

Chương 10: Máy điện một chiều

Ngày nay, mặc dù dòng điện xoay chiều được sử dụng rất rộng rãi, máy điện một chiều vẫn tồn tại, đặc biệt là động cơ điện một chiều.

Trong công nghiệp: sử dụng ở những nơi yêu cầu M_{mm} lớn hoặc cần điều chỉnh tốc độ bằng phẳng và phạm vi điều chỉnh rộng. Trong các thiết bị tự động, các máy điện khuếch đại, các động cơ chấp hành, trong các thiết bị ô tô, tàu thủy, máy bay... Ngoài ra, các máy phát điện một chiều điện áp thấp dùng trong các thiết bị điện hóa, thiết bị hàn điện có chất lượng cao.

Nhược điểm của máy điện một chiều là có cở góp làm cho cấu tạo phức tạp, đắt tiền, kém tin cậy, nguy hiểm trong môi trường dễ nổ, ngoài ra khi sử dụng động cơ một chiều cần phải có nguồn điện một chiều kèm theo (bộ chỉnh lưu hay máy phát điện một chiều)

10.1. Cấu tạo máy điện một chiều

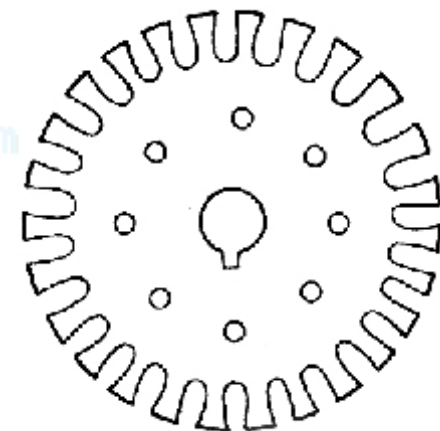
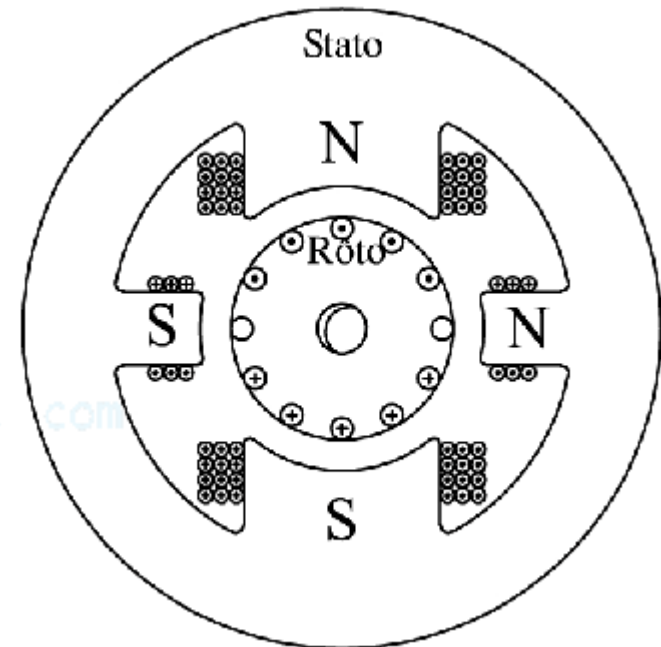
Máy điện một chiều gồm stato với cực từ, rôto với dây quấn và cổ góp với chổi điện.

10.1.1. Stato

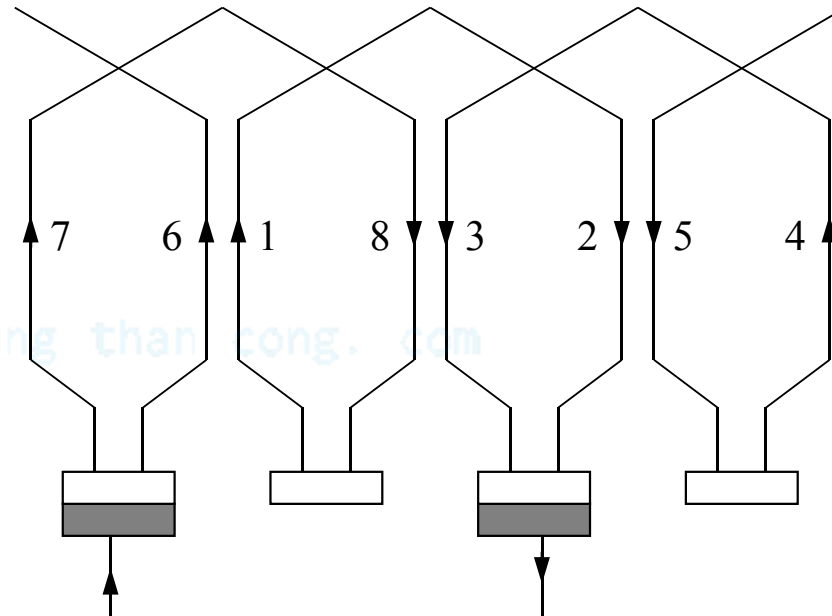
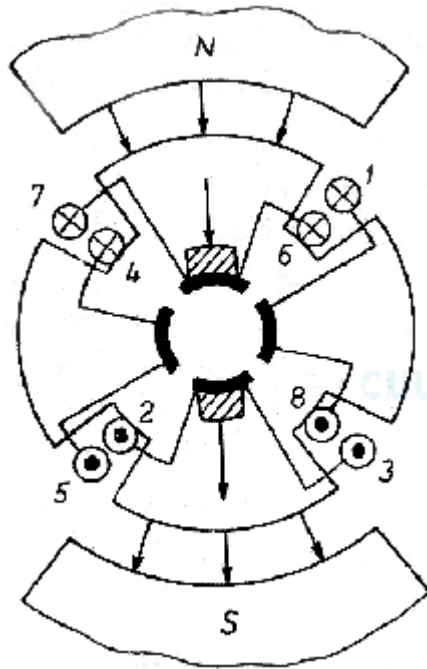
- Stato gọi là phần cảm
- Gồm lõi thép làm bằng thép đúc, vừa là mạch từ vừa làm vỏ máy, trên các cực từ chính có dây quấn kích từ.

10.1.2. Rôto

- Rôto gọi là phần ứng
- Gồm lõi thép và dây quấn phần ứng, lõi thép hình trụ được ghép từ các lá thép kỹ thuật điện dày 0,5mm, có phủ sơn cách điện. Các lá thép được dập rãnh để đặt dây quấn phần ứng



Mỗi phần tử của dây quấn phần ứng có nhiều vòng dây, hai đầu nối với hai phiến góp, hai cạnh tác dụng của phần tử dây quấn đặt trong hai rãnh dưới 2 cực khác nhau. Dây quấn có thể quấn xếp hoặc quấn sóng.



10.1.3. Cổ góp và chổi điện

- Cổ góp gồm các phiến góp bằng đồng được ghép cách điện, có dạng hình trụ gắn ở đầu trục rôto. Các đầu dây của phần tử nối với phiến góp.
- Chổi điện làm bằng than graphit, các chổi tỳ chặt lên cổ góp nhờ lò xo và giá chổi điện gắn trên nắp máy.

10.2. Nguyên lý làm việc của máy điện một chiều

10.2.1. Nguyên lý làm việc và phương trình điện áp của máy phát điện một chiều

Xét máy phát một chiều dây quấn chỉ có 1 phần tử:

Khi động cơ sơ cấp quay phần ứng, các thanh dẫn của dây quấn phần ứng cắt từ trường của cực từ, cảm ứng các sức điện động.

