

BÀI THÍ NGHIỆM SỐ 4

MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

I. MỤC ĐÍCH VÀ YÊU CẦU THÍ NGHIỆM:

1. Mục đích:

- Tìm hiểu cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy điện một chiều.
- Xác định các thông số của máy điện một chiều.
- Xác định một số đường đặc tính của máy điện một chiều.

2. Yêu cầu :

- Xem kỹ phần phụ lục để biết được các thiết bị, cách ghép nối, các từ và thuật ngữ mới cần thiết cho bài thí nghiệm.
- Xem lại lý thuyết về máy điện một chiều.
- Tìm hiểu cấu tạo ghi các số liệu định mức của máy điện một chiều thí nghiệm.

II. TÓM TẮC LÝ THUYẾT

1. Cấu tạo và nguyên lý làm việc

Máy điện một chiều có thể là máy phát hoặc động cơ điện và có cấu tạo giống nhau. Những phần chính của máy điện một chiều gồm phần cảm (stator) và phần ứng (phần quay, rotor).

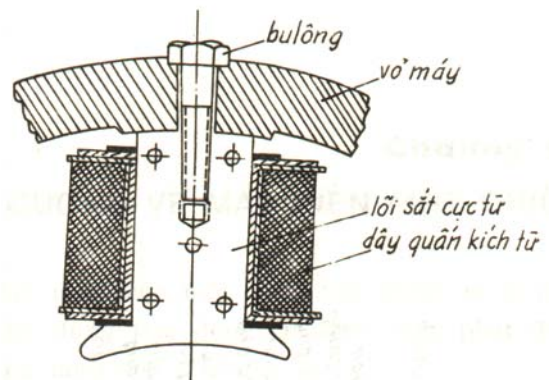
Phần cảm hay còn gọi là stator gồm có các bộ phận chính như sau :

+ Cực từ chính (hình 4-1) là bộ phận sinh ra từ trường, gồm có lõi thép và dây quấn kích từ lồng ngoài lõi thép cực từ, dòng điện chạy trong dây quấn kích từ sao cho các cực từ tạo ra có cực tính liên tiếp luân phiên nhau. Cực từ chính làm bằng những lá thép kỹ thuật điện ép lại, tán chặt và gắn vào vỏ máy nhờ các bulông.

+ Cực từ phụ đặt giữa các cực từ chính và dùng để cải thiện đổi chiều. Lõi thép cực từ phụ thường làm bằng thép khối và gắn vào vỏ máy nhờ các bulông.

+ Gông từ dùng làm mạch từ, nối liền giữa các cực từ đồng thời dùng làm vỏ máy. Trong máy điện nhỏ thường làm bằng thép tấm uốn rồi hàn lại, trong máy điện lớn thường dùng thép đúc.

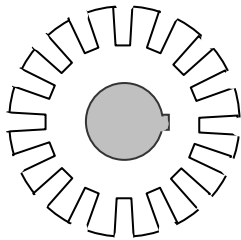
+ Các bộ phận khác gồm có nắp máy và cơ cấu chổi than. Cơ cấu chổi than để đưa điện từ phần quay ra ngoài gồm có chổi than đặt trong hộp chổi than và nhờ có lò xo ép chổi nên chổi than thì chặt lên cổ góp.



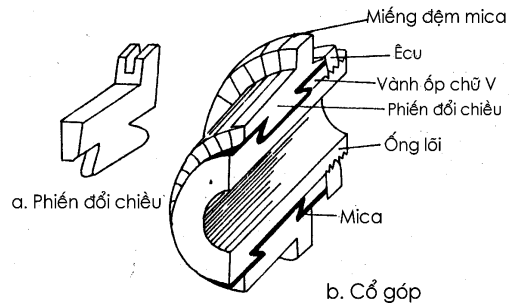
Hình 4.1 Cực từ chính

Phần ứng của máy điện một chiều gồm lõi thép, dây quấn phần ứng, cổ góp và trục máy.

Lõi thép phần ứng dùng để dẫn từ. Nó là hình trụ thường được làm bằng các lá thép kỹ thuật điện dày 0,5 mm, hai mặt có phủ sơn cách điện mỏng rồi ghép lại. Các lá thép được dập các lỗ để gắn rôto với trục và lỗ thông gió. Mặt ngoài lõi thép được dập các rãnh để đặt dây quấn phần ứng (hình 4.2).



Hình 4.2 Lá thép rotor



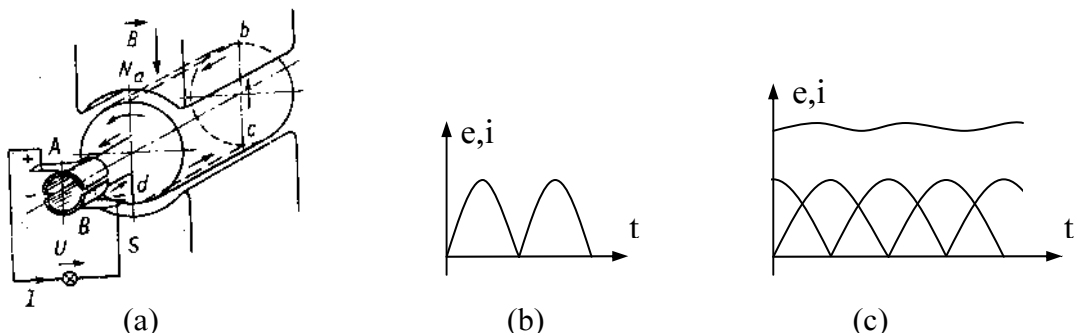
Hình 4.3 Phiến đổi chiều và cổ góp

Dây quấn phần ứng là phần sinh ra sđđ và có dòng điện chạy qua. Dây quấn phần ứng thường làm bằng dây đồng có bọc cách điện, gồm nhiều phần tử mắc nối tiếp với nhau, đặt trong các rãnh của phần ứng tạo thành một hoặc nhiều vòng kín.

Cổ góp (vành góp hay còn gọi là vành đổi chiều) dùng để đổi chiều dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều (hình 4.3).gồm nhiều phiến đồng hình đuôi nhọn được ghép thành một khối hình trụ, cách điện với nhau và cách điện với trục máy.

Các bộ phận khác như trục máy, quạt làm mát máy...

