàn nối lên phiến góp

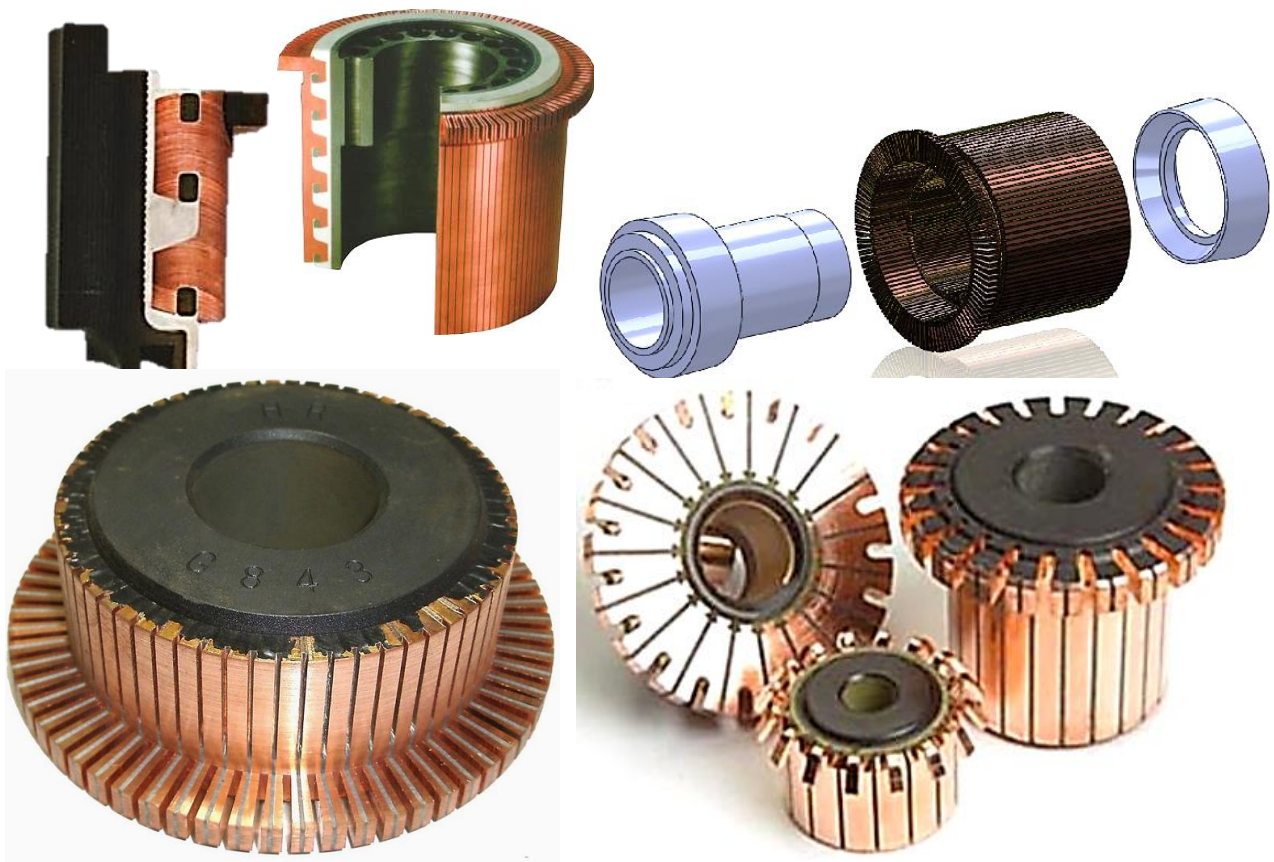


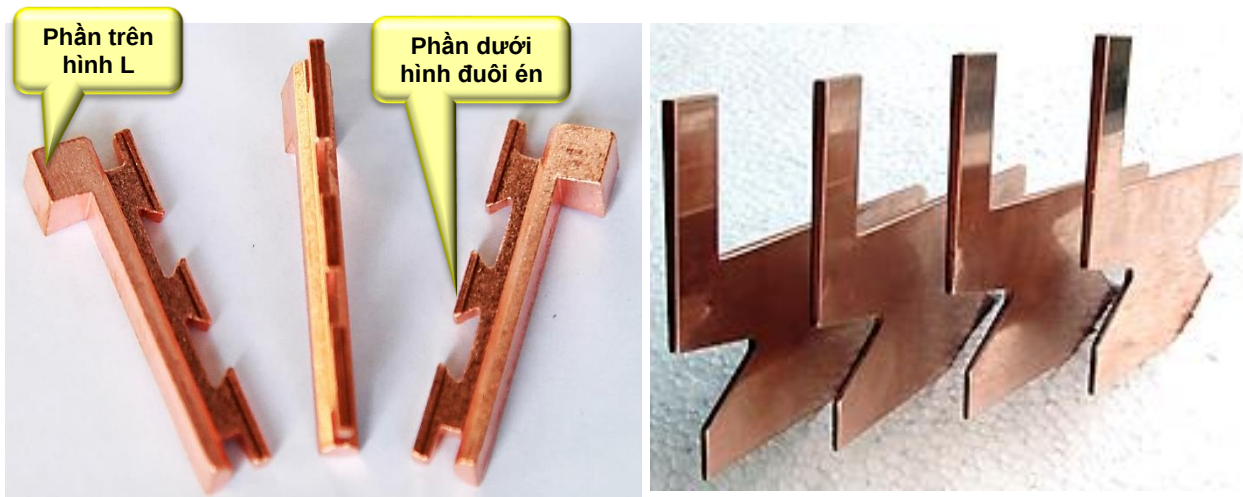
Rotor đã được quấn dây hoàn tất

HÌNH H 4.7: Gia công dây quấn Rotor của máy điện một chiều công suất lớn**✚ CỎ GÓP VÀ HỆ THỐNG CHỎI THAN :**

Hệ thống chổi than và cỏ góp được sử dụng để lấy ra dòng một chiều trên phần ứng (trường hợp máy phát), hay cấp dòng một chiều vào dây quấn phần ứng (trường hợp động cơ) lúc rotor đang quay.

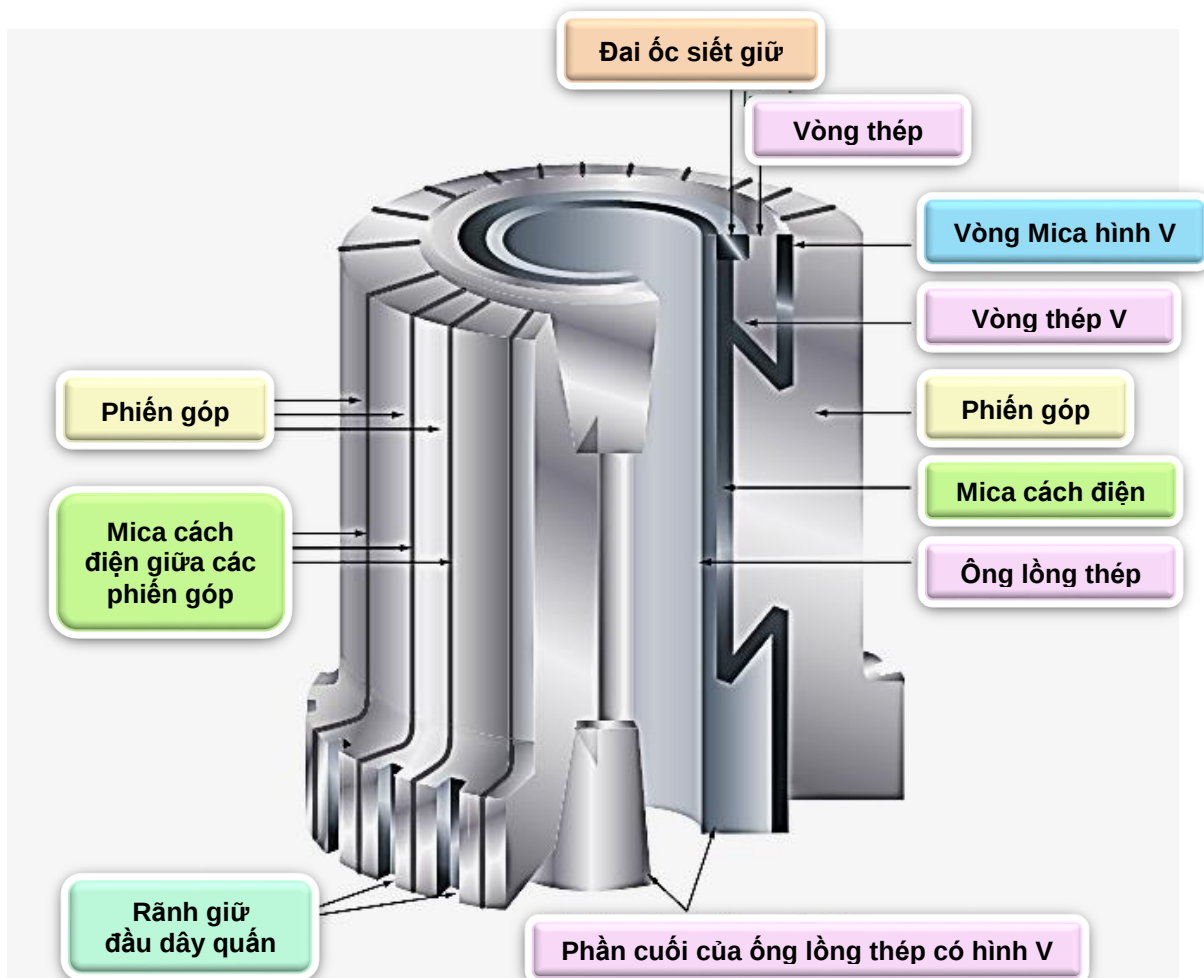
Cỏ góp được ghép từ các **phiến góp làm bằng đồng xếp tròn liên tiếp nhau thành một khối hình trụ**, các phiến góp được **phân cách nhau bằng lớp mica cách điện**, xem hình H4.8 và H4.9.

**HÌNH H 4.8:** Cấu trúc và các dạng cỏ góp của máy điện DC.



HÌNH H 4.9: Hình dạng của một số dạng phiên góp.

Các phiên góp được dập hay phay cắt từ các tấm đồng, hình dạng phiên góp đa dạng, nhưng hầu hết đều có dạng phần trên hình L và phần dưới **hình đuôi én**. Các phiên góp được liên kết với toàn bộ các cuộn dây quấn trên phần ứng. **Số lượng phiên góp** cũng như **số lượng cuộn dây quấn trên phần ứng phụ thuộc vào tốc độ và điện áp đặt trên hai đầu phần ứng**. Với các máy điện công suất lớn, cổ góp có thể có đến hàng trăm phiên góp. Trong hình H4.10 mô tả cấu trúc của một dạng cổ góp.



HÌNH H 4.10: Cấu tạo của một dạng cổ góp trình bày qua hình vẽ mặt cắt.



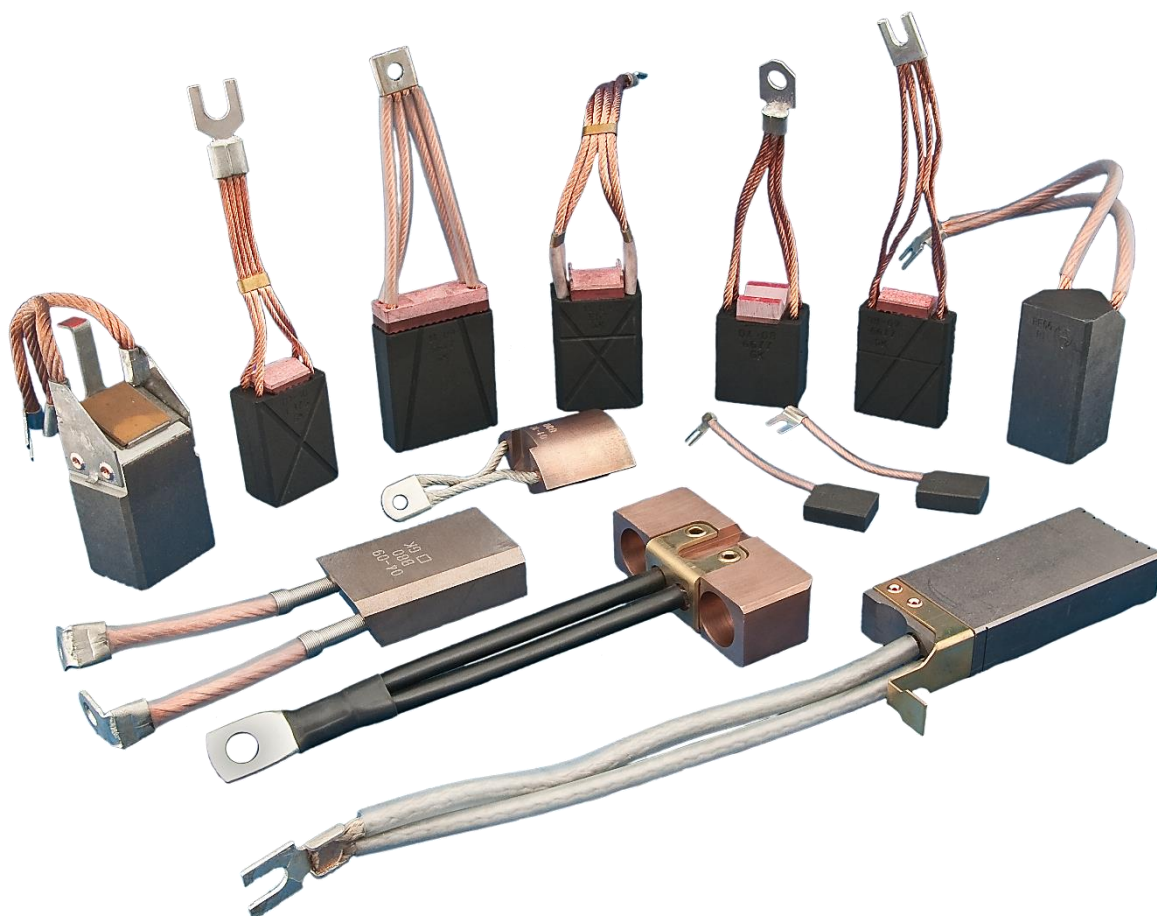
HÌNH H 4.11: cổ góp máy điện công suất trên 1000 kW

Trong các máy điện một chiều công suất nhỏ dùng trong các thiết bị dân dụng, các phiến góp được dán chặt bằng keo hay đúc chết trên cổ góp và không thể thay thế khi phiến góp hư hỏng. Trong các máy điện một chiều công suất lớn (từ vài kW đến 1000 kW), các phiến góp có thể thay thế khi hư hỏng. Trong hình H4.11 trình bày kết cấu cổ góp của máy điện trên 1000 kW.

Trong quá trình rotor quay, chổi than tiếp xúc trên mặt các phiến góp tạo hiện tượng bào mòn chổi than trên bề mặt cổ góp.

Chổi than được làm bằng **vật liệu mềm hơn các phiến góp**, mòn nhanh, các ổ chổi than được thiết kế để **thay thế dễ dàng mà không cần phải tháo toàn bộ thiết bị**. Chổi than thường được **phân loại theo phương thức chế tạo, loại carbon và các thành phần khác**. Chổi than thường bao gồm bốn họ sau:

- ✚ Carbon Graphites.
- ✚ Electrographites.
- ✚ Graphites.
- ✚ Metal Graphites



HÌNH H4.12: Hình dạng của các chổi than dùng trong máy điện DC.

Carbon Graphites được chế tạo trong giai đoạn đầu tiên của công nghệ chổi than, có độ bền vật liệu cao và có khả năng lau sạch bề mặt cổ góp. Loại chổi than họ **Carbon Graphites** có **mật độ dòng điện thấp**, giới hạn tối đa là **7 A/cm²**, được sử dụng trong các máy điện DC có **vận tốc dài tối đa trên bề mặt của cổ góp** là **20,3 m/s**. Loại **vật liệu này tạo ra ma sát cao, hiện nay ít được chú ý đến**. **Carbon Graphites** được sử dụng làm tiếp điểm và là vật liệu cơ sở có khả năng thấm được kim loại.

Electrographites được nung đến **2400°C** để làm thay đổi tính chất vật lý của vật liệu so với cấu trúc của graphite. Mật độ, độ bền, độ cứng và tính dẫn có thể kiểm soát thông qua hỗn hợp vật liệu thô và được xử lý để có được khả năng **chịu đựng hiện tượng nghịch lưu trong thời gian dài**. Loại chổi than này **có khả năng hoạt động liên tục tại mật độ dòng 12,4A/cm² ứng với vận tốc dài trên bề mặt cổ góp là 35,6 m/s**. Đây là loại chổi than hiện được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp. **Hệ số ma sát của chổi than thay đổi và phụ thuộc vào nhiệt độ điểm tiếp xúc** giữa chổi than với cổ góp. Theo tài liệu của **Morgan AT&M** hệ số ma sát có giá trị thấp nhất khi nhiệt độ của điểm tiếp xúc bằng **160°C**.

Graphites dùng làm chổi than là **hợp chất tự nhiên hay nhân tạo liên kết graphite với nhựa thông hay hắc ín** để tạo thành **vật liệu chổi than có cấu trúc xếp lớp**. **Graphites tự nhiên** thường chứa tro khiến chổi than có tác động mài mòn, làm sạch bề mặt phiến góp. **Graphites nhân tạo** không chứa tro và không có cấu trúc như graphite tự nhiên. Chổi than **Graphites** có chất lượng rất tốt khi trượt trên cổ góp cũng như vành trượt. Mật độ dòng qua chổi than **Graphites** từ **7 đến 10 A/cm²**. Loại chổi than này không có khả năng chịu đựng khi hoạt động tại mật độ dòng điện cao như vật liệu **Electrographites**, nhưng **cho phép hoạt động tại vận tốc cao** trên bề mặt cổ góp.

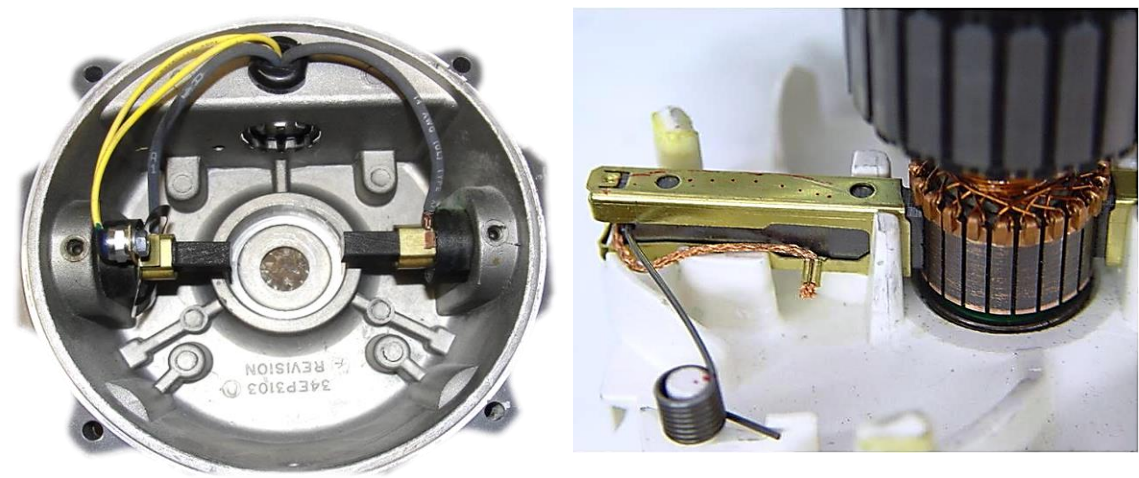
Metal Graphites thường được **tạo thành từ graphite tự nhiên và bột kim loại nhuyền**. **Đồng hầu như là kim loại chủ yếu**, nhưng bạc, thiếc, chì và một số các kim loại khác đôi khi cũng được dùng đến. **Metal Graphites** có **điện trở suất thấp**, được dùng trong máy phát xi mạ **tại những nơi có điện áp thấp nhưng mật độ dòng cao**. Loại chổi than này thường được dùng với **hệ thống vành trượt trong động cơ không đồng bộ 3 pha rotor dây quấn**, chúng còn được dùng trong hệ thống chổi than nối đất do điện trở suất thấp sẽ tạo điện áp rơi trên điểm tiếp xúc có giá trị thấp. Phạm vi ứng dụng loại chổi than này được tóm tắt trong bảng sau đây.

Phân trăm hàm lượng kim loại	Ứng dụng
50% hay ít hơn	Động cơ máy nâng và máy phát nạp điện accu trong xe tải với áp định mức 24 V đến 72 V. Máy phát hàn với áp định mức 24 V đến 72 V. Vành trượt với mật độ dòng 15,5 A/cm ² hay thấp hơn.
65% đến 85%	Máy phát xi mạ với áp định mức 6 V đến 24 V. Vành trượt với mật độ dòng 19,5 A/cm ²
75% và lớn hơn	Máy điện DC với áp định mức nhỏ hơn 6 V. Vành trượt với mật độ dòng 23,3 A/cm ² Chổi than dùng nối đất.

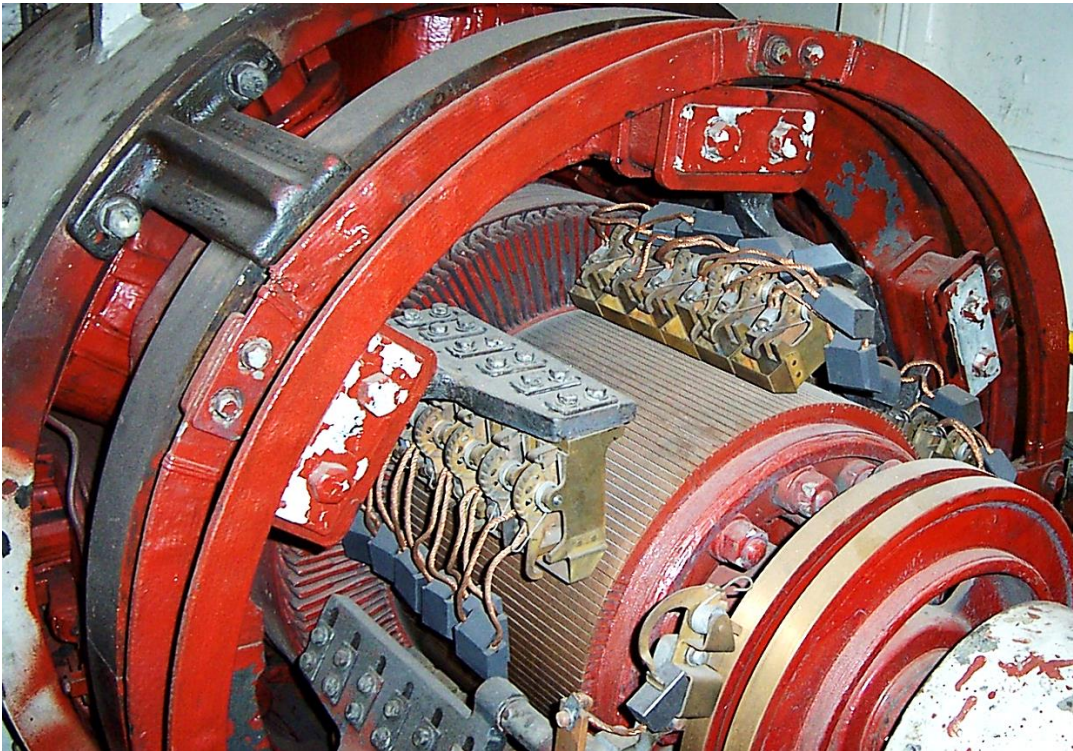
Áp rơi trên điểm tiếp xúc của chổi than khi mật độ dòng **7,75 A/cm²** ứng với vận tốc dài trên mặt tiếp xúc là **12,7 m/s** được cho trong bảng sau. Trong quá trình vận hành, sửa chữa muốn chọn loại chổi than cần dựa vào mã số của nhà sản xuất. Bảng so sánh tính năng các loại chổi than được trình bày như sau.