Thanh dẫn phía trên: sđđ đi từ b đến a

Thanh dẫn phía dưới: sđđ đi từ d đến c

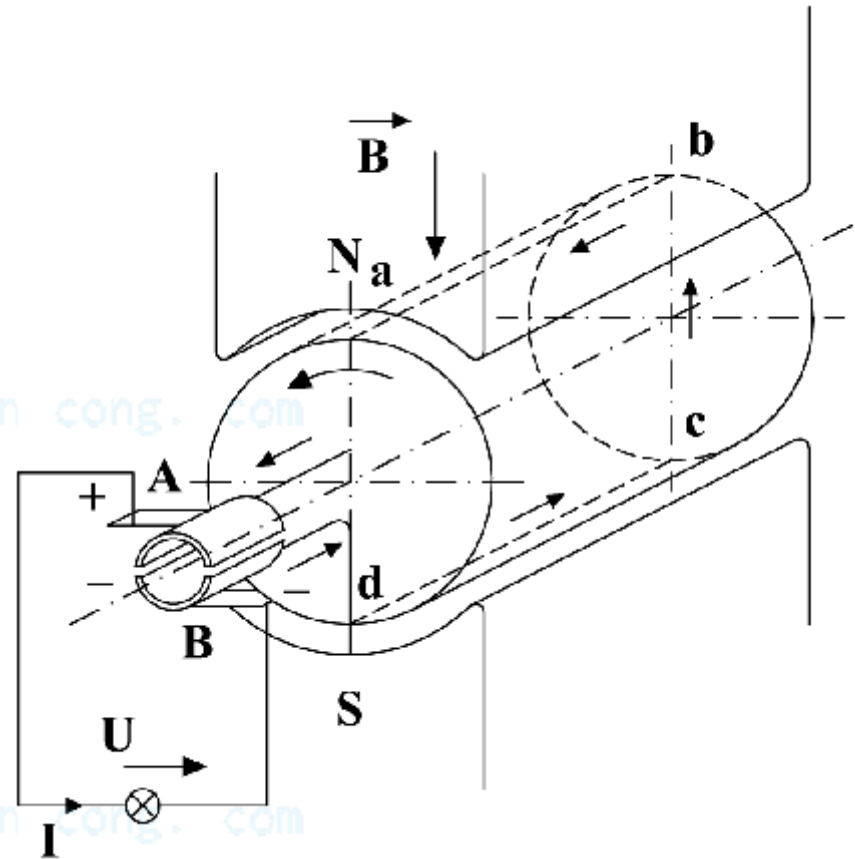
Sđđ của phần tử bằng 2 lần sđđ của thanh dẫn

Nối 2 chổi điện A và B với tải, trên tải sẽ có dòng điện, chiều từ A đến B. Điện áp của máy phát điện có cực dương ở chổi A và âm ở chổi B

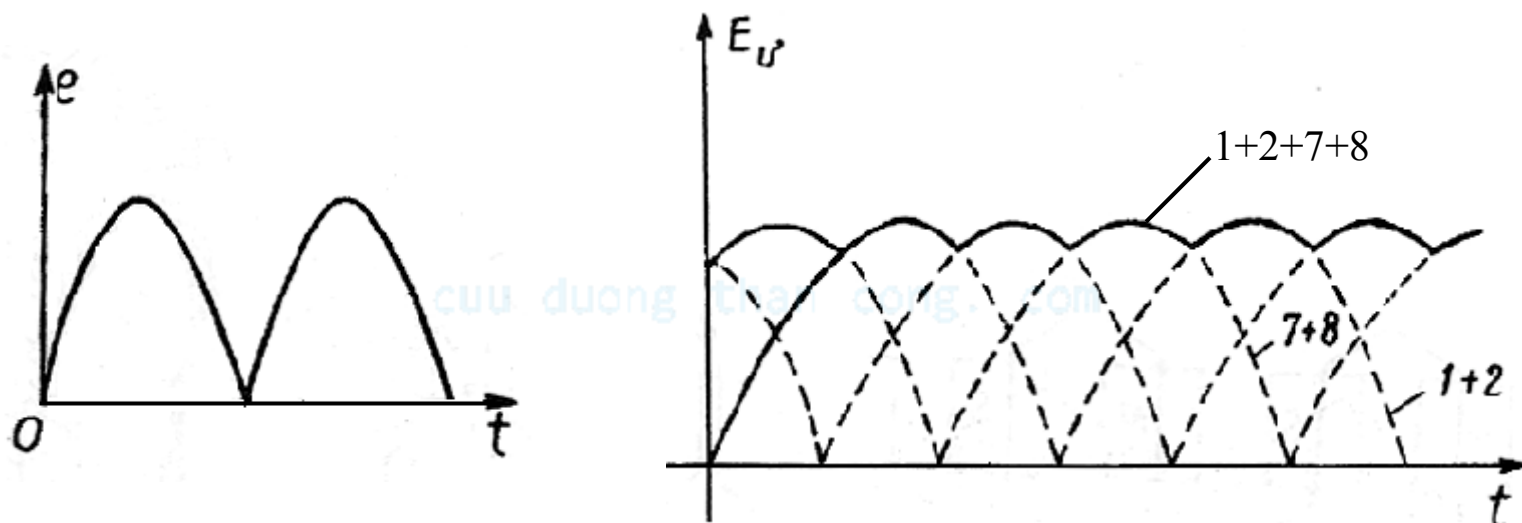
Khi phần ứng quay nửa vòng, phần tử thay đổi vị trí, thanh ab ở cực S, thanh dc ở cực N, sđđ trong thanh dẫn đổi chiều.

Chổi điện đứng yên nên chiều dòng điện mạch ngoài không thay đổi.

Ta có máy phát điện một chiều với cực dương ở chổi A, cực âm ở chổi B.



Dây quấn chỉ có 1 phần tử: điện áp đập mạch lớn
 Để điện áp lớn và ít đập mạch, dây quấn phải có
 nhiều phần tử, nhiều phiến đổi chiều.



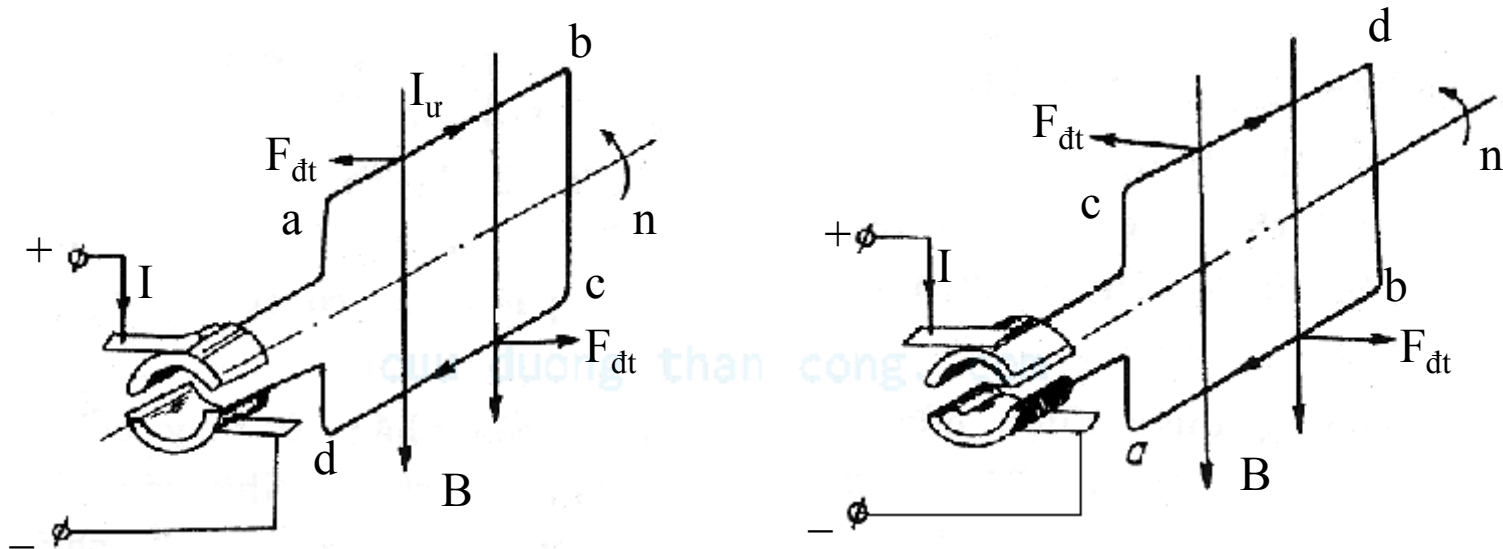
Ở chế độ máy phát, dòng điện I_u cùng chiều với sđđ E_u , phương trình điện áp:

$$U = E_u - R_u I_u$$

R_u là điện trở của dây quấn phần ứng, E_u là sđđ phần ứng, U là điện áp đầu cực máy