Sơ đồ nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều như hình 4.4. Máy gồm có một khung dây abcd có đầu nối với hai phiến góp. Khung dây và phiến góp quay quanh trục của nó với tốc độ không đổi trong từ trường của hai cực nam châm N-S. Các chổi điện A, B đặt cố định và luôn luôn tỳ sát vào phiến góp.



Hình 4.4 Sơ đồ nguyên lý làm việc của máy phát một chiều
a) Mô tả nguyên lý máy phát; b) Sđđ máy phát có một phần tử;
c) Sđđ máy phát có nhiều phần tử.

Khi động cơ sơ cấp quay phần ứng (khung dây abcd) máy phát trong từ trường đều của phần cảm (nam châm S-N), các thanh dẫn của dây quấn phần ứng cắt từ trường phần cảm,

theo định luật cảm ứng điện từ, trong khung dây sẽ cảm ứng sđđ xoay chiều mà trị số tức thời của nó được xác định theo biểu thức :

$$e = Blv \quad (4.1)$$

Trong đó:

B : (T) từ cảm nơi thanh dẫn quét qua.

l (m): chiều dài dây dẫn nằm trong từ trường.

v (m/s): tốc độ dài của thanh dẫn.

Chiều của sđđ được xác định theo qui tắc bàn tay phải. Vậy theo hình 4.4a, sđđ của thanh dẫn ab nằm dưới cực từ N có chiều đi từ b đến a , còn của thanh dẫn cd nằm dưới cực S có chiều đi từ d đến c . Nếu nối hai chổi A và B với tải thì sđđ trong khung dây sẽ sinh ra trong mạch ngoài một dòng điện chạy từ chổi than A đến chổi than B .

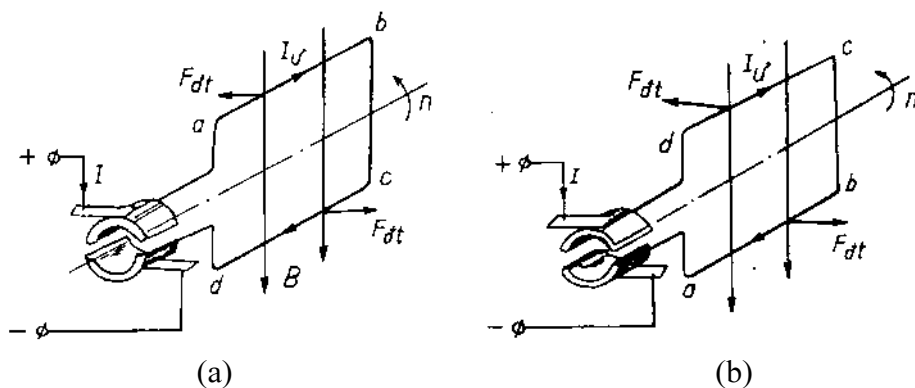
Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí của phần tử thay đổi, thanh dẫn ab ở cực S , thanh dẫn cd ở cực N , sđđ trong thanh dẫn đổi chiều. Nhờ chổi điện đứng yên, chổi A vẫn tiếp xúc với phiến góp trên, chổi B tiếp xúc với phiến góp dưới, nên chiều dòng điện ở mạch ngoài không đổi. Nhờ ổ góp và chổi than, điện áp trên chổi và dòng điện qua tải là điện áp và dòng điện một chiều.

Nếu máy chỉ có một phần tử, điện áp đầu cực máy phát như hình 4.4b. Để điện áp ra lớn và ít đập mạch (hình 4.4c), dây quấn phần ứng phải có nhiều phần tử và nhiều phiến đổi chiều.

5.2.1. Nguyên lý làm việc của động cơ một chiều

Ngược lại trên hình 4.5 mô tả nguyên lý làm việc của động cơ một chiều. Khi cho điện áp một chiều U vào hai chổi điện A và B , trong dây quấn phần ứng có dòng điện. Các thanh dẫn ab và cd mang dòng điện nằm trong từ trường sẽ chịu lực tác dụng tương hỗ lên nhau tạo nên momen tác dụng lên rotor, làm rotor quay. Chiều lực tác dụng được xác định theo qui tắc bàn tay trái (hình 4.5a).

Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí thanh dẫn ab , cd đổi chỗ nhau, nhờ có phiến góp đổi chiều dòng điện, nên dòng điện một chiều biến đổi thành dòng điện xoay chiều đưa vào dây quấn phần ứng, giữ cho chiều lực tác dụng không đổi, do đó lực tác dụng lên rotor cũng theo một chiều nhất định, đảm bảo động cơ có chiều quay không đổi (hình 4.5b).



Hình 4.5 Mô tả nguyên lý làm việc của động cơ điện một chiều

2. Sđđ phần ứng và mômen điện từ

Khi quay rôto, các thanh dẫn của dây quấn phần ứng cắt từ trường phân cảm, trong mỗi thanh dẫn cảm ứng sđđ trung bình là :

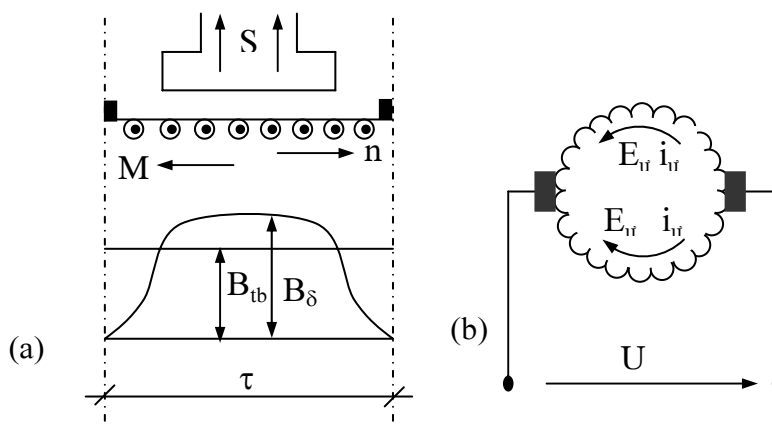
$$e_{tb} = B_{tb} l v \tag{4.2}$$

trong đó : $B_{tb} = \frac{\Phi}{\tau l}$ từ cảm trung bình trong khe hở;

l là chiều dài của thanh dẫn;

$$v = \frac{\pi D n}{60} = 2\tau p \frac{n}{60} \text{ tốc độ dài.}$$

Với: D : đường kính ngoài phần ứng; τ : bước cực; p : số đôi cực từ.
 n : tốc độ vòng; Φ : từ thông khe hở dưới mỗi cực từ.