Áp rơi tại vị trí tiếp xúc	Giá trị [V]
Rất cao	1,7 trở lên
Cao	1,2 đến 1,7
Trung bình	0,6 đến 1,2
Thấp	Thấp hơn 0,6

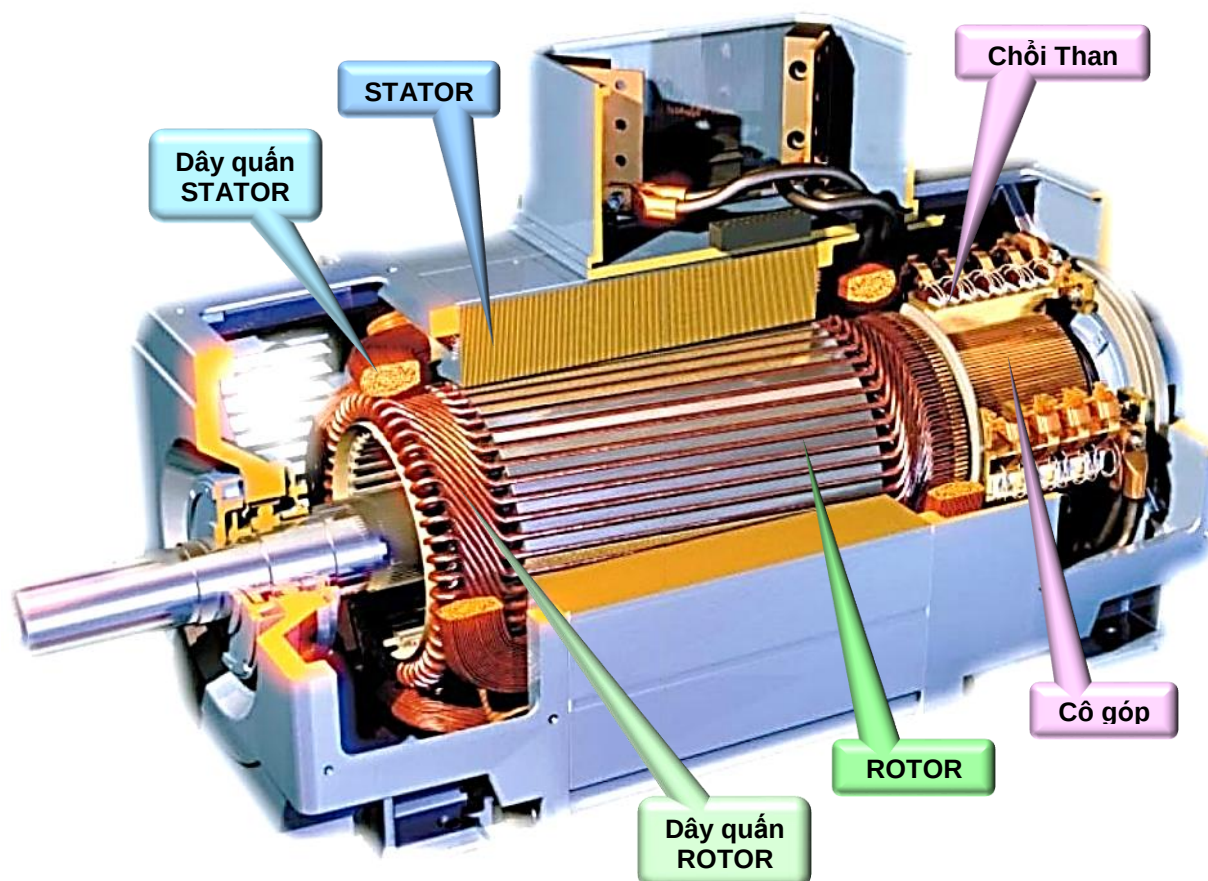
LOẠI CHỖI THAN	ÁP RƠI	MẬT ĐỘ DÒNG	PHẠM VI SỬ DỤNG
Carbon Graphite	Cao	Thấp	Áp cao; Tốc độ thấp Động cơ nhỏ hơn 1HP
Graphite	Trung bình	Trung bình	Tốc độ trung bình; Áp cao
Electrographite	Trung bình	Cao	Tốc độ trung bình đến cao Áp trung bình đến cao
Copper Graphite	Thấp	Thấp	Áp thấp; Tốc độ thấp
Silver Graphite	Rất thấp	Rất thấp	Áp rất thấp; Tốc độ thấp



HÌNH H4.13: Các dạng ổ chổi than của máy điện DC công suất thấp.

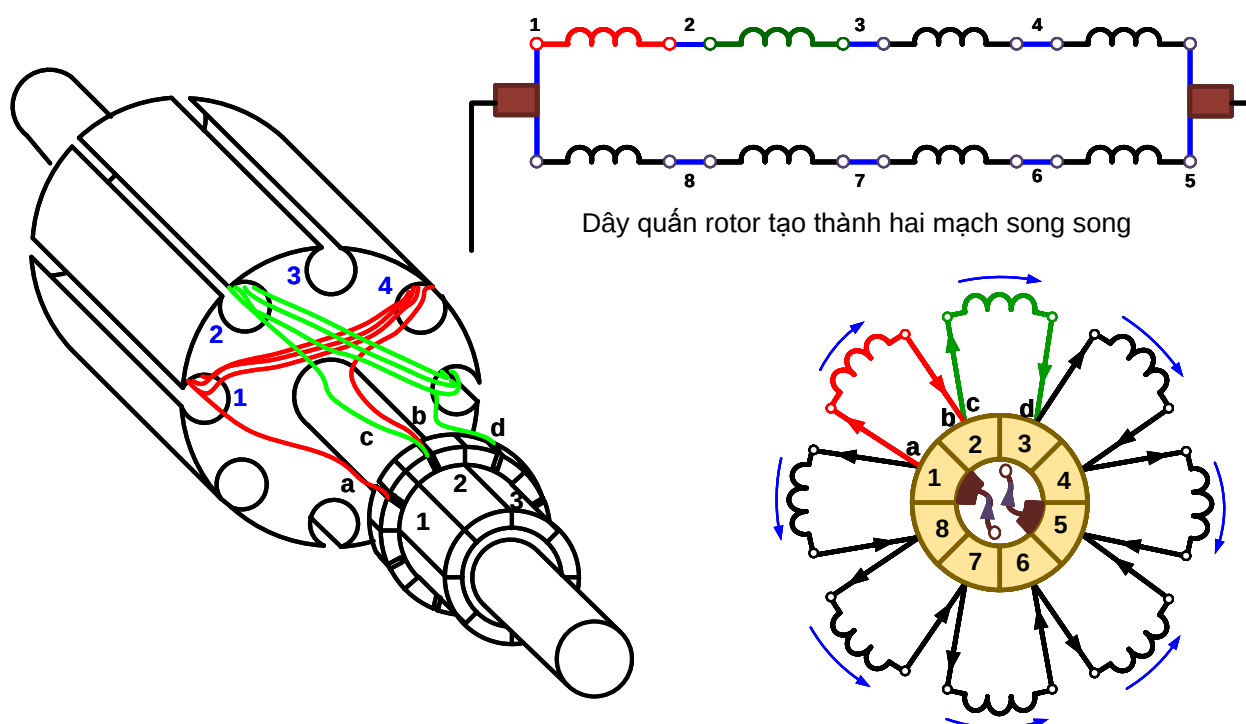


HÌNH H4.14: Dạng ổ chổi than của máy điện DC công suất lớn.



HÌNH H4.15: Kết cấu hoàn chỉnh của máy điện DC.

4.1.2. ĐẶC TÍNH ROTOR MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU :



HÌNH H4.16: Sự tạo thành mạch nhánh song song trên rotor (phần ứng) máy điện DC.

SỰ HÌNH THÀNH MẠCH NHÁNH SONG SONG TRÊN DÂY QUẦN PHẦN ỨNG :

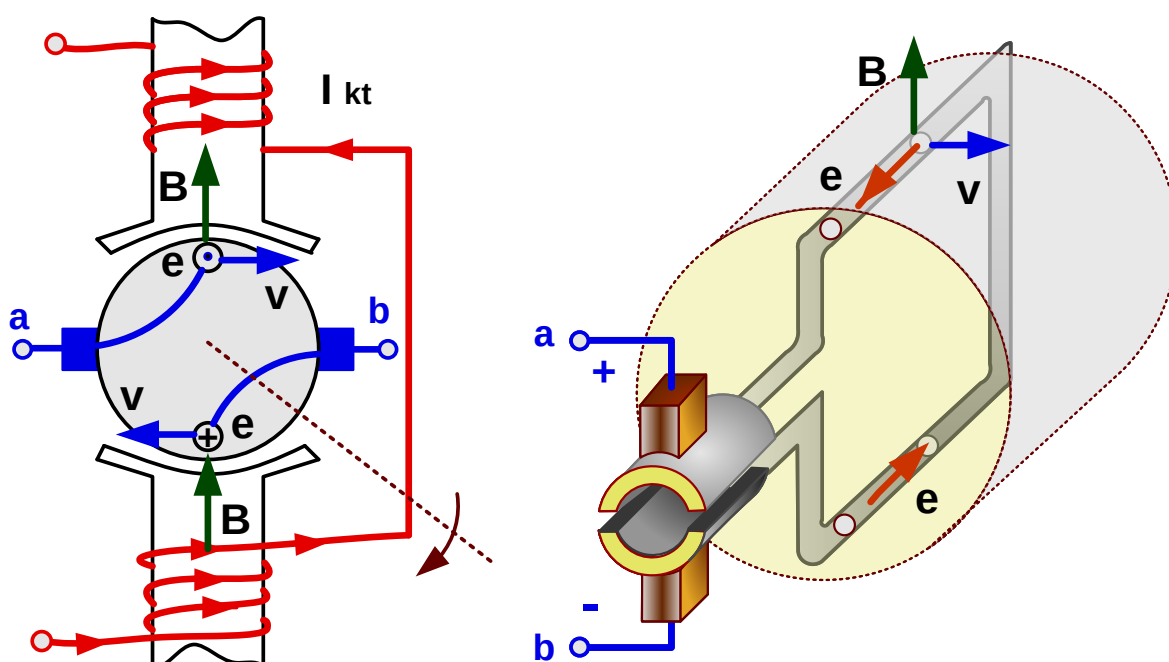
Xét rotor có 8 rãnh và cổ góp chứa 8 phiến góp, xem hình H4.16. Khi quấn dây trên phần ứng, bắt đầu quấn một bó dây (cuộn dây) từ rãnh 1 sang rãnh 4.

- Đầu dây **a** của bó dây này **được nối đến phiến góp 1**.
- Đầu dây **b** của bó dây thứ nhứt **được nối đến phiến góp 2**.
- Khi bắt đầu quấn bó dây thứ nhì, đầu **c** của bó dây này **nối chung với đầu ra b của bó dây thứ nhứt tại phiến góp 2**.
- Đầu ra **d** của bó thứ nhì được nối đến phiến góp 3.

Thực hiện phương pháp bố trí dây quấn tương tự như vừa trình bày cho đến hết 8 rãnh. Trên rotor có 8 bó dây, **đầu ra của bó cuối cùng sẽ nối chung với đầu dây a của bó đầu tiên trên phiến góp 1**. Sơ đồ bố trí các bó dây trên rotor và các đầu ra trên 8 phiến góp trình bày trong hình H4.16.

Khi đặt hai chổi than để cấp dòng vào phần ứng (khi máy điện hoạt động theo chế độ động cơ) hay khi đưa ra dòng cấp đến tải (khi máy điện hoạt động theo chế độ máy phát) cho thấy dây quấn trên phần ứng tạo thành hai mạch nhánh song song.

Một cách tổng quát, **dây quấn trên phần ứng máy điện một chiều luôn luôn có hai nhánh song song, hay bội số của hai nhánh song song**. Gọi $2a$ là số mạch nhánh song song được lắp đặt trên phần ứng.

4.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU :**4.2.1. QUÁ TRÌNH ĐIỆN TỪ :**

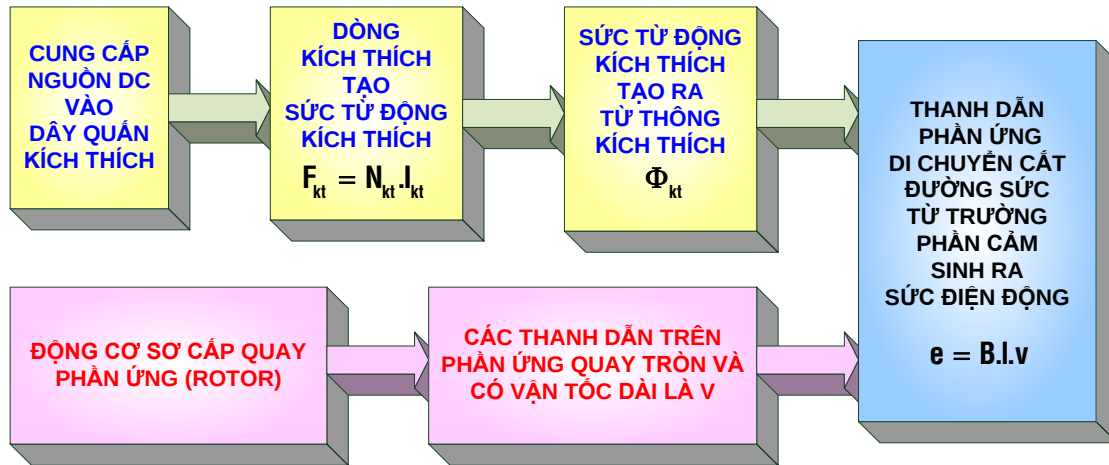
HÌNH H4.17: Sơ đồ nguyên lý cấu tạo máy điện một chiều khi hoạt động theo chế độ máy phát.

Để đơn giản quá trình khảo sát, giả sử **trên rotor máy điện một chiều chỉ chứa một khung dây gồm hai thanh dẫn và cổ góp chỉ có hai phiến góp**. Đây là mô hình đơn giản nhất của máy điện một chiều. Quá trình điện từ được diễn ra theo trình tự sau:

- ✚ Đầu tiên **cấp dòng một chiều I_{kt} vào dây quấn phần cảm** (dây quấn kích thích) để **tạo từ trường phần cảm**. Từ trường được đặc trưng bằng vector cảm ứng từ **B**.

✚ Dùng **động cơ sơ cấp quay phản ứng với tốc độ quay là n [vòng/phút]**. Mỗi **thanh dẫn trên phản ứng quay tròn đều với vận tốc dài là v** .

✚ Do tác động của động cơ sơ cấp, thanh dẫn trên phản ứng di chuyển với vận tốc v cắt đường sức từ trường $\mathbf{B}$ của phần cảm, như vậy trên mỗi thanh dẫn hình thành sức điện động cảm ứng e . Quá trình điện từ khi vận hành ở chế độ máy phát được tóm tắt trong hình H4.18.



HÌNH H4.18: Sơ đồ khối tóm tắt quá trình điện từ của máy phát điện DC.

4.2.2. BIỂU THỨC CỦA SỨC ĐIỆN ĐỘNG TRÊN PHẢN ỨNG MÁY PHÁT ĐIỆN DC :

Gọi N là tổng số thanh dẫn chứa trên phản ứng, số mạch nhánh song song trên phản ứng là $2a$. Như vậy, tổng số thanh dẫn trên mỗi mạch nhánh song song là: $\left(\frac{N}{2a}\right)$. Sức điện động trên toàn bộ dây quấn phản ứng được xác định theo quan hệ sau

$$E = \left(\frac{N}{2a}\right) \cdot e \quad (4.1)$$

Trong đó e là sức điện động tạo bởi một thanh dẫn có bề dài ℓ di chuyển với vận tốc dài v trong từ trường $\mathbf{B}$ tạo bởi phần cảm, ta có:

$$e = B \cdot \ell \cdot v \quad (4.2)$$

Gọi D là đường kính của phản ứng, ℓ là bề dài của phản ứng. Từ (4.2), ta có:

$$e = B \cdot \ell \cdot v = B \cdot \ell \cdot \frac{D}{2} \cdot (2\pi n) \quad (4.3)$$

Với số cực của động cơ là $2p$, quan hệ (4.3) có thể viết lại như sau:

$$e = B \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot \ell}{2p} \cdot p \cdot (2n) \quad (4.4)$$

Gọi τ : bước cực từ của phản ứng, ta có thể ghi :

$$e = B \cdot (\tau \cdot \ell) \cdot 2pn \quad (4.5)$$

Gọi Φ_{kt} là từ thông kích thích qua một cực từ, quan hệ (4.5) có thể viết lại như sau :

$$e = \Phi_{kt} \cdot 2pn \quad (4.6)$$

Sức điện động cảm ứng tạo ra do một thanh dẫn phần ứng được xác định theo quan hệ (4.6). Thế quan hệ (4.6) vào quan hệ (4.1) suy ra **sức điện động trung bình E** tạo bởi toàn bộ dây quấn phần ứng.

$$E = \frac{N}{2a} \cdot e = \frac{N}{2a} \cdot 2p \cdot \Phi_{kt} \cdot n = \left(\frac{p \cdot N}{a} \right) \cdot \Phi_{kt} \cdot n \quad (4.7)$$

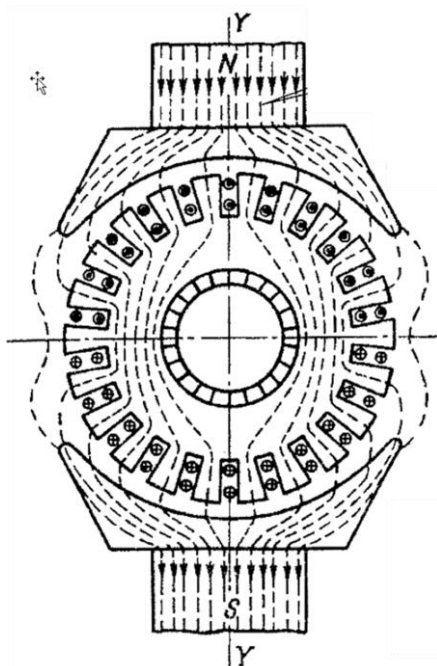
Đặt:

$$K_E = \frac{p \cdot N}{a} \quad (4.8)$$

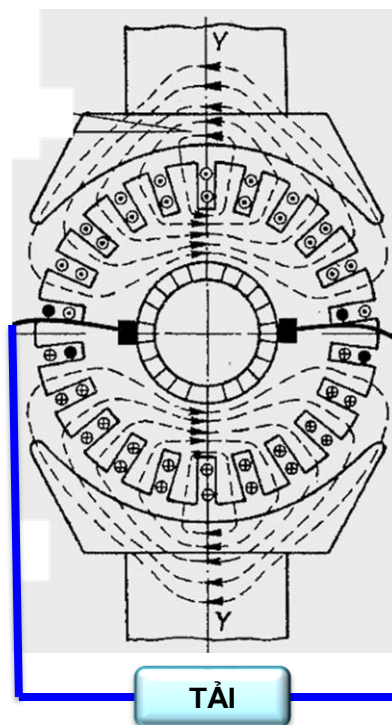
Gọi K_E là hằng số cấu tạo phần ứng. Tóm lại:

$$E = K_E \cdot \Phi_{kt} \cdot n \quad (4.9)$$

4.2.3. PHÂN ỨNG PHẦN ỨNG CỦA MÁY PHÁT DC :



HÌNH H4.19: Phân bố đường sức từ trường tạo bởi phần cảm lúc không tải.



HÌNH H4.20: Phân bố đường sức từ trường tạo bởi phần ứng lúc mang tải.

Khi xét riêng sự phân bố đường sức từ trường phần cảm **lúc máy phát không tải, hệ thống đường sức phân bố có tính đối xứng trong mạch từ**. Trục đối xứng của hệ thống đường sức từ trường phần cảm (hay trục cực từ phần cảm) là đường thẳng YY' (hình H4.19). **Đường thẳng thẳng góc với YY' tại tâm rotor được gọi là trung tính hình học.**

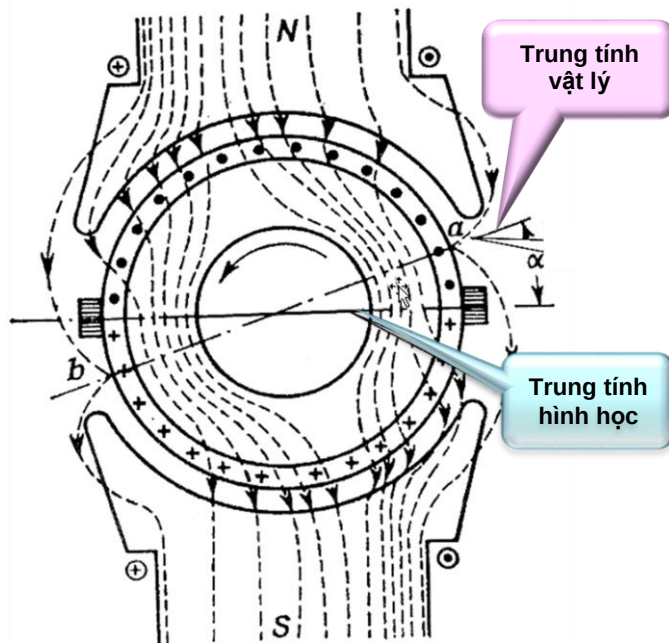
Khi máy phát mang tải, dòng ứng đi qua các thanh dẫn trên phần ứng. Giả sử vị trí các chổi than được đặt trên trung tính hình học, hướng dòng ứng qua các thanh dẫn trên phần ứng được xác định như trong hình H4.20.

Dựa vào hướng của dòng ứng qua các thanh dẫn, suy ra hệ thống đường sức từ trường tạo bởi phần ứng và đưa ra các nhận xét như sau:

❖ **Đường sức từ tổng hợp** từ hai hệ thống đường sức của phần cảm và phần ứng có **khuyết hướng trở từ ở một phía mồm cực phần cảm** và có khuyết hướng **khởi từ ở phía mồm cực phần cảm còn lại**.

❖ Do ảnh hưởng trên, **từ trường phần cảm sai dạng khi máy phát điện đang mang tải. Sự sai dạng này tùy thuộc vào giá trị độ lớn của dòng qua tải**, nói cách khác sự sai dạng từ trường phần cảm phụ thuộc vào độ lớn của tải.

❖ Khi máy phát mang tải và có sự sai dạng từ trường phần cảm, **đường trung tính có khuyết hướng xô dịch thay đổi vị trí (quay một góc trong không gian)** so với vị trí của đường trung tính hình học xác định lúc ban đầu, xem hình H4.21.



HÌNH H4.21: Sự sai lệch từ trường do phản ứng phản ứng

Các hiệu quả sinh ra do phản ứng phản ứng được tóm tắt như sau:

❖ Phản ứng phản ứng làm **thay đổi từ trường phản cảm**, dẫn đến **độ thay đổi áp gia tăng** khi máy phát mang tải.

❖ Khi dòng tải có giá trị bé ảnh hưởng của **phản ứng phản ứng không đáng kể**. Tại lúc này nguyên nhân chủ yếu tạo ra độ thay đổi áp là do điện trở R_a của phần ứng.

❖ Nếu chổi than đặt trên trung tính hình học, khi máy phát mang tải từ trường phản cảm sai lệch, đường trung tính sẽ ở vị trí trung tính vật lý **ab**, xem hình H4.21. Các thanh dẫn trên phần ứng nằm trong vùng góc α (giới hạn bởi trung tính hình học và trung tính vật lý) có **khuyh hướng đổi chiều dòng điện** nhưng **bên**

trong thanh dẫn vẫn còn tồn tại sức điện động cảm ứng. Hiện tượng này gọi là sự nghịch lưu làm phát sinh các tia lửa tại vị trí tiếp xúc của chổi than với cổ góp phần ứng. **Muốn khắc phục tia lửa**, cần **hiệu chỉnh lại từ trường phản cảm** khi máy phát mang tải bằng cách lắp thêm **cực từ phụ và dây quấn bù trên phần cảm**.