10.2.2 Nguyên lý làm việc và phương trình điện áp của động cơ điện một chiều

Đưa điện áp 1 chiều U vào hai chổi điện A và B, trong dây quấn phần ứng có dòng điện I_u . Các thanh dẫn ab, cd có dòng điện, nằm trong từ trường sẽ chịu lực $F_{đt}$ tác động, làm rôto quay.



Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí các thanh dẫn ab, cd đổi chỗ, do có phiến góp đổi chiều dòng điện, giữ cho chiều lực tác dụng không đổi, đảm bảo động cơ có chiều quay không đổi

Động cơ quay, các thanh dẫn cắt từ trường, cảm ứng sđđ E_u (ngược chiều với dòng điện I_u , gọi là sức phản điện)

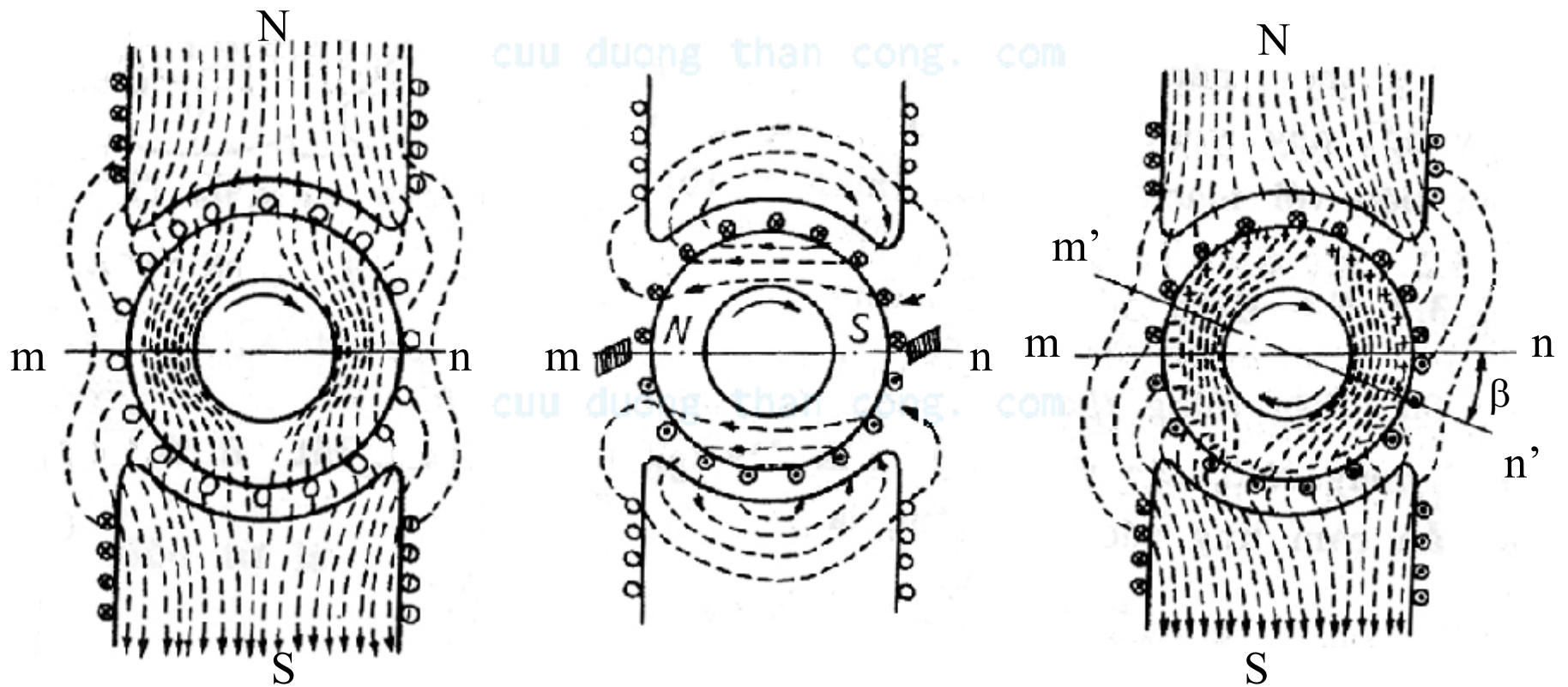
Phương trình điện áp:
$$U = E_u + R_u I_u$$

10.3. Từ trường và sức điện động của máy điện một chiều

10.3.1. Từ trường của máy điện một chiều

Máy điện một chiều không tải: từ trường trong máy chỉ do dòng kích từ gây ra, gọi là từ trường cực từ: từ trường này phân bố đối xứng qua đường trung tính hình học mn, thanh dẫn chuyển động qua đó không cảm ứng sđđ

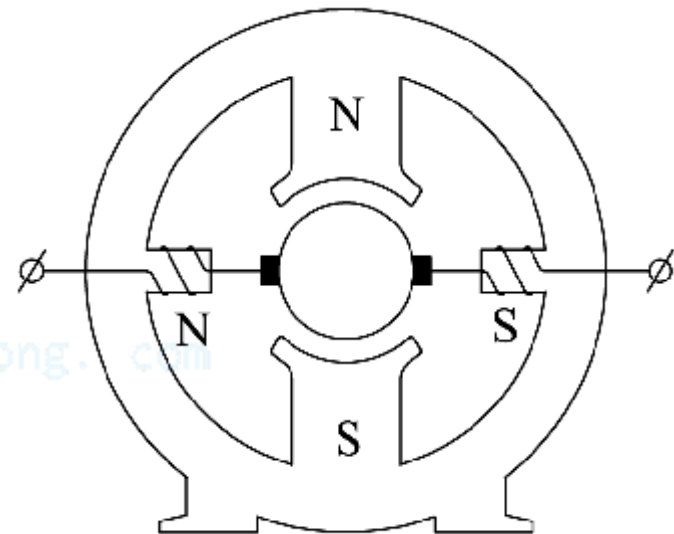
Máy có tải: I_a trong dây quấn sinh ra từ trường phản ứng vuông góc với từ trường cực từ. Tác dụng của từ trường phản ứng lên từ trường cực từ gọi là phản ứng phản ứng, từ trường trong máy là tổng hợp của 2 từ trường



Hậu quả của từ trường phản ứng:

- Từ trường trong máy bị biến dạng: đường trung tính hình học mn dịch chuyển đến vị trí mới gọi là đường trung tính vật lý $m'n'$, lệch góc β so với mn theo chiều quay rôto khi là máy phát, ngược chiều quay rôto khi là động cơ.
- Khi tải lớn, I_r lớn, từ trường phản ứng lớn, phần móm cực từ trường được tăng cường bị bão hòa, B tại đó tăng ít, trong khi đó, móm cực từ kia từ trường giảm nhiều. Do đó, từ thông của máy giảm xuống, sđđ E_r giảm làm cho điện áp đầu cực máy phát U giảm. Ở chế độ động cơ, từ thông giảm làm cho mômen quay giảm, tốc độ động cơ thay đổi.