Hình 4.6 Xác định sđđ phần ứng và momen điện từ trong máy điện một chiều
 a) Từ trường cực từ; b) Sơ đồ ký hiệu dây quấn;

Thế vào (4.2), ta có sđđ trung bình trong một thanh dẫn :

$$e_{tb} = 2p\Phi \frac{n}{60}$$

Từ phía cổ góp nhìn vào phần ứng ta thấy dây quấn có thể biểu thị bằng sơ đồ ký hiệu như hình 4.6b. Từ đó ta thấy dây quấn gồm nhiều phần tử nối tiếp nhau tạo thành mạch vòng kín. Các chổi điện chia dây quấn thành nhiều nhánh song song. Khi phần ứng quay, vị trí phần tử thay đổi nhưng nhìn từ ngoài vào vẫn là nhiều mạch nhánh song song. Sđđ phần ứng bằng tổng các sđđ thanh dẫn trong một nhánh. Nếu gọi số thanh dẫn của dây quấn phần ứng là N , số đôi mạch nhánh song song là a ($2a$ số nhánh song song), số thanh dẫn của một nhánh song song $N/2a$. Vậy sđđ của dây quấn phần ứng là sđđ của một nhánh song song bằng:

$$E_u = \frac{N}{2a} e_{tb} = \frac{pN}{60a} \Phi n = k_E \Phi n = k_M \Phi \Omega \tag{4.3}$$

trong đó: $\Omega = \frac{2\pi n}{60}$ là tốc độ góc của phần ứng;

$$k_E = \frac{pN}{60a}, k_M = \frac{pN}{2\pi a} \text{ hệ số phụ thuộc vào kết cấu của máy.}$$

Từ công thức (4.3) ta thấy, để thay đổi sđđ phần ứng thì có thể thay đổi tốc độ hoặc thay đổi từ thông Φ tức là thay đổi dòng điện kích từ và muốn đổi chiều sđđ thì hoặc đổi chiều quay, hoặc đổi chiều dòng điện kích từ.

Mômen điện từ và công suất điện từ của máy điện một chiều

Khi máy điện làm việc trong dây quấn phần ứng sẽ có dòng điện chạy qua. Tác dụng của từ trường lên dây dẫn có dòng điện sẽ sinh ra mômen điện từ trên trục máy.

Lực điện từ tác dụng lên từng thanh dẫn:

$$f = B_{tb} l i_u$$

Nếu tổng số thanh dẫn của dây quấn phần ứng là N và dòng điện trong mạch nhánh là $i_u = I_u/2a$ thì mômen điện từ tác dụng lên dây quấn phần ứng:

$$M = B_{tb} \frac{I_u}{2a} l N \frac{D}{2}$$

trong đó: I_u : dòng điện phần ứng.

a : số đôi mạch nhánh song song.

D : Đường kính ngoài phần ứng

l : chiều dài tác dụng của thanh dẫn.

Do: $D = \frac{2p\tau}{\pi}$ và $B_{tb} = \frac{\Phi}{\tau l}$, nên ta có:

$$M = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_u = k_M \Phi I_u \quad (\text{Nm}) \quad (4.4)$$

Từ công thức (4.4) ta thấy, muốn thay đổi mômen điện từ, ta phải thay đổi dòng điện phần ứng I_u hoặc thay đổi dòng điện kích từ I_t . Trong máy phát điện một chiều mômen điện từ là mômen hãm vì vậy ngược chiều quay phát điện, còn trong động cơ điện một chiều, mômen điện từ là mômen quay nên cùng chiều quay với động cơ.

Công suất ứng với mômen điện từ lấy vào đối với máy phát và đưa ra đối với động cơ gọi là công suất điện từ và bằng:

$$P_{dt} = \Omega M \quad (4.5)$$

trong đó: M là momen điện từ;

Thay vào công thức trên ta có:

$$P_{dt} = M\Omega = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_u \frac{2\pi n}{60} = \frac{pN}{60a} n \Phi I_u = E_u I_u \quad (4.6)$$

Từ công thức này ta thấy được quan hệ giữa công suất điện từ với momen điện từ và sự trao đổi năng lượng trong máy điện. Trong máy phát điện công suất điện từ đã chuyển công suất cơ $M\Omega$ thành công suất điện $E_u I_u$. Còn trong động cơ điện, công suất điện từ đã chuyển công suất điện $E_u I_u$ thành công suất cơ $M\Omega$.

Tổn hao và các phương trình cân bằng

Tổn hao trong máy điện một chiều gồm các loại sau:

Tổn hao cơ p_{cv} : gồm tổn hao ở ổ bi, tổn hao ma sát chổi than với vành góp, tổn hao thông gió ... tổn hao này phụ thuộc vào tốc độ quay và làm cho ổ bi, vành góp nóng lên.

Tổn hao sắt p_{Fe} : tổn hao do dòng điện xoáy và từ trễ trong lõi thép gây nên. Tổn hao này phụ thuộc vào vật liệu, chiều dày của tấm thép, trọng lượng lõi thép, từ cảm và tần số.

Các tổn hao trên khi tải đã tồn tại nên gọi là tổn hao không tải: $P_0 = p_{c0} + p_{Fe}$.

Tổn hao đồng p_{Cu} :

+ *Tổn hao đồng trong mạch phản ứng:*

- Tổn hao đồng trong dây quấn phản ứng: $I_u^2 r_u$.
- Tổn hao đồng trong dây quấn cực từ phụ: $I_u^2 r_f$.
- Tổn hao tiếp xúc giữa chổi than và vành góp : $2\Delta U_{tx} = 2V$ nên $p_{tx} = 2I_u$.

Gộp tất cả các tổn hao trên lại gọi là tổn hao đồng trên phần ứng:

$$p_u = I_u^2 R_u \quad \text{Với} \quad R_u = r_u + r_f + r_{tx}$$

+ *Tổn hao đồng trong mạch kích thích:*

- Tổn hao đồng trong dây quấn kích thích.
- Tổn hao trên biến trở điều chỉnh trong mạch kích từ, vậy : $p_{cut} = U_t I_t$,

trong đó : U_t điện áp đặt lên mạch kt, I_t : dòng điện kích từ.