4.2.4. PHÂN LOẠI MÁY PHÁT ĐIỆN DC:

Tùy thuộc vào phương pháp cấp nguồn cho dây quấn kích thích (phần cảm) của máy phát, chúng ta có thể phân loại máy phát một chiều theo các dạng sau:

✚ **MÁY PHÁT KÍCH TỪ ĐỘC LẬP:** phần cảm được cấp nguồn **DC độc lập với nguồn áp DC** phát ra từ phần ứng. Trong một số các máy phát công suất nhỏ, phần cảm là nam châm vĩnh cửu.

✚ **MÁY PHÁT KÍCH TỪ SONG SONG:** **phần cảm đấu song song với phần ứng**. Trong trường hợp này muốn máy phát sinh ra được điện áp, **máy phát cần thỏa mãn các điều kiện tự kích**.

✚ **MÁY PHÁT KÍCH TỪ NỐI TIẾP:** **phần cảm đấu nối tiếp với phần ứng**. Trong trường hợp này **máy chỉ phát ra điện năng khi đang mang tải**, trường hợp **không mang tải máy không thể phát ra điện năng**.

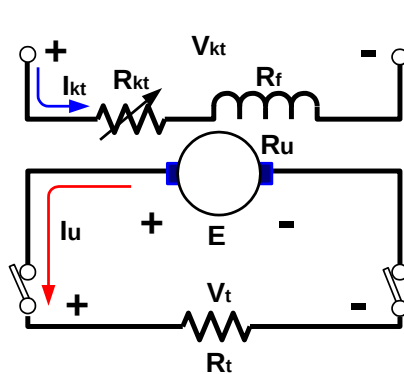
✚ **MÁY PHÁT KÍCH TỪ HỖN HỢP:** với loại máy phát này **trên stator có hai bộ dây quấn kích thích**: một bộ dây **đấu song song với phần ứng** và bộ dây kích thích còn lại **đấu nối tiếp với phần ứng**. Trong trường hợp kích từ hỗn hợp, tùy theo sơ đồ đấu dây, ta có máy phát kích từ **hỗn hợp mắc rẽ dài hay rẽ ngắn**. Tùy theo tính chất thuận từ hay nghịch từ của các thành phần dây quấn kích thích ta có **máy phát kích từ hỗn hợp công hay hỗn hợp trừ**.

4.3. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ ĐỘC LẬP :

4.3.1 . MẠCH TƯƠNG ĐƯƠNG VÀ CÁC PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ĐIỆN ÁP :

Gọi:

- ✚ V_{kt} : Áp kích thích cấp vào phần cảm.
- ✚ R_f : điện trở của dây quấn kích thích.
- ✚ R_{kt} : biến trở kích từ, nối tiếp với dây quấn phần cảm để điều chỉnh thay đổi giá trị dòng kích thích.



HÌNH H4.22

- R_{kt} : điện trở nội của dây quấn phần ứng
- E : Sức điện động sinh ra ở hai đầu phần ứng .

Mạch tương đương của máy phát điện DC kích từ độc lập trình bày trong hình H4.22. Các phương trình cân bằng áp của mạch phần cảm và phần ứng máy phát kích từ độc lập là :

$$V_{kt} = (R_f + R_{kt}) \cdot I_{kt} \quad (4.10)$$

$$E = V_t + R_u \cdot I_u \quad (4.11)$$

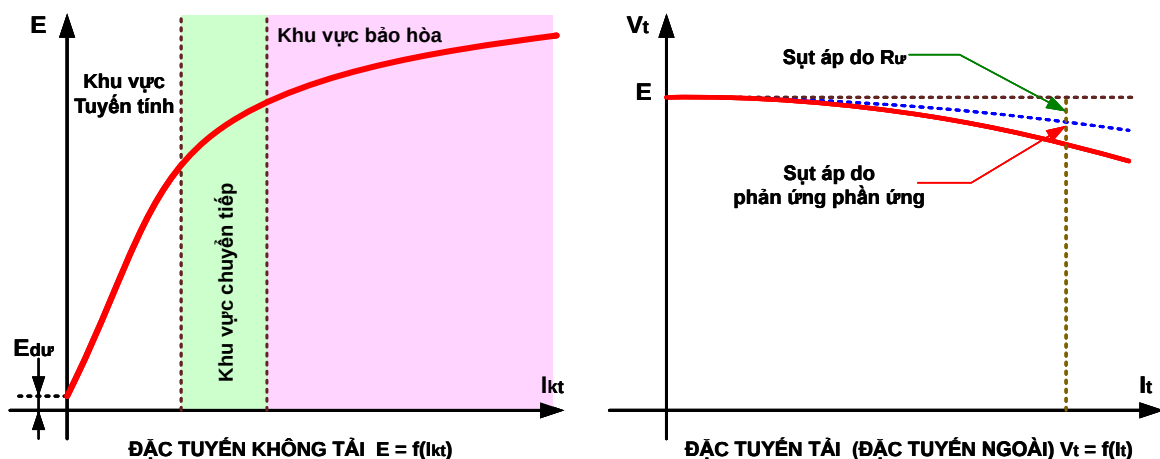
$$E = K_E \cdot \Phi_{kt} \cdot n \quad (4.12)$$

4.3.2 . CÁC ĐẶC TUYẾN CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN DC :

Đối với máy phát điện một chiều, chúng ta quan tâm đến các đặc tuyến:

ĐẶC TUYẾN KHÔNG TẢI $E = f(I_{kt})$: là đồ thị hay đường biểu diễn mô tả quan hệ giữa sức điện động E sinh ra trên hai đầu phần ứng với dòng điện kích thích I_{kt} qua dây quấn phần cảm.

ĐẶC TUYẾN TẢI (HAY ĐẶC TUYẾN NGOÀI) $V_t = f(I_{T\Delta I})$: đồ thị mô tả quan hệ giữa áp V_t trên hai đầu tải theo dòng IT cấp đến tải. Các đặc tuyến được trình bày trong hình H4.23.



HÌNH H4.23: Các đặc tuyến của máy phát điện một chiều

4.3.2.1. ĐẶC TUYẾN KHÔNG TẢI CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN DC:

Khi khảo sát đặc tuyến không tải của máy phát điện một chiều, cần chú ý đến 3 tính chất:

TÍNH CHẤT 1:

Đường đặc tính không tải có dạng đường cong từ hóa $B = f(H)$ của vật liệu sắt từ cấu tạo nên mạch từ của máy phát .

Gọi F_{kt} là sức từ động tạo nên do dòng điện kích thích qua dây quấn phần cảm, ta có quan hệ sau:

$$F_{kt} = N_{kt} \cdot I_{kt} = H \cdot \ell_{tb} \quad (4.13)$$

Trong đó, H : cường độ từ trường của vật liệu sắt từ tạo nên mạch từ của máy phát.

ℓ_{tb} : bề dài đường sức trung bình qua mạch từ.

Trong (4.13), khi tính gần đúng bỏ qua ảnh hưởng của khe hở không khí giữa rotor và stator, ta có:

$$I_{kt} = \left(\frac{\ell_{tb}}{N_{kt}} \right) \cdot H \quad (4.14)$$

Từ quan hệ (4.14), ta có dòng điện kích thích tỉ lệ với cường độ từ trường H .

Ngoài ra chúng ta còn có quan hệ sau:

$$E = K_E \cdot \Phi_{kt} \cdot n = K_E \cdot (A \cdot B) \cdot n \quad (4.15)$$

Trong đó B : từ cảm cực đại (hay mật độ từ thông) trong mạch từ.

A : Tiết diện của một cực từ.

Tóm lại, sức điện động E tỉ lệ thuận mật độ từ thông B và dòng I_{kt} tỉ lệ với cường độ từ trường H . Do đó, đặc tuyến không tải có dạng đường cong từ hóa $B = f(H)$.

TÍNH CHẤT 2:

Do tính chất của từ trường dư Φ_{dur} tồn tại trong mạch từ, khi chưa cấp nguồn điện vào dây quấn phần cảm và động cơ sơ cấp quay kéo phần ứng với tốc độ n , trên hai đầu phần ứng vẫn xuất hiện một sức điện động có giá trị rất thấp. Sức điện động này được gọi là sức điện động sinh ra do từ trường dư, ký hiệu là E_{dur} .

TÍNH CHẤT 3:

Do đường đặc tính không tải có dạng đường cong từ hóa $B = f(H)$ của vật liệu sắt từ cấu tạo nên mạch từ máy phát; đặc tuyến này được chia thành ba vùng (hay 3 khu vực).

❖ KHU VỰC TUYẾN TÍNH (HAY KHU VỰC CHƯA BẢO HÒA): trong vùng này giá trị của sức điện động E tỉ lệ thuận với dòng kích từ I_{kt} qua dây quấn phần cảm.

❖ KHU VỰC CHUYỂN TIẾP (HAY KHU VỰC ĐẦU KHUYU BẢO HÒA): trong khu vực này giá trị của sức điện động E bắt đầu tăng chậm tương ứng với sự tăng nhanh các giá trị của dòng kích thích I_{kt} . Quan hệ của E theo I_{kt} bắt đầu không tỉ lệ theo quan hệ bậc nhất tuyến tính nữa.

❖ KHU VỰC BẢO HÒA (HAY KHU VỰC PHI TUYẾN): trong khu vực này tốc độ thay đổi của giá trị E rất chậm tương ứng với tốc độ thay đổi rất lớn giá trị của dòng kích thích I_{kt} , xem hình H4.23.

Dựa vào các tính chất nêu trên, khi giải các bài toán máy phát trong điều kiện tuyến tính (mạch từ chưa bảo hòa) có thể áp dụng phương pháp tính tỉ lệ hay phương pháp lập tỉ số (qui tắc tam suất).

Ngược lại trong trường hợp máy phát hoạt động trên khu vực chuyển tiếp hay khu vực bảo hòa, khi tính toán phải dựa hoàn toàn vào đặc tuyến không tải của máy phát. Phương pháp giải toán thường được sử dụng là phương pháp đồ thị.

THÍ DU 4.1:

Cho máy phát điện DC kích từ độc lập, có sức điện động $E = 151V$ khi vận tốc động cơ sơ cấp kéo máy phát là $n = 1450$ vòng/phút và dòng kích thích bằng $2,8A$.

Giả sử mạch từ chưa bảo hòa, xác định sức điện động E :

a./ Khi dòng kích thích bằng $2,4A$ tại vận tốc của động cơ sơ cấp là 1450 vòng/phút.

b./ Khi dòng kích thích bằng $2A$ tại vận tốc của động cơ sơ cấp là 1600 vòng/phút.

GIẢI:

Với điều kiện mạch từ chưa bão hòa, ta có thể xác định các thông số của phần ứng tại từng trạng thái như sau:

TRẠNG THÁI	E [V]	n [vòng/phút]	I _{kt} [A]
1	151	1450	2,8
2	E ₂	1450	2,4
3	E ₃	1600	2

Áp dụng phương pháp lập tỉ số, chúng ta lần lượt suy ra các kết quả như sau:

a./ Sức điện động E khi : I_{kt2} = 2,4A và n = 1450 vòng/phút.

$$\frac{E_2}{E_1} = \left(\frac{\Phi_{kt2}}{\Phi_{kt1}} \right) \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right) = \left(\frac{I_{kt2}}{I_{kt1}} \right) \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

Suy ra:

$$E_2 = \left(\frac{I_{kt2}}{I_{kt1}} \right) \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \cdot E_1 = \left(\frac{2,4}{2,8} \right) \cdot \left(\frac{1450}{1450} \right) \cdot 151 = 129,43V$$

Tóm lại, tại trạng thái 2, khi duy trì tốc độ quay không đổi và giảm dòng kích thích, sức điện động trên hai đầu phần ứng giảm đến giá trị **E = 129,43V**.

b./ Sức điện động E khi : I_{kt3} = 2 A và n = 1600 vòng/phút

Tính tương tự như trên, ta có:

$$E_3 = \left(\frac{I_{kt3}}{I_{kt1}} \right) \cdot \left(\frac{n_3}{n_1} \right) \cdot E_1 = \left(\frac{2}{2,8} \right) \cdot \left(\frac{1600}{1450} \right) \cdot 151 = 119V$$

Tóm lại, tại trạng thái 3 khi thay đổi tốc độ động cơ sơ cấp và thay đổi dòng kích thích, sức điện động trên hai đầu phần ứng thay đổi và có giá trị **E = 119V**.

THÍ DU 4.2:

Cho máy phát điện một chiều kích từ độc lập, đặc tuyến không tải cho trong đồ thị sau, xem hình **H4.24**. Các thông số định mức của máy phát điện như sau:

- ❖ Công suất định mức: **P_{dm} = 400 kW**.
- ❖ Điện áp định mức: **V_{dm} = 200V**.
- ❖ Điện trở dây quấn phần ứng : **R_u = 0,003 Ω**.
- ❖ Điện trở dây quấn kích từ (hay kích thích) : **R_{kt} = 10,4Ω**.
- ❖ Bảng số liệu ghi nhận từ thí nghiệm không tải tại tốc độ động cơ sơ cấp **900 vòng/phút** được trình bày như sau:

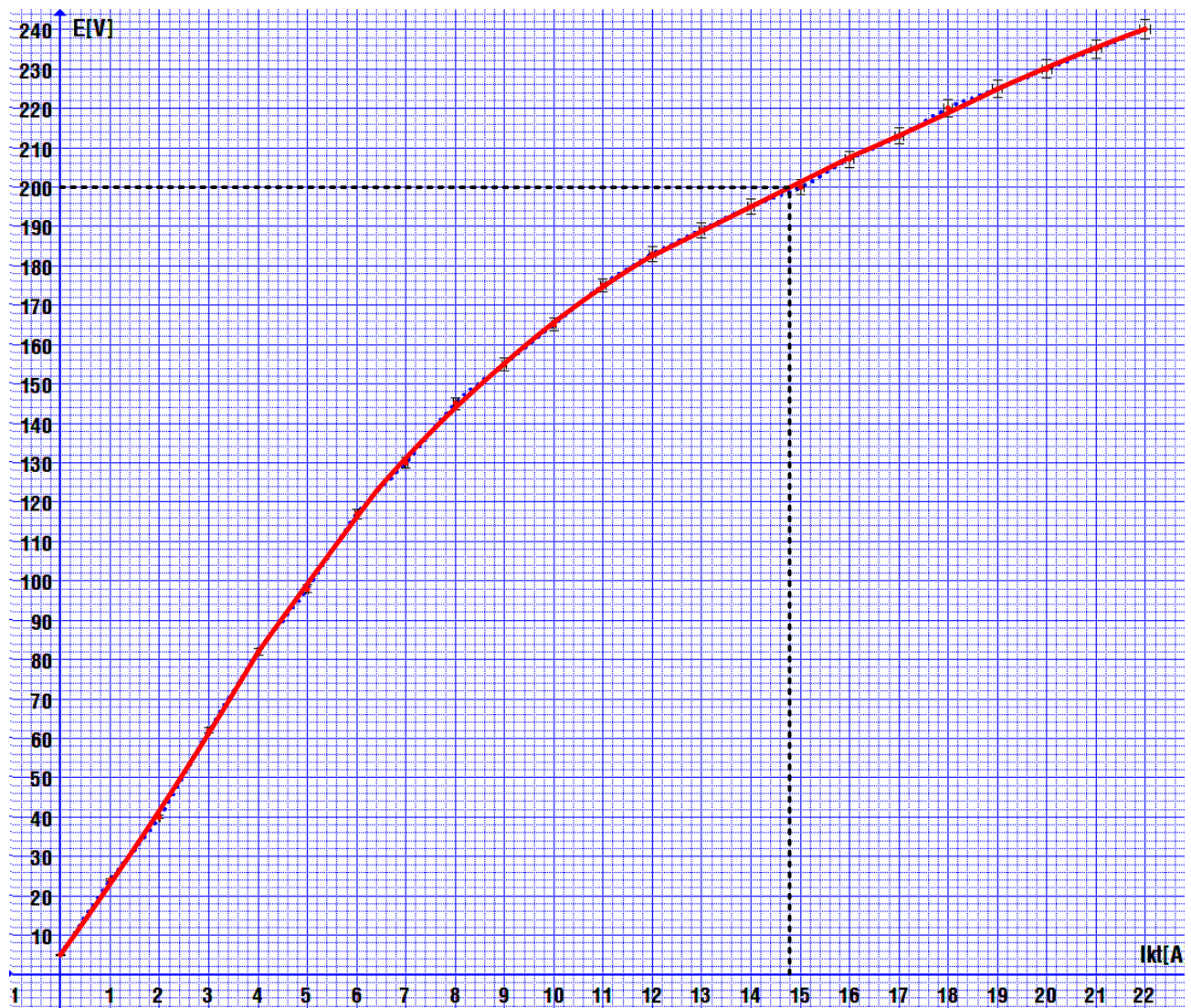
I _{kt} [A]	0	1	2	3	4	5	6	7	8
E [V]	5	24	40	62	82	98	117	130	145
I _{kt} [A]	9	10	11	12	13	14	15	16	17
E [V]	155	165	175	183	189	195	200	207	213
I _{kt} [A]	18	19	20	21	22				
E [V]	220	225	230	235	240				

Xác định:

- Dòng kích từ khi sức điện động trên phần ứng là $E = 200V$ và tốc độ quay của động cơ sơ cấp là $n = 900$ vòng/phút.
- Vẽ lại đặc tuyến không tải khi tốc độ quay của động cơ sơ cấp là 750 vòng/phút.
- Dòng kích từ để tạo ra sức điện động $E = 200V$ khi tốc độ động cơ sơ cấp là 750 vòng/phút.
- Tính lại câu b và c khi tốc độ quay của động cơ sơ cấp là 1000 vòng/phút.

GIẢI:

a./ Với số liệu đặc tuyến không tải cho trong đầu đề, vẽ và hiệu chỉnh với sai số $0,5\%$ suy ra đặc tuyến không tải tại tốc độ 900 vòng/phút theo hình H4.12. Từ đó rút ra nhận xét như sau:



HÌNH H4.24: Đặc tuyến không tải máy phát điện DC, tại tốc độ động cơ sơ cấp $n = 900$ vòng/phút.

➤ Dòng điện kích từ cần cấp đến phần cảm có giá trị **hơi nhỏ hơn 15A** để tạo được sức điện động trên phần ứng là $E = 200V$.

➤ Đặc tuyến không tải giữa hai điểm ($I_{kt} = 14A$; $E = 195V$) và ($I_{kt} = 16A$; $E = 207V$) xem như tuyến tính (có dạng đường thẳng).

Viết phương trình đường thẳng khi biết trước tọa độ hai điểm nằm trên đường thẳng, ta có quan hệ sau:

$$\frac{I_{kt} - 14}{E - 195} = \frac{16 - 14}{207 - 195} = \frac{2}{12} = \frac{1}{6}$$

Thay thế giá trị $E = 200V$ vào quan hệ vừa thành lập, ta tính được giá trị dòng điện kích thích tương ứng qua dây quấn kích thích :

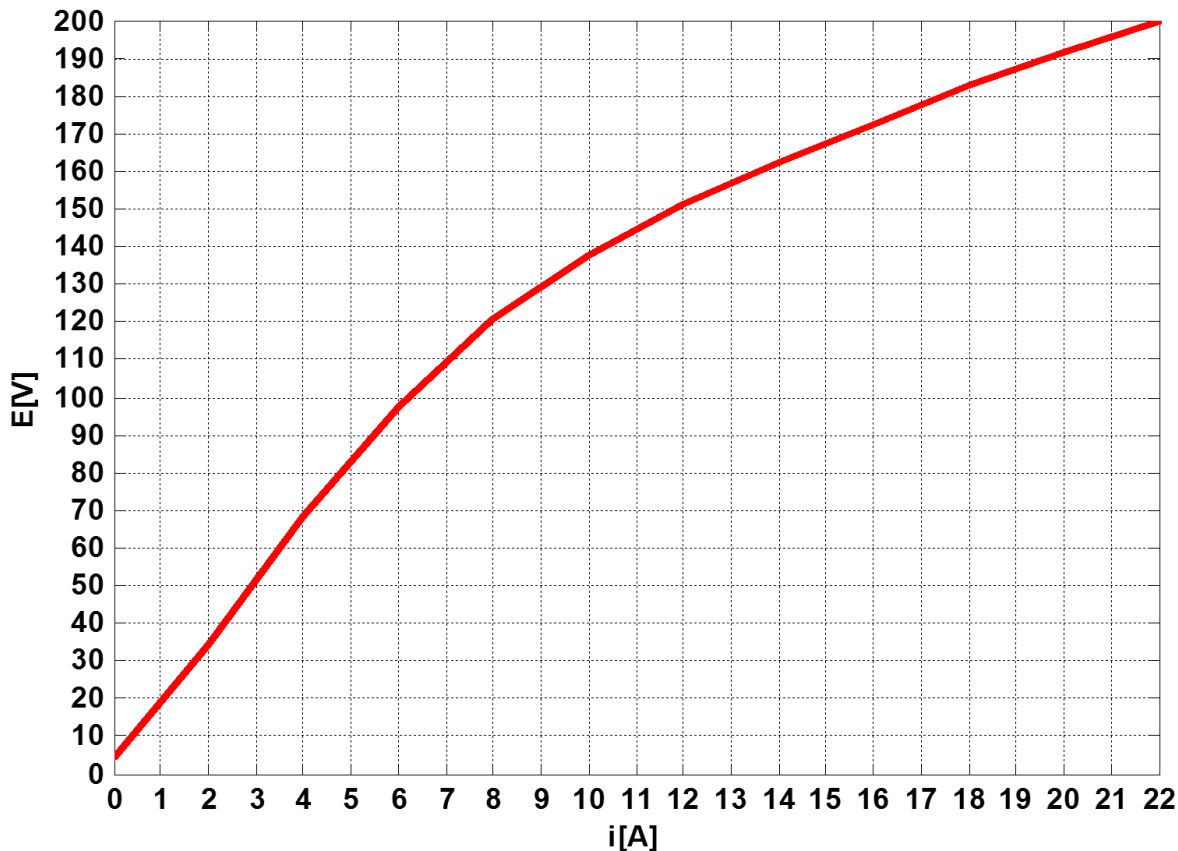
$$I_{kt} = 14 + \frac{1}{6}(200 - 195) = 14 + \frac{5}{6} = 14,83A$$

b./ Khi giảm tốc độ quay động cơ sơ cấp từ **900 vòng/phút** còn **750 vòng/phút**, với cùng một giá trị của dòng kích từ cấp cho phần cảm, sức điện động trên phần ứng tỉ lệ thuận với tốc độ quay. Giá trị **E giảm thấp khi giảm tốc độ**.

Gọi E_1 là sức điện động tương ứng với tốc độ quay $n_1 = 900$ vòng/phút và E_2 là sức điện động tương ứng với tốc độ quay $n_2 = 750$ vòng/phút. Tại cùng giá trị dòng kích thích, chúng ta có quan hệ sau:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{K_E \cdot \Phi_{kt} \cdot n_2}{K_E \cdot \Phi_{kt} \cdot n_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{750}{900} = \frac{5}{6}$$

Dựa theo bảng trị số của đặc tuyến không tải tại tốc độ quay **900 vòng/phút** cho trong đầu đề, suy ra bảng trị số cho đặc tuyến không tải tại tốc độ quay **750 vòng/phút** bằng cách duy trì giá trị dòng kích thích trong bảng, tại các ô của sức điện động **nhân giá trị 5/6 cho giá trị hiện có trong bảng** để có giá trị sức điện động mới. Từ bảng trị số tìm được xây dựng đặc tuyến không tải ứng tốc độ động cơ sơ cấp $n = 750$ vòng/phút (xem hình H4.25).



HÌNH H4.25: Đặc tuyến không tải của máy phát điện, ứng tốc độ quay của động cơ sơ cấp $n = 750$ vòng/phút

c./ Với kết quả trong câu b; muốn máy phát điện có sức điện động $E = 200V$ khi tốc độ động cơ sơ cấp là $n = 750$ vòng/phút, ta cần điều chỉnh dòng điện kích thích đến giá trị $i_{kt} = 22A$.

d./ Xác định lại đặc tuyến tại tốc độ quay của động cơ sơ cấp là **1000 vòng/phút**. Thực hiện phương pháp như vừa thực hiện trong câu b và c ta có đặc tuyến không tải cho trong hình H4.26, và có nhận xét như sau:

➤ Dòng kích thích cần đến phần cảm có giá trị **hơi nhỏ hơn 12A** để tạo được sức điện động trên phần ứng là $E = 200V$.