Để khắc phục có thể dùng cực từ phụ và dây quấn bù, từ trường của cực từ phụ và dây quấn bù ngược với từ trường phản ứng.



10.3.2. Sức điện động phần ứng

a/ Sức điện động thanh dẫn:

Rôto quay, các thanh dẫn cắt từ trường, trong mỗi thanh dẫn cảm ứng sđđ:

$$e = B_{tb}lv$$

B_{tb} : từ cảm trung bình dưới cực từ

l : chiều dài hiệu dụng thanh dẫn

v : tốc độ của thanh dẫn

b/ Sức điện động phần ứng E_u

Dây quấn phần ứng gồm nhiều phần tử nối tiếp nhau tạo thành mạch vòng kín. Các chổi điện chia dây quấn thành nhiều nhánh song song, E_u bằng tổng các sức điện động thanh dẫn trong một nhánh.

$$\left. \begin{array}{l} N: \text{số thanh dẫn} \\ 2a: \text{số nhánh song song} \end{array} \right\} \text{Số thanh dẫn một nhánh là } \frac{N}{2a}$$

Sức điện động phần ứng là:

$$E_u = \frac{N}{2a} e = \frac{N}{2a} B_{tb}lv$$

Thay tốc độ dài $v = \frac{\pi D n}{60}$ vào biểu thức E_u , ta có:

$$E_u = \frac{N}{2a} B_{tb} l \frac{\pi D n}{60} = \frac{pN}{60a} n \cdot B_{tb} \frac{\pi D l}{2p}$$
$$= \frac{pN}{60a} n \phi = k_E n \phi$$

Với $k_E = \frac{pN}{60a}$ phụ thuộc vào cấu tạo của dây quấn phần ứng

cuuduongthancong.com

E_u tỷ lệ với tốc độ quay phần ứng và từ thông dưới mỗi cực từ.

Muốn thay đổi trị số E_u , ta có thể điều chỉnh tốc độ quay hoặc điều chỉnh từ thông bằng cách điều chỉnh dòng điện kích từ

Muốn đổi chiều E_u thì có thể đổi chiều quay hoặc đổi chiều dòng điện kích từ

cuuduongthancong.com

10.4. Công suất điện từ, mômen điện từ

Công suất điện từ của máy điện một chiều:

$$P_{đt} = E_u I_u$$
$$= \frac{pN}{60a} n\phi I_u$$

Mômen điện từ:

$$\left. \begin{array}{l} M_{đt} = \frac{P_{đt}}{\omega_r} \\ \text{với } \omega_r = \frac{2\pi n}{60} \end{array} \right\} \longrightarrow M_{đt} = \frac{pN}{2\pi a} I_u \phi = k_M I_u \phi$$

Với $k_M = \frac{pN}{2\pi a}$ phụ thuộc vào cấu tạo dây quấn.

$M_{đt}$ tỷ lệ với dòng điện phần ứng I_u và từ thông

Muốn thay đổi $M_{đt}$, ta có thể thay đổi I_u hoặc thay đổi dòng kích từ I_{kt} .

Muốn đổi chiều $M_{đt}$ có thể đổi chiều dòng điện phần ứng hoặc dòng điện kích từ.

10.5. Tia lửa điện trên cổ góp và biện pháp khắc phục

Khi máy điện một chiều làm việc, quá trình đổi chiều thường gây ra tia lửa giữa chổi điện và cổ góp. Tia lửa lớn có thể gây nên vành lửa xung quanh cổ góp, phá hỏng chổi điện và cổ góp, gây tổn hao năng lượng, ảnh hưởng xấu đến môi trường và gây nhiễu đến sự làm việc của các thiết bị điện tử.

a/ Nguyên nhân cơ khí:

Sự tiếp xúc giữa cổ góp và chổi điện không tốt, do cổ góp không tròn, không Nhẵn, chổi than không đúng qui cách, rung động của chổi than do cố định không Tốt hoặc lực lò xo không đủ để tỳ sát chổi điện vào cổ góp,

b/ Nguyên nhân điện từ:

Khi rôto quay liên tiếp có các phần tử chuyển mạch nhánh này sang nhánh khác. Ta gọi các phần tử này là phần tử đổi chiều, trong phần tử này có các sđđ:

- Sđđ tự cảm e_L do sự biến thiên dòng điện trong phần tử đổi chiều
- Sđđ hồ cảm e_M do sự biến thiên dòng điện của các phần tử đổi chiều lân cận
- Sđđ e_q do từ trường của phần ứng gây ra

Ở thời điểm chổi điện ngắn mạch phần tử
đổi chiều, các sức điện động trên sinh ra dòng
điện i chạy quanh trong phần tử, tích lũy năng
lượng và phóng ra dưới dạng tia lửa khi
vành góp chuyển động

cuu duong than cong. com

Để khắc phục tia lửa, ngoài việc loại trừ nguyên nhân cơ khí, ta phải tìm cách
giảm trị số các sđđ trên và dùng cực từ phụ và dây quấn bù tạo các sđđ bù trong
phần tử đổi chiều nhằm triệt tiêu tổng 3 sđđ nói trên. Từ trường của dây quấn bù
và cực từ phụ phải ngược chiều với từ trường phản ứng.

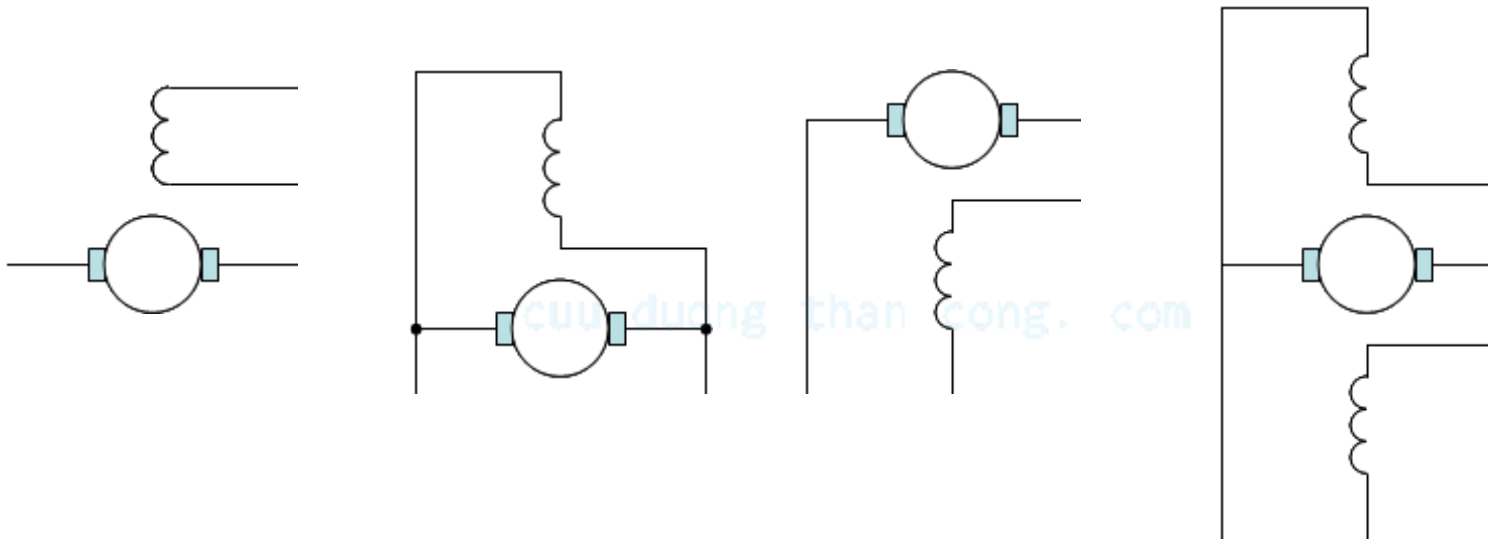
Đối với máy công suất nhỏ, người ta không dùng cực từ phụ mà đôi khi chuyển
chổi than đến trung tính vật lý