Tổn hao phụ p_f :

- + Trong thép: từ trường phân bố không đều, ảnh hưởng răng rãnh.
- + Trong đồng: quá trình đổi chiều làm dòng thay đổi,... lấy $1\%P_{dm}$.

Phương trình cân bằng điện áp máy phát một chiều: $U = E_u - R_u I_u$.

Phương trình cân bằng điện áp động cơ một chiều : $U = E_u + R_u I_u$.

3. Máy phát một chiều

A. MÁY PHÁT KÍCH TỪ ĐỘC LẬP

Dòng điện kích từ I_t do nguồn một chiều ngoài máy tạo ra, không phụ thuộc dòng điện phản ứng I_u . Trên hình 4.7 là mạch điện tương đương của máy phát điện một chiều độc lập.

Các phương trình của máy phát

một chiều kích từ độc lập :

Phương trình điện áp :

+ Mạch kích từ :

$$U_t = R_{mt} I_t$$

+ Mạch phản ứng :

$$E_u = U + R_u I_u$$

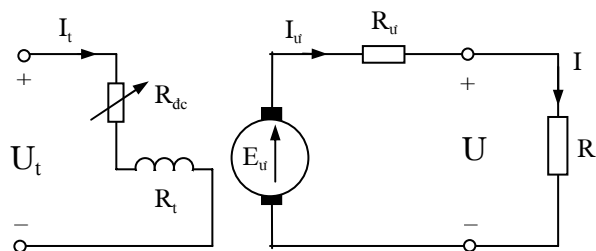
$$I_u = I$$

$$R_{mt} = R_t + R_{dc};$$

R_u : điện trở mạch phản ứng.

α . Đặc tính không tải : $E = f(I_t)$ khi $I=0$ và $n = const$

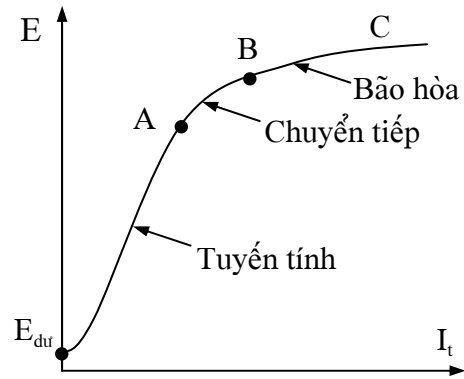
Lưu ý các điểm sau :



Hình 4.7 Mạch tương đương của máy phát kích từ độc lập

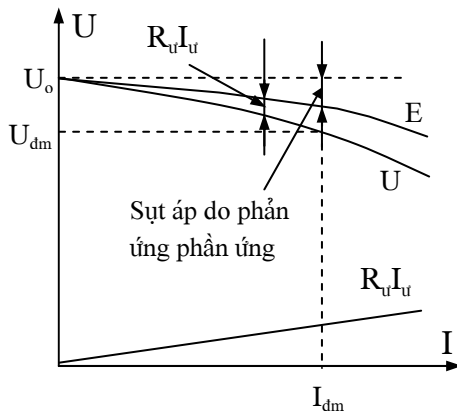
- Lúc $I_t = 0$ vẫn có một sđđ nhỏ E_{du} do từ dư của lõi thép.
- Trong đoạn $E_{du}A$. sđđ E tỷ lệ I_t .
- Trong đoạn chuyển tiếp AB , sđđ E tăng chậm hơn I_t
- Trong đoạn bão hòa BC , sđđ E tăng không đáng kể.

Điểm làm việc bình thường của máy nằm trên đoạn chuyển tiếp vì nếu trên đoạn tuyến tính sđđ E sẽ thay đổi nhiều theo dòng điện I_t nên điện áp ra của máy bị dao động; còn trên đoạn bão hòa dòng điện I_t lớn làm tăng tổn hao.

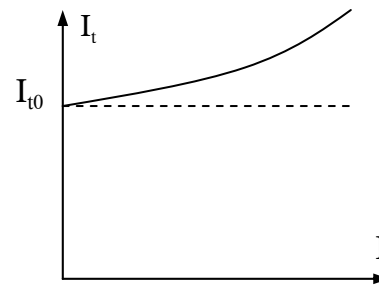


Hình 4.8 Đặc tính không tải

b. Đặc tính ngoài : $U = f(I)$, khi $n = \text{const}$ và $I_t = \text{const}$.



Hình 4.9 Đặc tính ngoài



Hình 4.10 Đặc tính điều chỉnh

- Tác dụng phản ứng phản ứng làm từ thông Φ giảm, kéo theo sđđ E_u giảm.
- Điện áp rơi trong mạch phản ứng $R_u I_u$ tăng.

Độ biến đổi điện áp định mức của máy phát : ($I_t = I_{tdm}$)

$$\Delta U_{dm} \% = \frac{U_0 - U_{dm}}{U_{dm}} \times 100 = (5 - 15)\% \tag{4.7}$$

c. Đặc tính điều chỉnh : $I_t = f(I)$ khi U và $\Omega = C^{te}$

Để giữ điện áp máy phát không đổi khi tải tăng, phải tăng dòng điện k.từ I_t .

MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỬ SONG SONG

a. Mạch điện tương đương và các phương trình cân bằng

$$I_u = I_{ts} + I \quad ; \quad U = E_u - R_u I_u \quad ; \quad U_t = R_{mt} I_{ts} = RI$$

b. Điều kiện tự kích

Quay máy phát với Ω khi $I_{\text{tải}} = 0$ và $I_{\text{ts}} = 0$. Nhờ có $\Phi_{\text{dư}}$ máy sẽ có sđđ $E_{\text{dư}}$ trên đầu cực của máy. Khi mạch kích từ được nối với đầu cực máy phát, sẽ có hai trường hợp xảy ra :

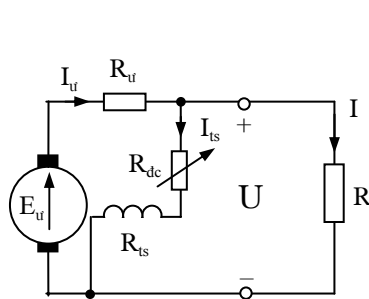
1. Sđđ $E_{\text{dư}}$ tạo ra I_{ts} , I_{ts} tạo ra Φ_{t} cùng chiều $\Phi_{\text{dư}}$. Thông cực từ $\Phi = \Phi_{\text{t}} + \Phi_{\text{dư}}$ tăng dần lên, sđđ E tăng theo và máy tự kích được.
2. Nếu Φ_{t} ngược chiều, sẽ triệt tiêu $\Phi_{\text{dư}}$, máy k^o tự kích được.