➤ Đoạn đặc tuyến không tải giữa hai điểm sau đây : ($i_{kt} = 10A$; $E = 183,3V$) và ($i_{kt} = 12A$; $E = 202,2V$) xem như tuyến tính.

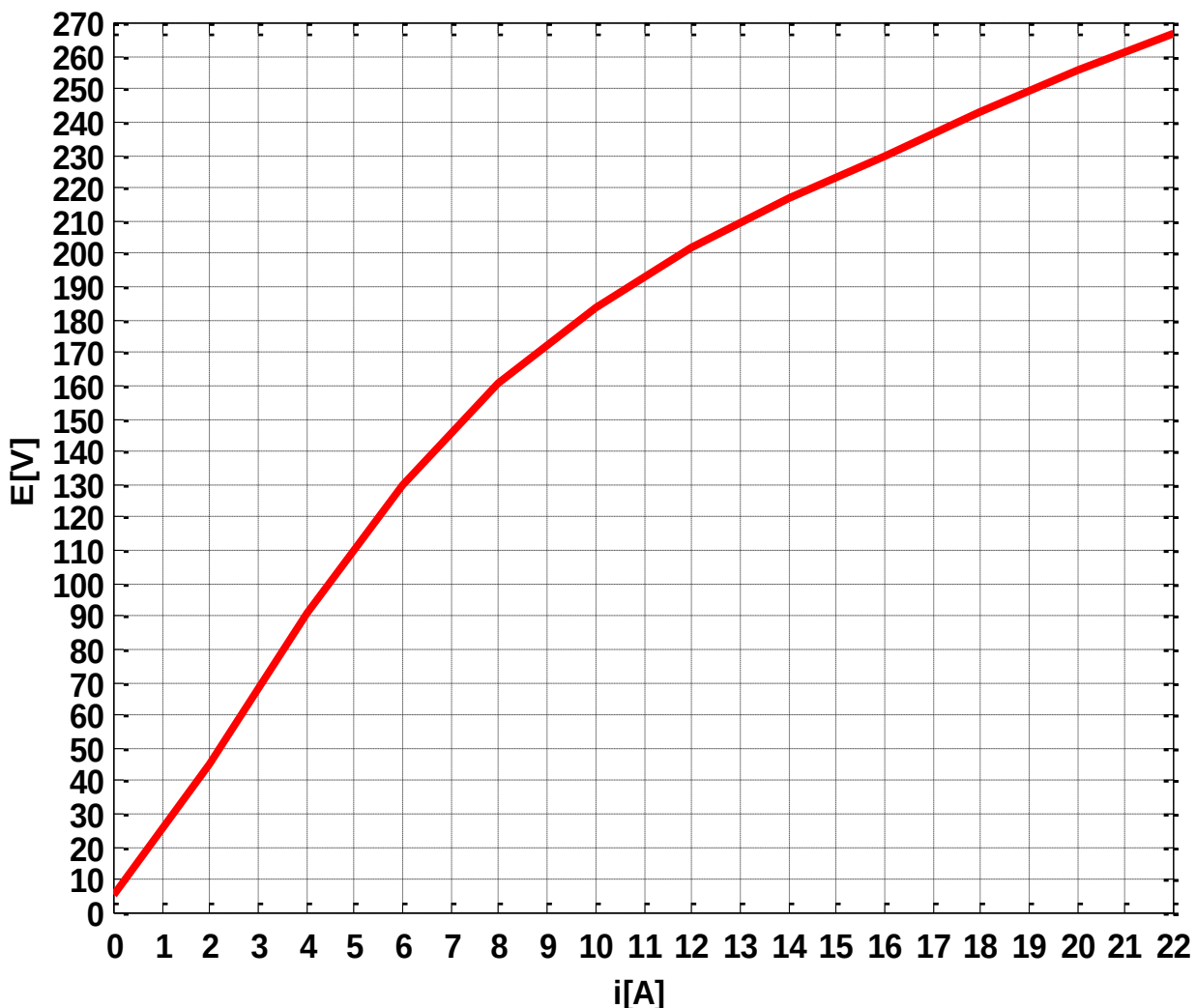
Áp dụng phép tính toán tương tự như trong câu a, ta có quan hệ sau:

$$\frac{i_{kt} - 10}{E - 183,3} = \frac{12 - 10}{202,2 - 183,3} = \frac{2}{18,9}$$

Thay giá trị $E = 200V$ vào đẳng thức trên, suy ra dòng điện kích thích qua phần cảm:

$$i_{kt} = 10 + \frac{2}{18,9} (200 - 183,3) = 10 + \frac{2 \cdot 16,7}{18,9}$$

$$i_{kt} = 11,77A$$



HÌNH H4.26: Đặc tuyến không tải, ứng với tốc độ động cơ sơ cấp $n = 1000$ vòng/phút

4.3.2.2. ĐẶC TUYẾN TẢI – PHẦN TRĂM THAY ĐỔI ÁP KHI MANG TẢI ΔU %:

Khảo sát đặc tuyến tải của máy phát điện một chiều là khảo sát **sự chênh lệch giá trị giữa sức điện động E** của phần ứng **với áp V_t trên hai đầu tải** khi thay đổi dòng tải và **duy trì không đổi từ thông kích thích** tạo bởi phần cảm. Từ quan hệ (4.11) ta có:

$$E - V_t = R_u \cdot I_u \quad (4.16)$$

Theo quan hệ (4.16) cho thấy **sự chênh lệch giá trị giữa E và V_t là do sụt áp trên điện trở nội R_u** của phần ứng khi máy phát mang tải. Trong thực tế khi mang tải, dòng tải qua dây quấn phần ứng hình thành từ thông ứng có khuynh hướng làm ảnh hưởng và thay đổi từ trường phần cảm. Sự kiện này làm **tăng mức chênh lệch** giá trị giữa sức điện động E so với áp V_t . Hiện tượng này đã được trình bày trong **phản ứng phần ứng**.

THÍ DU 4.3: Cho máy phát điện một chiều **kích từ độc lập**, có thông số định mức như sau:

- ❖ Công suất định mức $P_{dm} = 5 \text{ kW}$
- ❖ Điện áp định mức $V_{dm} = 125 \text{ V}$
- ❖ Điện trở phần ứng $R_u = 0,2 \Omega$

a./ Xác định phần trăm thay đổi điện áp khi máy phát đầy tải, bỏ qua ảnh hưởng của phản ứng phần ứng.

b./ Xác định áp đặt ngang qua hai đầu tải khi cấp **nửa công suất định mức** đến tải.

GIẢI:

a./ Xác định **phần trăm thay đổi điện áp** lúc tải định mức:

- Điện áp trên hai đầu tải khi máy phát đầy tải : $V_{dm} = 125 \text{ V}$.
- Sức phản điện E trên hai đầu phần ứng lúc máy phát không tải :

$$E = V_{dm} + R_u \cdot I_{dm}$$

Trong đó:

$$I_{dm} = \frac{P_{dm}}{U_{dm}} = \frac{5000}{125} = 40 \text{ A}$$

Suy ra:

$$E = 125 + 0,2 \cdot 40 = 125 + 8 = 133 \text{ V}$$

- Phần trăm độ sụt áp khi mang tải được xác định theo quan hệ sau:

$$\Delta U\% = \left(\frac{E - V}{V} \right) \cdot 100 = \left(\frac{133 - 125}{125} \right) \cdot 100 = \frac{800}{125} = 6,4\%$$

b./ Xác định áp V trên tải khi máy phát cấp nửa tải định mức:

- Khi công suất nhận trên tải là: $P = \frac{P_{dm}}{2} = \frac{5000}{2} = 2500 \text{ W}$

□ Nếu không điều chỉnh thay đổi kích thích và tốc độ quay của động cơ sơ cấp, sức điện động trên phần ứng vẫn duy trì giá trị hiện có là $E = 133 \text{ V}$.

Lúc này, dòng qua tải giảm thấp giá trị so với lúc tải định mức, như vậy áp V trên tải sẽ thay đổi. Ta có hệ hai phương trình hai ẩn số sau:

$$\begin{cases} E = V + R_u \cdot I_u \Leftrightarrow 133 = V + 0,2 \cdot I_u \\ V \cdot I_u = 2500 \end{cases}$$

Từ hai quan hệ trên suy ra phương trình bậc hai dùng xác định giá trị áp V , như sau :

$$133 = V + 0,2 \cdot \frac{2500}{V}$$

Thu gọn suy ra phương trình bậc 2 : $V^2 - 133.V + 500 = 0$

Lập biệt số Δ và giải phương trình, suy ra các nghiệm số: $V = 129 \text{ V}$ hay $V = 4 \text{ V}$, chọn nghiệm thích hợp cho V là 129 V .

4.4. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ SONG SONG :

Với các máy phát điện công suất lớn, khi kích thích độc lập phải dùng đến nguồn một chiều có công suất lớn cấp vào phần cảm; điều này mâu thuẫn khi sử dụng trong thực tế: **để máy phát tạo được trên phần ứng nguồn một chiều** cấp đến tải, **lại phải cần đến nguồn một chiều độc lập cấp cho phần cảm**.

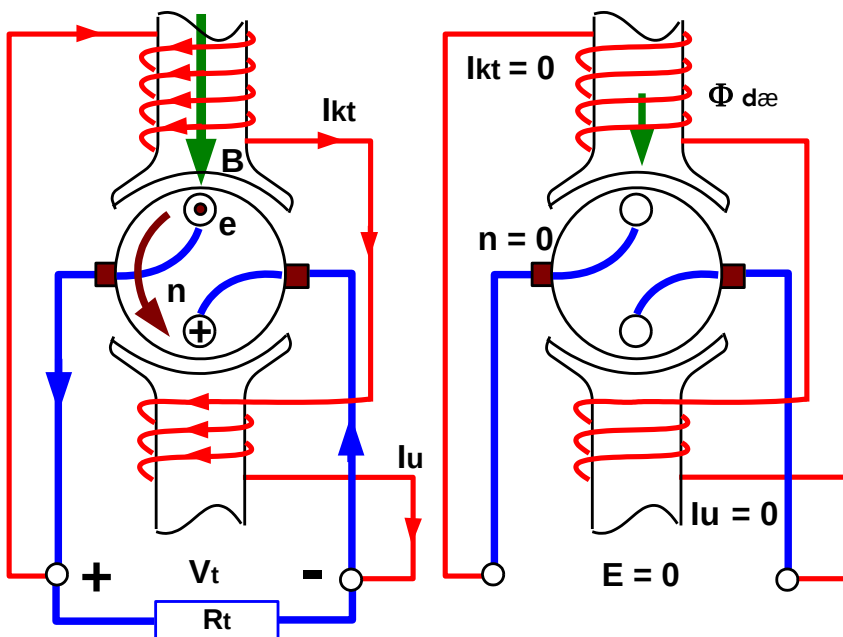
Như vậy, có thể xem máy phát kích từ độc lập là dạng máy phát sử dụng trong phòng thí nghiệm hay áp dụng cho các máy phát có công suất nhỏ dùng trong kỹ-thuật đo lường: máy phát tốc (tacho meter).... . Với các máy phát thường gặp trong thực tế, **phần ứng và phần cảm được đấu nối theo phương pháp song song**. Tuy nhiên muốn máy phát hình thành được điện áp lúc đầu, **máy phát phải thỏa mãn các điều kiện tự kích**.

4.4.1. ĐIỀU KIỆN TỰ KÍCH CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ SONG SONG:

Điều kiện tự kích của máy phát kích từ song song bao gồm 4 điều kiện sau:

- ✚ Trong mạch từ của máy phát **phải tồn tại từ trường dư** ($\Phi_{\text{dư}}$).
- ✚ **Chiều đầu dây** của phần cảm và phần ứng **phải phù hợp để gia tăng từ trường của phần cảm** trong quá trình tự kích.
- ✚ **Chiều quay của động cơ sơ cấp phải tương thích với chiều đầu dây** giữa phần cảm với phần ứng và **tốc độ quay phải đủ lớn**.
- ✚ Nếu trên mạch phần cảm có dùng **biến trở điều chỉnh kích từ**, **tri số biến trở phải đủ nhỏ để hình thành quá trình tự kích**.

4.4.1.1. ĐIỀU KIỆN TỒN TẠI TỪ TRƯỜNG DƯ:



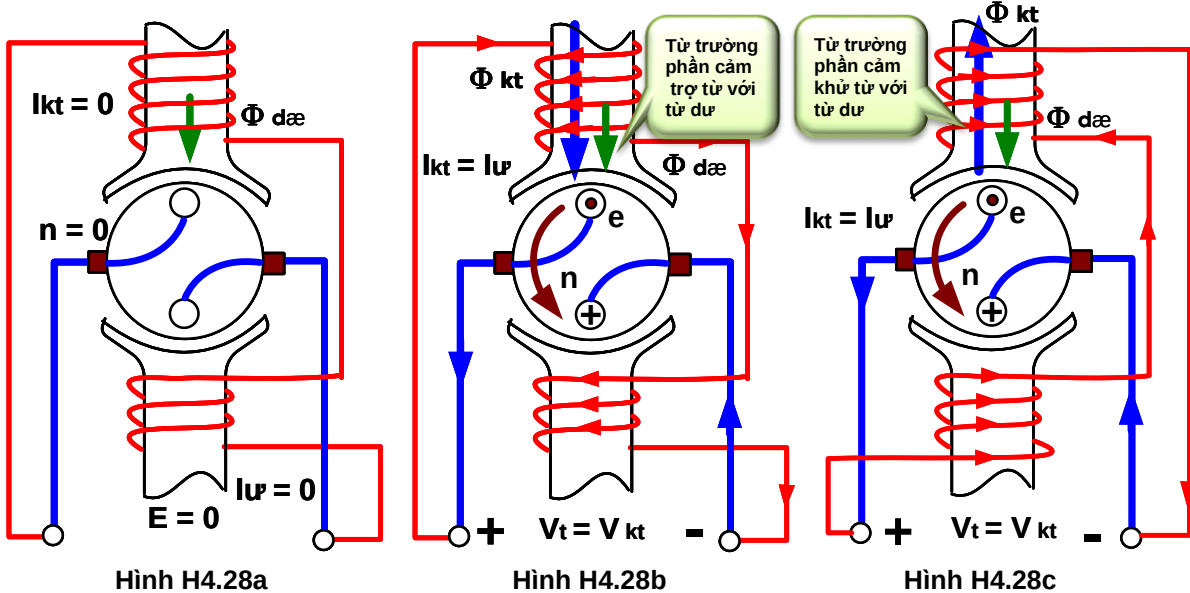
HÌNH H4.27: Từ trường dư trong mạch từ của máy phát điện kích từ song song.

Giả sử khi máy phát đang hoạt động cấp nguồn đến tải, dòng kích thích qua phần cảm hình thành từ thông kích thích. Hướng của từ thông kích thích trình bày trong hình H4.27.

Khi máy phát ngừng hoạt động, dòng kích thích qua phần cảm triệt tiêu, nhưng **trong mạch từ vẫn tồn tại một lượng từ trường dư** tại phần cảm. Hiện tượng tương tự như **quá trình nhiễm từ trong lõi sắt non** khi được **từ hóa bằng dòng một chiều**.

4.4.1.2. ĐIỀU KIỆN VÀ CHIỀU ĐẤU NỐI DÂY PHẦN CẢM VÀ PHẦN ỨNG:

Khi khảo sát chiều đấu nối dây quấn phần cảm và phần ứng, **chiều quay của động cơ sơ cấp dùng kéo máy phát duy trì không thay đổi**. Trong hình H4.28, ta có các hình vẽ trình bày các trạng thái sau đây:



HÌNH H4.28: Ảnh hưởng phương pháp đấu nối phần cảm để trợ từ hay khử từ trường dư.

✚ Hình H4.28 a, trình bày kết cấu của máy phát đang **đứng yên không hoạt động, mạch từ tồn tại từ trường dư**.

✚ Hình H4.28b, trình bày từ trường phần cảm sinh ra khi máy phát được quay bởi động cơ sơ cấp và hình thành sức điện động. **Từ trường phần cảm có tính trợ từ với từ trường dư** đang tồn tại trong mạch từ.

✚ Hình H4.28c, trình bày **từ trường phần cảm có tính khử từ từ trường dư** đang tồn tại trong mạch từ. Sơ đồ đấu nối song song phần cảm và phần ứng trong các hình H4.28b và H4.28c **ngược cực tính** với nhau.

Quá trình thành lập sức điện động ở phần ứng được tiến hành theo trình tự sau:

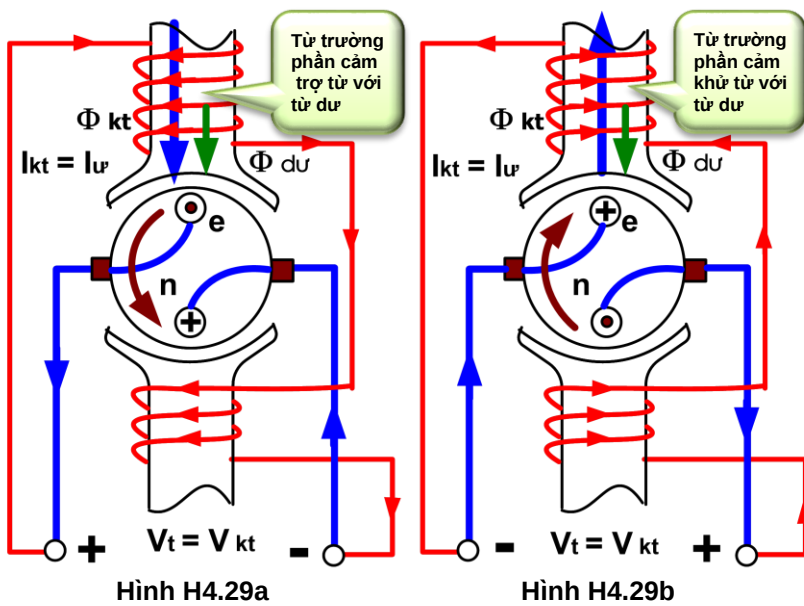
- Ban đầu, giả sử mạch từ tồn tại từ trường dư. Khi động cơ sơ cấp quay phần ứng, các thanh dẫn phần ứng cắt đường sức của từ trường dư tạo thành sức điện động cảm ứng E_{du}
- Do phần cảm đấu song song với phần ứng và khi chưa nối tải vào phần ứng, nên có thể xem **phần cảm là tải của phần ứng**. Như vậy khi sức điện động E_{du} sinh ra sẽ tạo dòng điện kích thích qua phần cảm. Dòng điện kích thích này tiếp tục hình thành từ thông kích thích Φ_{kt}
- Tùy thuộc vào chiều quấn dây của phần cảm và cách thức đấu nối phần cảm với phần ứng, từ thông Φ_{kt} sinh ra cùng hướng (**trợ từ**); hay ngược hướng (**khử từ**) với từ thông Φ_{du} .

✚ Nếu các thành phần từ thông Φ_{kt} và Φ_{du} cùng hướng, **từ thông tổng của phần cảm** gia tăng có khuynh hướng **tiếp tục gia tăng sức điện động** E trên phần ứng. Đây là **quá trình hồi tiếp dương**, hệ thống sẽ ổn định khi các giá trị dòng kích từ qua mạch phần cảm và sức điện động E trên phần ứng thỏa phương trình cân bằng áp:

$$E = (R_u + R_f) \cdot I_{kt} \quad (4.17)$$

✚ Trường hợp ngược lại, khi các thành phần từ thông Φ_{kt} và Φ_{du} ngược hướng, **từ thông Φ_{kt} khi sinh ra làm triệt tiêu từ thông Φ_{du}** ngay từ đầu. **Từ thông tổng trên phần cảm triệt tiêu**, phần ứng không hình thành được sức điện động E .

4.4.1.3. ĐIỀU KIỆN VỀ CHIỀU QUAY CỦA ĐỘNG CƠ SƠ CẤP:



HÌNH H4.29: Tương tác giữa từ trường phần cảm và từ trường dư khi thay đổi chiều quay của động cơ sơ cấp, nhưng duy trì sơ đồ đấu nối phản ứng và phần cảm.

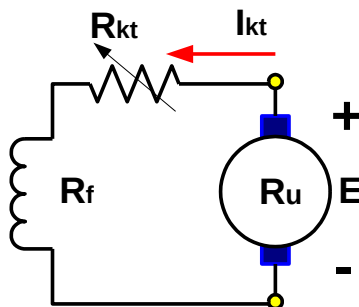
Trong trường hợp này, giả sử **điều kiện chiều đầu nối dây quấn phần cảm và phần ứng đang ở trạng thái thích hợp**, thay đổi chiều quay của động cơ sơ cấp, khảo sát các phản ứng trợ từ, khử từ giữa từ thông phần cảm với từ trường dư. Trong hình H4.29 a, tương ứng với sơ đồ đấu nối giữa phần ứng và phần cảm **khi quay phản ứng theo chiều ngược kim đồng hồ**, sức điện động tại phần ứng tạo **dòng kích từ qua phần cảm có khuynh hướng tạo thành từ thông kích thích trợ từ với từ thông dư** làm tăng giá trị của sức điện động E trong quá trình tự kích ban đầu.

Trong hình H4.29 b khi **quay phản ứng theo chiều kim đồng hồ**, **sức điện động sinh ra trên phần ứng đối cực tính giữa hai chổi than**, làm **đổi hướng dòng qua dây quấn kích từ** nên **từ thông kích từ đối hướng tạo hiện tượng khử từ với từ trường dư**. Như vậy sức điện động E không hình thành do **từ thông kích thích tổng triệt tiêu**.

4.4.1.4. ĐIỀU KIỆN VỀ GIÁ TRỊ BIẾN TRỞ ĐIỀU CHỈNH NỐI TIẾP DÂY QUẤN PHẦN CẢM:

Trong trường hợp trên mạch phần cảm có biến trở điều chỉnh (**dùng thay đổi dòng kích từ và từ thông kích thích**), khi **duy trì chiều quay và tốc độ quay của động cơ sơ cấp không đổi**, sức điện động trên phần ứng sinh ra trong quá trình tự kích phụ thuộc vào giá trị của biến trở chỉnh kích thích trên mạch phần cảm. Giả sử máy phát điện thỏa các điều kiện sau:

- Chiều đầu nối phần cảm và phần ứng, phối hợp chiều quay của phần ứng đang tương ứng với trạng thái từ thông phần cảm trợ từ với từ trường dư.
- Tốc độ quay của động cơ sơ cấp đủ lớn để hình thành quá trình tự kích.
- Giá trị của biến trở điều chỉnh dòng kích thích đủ lớn để hình thành sức điện động cảm ứng trong quá trình tự kích.



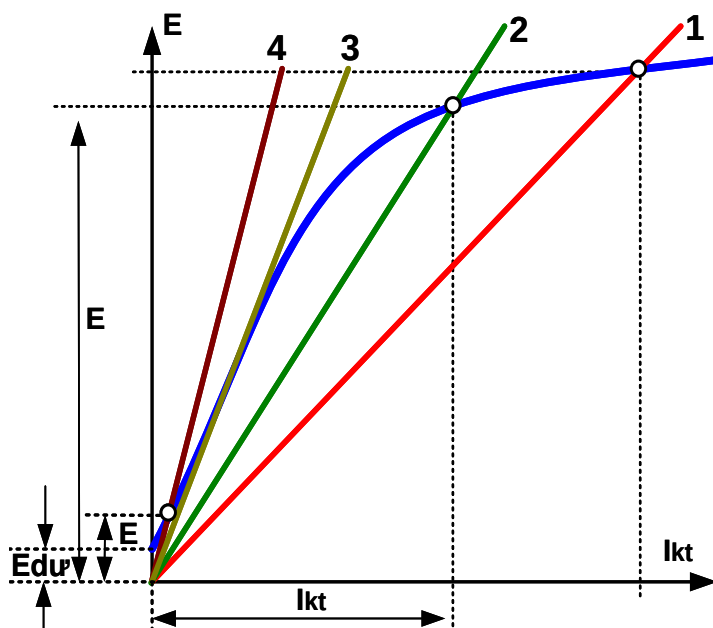
HÌNH H4.30

Trong quá trình tự kích, **sức điện động sinh ra vừa thỏa đặc tuyến không tải và vừa thỏa phương trình cân bằng áp giữa phần ứng và phần cảm**.