10.6. Máy phát điện một chiều

10.6.1. Phân loại máy điện một chiều

Dựa vào phương pháp cung cấp dòng điện kích từ, phân thành các loại:

- a/ MĐ một chiều kích từ độc lập: I_{kt} lấy từ nguồn điện khác không liên hệ với phần ứng của máy
- b/ MĐ một chiều kích từ song song: dq kích từ nối song song với mạch phần ứng
- c/ MĐ một chiều kích từ nối tiếp: dq kích từ mắc nối tiếp với mạch phần ứng
- d/ MĐ một chiều kích từ hỗn hợp: có 2 dây quấn kích từ, 1 dây quấn nối tiếp và 1 dây quấn song song, trong đó dây song song thường là chủ yếu



10.6.2. Máy phát điện một chiều kích từ độc lập

Dòng điện phần ứng bằng dòng điện tải: $I_u = I$

Phương trình điện áp:

- Mạch phần ứng: $U = E_u - R_u I_u$

- Mạch kích từ: $U_{kt} = I_{kt} (R_{kt} + R_{đc})$

R_u : là điện trở dây quấn phần ứng

R_{kt} : là điện trở dây quấn kích từ

$R_{đc}$: là điện trở điều chỉnh

Khi dòng điện tải I tăng, I_u tăng, U giảm xuống do:

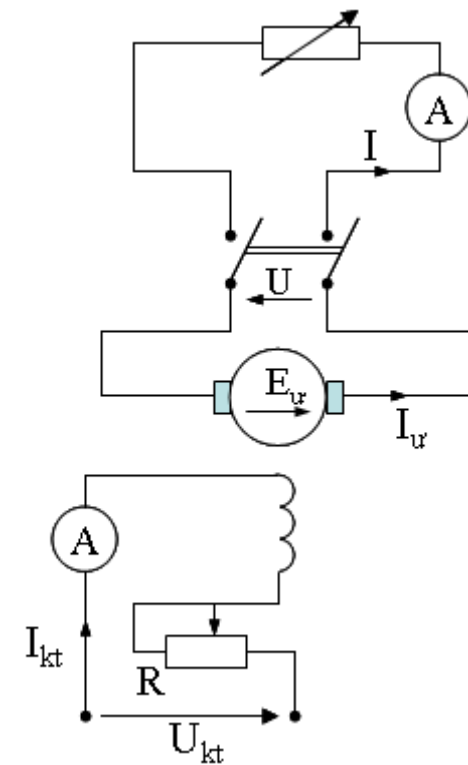
- Tác dụng của từ trường phần ứng làm cho từ thông giảm, kéo theo E_u giảm

- Điện áp rơi trong mạch phần ứng $R_u I_u$ tăng

Độ giảm điện áp khoảng 8 – 10 % điện áp khi không tải

Để giữ U không đổi phải tăng I_{kt} .

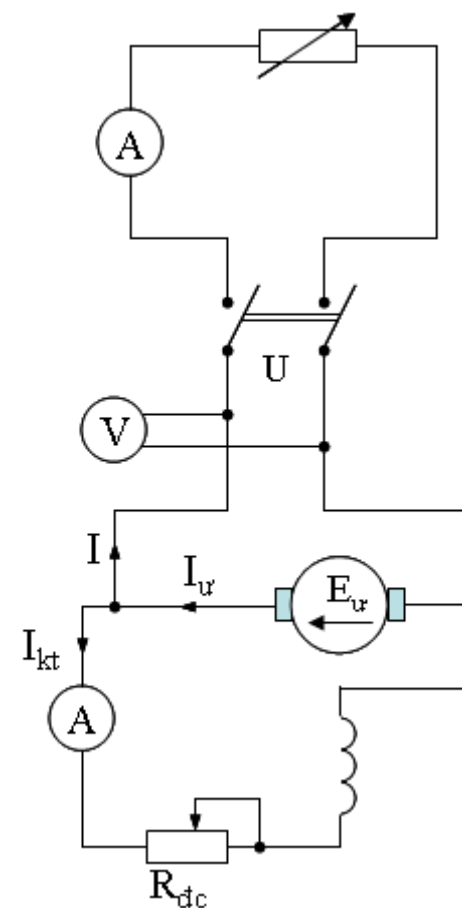
- Ưu điểm về điều chỉnh điện áp, thường gặp trong các hệ thống máy phát động cơ để truyền động máy cán, máy cắt kim loại, thiết bị tự động trên tàu thủy...
- Nhược điểm: cần có nguồn điện kích từ riêng



10.6.3. Máy phát điện kích từ song song

- Cần có quá trình tự kích từ:
 - Đầu tiên, máy không có I_{kt} , từ thông trong máy do từ dư của cực từ tạo ra bằng 2 – 3% từ thông định mức
 - Khi quay phần ứng, trong dây quấn phần ứng sẽ có các sđđ cảm ứng do từ thông dư sinh ra, khép mạch qua dây quấn kích từ (R_{dc} ở vị trí nhỏ nhất), sinh ra I_{kt}
- Quá trình tiếp tục cho đến khi đạt điện áp ổn định
- Để máy có thể tạo ra điện áp cần phải có từ dư và chiều từ trường dây quấn kích từ cùng chiều với từ trường dư.

Nếu không còn từ dư phải môi để tạo từ dư, nếu chiều hai từ trường ngược nhau phải đổi cực tính dây quấn kích từ hoặc đổi chiều quay phần ứng.



Phương trình cân bằng điện áp:

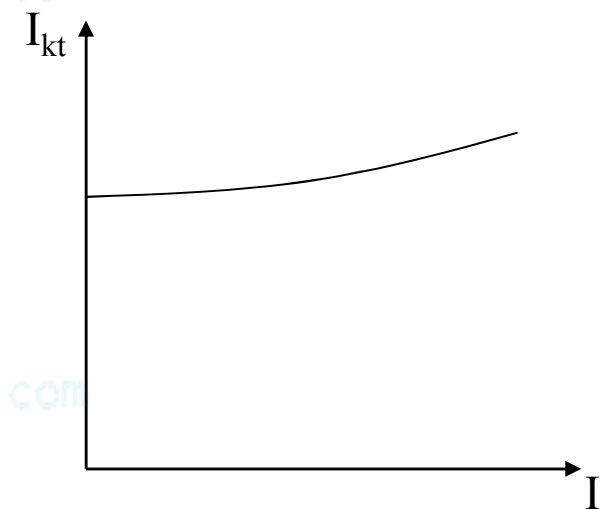
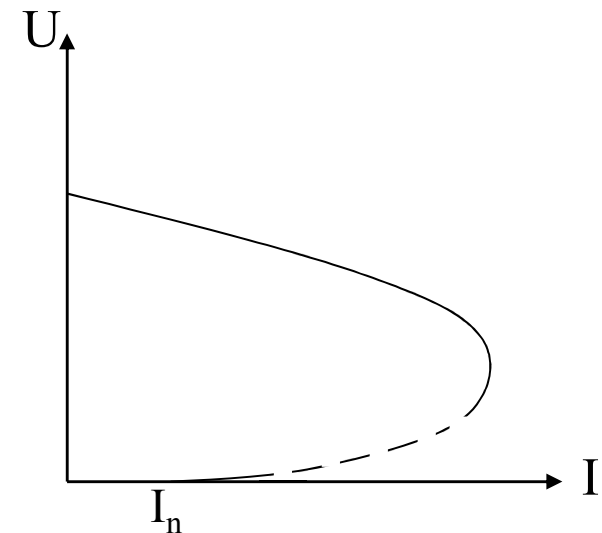
$$\text{Mạch phần ứng: } U = E_u - R_u I_u$$

$$\text{Mạch kích từ: } U = I_{kt} (R_{kt} + R_{dc})$$

Phương trình dòng điện:

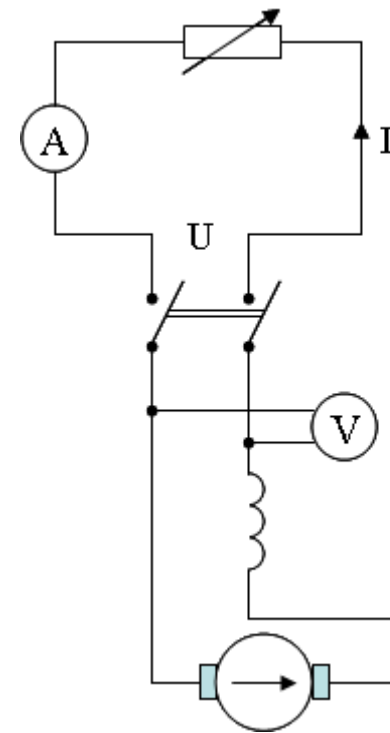
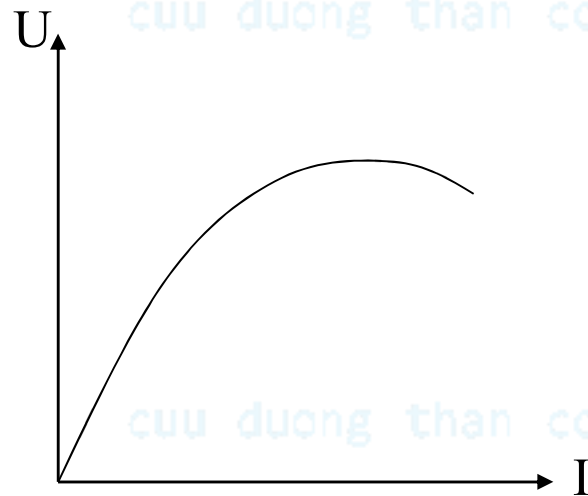
$$I_u = I + I_{kt}$$

- Khi dòng điện tải tăng, I_u tăng, U giảm do:
 - Tác dụng của từ trường phần ứng làm cho từ thông giảm, kéo theo E_u giảm
 - Điện áp rơi trong mạch phần ứng $R_u I_u$ tăng
 - U giảm, I_{kt} giảm làm từ thông và E_u càng giảm,
- Do đó đường đặc tính ngoài $U = f(I)$ dốc hơn so với máy kích từ độc lập.
- Khi ngắn mạch, $U = 0$, $I_{kt} = 0$, sđđ trong máy chỉ do từ dư sinh ra, do đó I_n nhỏ so với I_{dm}
 - Để điều chỉnh điện áp, ta phải điều chỉnh I_{kt}



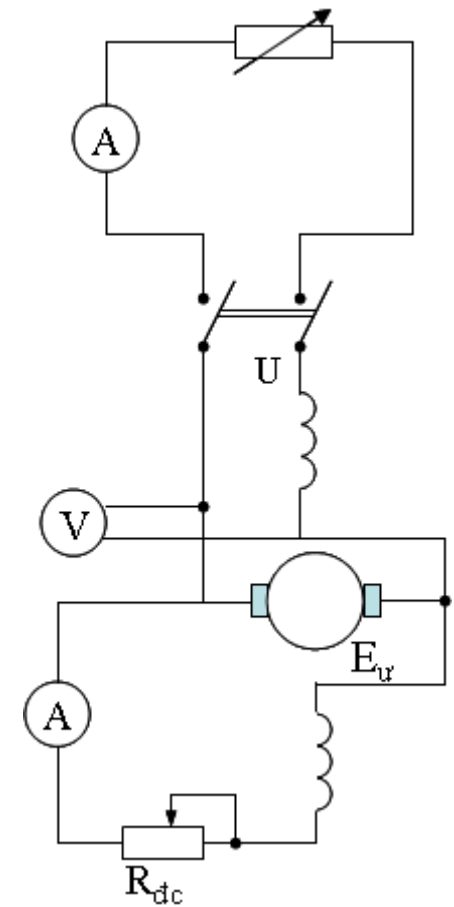
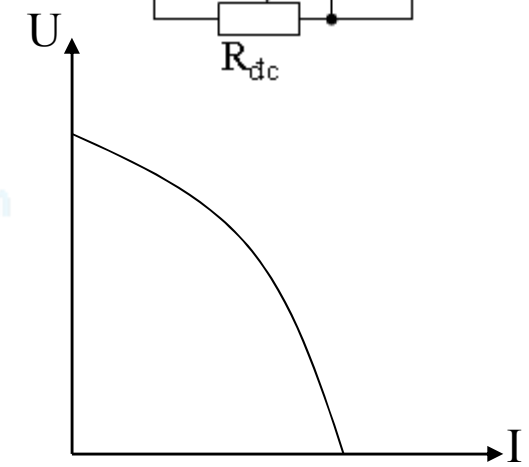
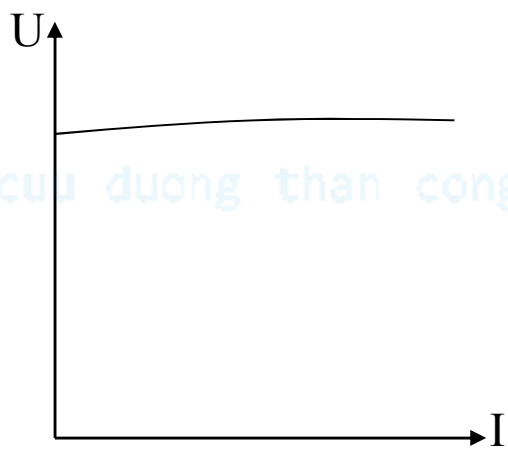
10.6.4. Máy phát điện kích từ nối tiếp

- $I_{kt} = I$, do đó khi tải thay đổi, điện áp thay đổi nhiều
- Trong thực tế không sử dụng loại này
- Đường đặc tính ngoài $U = f(I)$:
 - Khi tải tăng, I_u tăng, từ thông và sđđ cảm ứng tăng, do đó U sẽ tăng
 - Khi $I = (2 - 5)I_{dm}$, máy bão hòa, I tăng thì U giảm



10.6.5. Máy phát điện kích từ hỗn hợp

- Khi nối thuận:
 - Từ thông của dây quấn kích từ nối tiếp cùng chiều với từ thông của dây quấn kích từ song song
 - Khi tải tăng, từ thông cuộn nối tiếp tăng làm từ thông máy tăng, U đầu cực của máy được giữ hầu như không đổi.
- Khi nối ngược:
 - Từ thông của dây quấn kích từ nối tiếp ngược chiều với từ thông của dây quấn kích từ song song
 - Khi tải tăng, điện áp giảm nhiều.
 - Đường đặc tính ngoài dốc, được sử dụng làm máy hàn điện một chiều



10.7. Động cơ điện một chiều

- Phân loại động cơ điện một chiều cũng dựa vào phương pháp kích từ như máy phát một chiều.
- Sức điện động của động cơ một chiều:

$$E_u = \frac{pN}{60a} n\phi$$

Dòng I_u của động cơ ngược chiều với E_u , do đó E_u còn gọi là sức phản điện

- Mômen điện từ tính theo công thức:

$$M_{đt} = \frac{pN}{2\pi a} I_u \phi$$

Mômen điện từ là mômen quay, cùng chiều với tốc độ quay n

10.7.1. Mở máy động cơ điện một chiều

Phương trình điện áp ở mạch phần ứng

$$U = E_u + R_u I_u$$
$$\longrightarrow I_u = \frac{U - E_u}{R_u} \longrightarrow I_{ummm} = \frac{U}{R_u}$$

Vì R_u rất nhỏ, I_u lúc mở máy rất lớn, khoảng 20 – 30 lần dòng định mức, làm hỏng cổ góp và chổi than, I_u lớn dòng mở máy lớn, gây ảnh hưởng đến lưới điện.