Giả sử máy tự kích được và $I_{\text{tải}} = 0$, lúc đó E và I_{ts} nghiệm của hệ:

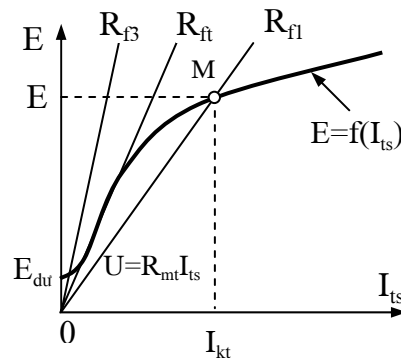
$$E = f(I_{\text{ts}}) \text{ và } E = R_{\text{mt}} I_{\text{ts}}$$

Đường $E = f(I_{\text{ts}})$ phụ thuộc Ω ; đường $E = R_{\text{mt}} I_{\text{ts}}$ phụ thuộc vào R_{mt} và tạo với trục I_{ts} một góc $\alpha = \arctg R_{\text{mt}}$. Chúng cắt nhau tại M.

Giả thiết giữ $\Omega = C^{te}$, nếu R_{mt} tăng, đường thẳng cảm tiếp xúc với đặc tính không tải ứng với điện trở tới hạn R_{th} , lúc đó điện áp không ổn định. Nếu tiếp tục tăng R_{mt} máy sẽ làm việc với $E_{\text{dư}}$.



Hình 4.11 Mạch tương đương của máy phát kích từ song song



Hình 4.12 Điều kiện tự kích

Tóm lại điều kiện tự kích là :

1. Phải có từ dư trong hệ thống mạch từ (máy).
2. Từ thông do sđđ $E_{\text{dư}}$ tạo ra cùng chiều từ dư.
3. Biến trở mạch kích từ R_{mt} phải đủ bé ($R_{\text{mt}} < R_{\text{th}}$).

c. Đặc tính ngoài : $U = f(I)$, khi $n = \text{const}$, $R_{\text{mt}} = \text{const}$.

Khi tải I tăng, điện áp U của máy phát kích từ song song giảm nhiều hơn máy phát kích từ độc lập vì

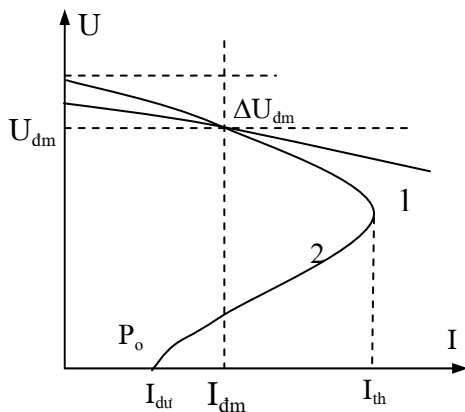
+ ảnh hưởng của phản ứng phân ứng và

+ điện áp rơi trên R_u như trong máy phát kích từ độc lập và thêm

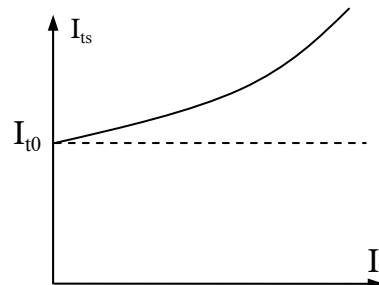
+ khi U giảm khiến I_{ts} và E giảm theo nên U giảm nhiều hơn so với ktdl. Ta vẽ chung hai đặc tính để so sánh. Ta thấy ΔU_{dm} của máy phát kích từ song song cũng lớn hơn máy phát kích từ độc lập : $\Delta U_{\text{dm}} = (10-20)\%$

Điểm đặc biệt của máy phát kích từ song song là dòng điện tải chỉ tăng đến một trị số nhất định $I = I_{\text{th}}$ sau đó nếu tiếp tục tăng tải thì dòng điện I không tăng mà giảm nhanh đến trị số I_0 xác định bởi từ dư trong máy, điểm P. Sở dĩ như vậy là do máy làm việc trong tình trạng

không bão hòa ứng với đoạn thẳng của đặc tính từ hóa, dòng điện I_{ts} giảm sẽ làm cho E và U giảm rất nhanh. Điện áp U giảm nhanh hơn dòng I_{ts} đưa lại kết quả là dòng tải I giảm đến I_0 . Như vậy sự cố máy phát kích từ song song không gây nguy hiểm như máy phát kích từ độc lập



Hình 4.13 Đặc tính ngoài của máy phát một chiều . 1. Kích từ độc lập; 2. Kích từ song song.



Hình 4.14 Đặc tính điều chỉnh

d. Đặc tính điều chỉnh

Để điều chỉnh điện áp, ta phải điều chỉnh dòng điện kích từ, đường đặc tính điều chỉnh của máy phát kích từ song song $I_s = f(I)$, khi điện áp U và tốc độ n không đổi vẽ trên hình 30.4.

MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ HỖN HỢP

a. Mạch điện tương đương phương trình cân bằng

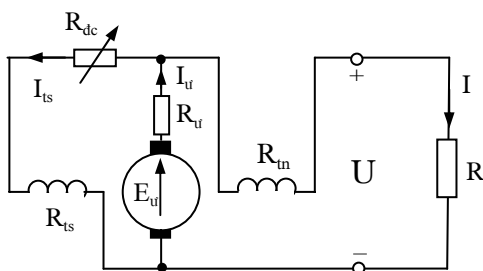
Phương trình cân bằng :

$$I_u = I_{ts} + I; \quad I_{tn} = I; \quad E_u = I_u R_u + IR_{tn} + U$$

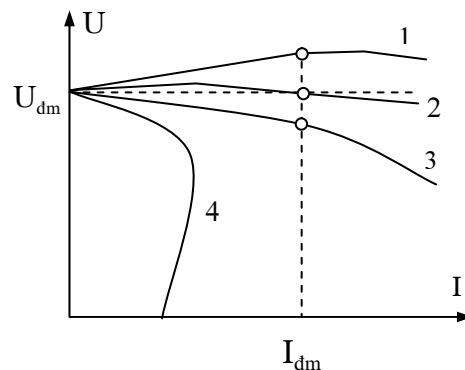
$$U_t = R_{mt} I_{ts} = I_{tn} R_{tn} + U$$