Ta có:

$$E = (R_{\text{ư}} + R_{\text{f}} + R_{\text{kt}}) \cdot I_{\text{kt}} \quad (4.18)$$

Do điểm làm việc của máy phát phải nằm trên các đường đặc tuyến không tải, **như vậy giá trị sức điện động và dòng điện kích thích không tải là tọa độ giao điểm của hai đặc tuyến**: Đặc tuyến không tải $E = f(I_{\text{kt}})$ và đặc tuyến Volt Ampère mô tả theo quan hệ (4.18).



HÌNH H4.31: Xác định điểm làm việc không tải.

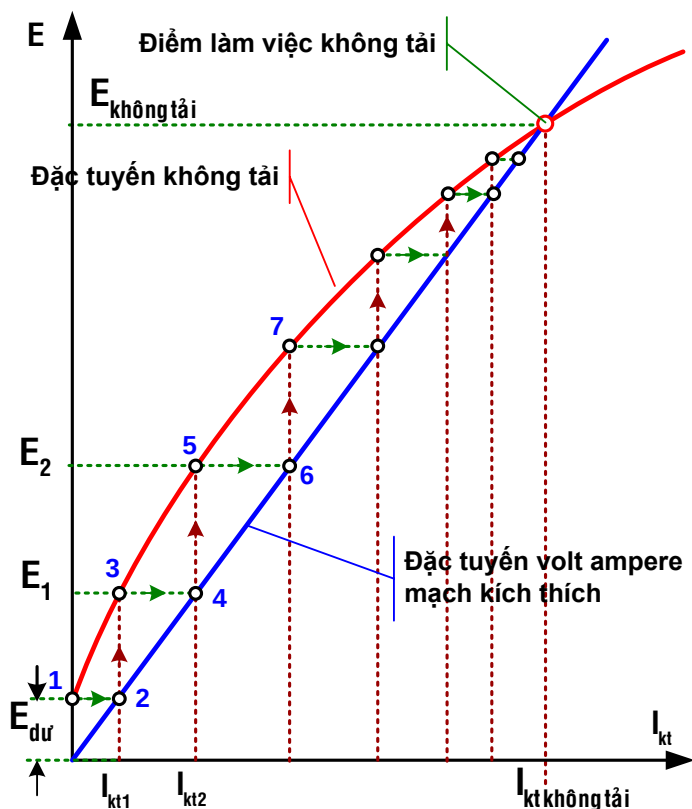
Trong hình H4.31, trình bày giao điểm của hai đặc tuyến vừa nêu trên để xác định sức điện động E của máy phát điện không tải. **Thay đổi độ dốc của đặc tuyến Volt Ampère (4.18) bằng cách điều chỉnh thay đổi giá trị của biến trở R_{kt} .**

Với đường đặc tuyến 1, **độ dốc thấp nhất** (tương ứng với giá trị của biến trở R_{kt} nhỏ nhất), đường 1 và đặc tuyến không tải cắt nhau tại vị trí có giá trị E và I_{kt} **lớn nhất**.

Với đường đặc tuyến 2, **độ dốc tăng cao hơn** ứng với giá trị của biến trở R_{kt} gia tăng; giao điểm của đường 2 và đặc tuyến không tải cắt nhau tại vị trí có giá trị E và I_{kt} **nhỏ hơn so với giao điểm của đường 1** với đặc tuyến không tải.

Khi gia tăng giá trị của biến trở R_{kt} cao hơn, thí dụ với đường 4, giao điểm của đường 4 với đặc tuyến không tải có giá trị E **rất thấp**. Trường hợp này, xem như **sức điện động trên hai đầu phần ứng không thành lập**.

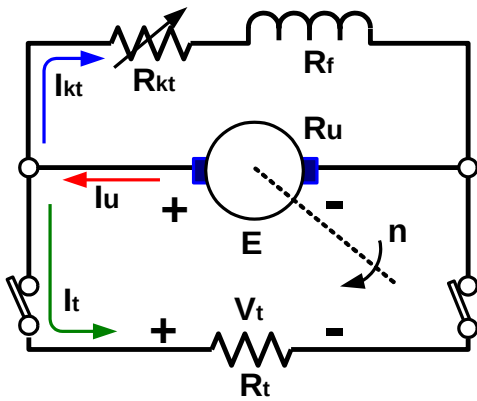
Với giá trị thích hợp của biến trở R_{kt} ta có đặc tuyến 3 **tiếp xúc với đặc tuyến không tải**; đây là **giới hạn biên giữa hai trạng thái** hình thành sức điện động E và trạng thái không thành lập sức điện động E . Tương ứng với đặc tuyến 3 trong hình H4.31, giá trị điện trở R_{kt} trong trường hợp này được gọi là **giá trị điện trở kích thích tới hạn** để **hình thành quá trình tự kích**.



HÌNH H4.32: Diễn tiến quá trình tự kích trong máy phát DC kích từ song song.

Trong hình H4.32 trình bày diễn tiến của quá trình tự kích theo từng giai đoạn khi điều chỉnh giá trị biến trở R_{kt} thích hợp. Khi bắt đầu quá trình tự kích, từ thông dư tạo thành sức điện động E_{dur} , tương ứng với giá trị này, theo quan hệ (4.18) dòng điện kích thích qua phần cảm có giá trị là I_{kt1} . Ứng với giá trị dòng I_{kt1} theo đặc tuyến không tải, sức điện động tạo được là $E_1 > E_{dur}$. Lý luận tương tự như trên, với giá trị sức điện động E_1 sinh ra, theo (4.18) dòng qua phần cảm gia tăng đến $I_{kt2} > I_{kt1}$. **Quá trình tiếp tục cho đến khi hệ thống ổn định** tại giao điểm của hai đặc tuyến. Quá trình tự kích của máy phát điện DC kích từ song song **tương tự như quá trình tự kích** của máy phát điện đồng bộ (đã khảo sát trong chương 3).

4.4.2. CÁC PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ÁP VÀ DÒNG:



HÌNH H4.33

Khi máy phát kích từ song song mang tải, trên mạch phần ứng có thêm biến trở điều chỉnh thay đổi từ thông kích thích, các phương trình cân bằng áp và dòng được viết như sau:

□ Mạch phần ứng:

$$E = V + R_u \cdot I_u \quad (4.19)$$

$$E = K_E \cdot \Phi_{kt} \cdot n \quad (4.20)$$

□ Mạch phần cảm và phụ tải:

$$V_t = R_{tải} \cdot I_t = (R_f + R_{kt}) \cdot I_{kt} \quad (4.21)$$

□ Phương trình cân bằng dòng:

$$I_u = I_t + I_{kt} \quad (4.22)$$

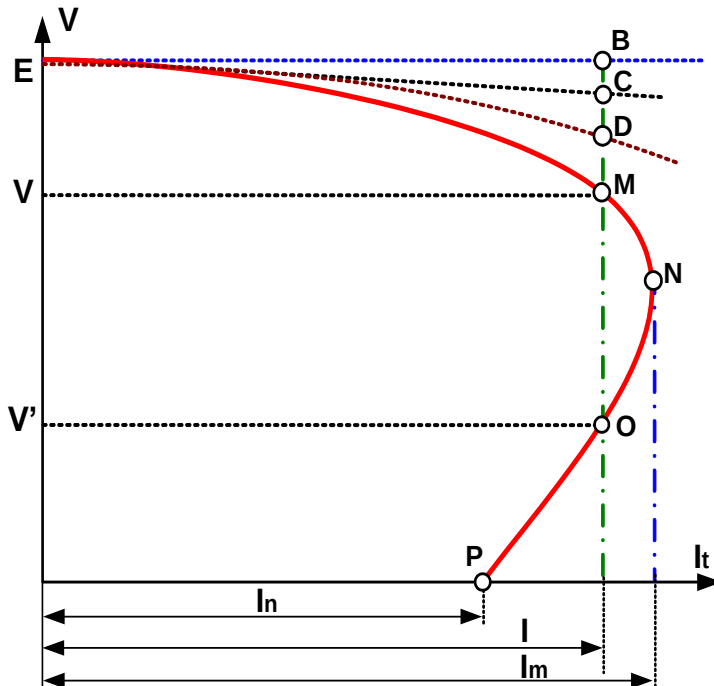
Dòng điện I_{kt} tạo ra từ thông kích thích Φ_{kt} .

4.4.3. CÁC ĐẶC TUYẾN MÁY PHÁT KÍCH TỪ SONG SONG:

4.4.3.1. ĐẶC TUYẾN KHÔNG TẢI:

Đặc tuyến không tải mô tả quan hệ giữa sức điện động E trên phần ứng với dòng kích thích I_{kt} , có dạng tương tự như đặc tuyến không tải của máy phát kích từ độc lập.

4.4.3.2. ĐẶC TUYẾN TẢI HAY ĐẶC TUYẾN NGOÀI:



HÌNH H4.34: Đặc tuyến ngoài máy phát kích từ song song.

Tương tự như đặc tuyến tải của máy phát kích từ độc lập, đặc tuyến tải (hay đặc tuyến ngoài) của máy phát kích từ song song là đồ thị mô tả quan hệ giữa áp V_t trên hai đầu tải theo dòng điện I_t qua tải. Ý nghĩa của các thành phần gây sự thay đổi điện áp khi mang tải của máy phát kích từ song song.

✚ BC: độ giảm áp sinh ra do

$R_u \cdot I_u$.

✚ CD: độ giảm áp sinh ra do phản ứng phần ứng.

✚ DM: độ giảm áp sinh ra do dòng kích thích I_{kt} bị giảm thấp.

Các giá trị dòng điện đặc biệt đo được trên đặc tính ngoài

✚ I_n : dòng ngắn mạch của máy phát.

✚ I_m : giá trị dòng tải cực đại.

Đặc tính tải của máy phát kích từ song song được xây dựng qua thí nghiệm.

✚ Đầu tiên khi chưa nối tải vào máy phát, duy trì tốc độ động cơ sơ cấp không đổi và bằng giá trị chọn trước ($n = \text{hằng số}$); điều chỉnh thay đổi giá trị biến trở R_{kt} cho đến khi sức điện động E trên hai đầu phần ứng bằng giá trị chọn trước. Sau đó duy trì và không thay đổi biến trở R_{kt} (duy trì từ thông Φ_{kt} không đổi).

Giá trị của sức điện động E nhận được trên hai cực phần ứng được gọi là điện áp không tải V_0 của máy phát ($E = V_0$). Ta có các quan hệ sau:

$$E = (R_{\text{tr}} + R_f + R_{\text{kt}}) \cdot I_{\text{kt}} = V_0 \quad (4.23)$$

Nếu tính gần đúng bỏ qua giá trị của điện trở phần ứng R_{tr} so với các giá trị điện trở R_f và R_{kt} , ta có thể ghi:

$$E = V_0 \cong (R_f + R_{\text{kt}}) \cdot I_{\text{kt}} \quad (4.24)$$

✚ Bây giờ nối tải vào hai đầu máy phát, điều chỉnh thay đổi điện trở tải và ghi nhận giá trị dòng tải, áp V trên hai đầu tải. **Độ thay đổi điện áp trên tải khi so sánh giá trị V với V_0** gây nên do ba nguyên nhân như sau:

- ❖ Dòng I_{tr} qua phần ứng sinh ra độ sụt áp trên điện trở phần ứng R_{tr} (đoạn BC).
- ❖ Dòng I_{tr} qua dây quấn phần ứng tạo phản ứng phần ứng làm thay đổi từ thông kích thích làm giảm giá trị sức điện động E (đoạn CD).
- ❖ Ngoài ra từ quan hệ dòng điện kích thích qua dây quấn phần cảm:

$$I_{\text{kt}} = \frac{V}{R_f + R_{\text{kt}}} \quad (4.25)$$

Khi hai nguyên nhân trên gây hiện tượng giảm giá trị E làm áp V trên tải giảm thấp, sự kiện này kéo theo dòng điện kích thích qua phần cảm giảm thấp. **Từ thông kích thích giảm thấp đưa đến hậu quả sức điện động E giảm giá trị nhanh.** Trên hình H4.34 đoạn DM đặc trưng cho **sự giảm áp V do dòng kích thích giảm thấp.**

✚ Nếu tiếp tục tăng dòng tải đến các giá trị cao hơn, sự giảm áp tăng nhanh và đặc tuyến ngoài qua các điểm M, N, O. Đặc biệt tại vị trí N dòng tải có **giá trị tối đa**, sau đó nếu tiếp tục giảm giá trị của điện trở tải, dòng điện phần ứng gia tăng, nhưng dòng điện qua tải giảm thấp. Tác dụng gây giảm áp do dòng điện I_{tr} tại thời điểm này rất mạnh.

✚ Nếu **tiếp tục giảm điện trở tải, áp V trên đầu tải tiến tới giá trị bằng 0** và dòng điện **qua tải là dòng ngắn mạch I_n** (điểm P trên đặc tuyến ngoài hình H4.34).

Trên hình H4.34, tại các điểm M và O mặc dù có cùng giá trị dòng tải, nhưng **điểm O làm việc không ổn định** và **điểm M là điểm làm việc ổn định**. Thường đoạn đặc tuyến ngoài từ N đến P được gọi là đoạn đặc tuyến phía dưới của đặc tuyến ngoài. Tại khu vực này máy phát làm việc không ổn định.

Với đặc tuyến này, **máy phát điện DC kích từ song song thích hợp cho chế độ máy phát điện một chiều dùng làm máy hàn hồ quang điện**. Khu vực hoạt động ổn định cho máy phát điện DC kích từ song song không thuộc các khu vực sau:

- ✚ Không nằm trên đoạn tuyến tính của đặc tuyến không tải.
- ✚ Không nằm trên phần dưới của đặc tuyến ngoài.

4.5. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ NỐI TIẾP :

Máy phát điện một chiều kích từ nối tiếp có các đặc điểm như sau:

✚ **Dây quấn kích thích phần cảm đấu nối tiếp với phần ứng.** Dòng qua mạch phần ứng, qua tải và qua phần cảm cùng giá trị : $I_{\text{tr}} = I_{\text{kt}} = I_t$.

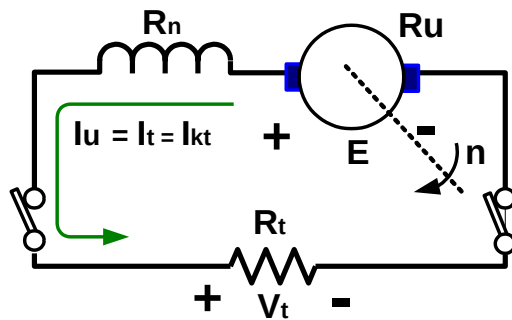
Như vậy, về cấu tạo: **dây quấn phần cảm có tiết diện lớn, ít vòng**, điện trở dây quấn kích thích nối tiếp **có giá trị rất bé**, tương tự như điện trở R_{tr} của phần ứng.

✚ **Máy phát điện kích từ nối tiếp chỉ sinh ra điện áp khi được nối vào tải. Máy phát không có chế độ vận hành không tải.**

✚ Mạch điện đấu nối với tải của máy phát kích từ nối tiếp, xem hình **H4.35 có dạng giống như mạch điện không tải của máy phát kích từ song song**. Do đó muốn hình thành điện áp cho máy phát kích từ nối tiếp, cũng cần phải trải qua **quá trình tự kích** và thỏa các điều kiện tự kích (như vừa trình bày trong mục điều kiện tự kích của máy phát kích từ song song).

✚ Muốn xác định quan hệ $E = f(I_{kt})$ của máy phát kích từ nối tiếp, cần phải tiến hành thí nghiệm máy phát trong điều kiện kích từ độc lập.

4.5.1. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ÁP:



HÌNH H4.35

Trong hình **H4.35**, ta có:

✚ R_n : điện trở của dây quấn kích thích nối tiếp.

✚ R_r : điện trở của dây quấn phần ứng.

Phương trình cân bằng áp bao gồm:

$$E = V_t + (R_n + R_r) \cdot I_t \quad (4.26)$$

Với:

$$I_t = I_{kt} = I_r \quad (4.27)$$

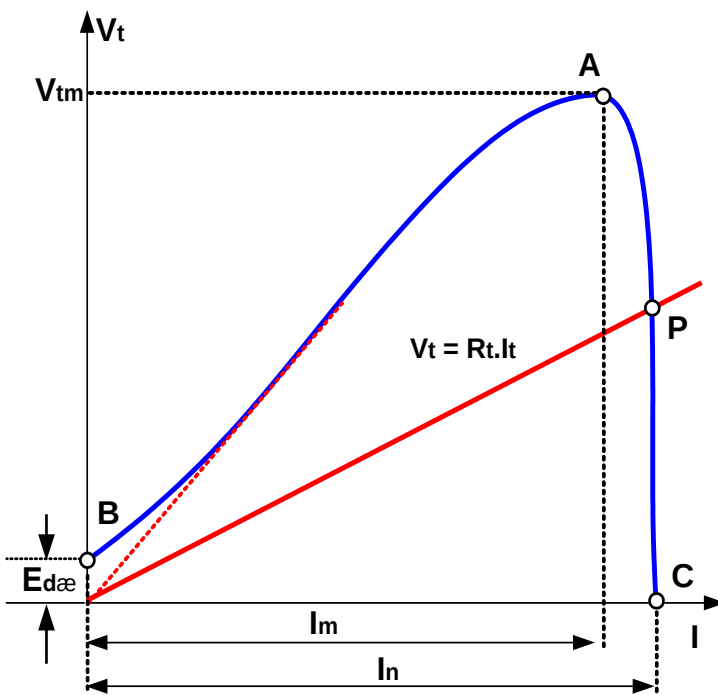
và:

$$E = K_E \cdot \Phi_{kt} \cdot n \quad (4.28)$$

4.5.2. ĐẶC TÍNH NGOÀI :

Muốn xây dựng đặc tính ngoài của máy phát kích từ song song bằng thực nghiệm, cần tiến hành tuân tự các bước sau:

✚ Thực hiện mạch điện như hình **H4.35**, **điều chỉnh giá trị điện trở tải đến mức tối đa**; dùng động cơ sơ cấp quay phần ứng đến tốc độ n (tương ứng giá trị định trước). Xác định áp $E_{d\alpha}$ tạo bởi từ trường dư.



HÌNH H4.36: Đặc tuyến ngoài máy phát kích từ nối tiếp.

✚ **Giảm dần tải** để đạt được **giá trị điện trở tải hạn thực hiện quá trình tự kích**, khi sức điện động E sinh ra trên phần ứng và hình thành điện áp V_t trên tải, **tiến hành điều chỉnh thay đổi điện trở tải** và ghi nhận các cặp giá trị (V_t, I_t) để xây dựng đặc tính ngoài cho máy phát. Đặc tuyến ngoài của máy phát kích từ nối tiếp được trình bày trong hình **H4.36**. Có thể chia đặc tuyến này thành hai khu vực.

❖ **KHU VỰC 1**: đoạn **AB** có dạng gần giống như đặc tuyến không tải, được gọi là **đoạn tăng áp**.

❖ **KHU VỰC 2**: đoạn **AC**, áp V_t giảm nhanh trong khi dòng qua tải tăng rất chậm, đoạn **AC** được gọi là **đoạn ổn định dòng của máy phát** hay có thể nói **máy phát dòng điện không đổi**.

Công dụng của máy phát điện một chiều được trình bày tóm tắt như sau:

❖ Khi máy phát vận hành trên đoạn **AB**, máy có **tính năng tăng áp theo dòng tải**. Khi hoạt động với tính năng này, máy phát điện kích từ nối tiếp được đấu nối tiếp với máy phát điện khác trước khi đấu đến tải. Khi dòng tải gia tăng, sức điện động trên hai cực máy gia tăng đủ để bù với độ giảm áp sinh ra trên đường dây truyền đến tải. Với công dụng này ta nói máy phát điện kích từ nối tiếp hoạt động như máy tăng giảm điện áp một chiều.

Điểm làm việc khi mang tải của máy phát một chiều kích từ nối tiếp là giao điểm giữa đặc tuyến ngoài của máy phát với đặc tuyến Volt Ampère của tải (điểm **P** trên hình **H4.36**).

❖ Đoạn **AC** có **tính ổn định dòng** được giải thích như sau:

✚ Khi tải giảm giá trị, dòng qua tải tăng, máy phát trong **trạng thái bảo hòa** nên sức điện động **E** có giá trị không đổi.

✚ Mặt khác khi dòng tải gia tăng, phản ứng phản ứng và sụt áp trên R_a và R_n tăng nhanh. Do đó áp V_t **trên tải giảm thấp trong khi dòng qua tải tăng.**

❖ Trường hợp máy phát điện hoạt động trên đoạn **AC**, tính năng **tương thích với các loại tải cần duy trì dòng điện làm việc không đổi** khi **áp đặt ngang qua hai đầu tải thay đổi trong phạm vi lớn**. Đoạn đặc tuyến này tương thích với tải hàn điện hồ quang. Khi vận hành máy phát một chiều như máy hàn điện, ta cần thiết kế để gia tăng phản ứng phản ứng làm điện áp sinh ra giữa hai cực máy phát giảm nhanh trong lúc dòng qua tải đang tăng; với mục tiêu này **dòng qua tải bị khống chế và duy trì không đổi.**

4.6. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ HỖN HỢP:

Máy phát kích từ hỗn hợp có thể xem là máy phát điện một chiều áp dụng tổng hợp tính năng của máy phát kích từ song song và nối tiếp.

✚ Về cấu tạo, trên phần cảm được lắp hai bộ dây quấn kích thích: **dây quấn kích thích song song** (nhiều vòng dây, điện trở có giá trị lớn, dây quấn có tiết diện bé, được đấu song song với phần ứng); **dây quấn kích thích nối tiếp** (ít vòng dây, điện trở có giá trị rất bé, dây quấn có tiết diện lớn được đấu nối tiếp với phần ứng).

✚ Tùy theo, cách đấu nối mạch giữa phần cảm và phần ứng, máy phát kích từ hỗn hợp được phân loại theo các dạng sau:

❖ Nếu căn cứ theo **hướng của từ thông kích từ** được tạo bởi dây quấn kích từ song song và nối tiếp, ta có hai dạng máy phát kích từ hỗn hợp: **máy phát kích từ hỗn hợp cộng và máy phát kích từ hỗn hợp trừ.**

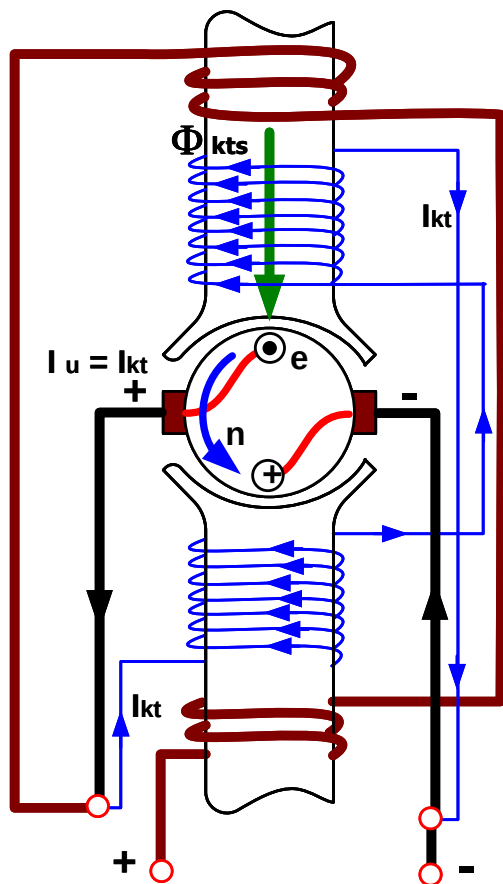
❖ Nếu căn cứ **theo sơ đồ nối mạch** giữa phần cảm và phần ứng, ta có **máy phát kích từ hỗn hợp mắc rẽ ngắn và mắc rẽ dài.**

Trong hình **H4.37**, trình bày sơ đồ đấu nối các dây quấn kích thích nối tiếp và song song của phần cảm với phần ứng. Sơ đồ thực hiện thuộc dạng kích thích hỗn hợp mắc rẽ ngắn.