• Để giảm dòng mở máy $I_{mm} = (1,5 - 2)I_{dm}$, có thể dùng biện pháp:

a/ Dùng biến trở mở máy R_{mm} : $I_{ummm} = \frac{U}{R_u + R_{mm}}$

Lúc đầu để R_{mm} lớn nhất, trong quá trình mở máy, tốc độ tăng lên, E_u tăng, giảm dần R_{mm} đến không, máy làm việc đúng điện áp định mức.

b/ Giảm điện áp đặt vào phần ứng:

Chú ý để có M_{mm} lớn, lúc mở máy phải có từ thông lớn nhất vì thế các thông số mạch kích từ phải điều chỉnh sao cho I_{kt} lúc mở máy là lớn nhất.

10.7.2. Điều chỉnh tốc độ

$$\left. \begin{array}{l} \text{Ta có: } E_u = U - R_u I_u \\ \text{mà: } E_u = k_E \phi n \end{array} \right\} \rightarrow n = \frac{U - R_u I_u}{k_E \phi}$$

→ Để điều chỉnh tốc độ, ta có các phương pháp:

a/ Mắc R_{dc} vào mạch phần ứng

- Thêm R_{dc} vào mạch phần ứng, tốc độ giảm.

Tuy nhiên, do I_u lớn nên tổn hao trên R_{dc} lớn.

- Phương pháp này chỉ dùng cho động cơ công suất nhỏ

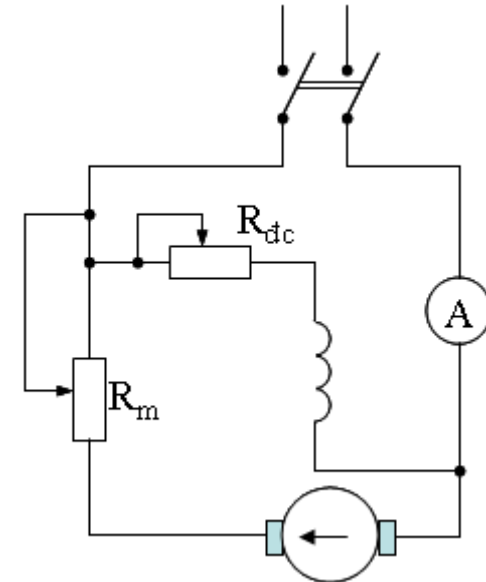
b/ Thay đổi điện áp U

- Dùng nguồn điện một chiều điều chỉnh được điện áp cung cấp cho động cơ
- Phương pháp này được sử dụng nhiều

c/ Thay đổi từ thông

- Thay đổi từ thông bằng cách thay đổi I_{kt}

Khi điều chỉnh tốc độ, có thể kết hợp các phương pháp trên. Ví dụ kết hợp phương pháp thay đổi từ thông với phương pháp thay đổi điện áp thì phạm vi điều chỉnh sẽ rất rộng



10.7.3. Động cơ điện kích từ song song

- Sơ đồ nối dây như hình vẽ
- Để mở máy dùng biến trở R_{mm}
- Để điều chỉnh tốc độ, thường điều chỉnh $R_{đc}$ để thay đổi I_{kt} , từ đó thay đổi từ thông. Khi sử dụng phương pháp này cần chú ý khi giảm từ thông, I_u có thể tăng quá trị số cho phép, do đó cần có bộ phận bảo vệ.

a/ Đường đặc tính cơ

-là quan hệ $n = f(M)$ khi điện áp U , R_u , R_{kt} không đổi

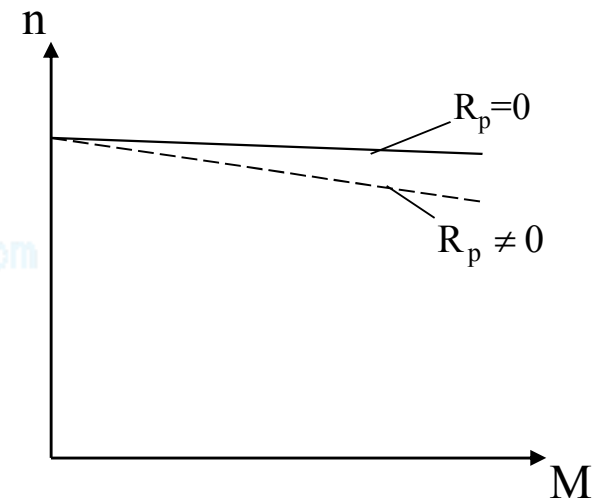
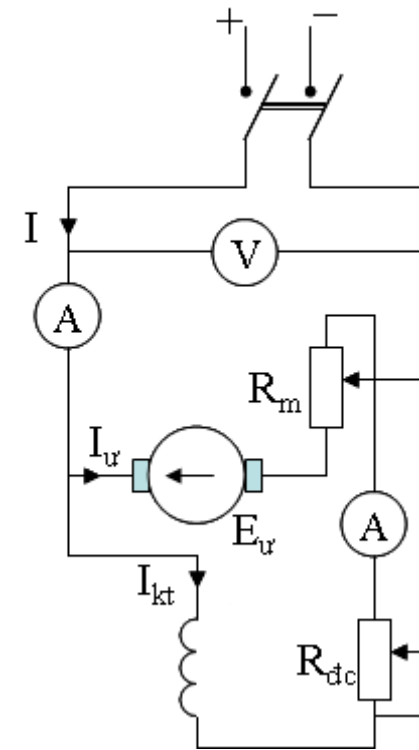
Ta có:

$$M = k_M I_u \phi \longrightarrow I_u = \frac{M}{k_M \phi}$$

Thay vào biểu thức $n = \frac{U}{k_E \phi} - \frac{R_u}{k_E \phi} I_u$

$$\longrightarrow n = \frac{U}{k_E \phi} - \frac{R_u}{k_E k_M \phi^2} M$$

Thêm R_p vào mạch phân ứng: $n = \frac{U}{k_E \phi} - \frac{R_u + R_p}{k_E k_M \phi^2} M$



b/ Đặc tính làm việc

Đường đặc tính làm việc là quan hệ giữa tốc độ n , mômen M , dòng điện phần ứng I_u và hiệu suất theo công suất cơ trên trục P_2 , xác định khi U , I_{kt} không đổi

Nhận xét: - Động cơ điện kích từ song song có đặc tính cơ cứng, tốc độ hầu như không đổi khi công suất trên trục P_2 thay đổi

- Loại động cơ này được sử dụng nhiều trong các máy cắt kim loại, các máy công cụ... có yêu cầu điều chỉnh tốc độ không cao

10.7.4. Động cơ kích từ nối tiếp

- Sơ đồ nối dây như hình vẽ
- Để mở máy dùng biến trở R_{mm}
- Để điều chỉnh tốc độ có thể sử dụng 1 trong 3

cách: - mắc R_{dc} vào mạch phản ứng

- thay đổi U

- thay đổi từ thông (chú ý mắc biến trở điều chỉnh

song song với dây quấn kích từ nối tiếp)