Dòng I_{tn} tạo ra Φ_n , nếu $\Phi = \Phi_s + \Phi_n$: máy phát kích từ hỗn hợp nối thuận, còn $\Phi = \Phi_s - \Phi_n$: máy phát kích từ hỗn hợp nối ngược. Sđđ trong biểu thức là :

$$E_u = C_E n \Phi = C_E n (\Phi_s \pm \Phi_n)$$



Hình 4.15 Mạch tương đương của máy phát kích từ hỗn hợp



Hình 4.16 Đặc tính ngoài của máy phát điện một chiều kích từ hỗn hợp. 1. Bù thừa. 2. Bù đủ 3. Bù thiếu 4. Nối ngược

b. Đặc tính ngoài : $U = f(I)$, khi $n = \text{const}$, $R_{mt} = \text{const}$.

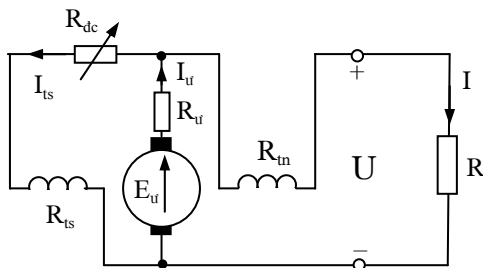
Gọi U_0 là điện áp lúc không tải và U_{dm} là điện áp đầy tải.

Ta có : $U = E_{\text{ư}} - R_{\text{ư}}I_{\text{ư}} - R_{\text{tn}}I$ và $E_{\text{ư}} = k_M(\Phi_s \pm \Phi_n)\Omega$

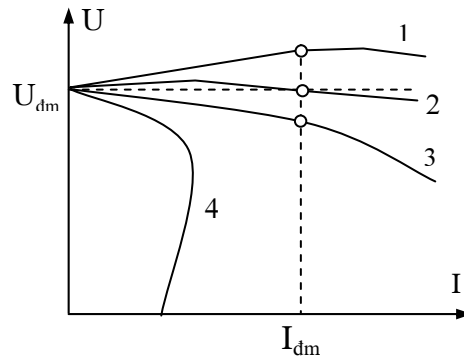
khi dòng tải I tăng, điện áp U thay đổi phụ thuộc vào độ lớn của Φ_n so với Φ_s tức là phụ thuộc vào số vòng dây W_n của cuộn ktnt. Đặc tính ngoài của mfkthh với :

+ *Kích từ hỗn hợp nối thuận* : đường (3) bù thiếu; đường (2) bù đủ; đường (1) bù thừa.

+ *Kích từ hỗn hợp nối ngược* : đường (4), do nối ngược nên từ thông tổng giảm nhiều khi tải tăng nên U giảm rất nhanh.

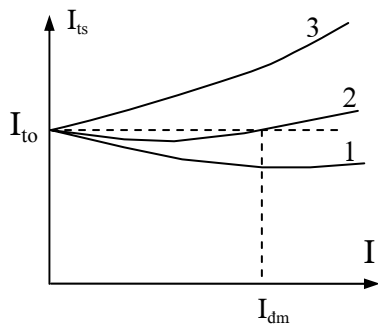


Hình 4.17 Mạch tương đương của máy phát kích từ hỗn hợp



Hình 4.18 Đặc tính ngoài của máy phát điện một chiều kích từ hỗn hợp. 1. Bù thừa. 2. Bù đủ 3. Bù thiếu 4. Nối ngược

c. Đặc tính điều chỉnh



Hình 4.19 Đặc tính điều chỉnh của máy phát điện một chiều kích từ hỗn hợp.

Để giữ U đầu cực máy phát điện không đổi, ta phải điều chỉnh dòng điện kích từ, đường đặc tính điều chỉnh của máy phát kích từ hỗn hợp $I_{ts} = f(I)$, khi U và $n=C^{te}$ được trình bày trên hình 4.14. Trong đó là đường 1 là khi nối thuận bù thừa, đường 2 nối thuận bù bình thường và đường 3- nối ngược.

4. Động cơ điện một chiều

A. ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ SONG SONG (ĐỘC LẬP)

a. Mạch điện tương đương và các phương trình cân bằng

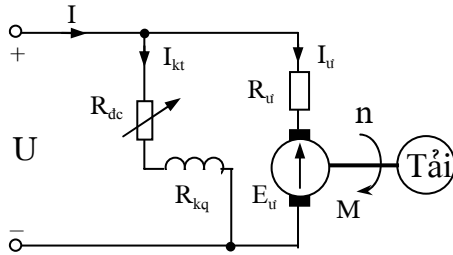
Mạch điện tương đương được trình bày trên hình 4.20; với các ký hiệu tương tự như máy phát, ta có các phương trình cân bằng là :

$$I = I_{\text{ư}} + I_{\text{kt}} \tag{4.9a}$$

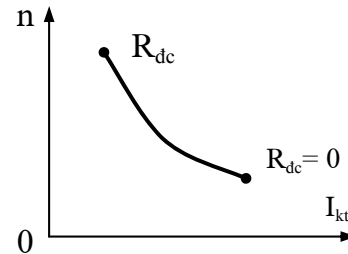
$$I_{kt} = \frac{U}{R_{dc} + R_{kd}} = \frac{U}{R_{kt}} \tag{4.9b}$$

$$E_{\text{ư}} = U - R_{\text{ư}} I_{\text{ư}} = k_M \Omega \Phi \tag{4.9c}$$

b. Đặc tính vận tốc theo dòng kích từ $n=f(I_{kt})$.