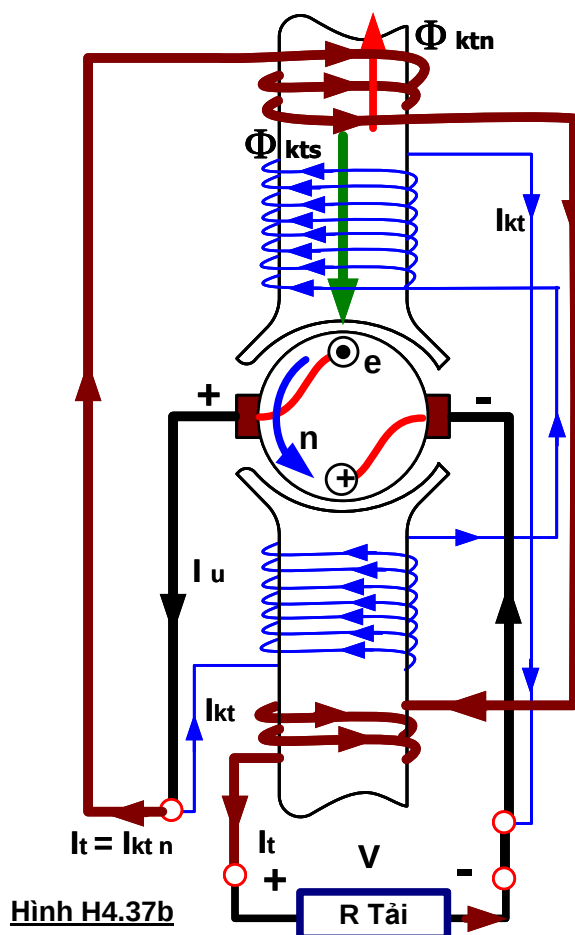
❖ **HÌNH H4.37 a:** trình bày sơ đồ đấu nối máy phát kích từ hỗn hợp khi chưa có tải. Dòng **qua dây quấn kích từ song song lúc không tải chính là dòng qua dây quấn phần ứng** ($I_{kt} = I_a$). Tại trạng thái này, **chưa có dòng qua dây quấn kích thích nối tiếp** máy phát vận hành **tương tự như máy phát kích từ song song.**

❖ **HÌNH 4.37 b:** trình bày trạng thái mang tải của máy phát, **dòng qua tải cũng là dòng qua dây quấn kích thích nối tiếp**, dòng qua phần ứng tại trạng thái này bằng tổng giá trị của dòng qua dây quấn kích thích song song và dòng qua tải. Do cách đấu dây giữa các dây quấn kích thích, từ thông tạo ra trên phần cảm do dây quấn kích thích song song và nối tiếp có hướng ngược nhau; ta gọi **máy phát ở trạng thái kích từ hỗn hợp trừ.**

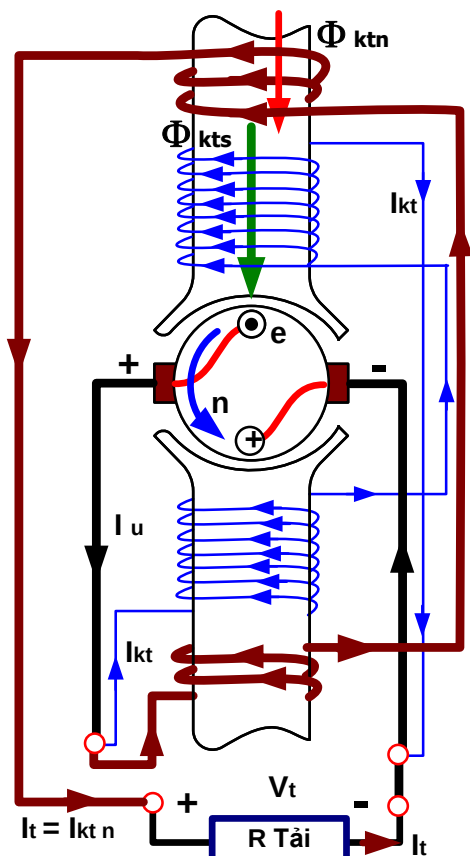
❖ **HÌNH 4.37 c:** trình bày trạng thái máy phát **kích từ hỗn hợp cộng (từ thông tạo bởi dây quấn kích thích song song và nối tiếp cùng hướng).**



Hình H4.37a



Hình H4.37b

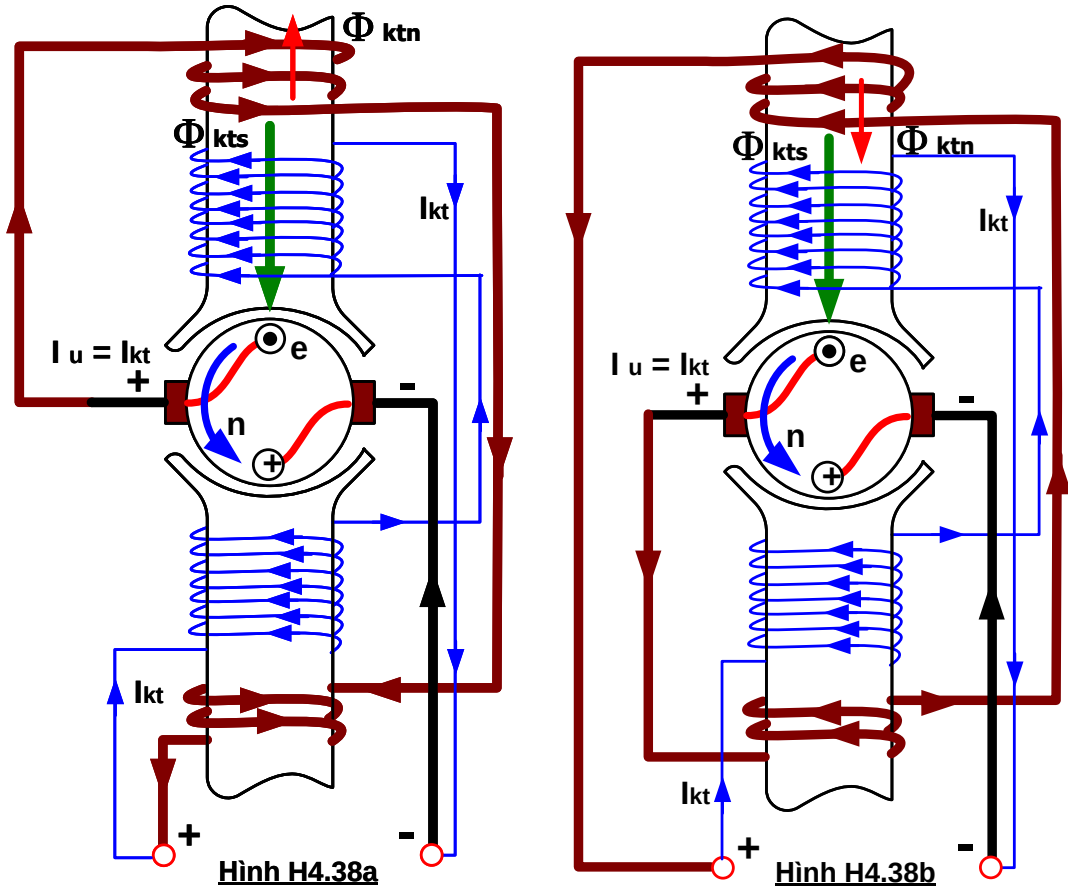


Hình H4.37c

Trong hình H4.38, trình bày sơ đồ nối dây của máy phát kích từ hỗn hợp mắc rẽ dài: phần ứng đầu nối tiếp với dây quấn kích thích nối tiếp, dây quấn kích thích song song đầu song song với hệ thống phần ứng và dây quấn kích thích nối tiếp.

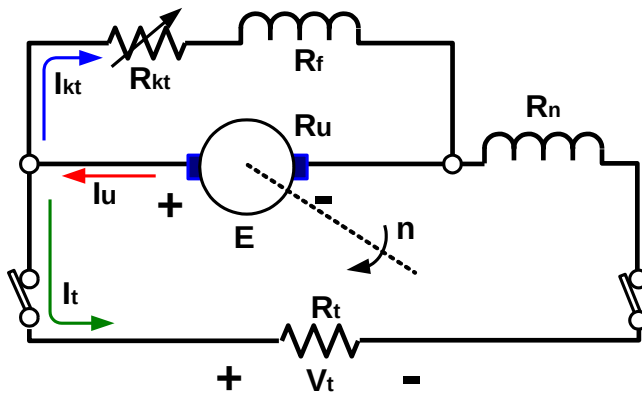
Trong hình H4.38a, ta có sơ đồ đấu dây theo **dạng kích từ hỗn hợp trừ**.

Trong hình H4.38b trình bày sơ đồ đấu dây theo **dạng kích từ hỗn hợp cộng**. Tại trạng thái không tải, do dòng kích thích có giá trị nhỏ nên ảnh hưởng khử từ hay trợ từ giữa dây quấn kích thích song song và dây quấn kích thích nối tiếp chưa rõ ràng. Trong **trạng thái không tải**, từ thông kích thích tạo bởi **dây quấn kích từ song song tác động chủ yếu**. Tác động của **từ thông kích thích nối tiếp** chủ yếu **chỉ tác động mạnh khi máy phát mang tải**.



HÌNH H4.38: Sơ đồ nối dây phần cảm và phần ứng máy phát kích từ hỗn hợp, mắc rẽ dài.

4.6.1. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ÁP VÀ DÒNG CỦA MÁY PHÁT KÍCH TỪ HỖN HỢP:



HÌNH H4.39: Máy phát kích từ hỗn hợp mắc rẽ ngắn.

Ta có:

$$E = V + R_u \cdot I_u + R_n \cdot I_{t\text{ải}} \quad (4.29)$$

$$E = R_u \cdot I_u + (R_f + R_{kt}) \cdot I_{kt} \quad (4.30)$$

$$E = K_E \cdot (\Phi_{kts} \pm \Phi_{ktn}) \cdot n \quad (4.31)$$

$$I_u = I_{kt} + I_{t\text{ải}} \quad (4.32)$$

Với máy phát kích từ hỗn hợp mắc rẽ ngắn, sơ đồ mạch tương đương (xem hình H4.39) và các phương trình cân bằng áp và dòng được trình bày như sau, trong đó:

R_f : điện trở dây quấn kích thích song song.

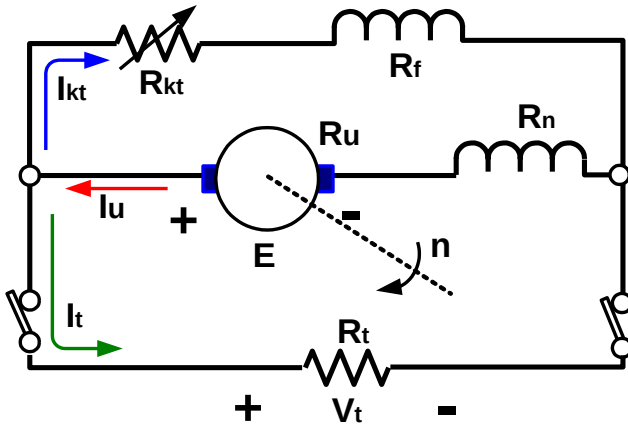
R_{kt} : biến trở ngoài dùng điều chỉnh dòng kích thích song song.

R_n : điện trở dây quấn kích thích nối tiếp.

R_u : điện trở dây quấn phần ứng.

Φ_{kts} : Từ thông kích thích do dây quấn kích thích song song tạo ra.

Φ_{ktn} : Từ thông kích thích do dây quấn kích thích nối tiếp tạo ra.



HÌNH H4.40: Máy phát kích từ hỗn hợp mắc rẽ dài.

Với máy phát kích từ hỗn hợp mắc rẽ dài, mạch tương đương (hình **H4.30**); các phương trình cân bằng áp và dòng được trình bày như sau, trong đó :

R_f : điện trở dây quấn kích thích song song.

R_{kt} : biến trở ngoài dùng điều chỉnh dòng kích thích song song.

R_n : điện trở dây quấn kích thích nối tiếp.

R_u : điện trở dây quấn phần ứng.

Φ_{kts} : Từ thông kích thích do dây quấn kích thích song song tạo ra.

Φ_{ktn} : Từ thông kích thích do dây quấn kích thích nối tiếp tạo ra.

Ta có:

$$E = V + (R_u + R_n) \cdot I_u \quad (4.33)$$

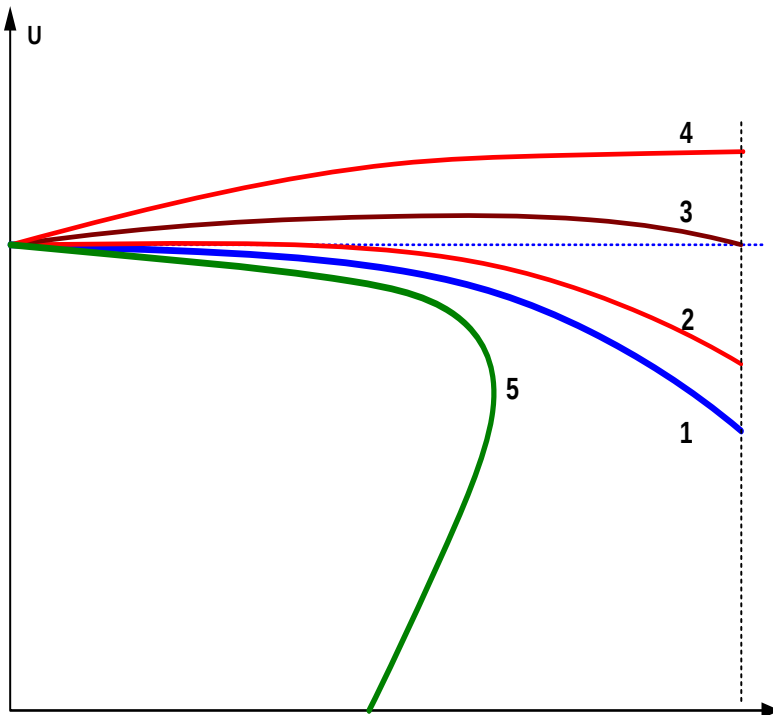
$$V = (R_f + R_{kt}) \cdot I_{kt} = R_{tài} \cdot I_{tài} \quad (4.34)$$

$$E = K_E \cdot (\Phi_{kts} \pm \Phi_{ktn}) \cdot n \quad (4.35)$$

$$I_u = I_{kt} + I_{tài} \quad (4.36)$$

4.6.2. ĐẶC TÍNH NGOÀI CỦA MÁY PHÁT KÍCH TỪ HỖN HỢP:

Tùy thuộc vào dạng kích từ hỗn hợp cộng hay trừ, dạng đặc tuyến ngoài của máy phát thay đổi rất nhiều. Trong hình **H4.41**, chúng ta so sánh đặc tuyến ngoài của máy phát kích từ song song với máy phát kích từ hỗn hợp cộng và trừ.



Đường 1: Đặc tính ngoài của máy phát điện kích thích song song.

Đường 2: Đặc tính ngoài của máy phát điện kích thích hỗn hợp cộng thiếu.

Đường 3: Đặc tính ngoài của máy phát điện kích thích hỗn hợp cộng vừa.

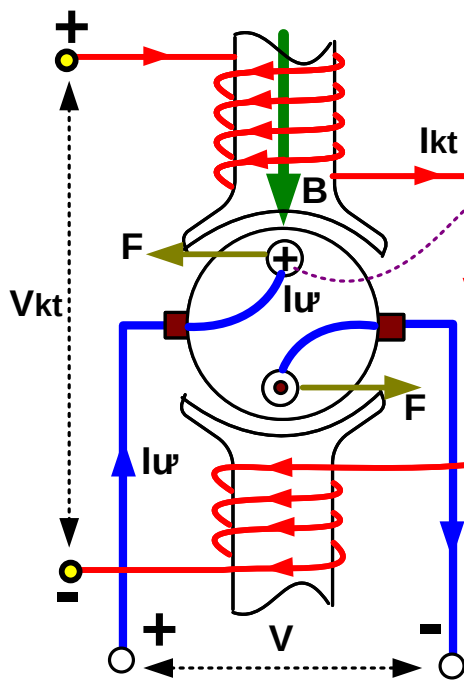
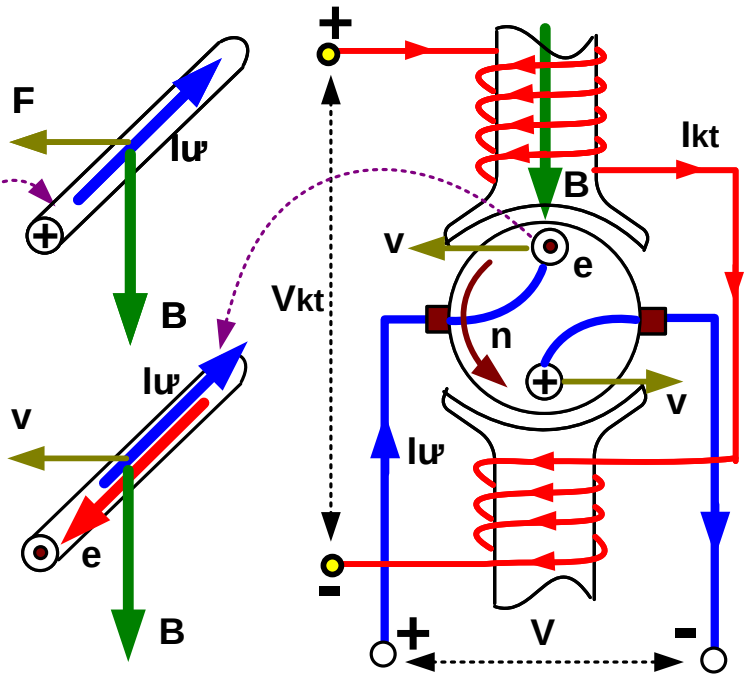
Đường 4: Đặc tính ngoài của máy phát điện kích thích hỗn hợp cộng thừa.

Đường 5: Đặc tính ngoài của máy phát điện kích thích hỗn hợp trừ.

HÌNH H4.41: Đặc tính ngoài của máy phát điện.

4.7. NGUYÊN TẮC HOẠT ĐỘNG CỦA ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU :**4.7.1. QUÁ TRÌNH ĐIỆN TỬ:**

Quá trình điện tử dùng giải thích nguyên tắc hoạt động động cơ một chiều được trình bày như sau:

**Hình H4.42a****Hình H4.42b****HÌNH H4.42 :** Nguyên tắc hoạt động của động cơ một chiều.

➤ Đầu tiên, **cấp nguồn áp một chiều vào dây quấn phần cảm để tạo ra từ trường kích thích Φ_{kt}** . Đồng thời **cấp nguồn áp một chiều vào hai đầu phần ứng để tạo dòng điện I_r qua các thanh dẫn trên phần ứng**.

➤ Các **thanh dẫn phần ứng mang dòng điện I_r và đặt trong từ trường kích thích sẽ chịu tác động của lực điện từ F** (xem hình H4.42a) và tạo thành momen làm quay phần ứng.

➤ Khi phần ứng quay, **các thanh dẫn trên phần ứng cùng di chuyển cắt đường sức từ trường phần cảm nên trên các thanh dẫn hình thành các sức phản điện e** (hình H4.42b).

Biểu thức xác định sức phản điện trung bình xuất hiện trên hai đầu phần ứng được xác định tương tự theo quan hệ (4.6) và (4.9) đã trình bày trong mục 4.2.

Cần chú ý hướng của dòng I_r qua thanh dẫn phần ứng so với hướng của sức điện động cảm ứng e sinh ra trên chính thanh dẫn đó. Vì **hướng của dòng I_r và sức điện động ngược nhau**, điều này chứng tỏ **sức điện động e đang nhận năng lượng từ nguồn ngoài**, như vậy trong trường hợp này **e được gọi là sức phản điện**.

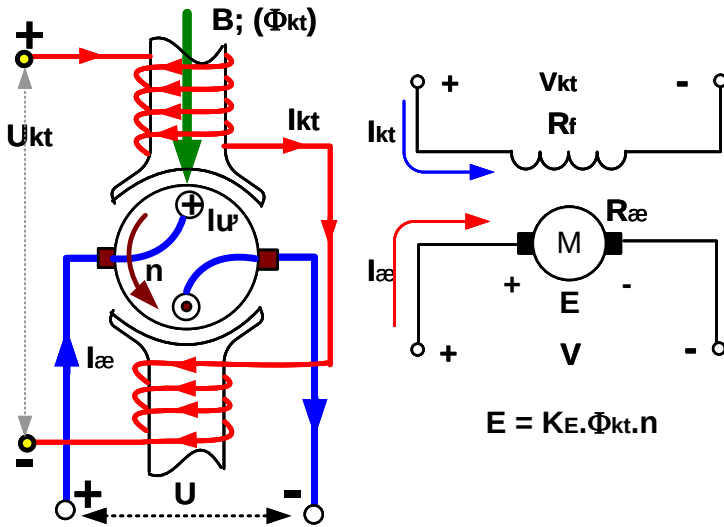
4.7.2. PHÂN LOẠI ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU:

Tương tự, như trường hợp máy phát điện một chiều, tùy thuộc vào sơ đồ nối dây giữa phần ứng với phần cảm; chúng ta phân loại động cơ như sau:

- Động cơ một chiều kích từ độc lập.
- Động cơ một chiều kích từ song song.
- Động cơ một chiều kích từ nối tiếp.
- Động cơ một chiều kích từ hỗn hợp.

4.8. ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KÍCH TỪ ĐỘC LẬP :

4.8.1. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG DÒNG, ÁP:



HÌNH H4.43: Mạch tương đương động cơ DC kích từ độc lập.

Tương tự như máy phát điện kích từ độc lập, **phần cảm và phản ứng của động cơ một chiều kích từ độc lập được cung cấp bằng các nguồn áp một chiều riêng biệt.** Mạch điện tương đương của động cơ một chiều kích từ độc lập được trình bày trong hình H4.43. Các phương trình cân bằng dòng và áp được xác định như sau, trong đó:

R_f : là điện trở của dây quấn kích thích (phần cảm).

R_a : điện trở dây quấn phần ứng.

n : tốc độ quay của rotor hay tốc độ của động cơ.

Φ_{kt} : từ thông kích thích tạo bởi dây quấn phần cảm và dòng điện kích thích I_{kt} .

$$V_{kt} = R_f \cdot I_{kt} \quad (4.37)$$

$$E = K_E \cdot \Phi_{kt} \cdot n \quad (4.38)$$

$$V = E + R_a \cdot I_a \quad (4.39)$$

4.8.2. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG CÔNG SUẤT – HIỆU SUẤT:

Từ phương trình cân bằng áp trên mạch phần ứng, quan hệ (4.39), nhân hai vế cho dòng ứng I_a , ta có:

$$V \cdot I_a = E \cdot I_a + R_a \cdot I_a^2 \quad (4.40)$$

Đặt: $P_{\text{điện từ}} = E \cdot I_a \quad (4.41)$

$P_{\text{điện từ}}$: công suất điện từ tiêu thụ trên phần ứng.

$V \cdot I_a$: công suất điện cung cấp từ nguồn cho phần ứng.