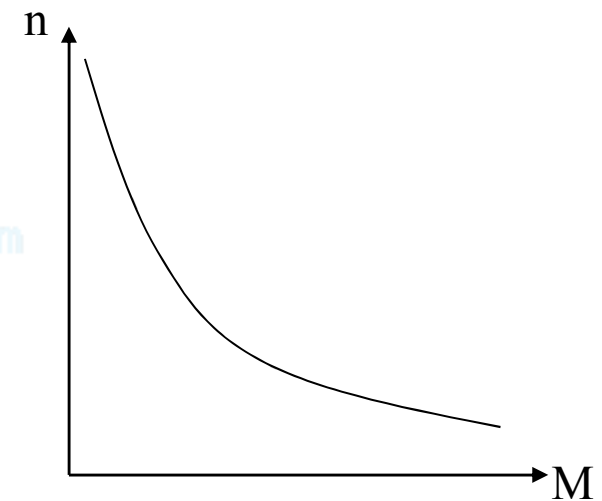
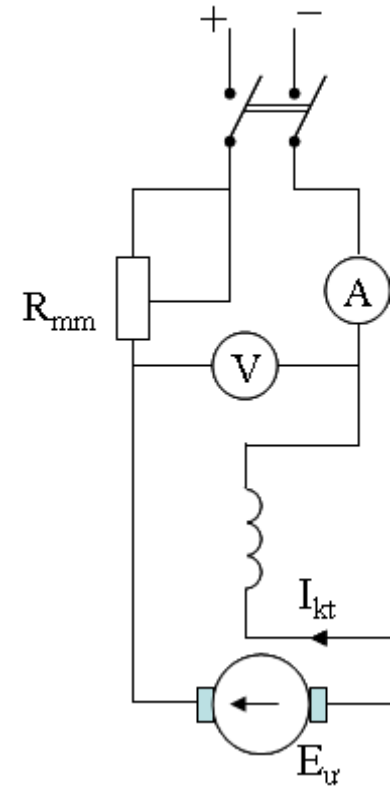
a/ Đường đặc tính cơ $n = f(M)$

Khi máy không bão hòa, I_u và từ thông ϕ tỷ lệ với nhau: $I_u = k_I \phi$

$$\begin{aligned} \longrightarrow M &= k_M I_u \phi \\ &= k_M k_I \phi^2 = k^2 \phi^2 \quad (k = \sqrt{k_M k_I}) \end{aligned}$$

$$\longrightarrow \phi = \frac{\sqrt{M}}{k}$$

$$\longrightarrow n = \frac{kU}{k_E \sqrt{M}} - \frac{k_I R_u}{k_E}$$



$$\text{Đặt } a = \frac{k}{k_E} ; b = \frac{k_I}{k_E} \longrightarrow n = \frac{aU}{\sqrt{M}} - bR_u$$

Ta thấy:

- Phương trình đặc tính cơ có dạng hyperbol
- Đường đặc tính cơ mềm, M tăng thì n giảm
- Khi không có tải hoặc tải nhỏ, dòng điện và từ

Thông nhỏ, tốc độ động cơ tăng có thể gây hỏng động

Cơ về mặt cơ khí, vì vậy không được mở máy động cơ

Kích từ nối tiếp không tải hoặc tải nhỏ

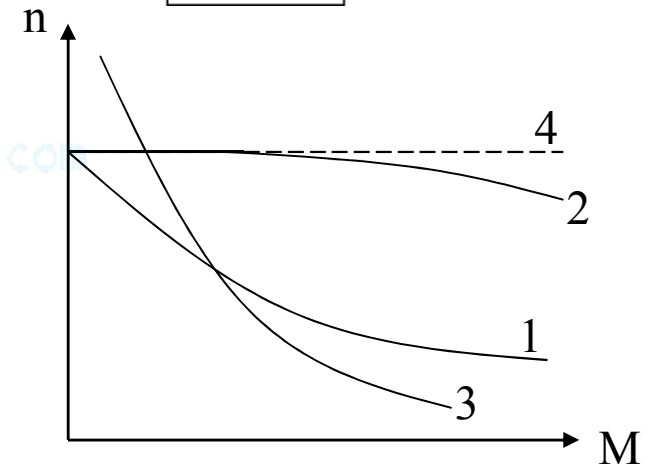
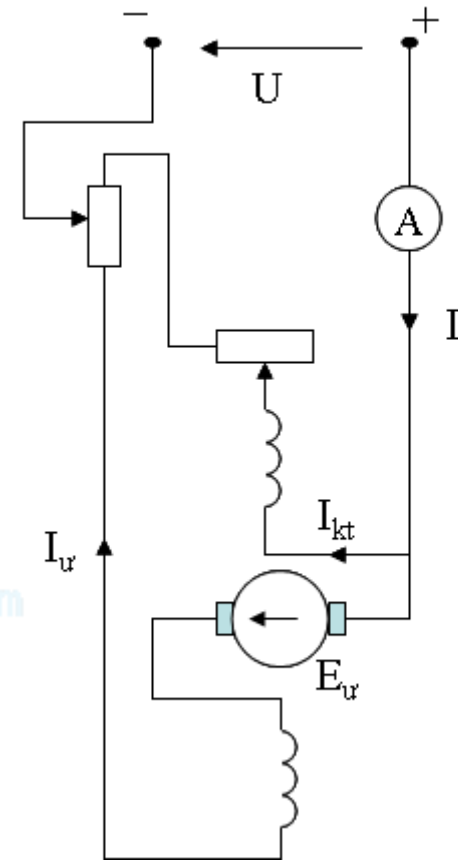
b/ Đường đặc tính làm việc:

Động cơ được phép làm việc với tốc độ $n < n_{gh}$

Khi chưa bão hòa, mômen quay tỷ lệ với bình phương dòng điện, tốc độ giảm theo tải, động cơ kích từ nối tiếp thích hợp trong chế độ tải nặng nề, được sử dụng nhiều trong giao thông vận tải hay các thiết bị cầu trục.

10.7.5. Động cơ kích từ hỗn hợp

- Sơ đồ nối dây như hình vẽ
- Các dây quấn kích từ có thể nối thuận để tăng từ thông hoặc nối ngược để giảm từ thông.
- Đặc tính cơ động cơ kích từ hỗn hợp khi nối thuận (1) là trung bình giữa đặc tính cơ động cơ kích từ song song (2) và nối tiếp (3)
- Các động cơ làm việc nặng nề, dây quấn kích từ nối tiếp là dây quấn kích từ chính, nối thuận với dây quấn kích từ song song (là phụ, đảm bảo tốc độ động cơ không tăng quá lớn khi M nhỏ)
- Động cơ kích từ hỗn hợp và dây quấn kích từ nối tiếp là kích từ phụ, nối ngược có đặc tính cơ rất cứng (4), n hầu như không đổi khi M thay đổi. (Khi M tăng, I_{ur} tăng, dây quấn kích từ song song làm tốc độ giảm một ít, nhưng dây quấn kích từ nối tiếp nối ngược làm giảm từ thông, n tăng lên như cũ).
Khi nối thuận: đặc tính cơ mềm hơn, M_{mm} lớn hơn



10.7.6. Động cơ vạm năng

Trong công nghiệp cũng như trong các thiết bị điện sinh hoạt, người ta sử dụng rộng rãi loại động cơ có vành góp dùng được với cả dòng điện một chiều và xoay chiều, gọi là động cơ vạm năng.

Động cơ vạm năng thường có hai cực từ với dây quấn kích từ nối tiếp. Dòng kích từ là dòng phản ứng, nên từ thông và dòng phản ứng sẽ biến thiên đồng thời với nhau, bảo đảm chiều mômen quay của động cơ không đổi.

Động cơ vạm năng thích hợp với chế độ làm việc nặng nề nên ở nhiều nước trên thế giới, loại động cơ này được sử dụng trên đường sắt với lưới điện xoay chiều tần số 50Hz (hoặc 25 hay $16 \frac{2}{3}$ Hz)