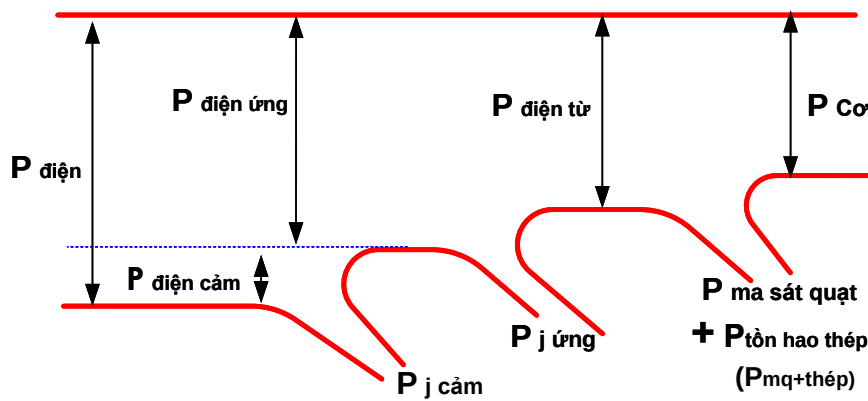
$R_a \cdot I_a^2$: công suất nhiệt tiêu thụ trên điện trở R_a phần ứng.

Tóm lại, phương trình cân bằng công suất trên phần ứng là:

$$\begin{aligned} P_{\text{điện ứng}} &= V \cdot I_a \\ P_{\text{ứng}} &= R_a \cdot I_a^2 \\ P_{\text{điện ứng}} &= P_{\text{điện từ}} + P_{\text{ứng}} \end{aligned} \quad (4.42)$$

Vì động cơ thuộc dạng kích từ độc lập, điện năng cung cấp cho động cơ lấy từ hai nguồn khác nhau, do đó tổng điện năng cấp cho động cơ gồm điện năng cấp cho phần cảm. Điện năng cấp vào phần cảm chính là tổn hao trên điện trở dây quấn phần cảm R_f . Ta có:

$$P_{\text{điện cảm}} = P_{\text{cảm}} = V_{kt} \cdot I_{kt} = R_f \cdot I_{kt}^2 \quad (4.43)$$



HÌNH H4.44 : Giản đồ phân bố công suất

Căn cứ vào các quan hệ (4.41), (4.42) và (4.43) để xây dựng giản đồ phân bố công suất.

Từ giản đồ này cho thấy **công suất điện từ trên phần ứng** chính là **công suất cơ đưa ra trên trục nhưng chưa trừ đi tổn hao ma sát cơ** (tổn hao ma sát trên ổ bi, quạt gió giải nhiệt..) **và tổn hao thép** của động cơ.

Khi trừ đi các thành phần tổn hao này vào công suất điện từ, phần còn lại chính là **công suất cơ hữu ích** đưa ra trên trục của động cơ.

Hiệu suất của động cơ được định nghĩa như sau:

$$\eta = \frac{P_{cơ}}{P_{điện}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_{điện cảm} + P_{điện ứng}} = \frac{P_2}{P_{điện cảm} + P_{j ứng} + P_{mq} + P_{thép} + P_2} \quad (4.44)$$

Trong đó $P_{cơ} = P_2$ và $P_{điện} = P_1$

THÍ DỤ 4.4:

Cho động cơ một chiều kích từ độc lập có các thông số định mức như sau:

- ✚ Điện áp định mức (cấp vào phần ứng) : $V_{đm} = 120 \text{ V}$.
- ✚ Dòng điện định mức (qua phần ứng) : $I_{đm} = 40 \text{ A}$.
- ✚ Điện trở dây quấn phần ứng : $R_u = 0,25 \Omega$.
- ✚ Điện áp cấp vào phần cảm : $V_{kt} = 100 \text{ V}$.
- ✚ Điện trở dây quấn kích thích : $R_f = 100 \Omega$.
- ✚ Công suất định mức của động cơ là : $P_{đm} = 4 \text{ kW}$

a./ Hiệu suất của động cơ khi mang tải định mức.

b./ Tổn hao ma sát cơ và tổn hao thép lúc tải định mức.

GIẢI:

a./ Hiệu suất của động cơ tại tải định mức:

✚ **Công suất định mức** chính là **công suất cơ ra trên trục động cơ** khi tải định mức.

✚ **Công suất điện** cấp cho động cơ bao gồm tổng công suất điện cung cấp cho phần cảm và phần ứng, ta có:

$$P_{điện} = P_{điện ứng} + P_{điện cảm} = V_{đm} \cdot I_{đm} + V_{kt} \cdot I_{kt} = 120 \cdot 40 + 100 \cdot \frac{100}{100} = 4900 \text{ W}$$

✚ Hiệu suất của động cơ tại điểm định mức là:

$$\eta = \frac{P_{cơ}}{P_{điện}} = \frac{P_{đm}}{P_{điện}} = \frac{4000}{4900} = 0,8163 \quad \text{Tóm lại:} \quad \eta \% = 81,63\%$$

b./ Tổn hao thép và tổn hao ma sát cơ tại tải định mức:

Muốn xác định tổng tổn hao ma sát cơ và tổn hao thép cần dựa vào giản đồ phân bố công suất. Đầu tiên xác định sức phản điện trên phần ứng khi tải định mức:

$$E = V_{đm} - R_u \cdot I_{đm} = 120 - 0,25 \cdot 40 = 110 \text{ V}$$

Công suất điện từ tại điểm định mức được xác định theo quan hệ (4.41):

$$P_{\text{điện từ}} = E \cdot I_{\text{ư}} = E \cdot I_{\text{đm}} = 110 \cdot 40 = 4400 \text{ W}$$

Tổn hao ma sát cơ, quạt gió và tổn hao thép xác định theo quan hệ sau:

$$P_{\text{mq+thép}} = P_{\text{điện từ}} - P_{\text{cơ}} = P_{\text{điện từ}} - P_{\text{đm}} = 4400 - 4000 = 400 \text{ W}$$

4.8.2. ĐẶC TÍNH TỐC ĐỘ :

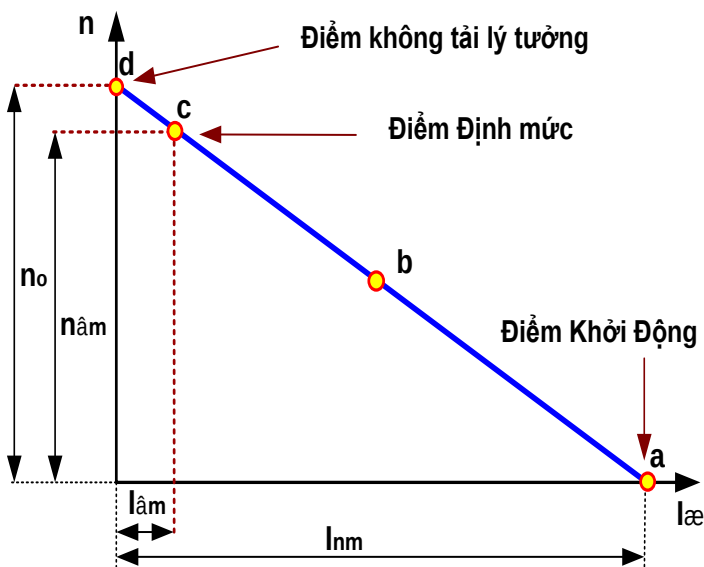
Đặc tính tốc độ của động cơ là đồ thị mô tả quan hệ giữa **tốc độ quay n** của động cơ với **dòng điện $I_{\text{ư}}$** qua mạch phần ứng.

Đặc tính tốc độ được xây dựng bằng cách khử E trong các quan hệ (4.38) và (4.39):

$$n = \frac{V - R_{\text{ư}} \cdot I_{\text{ư}}}{K_E \cdot \Phi_{\text{kt}}} \quad (4.44)$$

Hay

$$n = \left(\frac{-R_{\text{ư}}}{K_E \cdot \Phi_{\text{kt}}} \right) \cdot I_{\text{ư}} + \left(\frac{V}{K_E \cdot \Phi_{\text{kt}}} \right) \quad (4.45)$$



HÌNH H4.45: Đặc tính tốc độ động cơ DC kích từ độc lập.

Đồ thị của đặc tính tốc độ có dạng đường thẳng $y = Ax + B$, $A < 0$ và $B > 0$. Đặc tuyến này đi qua hai điểm đặc biệt.

❖ Giao điểm của đồ thị với trục hoành (trục dòng điện $I_{\text{ư}}$):

Khi $n = 0$, ta có $I_{\text{ư}} = \frac{V}{R_{\text{ư}}}$; tại vị trí

này **động cơ không quay** ($n = 0$) nhưng **vẫn có dòng điện qua mạch phần ứng**. Điểm làm việc này tương ứng với **điểm khởi động động cơ**, dòng điện tính được gọi là **dòng điện mở máy trực tiếp** của động cơ **qua phần ứng** hay **dòng ngắn mạch phần ứng** tại thời điểm khởi động (mở máy). Ta có quan hệ sau:

$$I_{\text{ư}}|_{\text{khởi động}} = I_{\text{nm}} = \frac{V}{R_{\text{ư}}} \quad (4.46)$$

❖ Giao điểm của đồ thị với trục tung (trục tốc độ n): Khi $I_{\text{ư}} = 0$, ta có tốc độ :

$$n|_{\text{không tải}} = n_0 = \frac{V}{K_E \cdot \Phi_{\text{kt}}} \quad (4.47)$$

Muốn hiểu được ý nghĩa của giao điểm đồ thị với trục tung, cần quan sát đặc tính tốc độ động cơ trong hình H4.45. Tại **thời điểm bắt đầu khởi động (điểm a)**; **dòng mở máy (hay khởi động trực tiếp) qua phần ứng** có giá trị là I_{nm} . Khi rotor đã quay, **tốc độ động cơ tăng dần**, trong khi **dòng qua phần ứng giảm dần** (đoạn **ab** trên hình H4.45).

Tại chế độ không tải, động cơ không mang tải trên trục, **tốc độ động cơ tiếp tục tăng** và dòng qua phần ứng giảm thấp hơn giá trị định mức, điểm làm việc trên đoạn **cd**. Tóm lại, **lúc không tải điểm làm việc của động cơ** trên đặc tính tốc độ **nằm gần vị trí d**.

Tại chế độ không tải **điểm làm việc của động cơ không thể ở đúng vị trí d**, vì tại đây **dòng điện qua mạch phần ứng là $I_u = 0$** (không có dòng điện qua các thanh dẫn phần ứng) như vậy không hình thành lực điện từ để tạo momen quay rotor. Thực sự động cơ chỉ **tiến về vùng cân của điểm d** trong quá trình hoạt động không tải.

Tóm lại: **điểm d được gọi là điểm không tải lý tưởng**; tốc độ động cơ tại d là n_0 được gọi là **tốc độ không tải lý tưởng**.

4.8.3. ĐẶC TÍNH MOMEN THEO DÒNG PHẦN ỨNG :

Gọi P_{dt} là **công suất điện từ** tạo bởi phần ứng, ta có:

$$P_{dt} = E \cdot I_u \quad (4.48)$$

Với n là tốc độ động cơ khi đang mang tải ứng với công suất điện từ vừa xác định theo quan hệ (4.48), ta có momen điện từ được xác định như sau:

$$M_{dt} = 9,55 \cdot \frac{P_{dt}}{n} = 9,55 \cdot \frac{E \cdot I_u}{n} \quad (4.49)$$

Trong đó, $[M_{dt}] = [N.m]$; $[P_{dt}] = [W]$; $[n] = \left[\frac{\text{vòng}}{\text{phút}} \right]$, ta viết lại quan hệ (4.49):

$$M_{dt} = 9,55 \cdot \frac{K_E \cdot \Phi_{kt} \cdot n \cdot I_u}{n} = 9,55 \cdot K_E \cdot \Phi_{kt} \cdot I_u \quad (4.50)$$

Khi bỏ qua ảnh hưởng ma sát cơ, quan hệ giữa momen điện từ theo dòng qua phần ứng có dạng đường thẳng qua gốc tọa độ $y = Ax$ ($A > 0$).

4.8.4. ĐẶC TÍNH CƠ :

Từ các quan hệ (4.45) và (4.50) suy ra **quan hệ giữa momen điện từ theo tốc độ** của động cơ, **đặc tính này gọi là đặc tính cơ** của động cơ. Ta có quan hệ sau:

$$n = \left(\frac{-R_u}{K_E \cdot \Phi_{kt}} \right) \cdot \left(\frac{M_{dt}}{9,54 \cdot K_E \cdot \Phi_{kt}} \right) + \left(\frac{V}{K_E \cdot \Phi_{kt}} \right) \quad (4.51)$$

Đặt:

$$K_M = K_E \cdot \Phi_{kt} \quad (4.52)$$

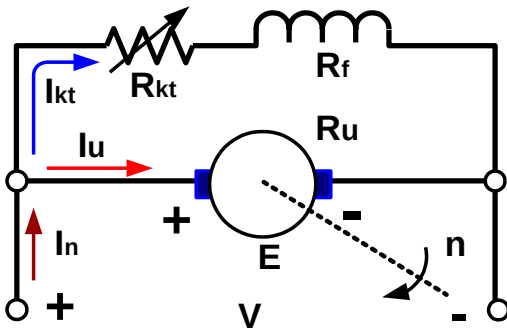
Suy ra:

$$n = \left(\frac{-R_u \cdot M_{dt}}{9,54 \cdot K_M^2} \right) + \left(\frac{V}{K_M} \right) \quad (4.53)$$

Từ quan hệ (4.53) cho thấy **đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ độc lập** có dạng đường thẳng $y = Ax + B$ ($A < 0$; $B > 0$)

4.9. ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KÍCH TỪ SONG SONG :

Tương tự như động cơ kích từ độc lập, **phần cảm và phần ứng của động cơ một chiều kích từ song song được cấp bởi duy nhất một nguồn áp một chiều.**



HÌNH H4.46

Mạch điện tương đương của động cơ một chiều kích từ song song được trình bày trong hình H4.46. Trong đó:

R_f : là điện trở của dây quấn kích thích (phần cảm).

R_{kt} : là điện trở ngoài nối tiếp phần cảm.

R_u : điện trở dây quấn phần ứng.

n : tốc độ quay của rotor (vận tốc của động cơ).

Φ_{kt} : từ thông kích thích tạo bởi dây quấn phần cảm và dòng điện kích thích I_{kt} .

4.9.1. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG DÒNG, ÁP:

Các phương trình cân bằng dòng và áp xây dựng từ mạch tương đương của động cơ DC kích từ song song ghi nhận như sau:

$$V = (R_f + R_{kt}) \cdot I_{kt} \quad (4.54)$$

$$V = E + R_u \cdot I_u \quad (4.56)$$

Trong đó

$$E = K_E \cdot \Phi_{kt} \cdot n$$

$$I_n = I_u + I_{kt} \quad (4.57)$$

Dòng I_n là dòng từ nguồn cấp đến động cơ .

Đối với mạch kích thích **khí không cần điều chỉnh thay đổi tốc độ động cơ bằng cách thay đổi từ thông kích thích**, ta chỉnh cho $R_{kt} = 0$, không đấu nối tiếp điện trở ngoài với mạch phần cảm.

4.9.2. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG CÔNG SUẤT – HIỆU SUẤT:

Từ phương trình cân bằng áp của mạch phần ứng, nhân hai vế của quan hệ (4.54) cho dòng I_u , ta có:

$$V \cdot I_u = E \cdot I_u + R_u \cdot I_u^2$$

Từ (4.57) suy ra:

$$V \cdot (I_n - I_{kt}) = E \cdot I_u + R_u \cdot I_u^2 \quad (4.58)$$

Hay

$$V \cdot I_n = E \cdot I_u + R_u \cdot I_u^2 + V \cdot I_{kt} \quad (4.59)$$

Cần chú ý đến ý nghĩa của các tích số trong quan hệ (4.59).

Công suất điện cấp vào động cơ:

$$P_1 = P_{\text{điện}} = V \cdot I_n \quad (4.60)$$

Công suất điện từ hay công suất cơ tổng đưa ra trục động cơ nhưng chưa trừ ma sát cơ, quạt gió và tổn hao thép.

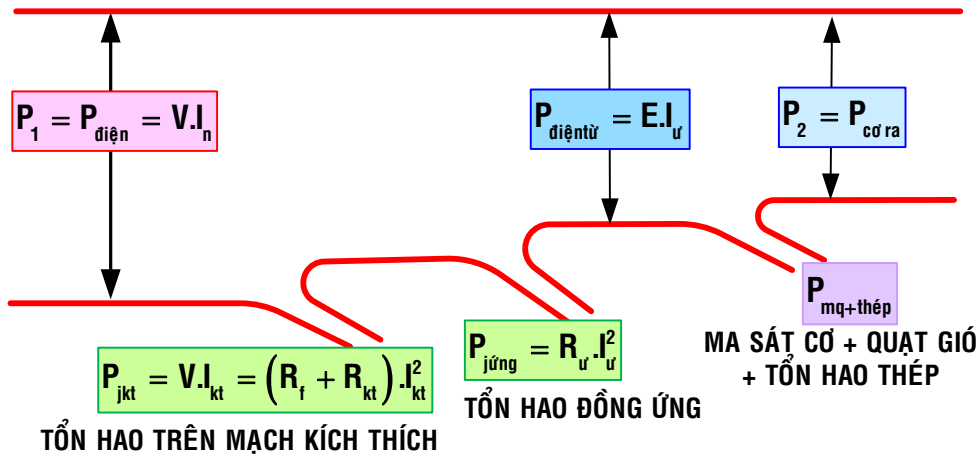
$$P_{dt} = P_{\text{điện từ}} = E \cdot I_u \quad (4.61)$$

Tổn hao trên dây quấn phần ứng do tác dụng Joule, tổn hao đồng trên phần ứng:

$$P_{j\text{ ứng}} = R_u \cdot I_u^2 \quad (4.62)$$

Tổn hao trên mạch kích thích:

$$P_{j\text{ kt}} = V \cdot I_{\text{kt}} = (R_f + R_{\text{kt}}) \cdot I_{\text{kt}}^2 \quad (4.63)$$



HÌNH H4.47 : Giản đồ phân bố năng lượng động cơ DC kích từ song song

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\text{Công suất cơ ra (đã trừ } P_{\text{mq+Thép}})}{\text{Công suất điện cấp vào động cơ}} \quad (4.64)$$

Phần trăm hiệu suất:

$$\eta\% = \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \cdot 100 \quad (4.65)$$

4.9.3. CÁC ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC :

Các đặc tính làm việc của động cơ DC kích từ song song gồm: đặc tính tốc độ, đặc tính momen điện từ theo dòng phần ứng và đặc tính cơ có quan hệ hoàn toàn giống như các đặc tính của động cơ kích từ độc lập. Tham khảo lại các mục 4.82 ; 4.8.3 ; 4.8.4.

THÍ DỤ 4.5:

Cho động cơ một chiều kích từ song song có các thông số định mức như sau:

- ✚ Công suất định mức: $P_{\text{đm}} = 12 \text{ kW}$
- ✚ Áp định mức: $V_{\text{đm}} = 240 \text{ V}$
- ✚ Dòng vào định mức: $I_{\text{đm}} = 61 \text{ A}$
- ✚ Tốc độ định mức: $n_{\text{đm}} = 1000 \text{ vòng/phút}$
- ✚ Điện trở dây quấn kích thích: $R_f = 240 \Omega$.

Khi **không đấu nối tiếp điện trở ngoài với mạch phần cảm** và vận hành động cơ mang tải định mức, tổn hao trên dây quấn phần ứng bằng **54,54%** tổn hao tổng. Lúc động cơ mang tải định mức, xác định:

- Điện trở dây quấn phần ứng.
- Sức phản điện trên phần ứng.
- Tổn hao ma sát cơ và thép.
- Momen điện từ và momen cơ trên trục động cơ.

GIẢI**CÂU a: Điện trở dây quấn phản ứng**

- ✚ Công suất điện cấp vào động cơ lúc tải định mức (hay đầy tải):

$$P_1 = V_{dm} \cdot I_{dm} = 240 \cdot 61 = 14640 \text{ W}$$

- ✚ Tổng tổn hao: $\sum T_{\text{tổn hao}} = P_1 - P_{dm} = 14640 - 12000 = 2640 \text{ W}$

- ✚ Dòng điện kích thích: $I_{kt} = \frac{V_{dm}}{R_f} = \frac{240}{240} = 1 \text{ A}$

- ✚ Dòng điện qua phần ứng lúc tải định mức: $I_u = I_{dm} - I_{kt} = 61 - 1 = 60 \text{ A}$

- ✚ Tổn hao trên dây quấn phản ứng lúc đầy tải:

$$P_{ju} = 0,5454 \cdot \sum T_{\text{tổn hao}} = 0,5454 \cdot 2640 = 1439,85 \approx 1440 \text{ W}$$

- ✚ Điện trở dây quấn phản ứng: $R_u = \frac{P_{ju}}{I_u^2} = \frac{1440}{60^2} = 0,4 \Omega$

CÂU b: Sức phản điện E

- ✚ Sức phản điện phản ứng: $E = U_{dm} - R_u \cdot I_u = 240 - 0,4 \cdot 60 = 216 \text{ V}$

CÂU c: Tổn hao ma sát cơ quạt gió và tổn hao thép

- ✚ Công suất điện từ lúc tải định mức: $P_{dt} = E \cdot I_u = 216 \cdot 60 = 12960 \text{ W}$

- ✚ Tổn hao ma sát cơ và thép: $P_{mq+\text{thép}} = P_{dt} - P_{dm} = 12960 - 12000 = 960 \text{ W}$

CÂU d: Momen điện từ và momen cơ

- ✚ Momen điện từ lúc tải định mức: $M_{dt} = 9,55 \cdot \left(\frac{P_{dt}}{n_{dm}} \right) = 9,55 \cdot \frac{12960}{1000} = 123,768 \text{ Nm}$

- ✚ Momen cơ ra lúc tải định mức: $M_{co} = 9,55 \cdot \left(\frac{P_{dm}}{n_{dm}} \right) = 9,55 \cdot \frac{12000}{1000} = 114,6 \text{ Nm}$

THÍ DU 4.6:

Cho động cơ một chiều kích từ song song có các thông số định mức như sau:

- ✚ Công suất định mức: $P_{dm} = 5,5 \text{ kW}$
 ✚ Áp định mức: $V_{dm} = 240 \text{ V}$
 ✚ Dòng vào định mức: $I_{dm} = 26 \text{ A}$
 ✚ Tốc độ định mức: $n_{dm} = 1500 \text{ vòng/phút}$
 ✚ Điện trở dây quấn phản ứng: $R_u = 0,4 \Omega$
 ✚ Điện trở dây quấn phản cảm: $R_f = 240 \Omega$

a./ Tính phần trăm hiệu suất động cơ lúc đầy tải (tải định mức).

b./ Dòng điện mở máy qua phần ứng và qua dây nguồn.

c./ Giả sử mạch từ không bão hòa, tìm tốc độ không tải lý tưởng của động cơ.

d./ Khi **không điều chỉnh thay đổi kích thích** và **giảm thấp tải** trên trục động cơ, biết **công suất điện từ** là **2500 W**, tính sức phản điện trên phần ứng suy ra tốc độ quay của động cơ tại lúc này.

e./ Bây giờ giả sử **động cơ mang tải** với **dòng từ nguồn cấp vào động cơ** có giá trị **bằng nửa giá trị định mức**; tìm tốc độ quay và momen điện từ của động cơ.

GIẢI

CÂU a: Phần trăm hiệu suất của động cơ lúc đầy tải

✚ Công suất điện cấp vào động cơ lúc tải định mức (hay đầy tải):

$$P_1 = V_{dm} \cdot I_{dm} = 240 \cdot 26 = 6240 \text{ W}$$

✚ Phần trăm hiệu suất của động cơ: $\eta\% = \left(\frac{P_{dm}}{P_1} \right) \cdot 100 = \left(\frac{5500}{6240} \right) \cdot 100 = 88,14 \%$

CÂU b: Dòng mở máy qua phần ứng

✚ Áp dụng quan hệ (4.46), ta có: $I_{mm \text{ ứng}} = \frac{V_{dm}}{R_r} = \frac{240}{0,4} = 600 \text{ A}$

✚ Dòng qua dây quấn kích thích: $I_{kt} = \frac{V_{dm}}{R_f} = \frac{240}{240} = 1 \text{ A}$

✚ Dòng mở máy qua dây nguồn: $I_{mm} = I_{mm \text{ ứng}} + I_{kt} = 600 + 1 = 601 \text{ A}$

CÂU c: Tốc độ không tải lý tưởng

Theo giả thiết của đầu đề: nếu **mạch từ không bão hòa** và **không điều chỉnh thay đổi dòng kích thích** (không thay đổi từ thông kích thích) thì **tốc độ quay và sức phản điện trên phần ứng tỉ lệ thuận với nhau**. Ngoài ra theo các quan hệ (4.38) và (4.47) ta suy ra:

$$\frac{n_0}{n_{dm}} = \frac{V_{dm}}{E_{\text{lúc đầy tải}}}$$

✚ Sức phản điện lúc đầy tải: $E = V_{dm} - R_u \cdot I_u = 240 - 0,4 \cdot 26 = 229,6 \text{ V}$

✚ Tốc độ không tải lý tưởng:

$$n_0 = \left(\frac{V_{dm}}{E_{\text{lúc đầy tải}}} \right) \cdot n_{dm} = \left(\frac{240}{229,6} \right) \cdot 1500 \approx 1568 \left[\frac{\text{vòng}}{\text{phút}} \right]$$

CÂU d: Sức phản điện và tốc độ quay tại lúc tải với $P_{dt} = 2500 \text{ W}$

✚ Với $P_{dt} = 2500 \text{ W}$, ta suy ra quan hệ sau: $E \cdot I_u = 2500 \text{ W}$

✚ Từ phương trình cân bằng áp phần ứng ta có:

$$V_{dm} = E + R_u \cdot I_u \text{ hay } 240 = E + 0,4 \cdot I_u$$

✚ Thu gọn hệ phương trình hai ẩn số theo E và I_u ta có phương trình bậc 2 sau đây:

$$E^2 - 240 \cdot E + 1000 = 0$$

✚ Giải phương trình bậc 2 ta có các nghiệm như sau: $E_1 = 235,758 \text{ V}$ và $E_2 = 4,24 \text{ V}$

✚ Chọn nghiệm có giá trị lớn, suy ra tốc độ động cơ bằng phương pháp lập tỉ số, ta có:

$$n = \left(\frac{E_1}{E_{\text{lúc đầy tải}}} \right) \cdot n_{dm} = \left(\frac{235,758}{229,6} \right) \cdot 1500 \approx 1540 \left[\frac{\text{vòng}}{\text{phút}} \right]$$

CÂU e: Tốc độ quay tại lúc tải với dòng từ nguồn bằng nửa định mức.

✚ Dòng qua phần ứng lúc mang tải: $I_u = I_n - I_{kt} = \left(\frac{I_{dm}}{2} \right) - I_{kt} = \frac{26}{2} - 1 = 12 \text{ A}$

✚ Sức phản điện khi mang tải với dòng qua phần ứng $I_u = 12 \text{ A}$

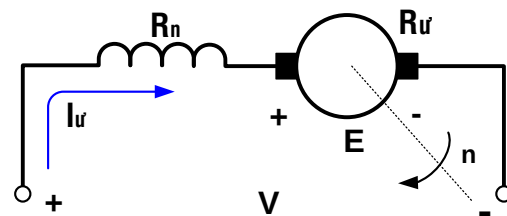
$$E = V_{dm} - R_u \cdot I_u = 240 - 0,4 \cdot 12 = 239,52 \text{ V}$$

✚ Tốc độ động cơ khi mang tải với dòng qua phần ứng $I_u = 12 \text{ A}$

$$n = \left(\frac{E}{E_{\text{lúc đẩy tải}}} \right) \cdot n_{dm} = \left(\frac{239,52}{229,6} \right) \cdot 1500 \approx 1564,8 \left[\frac{\text{vòng}}{\text{phút}} \right]$$

4.10. ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KÍCH TỪ NỐI TIẾP:

4.10.1. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG DÒNG, ÁP VÀ NĂNG LƯỢNG:



HÌNH H4.48

Với động cơ DC kích từ nối tiếp **phần cảm và phản ứng của động cơ một chiều kích từ nối tiếp được đấu nối tiếp với nhau**. Sơ đồ mạch tương đương của động cơ một chiều kích từ nối tiếp được trình bày trong hình H4.48. Các phương trình cân bằng áp của động cơ như sau:

$$V = E + (R_u + R_n) \cdot I_u \quad (4.66)$$

Vì dây quấn phần cảm nối tiếp với phần ứng nên dòng điện qua phần ứng cũng chính là dòng kích thích.

$$I_u = I_{kt} \quad (4.67)$$

Trong đó: R_n : là điện trở của dây quấn kích thích nối tiếp.

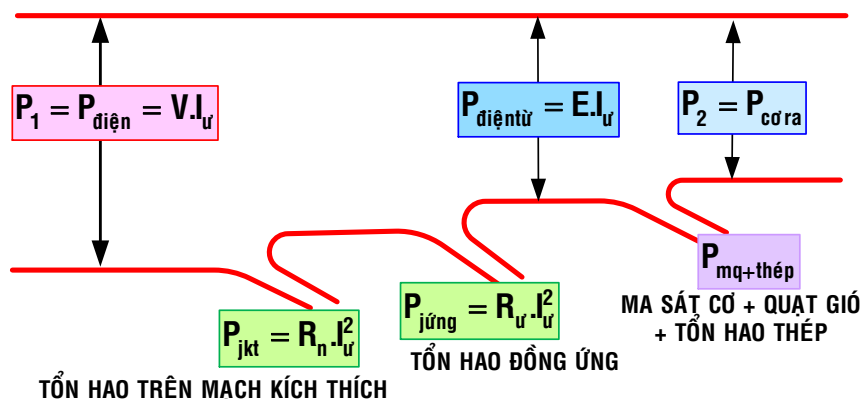
R_u : điện trở dây quấn phần ứng.

n : tốc độ quay của rotor (tốc độ quay của động cơ).

Φ_{kt} : từ thông kích thích tạo bởi dây quấn phần cảm và dòng điện kích thích I_{kt} .

Vì từ thông kích từ của động cơ kích từ nối tiếp được tạo bởi dòng ứng. Như vậy, **khí động cơ mang tải dòng phản ứng thay đổi tác động trực tiếp lên từ thông kích từ** và ảnh hưởng đến tốc độ quay.

4.10.2. GIẢN ĐỒ PHÂN BỐ CÔNG SUẤT – HIỆU SUẤT:



HÌNH H4.49 : Giản đồ phân bố công suất của động cơ DC kích từ nối tiếp

Tính toán tương tự như các trường hợp trên, ta có:

$$V.I_u = E.I_u + (R_u + R_n).I_u^2 \quad (4.69)$$

Công suất điện cấp đến động cơ:

$$P_1 = P_{\text{điện}} = V.I_u \quad (4.70)$$

Công suất điện từ hay công suất cơ đưa ra trục động cơ nhưng chưa trừ ma sát cơ, quạt gió và tổn hao thép.

$$P_{dt} = P_{\text{điện từ}} = E.I_u \quad (4.71)$$

Tổn hao trên dây quấn phần ứng do tác dụng Joule, tổn hao đồng trên phần ứng:

$$P_{\text{ứng}} = R_u.I_u^2 \quad (4.72)$$

Tổn hao trên mạch kích thích:

$$P_{\text{kt}} = R_n.I_u^2 \quad (4.73)$$

Căn cứ vào các quan hệ vừa xác định chúng ta xây dựng giản đồ phân bố năng lượng trình bày trong hình H4.39. Biểu thức tính hiệu suất xác định tương tự theo các quan hệ (4.64) và (4.65).

4.10.3. ĐẶC TÍNH TỐC ĐỘ VÀ ĐẶC TÍNH CƠ ĐỘNG CƠ KÍCH TỪ NỐI TIẾP:

Tính toán tương tự như trường hợp động cơ kích từ độc lập hay song song, đặc tính tốc độ của động cơ xác định theo quan hệ sau:

$$n = \frac{V - (R_u + R_n).I_u}{K_E \cdot \Phi_{kt}} \quad (4.74)$$

Với động cơ kích từ nối tiếp dòng ứng cũng chính là dòng kích thích tạo thành từ thông kích thích. Như vậy dòng I_u và từ thông kích thích có quan hệ với nhau. Quan hệ này chính là đặc tuyến từ hóa của vật liệu sắt từ tạo nên động cơ. Trong trường hợp **mạch từ chưa bão hòa** ta có :

$$\Phi_{kt} = A.I_u \quad (4.75)$$

A là hằng số tỉ lệ giữa dòng điện I_u và từ thông Φ_{kt} . Từ (4.64) và (4.65) suy ra :

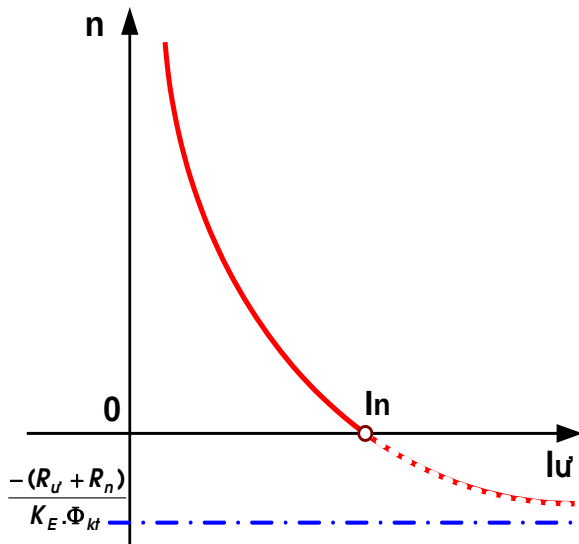
$$n = \frac{V - (R_u + R_n).I_u}{K_E \cdot A.I_u} = \left(\frac{V}{K_E \cdot A.I_u} \right) - \left(\frac{R_u + R_n}{K_E \cdot A} \right) \quad (4.76)$$

Từ quan hệ (4.66) cho thấy đường biểu diễn của **đặc tính tốc độ của động cơ DC kích từ nối tiếp** có dạng **hyperbol vuông góc**. Ta có các giới hạn tìm được như sau:

$$\lim_{i \rightarrow +\infty} n = \frac{-(R_u + R_n)}{K_E \cdot A} \quad \text{và} \quad \lim_{i \rightarrow 0^+} n = +\infty$$

Đồ thị nhận các đường thẳng sau đây làm các đường tiệm cận:

- ❖ Đường thẳng song song với trục hoành có phương trình $n = \frac{-(R_u + R_n)}{K_E \cdot A}$ là đường tiệm cận ngang của đặc tính tốc độ.
- ❖ Trục tung là đường tiệm cận đứng của đặc tính tốc độ.



HÌNH H4.50: đặc tính tốc độ của động cơ DC kích từ nối tiếp.

nhỏ) tốc độ quay của động cơ rất lớn (tiến đến giá trị vô cùng lớn).

Như vậy động cơ kích từ nối tiếp **không được vận hành tại trạng thái không tải** vì tốc độ tăng rất cao có thể phá hủy rotor, góp do tác dụng của lực ly tâm.

THÍ DỤ 4.7 :

Cho động cơ **DC** kích từ nối tiếp có các thông số định mức như sau:

- ⚡ Điện áp định mức : $V_{dm} = 220 \text{ V}$.
- ⚡ Dòng điện định mức : $I_{dm} = 86 \text{ A}$.
- ⚡ Điện trở dây quấn phần ứng: $R_u = 0,2 \Omega$.
- ⚡ Điện trở dây quấn kích thích nối tiếp : $R_n = 0,1 \Omega$.
- ⚡ Công suất định mức của động cơ : $P_{dm} = 16 \text{ kW}$.
- ⚡ Tốc độ quay định mức của động cơ : $n_{dm} = 600 \text{ vòng/phút}$.

Xác định:

a./ Dòng khởi động trực tiếp.

b./ Điện trở R_{mm} cần nối tiếp với động cơ để giảm dòng điện khởi động đến giá trị bằng $2 \cdot I_{dm}$.

c./ Khi động cơ mang tải, nếu mạch điện vẫn còn đấu nối với điện trở R_{mm} , xác định tốc độ quay của động cơ khi dòng qua động cơ đạt giá trị bằng định mức.

GIẢI

a./ Dòng điện khởi động trực tiếp của động cơ:

Từ quan hệ (4.77), suy ra: $I_{mm \text{ trực tiếp}} = I_{nm} = \frac{V}{R_u + R_n} = \frac{220}{0,2 + 0,1} = 733,3 \text{ A}$

b./ Giá trị R_{mm} để giảm dòng khởi động:

Khi nối tiếp điện trở R_{mm} với động cơ, dòng khởi động của động cơ được xác định theo quan hệ sau:

$$I_{mm} = \frac{V}{R_u + R_n + R_{mm}}$$

Suy ra:

$$R_{mm} = \left(\frac{V}{I_{mm}} \right) - (R_u + R_n) = \left(\frac{220}{2 \cdot 86} \right) - (0,2 + 0,1) = 1,279 - 0,3 = 0,979 \approx 0,98 \Omega$$

❖ Giao điểm của đồ thị với trục hoành là :

$$I_{nm} = \frac{V}{(R_u + R_n)} \quad (4.77)$$

Dòng I_{nm} được gọi là **dòng điện ngắn mạch** hay **dòng điện khởi động trực tiếp** của động cơ. Đường đặc tính tốc độ trình bày trong hình H4.50.

Từ đặc tính tốc độ chúng ta rút ra nhận xét như sau:

⚡ Trên đặc tuyến tốc độ tại các vị trí có dòng điện tải thấp, tốc độ động cơ tăng cao.

⚡ Vì đặc tuyến nhận trục tung làm đường tiệm cận, nên tại lúc **động cơ vận hành không tải** (dòng điện có giá trị rất

c./ Giá trị tốc độ khi động cơ mang tải với dòng bằng I_{dm} và động cơ nối tiếp R_{mm} :

Ta khảo sát các trạng thái sau:

❖ **TRANG THÁI 1:** Khi động cơ **không đấu nối tiếp với điện trở R_{mm}** và mang tải đúng định mức (dòng $I_{dm} = 86A$), tốc độ quay lúc đó bằng giá trị định mức $n_{dm} = 600$ vòng/phút.

❖ **TRANG THÁI 2:** Khi động cơ **đấu nối tiếp với điện trở R_{mm}** và dòng tải bằng giá trị định mức, **tốc độ quay tại trạng thái này là n** .

Vì **dòng điện kích thích** trong hai trạng thái này **cùng giá trị**, nên từ thông kích thích tại hai trạng thái này bằng nhau. Xem như **mạch từ chưa bão hòa**, lập tỉ số hai giá trị tốc độ:

$$n_{dm} = \frac{V - (R_u + R_n) \cdot I_{dm}}{K_E \cdot \Phi_{kt}} \quad \text{và} \quad n = \frac{V - (R_u + R_n + R_{mm}) \cdot I_{dm}}{K_E \cdot \Phi_{kt}}$$

Suy ra:

$$\frac{n}{n_{dm}} = \frac{V - (R_u + R_n + R_{mm}) \cdot I_{dm}}{V - (R_u + R_n) \cdot I_{dm}} = \frac{220 - (0,2 + 0,1 + 0,98) \cdot 86}{220 - (0,2 + 0,1) \cdot 86} = \frac{109,92}{194,2}$$

$$n = \frac{600 \cdot 109,92}{194,2} = 339,6 \approx 340 \text{ vòng / phút.}$$

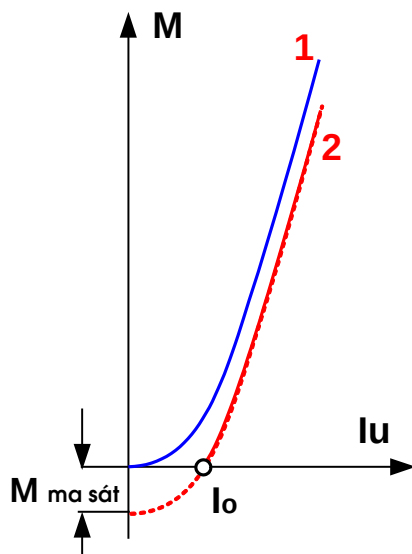
4.10.4. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ:

Đầu tiên cần xác định đặc tính momen điện từ theo dòng phần ứng, ta có :

$$M_{dt} = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{điện từ}}}{n} = 9,55 \cdot \frac{E \cdot I_u}{n} = 9,55 \cdot \frac{K_E \cdot \Phi_{kt} \cdot n \cdot I_u}{n} = (9,55 \cdot K_E \cdot A) \cdot I_u^2$$

Suy ra:
$$M_{dt} = K_M \cdot A \cdot I_u^2 \quad (4.78)$$

Khi dòng qua phần ứng có giá trị thấp **mạch từ chưa bão hòa**, giá trị **A xem là hằng số**. **Đặc tính momen điện từ** theo dòng phần ứng của động cơ DC kích từ nối tiếp **có dạng parabol đi qua gốc tọa độ** (đường 1 trong hình H4.51). Khi có tính đến ma sát cơ và tổn hao thép đặc tính momen theo tốc độ có dạng là đường 2 trong hình H4.51. Từ quan hệ (4.78) ta có:



HÌNH 4.51

$$I_u = \sqrt{\frac{M_{dt}}{K_M \cdot A}} \quad (4.79)$$

Từ (4.79) và (4.76) suy ra quan hệ :

$$n = \left(\frac{V}{K_E \cdot A \cdot \sqrt{\frac{M}{K_M \cdot A}}} \right) - \left(\frac{R_u + R_n}{K_E \cdot A} \right)$$

Tóm lại:

$$n = \left(\frac{V}{\sqrt{M} \cdot \sqrt{\frac{K_E \cdot A}{9,549}}} \right) - \left(\frac{R_u + R}{K_E \cdot A} \right) \quad (4.80)$$

Từ quan hệ (4.80) cho thấy tốc độ n quan hệ với $\sqrt{M}$ theo quan hệ hàm nhất biến; do đó **đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ nối tiếp** cũng **có dạng hàm hyperbol** (tương tự như trường hợp đặc tính tốc độ).

Momen khởi động động cơ được xác định từ (4.80) khi cho giá trị $n = 0$ hay thay dòng điện mở máy trực tiếp vào quan hệ (4.78); ta có kết quả sau:

$$M_{mm} = (K_M \cdot A) \cdot \left(\frac{V}{R_u + R_n} \right)^2 \quad (4.81)$$

BÀI TẬP

BÀI TẬP 4.1

Cho máy phát kích từ song song: **150 kW** ; **250 V** có điện trở phần cảm **50 Ω** và điện trở phần ứng **0,05 Ω** . Tính:

- a./ Dòng đầy tải cung cấp cho mạch ngoài.
- b./ Dòng kích từ.
- c./ Dòng qua phần ứng.
- d./ Sức điện động lúc đầy tải.

ĐÁP SỐ: a./ 600 A ; b./ 5 A ; c./ 605 A ; d./ 280,25 V

BÀI TẬP 4.2

Cho máy phát kích từ song song: **50 kW** ; **125 V** có điện trở phần cảm **62,5 Ω** và điện trở phần ứng **0,025 Ω** . Nếu tính đến điện áp rơi trên chổi than là **3V**. Tính:

- a./ Dòng qua phần ứng.
- b./ Sức điện động của phần ứng

ĐÁP SỐ: a./ 402 A ; b./ 138,05 V

BÀI TẬP 4.3

Cho máy phát kích từ độc lập có sức điện động không tải **125 V** khi dòng kích thích **2,1 A** và vận tốc **1600 vòng/phút** . Giả sử máy phát làm việc trong vùng không bão hòa của đặc tuyến không tải. Tính:

- a./ Sức điện động khi tăng dòng kích thích lên đến **2,6A**.
- b./ Sức điện động khi vận tốc giảm xuống **1450 vòng/phút** và dòng kích từ tăng lên đến giá trị **2,8 A**.

ĐÁP SỐ: a./ 154,76 V ; b./ 151,04 V

BÀI TẬP 4.4

Cho máy phát kích từ độc lập **50 kW**; **250 V** có điện trở phần ứng là **0,025 Ω** .

- a./ Nếu máy phát tải định mức, tính dòng ứng và sức điện động.
- b./ Nếu áp tải vẫn duy trì **250 V** nhưng công suất ra chỉ còn **40 kW** , tìm sức điện động của phần ứng.
- c./ Nếu máy phát **40 kW** và sức điện động bằng **255 V** tính áp tải và dòng ứng.
- d./ Nếu áp tải là **253 V** và sức điện động là **257 V** tìm công suất phát đến tải.

ĐÁP SỐ: a./ 200 A, 255 V ; b./ 254 V ; c./ 251 V , 159,35 A ; d./ 40,48 kW

BÀI TẬP 4.5

Cho động cơ DC kích từ song song (**động cơ shunt**) **10 hp**; **230 V** có điện trở phần ứng là **0,3 Ω** , điện trở dây quấn phần cảm là **160 Ω** . Lúc đầy tải dòng ứng là **40 A** . Lúc không tải động cơ tiêu thụ **3,94 A** và quay **1200 vòng/phút** . Tính:

- a./ Dòng ứng lúc không tải.
- b./ Công suất điện từ lúc không tải
- c./ Hiệu suất lúc đầy tải
- d./ Vận tốc lúc đầy tải

ĐÁP SỐ: a./ 2,5 A ; b./ 573 W ; c./ 81,08 % ; d./ 1143 vòng/phút

BÀI TẬP 4.6

Trong chế độ định mức với nguồn áp **240 V**, động cơ nối tiếp quay **600 vòng/phút** và có sức điện động bằng **217,2 V**. Dòng ứng là **38 A**. Mạch từ chưa bão hòa.

a./ Tính điện trở phản ứng nếu điện trở dây quấn kích thích là **0,2 Ω**.

b./ Tính vận tốc không tải, nếu dòng không tải là **1 A**.

ĐÁP SỐ: a./ 0,4 Ω ; b./ 25130 vòng/phút.

BÀI TẬP 4.7

Cho một động cơ một chiều kích từ song song có thông số như sau:

- ✚ Công suất định mức: **$P_{dm} = 40 \text{ kW}$** .
 - ✚ Điện áp định mức: **$U_{dm} = 440 \text{ V}$** .
 - ✚ Dòng điện định mức: **$I_{dm} = 101,76 \text{ A}$**
 - ✚ Tốc độ định mức: **$n_{dm} = 600 \text{ vòng/phút}$**
 - ✚ Điện trở dây quấn kích thích song song: **$R_{kt} = 250 \Omega$** .
- Xác định:

a./ Hiệu suất của động cơ tại lúc tải định mức.

b./ Giả sử **tổn hao trên điện trở phản ứng bằng nửa tổng tổn hao** trên động cơ lúc đầy tải. Tìm điện trở của dây quấn phần ứng.

c./ Dòng điện ngắn mạch qua phần ứng lúc khởi động trực tiếp.

d./ Tốc độ không tải lý tưởng của động cơ.

e./ Momen điện từ lúc đầy tải.

f./ Tổn hao ma sát cơ, quạt gió và thép.

ĐÁP SỐ: a./ 89,34 %Ω b./ 0,239 Ω c./ 1849 A
d./ 634,4 vòng/phút e./ 662,34 Nm f./ 1,613 kW

BÀI TẬP 4.8

Cho máy phát DC **kích từ độc lập** có đặc tuyến không tải và đặc tuyến ngoài ở vận tốc định mức cho trong các bảng số liệu sau:

$I_{kt} \text{ [A]}$	2	4	6	8	10	12	14	16
$E \text{ [V]}$	147	278	374	425	457	485	512	523

$I_{tải} \text{ [A]}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$U \text{ [V]}$	499	496	489	486	477	470	463	456	445

Biết dây quấn kích từ có điện trở bằng **38 Ω**. Hãy suy ra các đặc tuyến ngoài khi máy phát được dùng làm **máy phát kích từ song song không có biến trở kích từ**.