Hình 4.20 Mạch tương đương của động cơ kích từ song song



Hình 4.21 Đặc tính tốc độ theo dòng kích thích

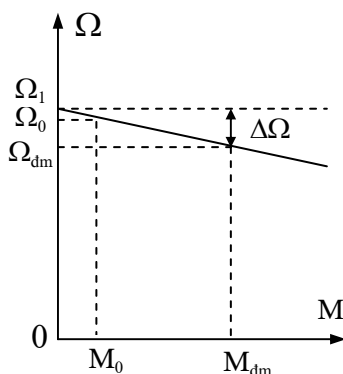
Đặc tính tốc độ theo dòng kích từ là đường cong $n = f(I_{kt})$, khi $I_{\text{ư}} = \text{const}$ và $U = \text{const}$. Theo biểu thức (4.9c), n tỉ lệ nghịch với từ thông $\Phi(I_{kt})$; trong khi đó quan hệ $\Phi(I_{kt})$ có dạng đường cong từ hóa $B(H)$. Vậy $n = f(I_{kt})$ có dạng hypebôn như hình 4.21. Từ đặc tính này cho thấy, để điều chỉnh tốc độ động cơ kích từ song song ta điều chỉnh dòng điện kích từ I_{kt} . Đây là ưu điểm động cơ một chiều so với động cơ xoay chiều.

c. Đặc tính cơ $\Omega = f(M)$.

Đó là đường cong quan hệ $\Omega = f(M)$, khi $I_{\text{ư}} = \text{const}$ và $U = \text{const}$. Rút $I_{\text{ư}}$ từ công thức (4.9) và thay vào (4.9), ta có :

$$\Omega = \frac{U}{k_M \Phi} - \frac{R_{\text{ư}}}{(k_M \Phi)^2} M \tag{4.10}$$

Nếu điện áp U và từ thông Φ không đổi thì đặc tính cơ là đường thẳng dốc xuống như trình bày trên hình 4.22. Moment tăng thì tốc độ giảm rất ít, như vậy đặc tính cơ cứng. Trong những máy điện thực từ thông giảm do phản ứng phần ứng, nên M hay $I_{\text{ư}}$ tăng làm tốc độ giảm ít hơn so với trình bày trên hình 4.21. Như vậy, phản ứng phần ứng có lợi trong việc điều khiển tốc độ động cơ một chiều.



Nếu $M_2=0$ và $M_0=0$ thì $I_{\text{ư}}=0$, động cơ quay với tốc độ không tải lý tưởng : $\Omega_1 = \frac{U}{k_M \Phi}$

Lúc không tải động cơ cũng phải lấy I_0 để bù vào P_0 , và quay với $\Omega_0 < \Omega_1$ một ít :

$$\Omega_0 = \frac{U - R_{\text{ư}} I_0}{k_M \Phi} \approx \Omega_1$$

Hình 4.22 Đặc tính cơ của động cơ kích từ song song

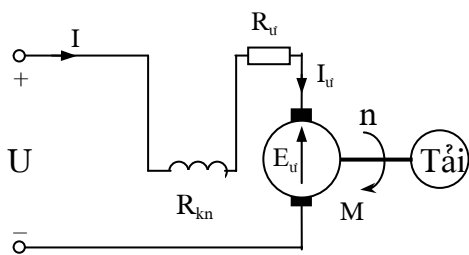
Từ công thức (4.10), ta thấy để điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều có ba phương pháp :

1. Điều chỉnh điện áp U đặt vào mạch phản ứng U.
2. Điều chỉnh từ thông Φ .
3. Điều chỉnh điện trở phụ mắc nối tiếp với mạch phản ứng.

Tóm lại, tốc độ của động cơ điện một chiều tăng khi U và Φ tăng hay điện trở phụ giảm, điều đó sẽ đề cập sau.

B. ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU NỐI TIẾP (série)

a. Mạch điện tương đương và các phương trình



Hình 4.23 Mạch tương đương của động cơ kích từ song song

Động cơ kích từ nối tiếp có cuộn kích từ mắc nối tiếp với cuộn dây phản ứng. Vì dòng kích từ bằng dòng điện phản ứng nên cuộn kích từ có tiết diện lớn, ít vòng dây và điện trở nhỏ. Mạch điện tương đương trình bày trên hình 4.23, với R_{kn} là điện trở của dây quấn kích từ nối tiếp.

Các phương trình cân bằng là :

$$I = I_n = I_u \tag{4.11}$$

$$E_u = U - (R_n + R_u)I_u = k_E \Phi n \tag{4.12}$$

Chú ý : Ở đây dòng điện I_u và từ thông $\Phi(I_u)$ phụ thuộc tải của động cơ.

b. Đặc tính cơ $\Omega = f(M)$.

Đó là đường cong quan hệ $\Omega = f(M)$ khi điện áp $U = \text{const}$.

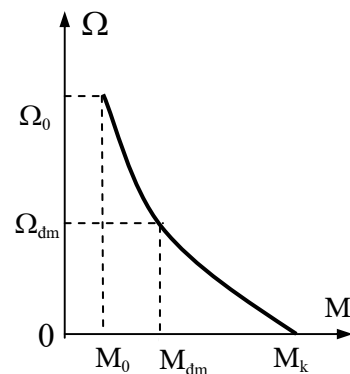
Theo công thức (4.4) và $\Phi = k_\Phi I_u$, ta có :

$$M = k_M k_\Phi I_u^2 \tag{4.13}$$

Khi I_u nhỏ, từ biểu thức (4.10) và (4.13), ta có :

$$\Omega = \frac{U}{\sqrt{k_M k_\Phi}} \times \frac{1}{\sqrt{M}} - \frac{R_u + R_n}{k_M k_\Phi} \tag{4.14a}$$

$$\Omega = \frac{A}{\sqrt{M}} - B \tag{4.14b}$$



Hình 4.24 Đặc tính của động cơ kích từ song song

Vậy đặc tính cơ của động cơ kích thích nối tiếp có dạng hypebôn (hình 4.33). Khi tốc độ $\Omega = 0$ moment khởi động M_k của động cơ kích thích nối tiếp có giá trị rất lớn. Khi tải giảm nhiều, I_u nhỏ, Φ nhỏ, động cơ sẽ quay rất nhanh. Đặc biệt lúc động cơ không tải, dòng điện $I_u = I_0$ rất nhỏ khiến tốc độ quá lớn, rất nguy hiểm. Vì vậy cần phải vận hành động cơ kích từ nối tiếp sao cho tình trạng khởi động không tải hoặc làm việc không tải không xảy ra; và cũng cần tránh động cơ làm việc quá non tải.

Khi I_u lớn, mạch từ bão hòa, từ thông $\Phi(I_u)$ tăng chậm hơn nghĩa là $\Phi(I_u) < k_\Phi I_u$ nên đặc tính ở trên hypebôn đó.

C. ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ HỖN HỢP

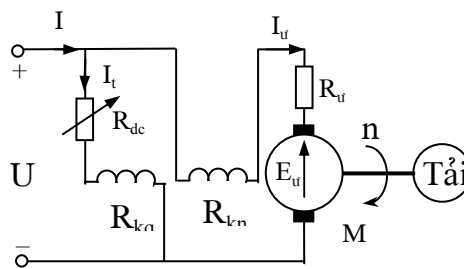
a) Mạch điện tương đương và các phương trình

Giống máy phát kích từ hỗn hợp, trên mỗi cực từ mang hai dây quấn kích từ : song song có điện trở R_s ; nối tiếp có điện trở R_n .

Từ hình 4.25, ta viết được các phương trình làm việc là:

$$I = I_u + I_{kt} ; I_n = I_u \tag{4.15a}$$

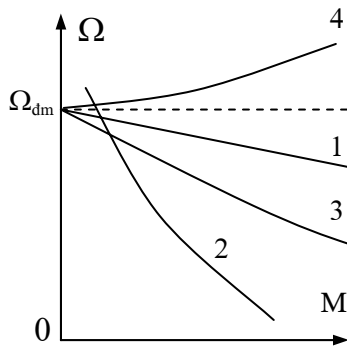
$$E_u = U - R_n I_n - R_u I_u = U - (R_{kn} + R_{kq}) I_u \tag{4.15b}$$



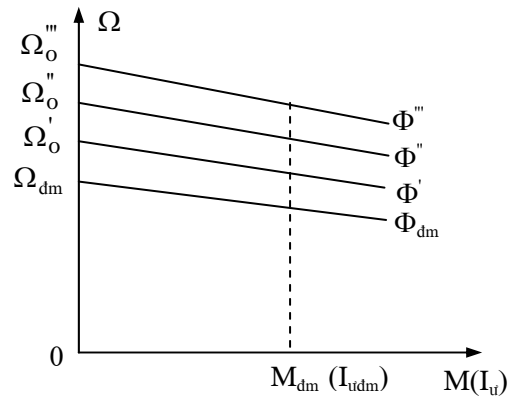
Hình 4.25 Mạch tương đương của động cơ kích từ hỗn hợp

b) Đặc tính cơ (tốc độ - Moment) $\Omega = f(M)$.

Đó là đường cong quan hệ $\Omega = f(M)$ khi điện áp $U = \text{const}$ và điện trở điều chỉnh $R_{dc} = \text{const}$.



Hình 4.26 Các đặc tính của động cơ một chiều. (1) song song ; (2) nối tiếp ; (3) hỗn hợp cộng ; (4) hỗn hợp trừ.



Hình 4.27 Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ song song với các I_{kt} khác nhau

Biết được quan hệ $\Phi_n = f(I_u)$, từ (4.35) và (4.36), ta có :

$$\Omega = \frac{U}{k_M(\Phi_s \pm \Phi_n)} - \frac{(R_u + R_n)M}{k_M^2(\Phi_s \pm \Phi_n)^2} \quad (4.17)$$

Đây chính là phương trình thông số của đường cong đặc tính cơ động cơ một chiều (hình 4.26).

D. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

Đặc tính cơ của các loại động cơ một chiều trình bày trên hình 4.27, còn phụ tải khác nhau yêu cầu tốc độ khác nhau. Vì vậy để phù hợp với tải cần phải điều chỉnh tốc độ động cơ lúc có tải.

Từ công thức (4.17), ta viết lại như sau :

$$\Omega = \frac{U}{k_M(\Phi_s \pm \Phi_n)} - \frac{(R_u + R_n + R_p)M}{k_M^2(\Phi_s \pm \Phi_n)^2} \quad (4.18)$$

Trong đó, R_p : điện trở phụ mắc vào mạch phần ứng.

Ta có các phương pháp điều chỉnh tốc độ như sau :

- + Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông Φ .
- + Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp U .
- + Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở phụ R_p .

Động cơ kích từ song song (độc lập)

a) Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông Φ

Nếu thay đổi Φ_n bằng cách thay đổi R_{dc} để thay đổi I_{kt} (hình 4.20) thì ứng với các trị số khác nhau của R_{dc} ta có các đặc tính cơ như hình 4.27. Các đường đặc tính này có $\Omega_o > \Omega_{odm}$, và sẽ giao nhau trên trục hoành khi $\Omega = 0$:

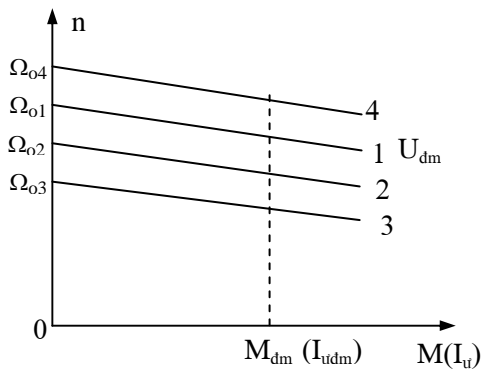
$$I_u = \frac{U}{R_u} \quad (4.19)$$

Do điều kiện đổi chiều, các động cơ thông dụng hiện nay có thể điều chỉnh tốc độ quay bằng phương pháp này trong giới hạn 1:2. Cũng có thể sản xuất động cơ có giới hạn điều chỉnh 1:5, thậm chí 1:8.

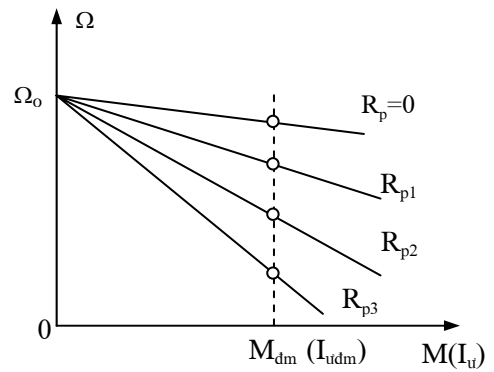
b) Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp U

Cần hai nguồn: một nguồn có thể điều chỉnh điện áp được để nối với mạch phần ứng và một nguồn khác nối với mạch kích từ. Hệ thống T-Đ (Thyristor - Động cơ) như trình bày (hình 539), đang sử dụng phổ biến. Bộ biến đổi A và B được nối song song ngược, trong đó bộ B được dùng khi cần đổi chiều quay động cơ.

Khi thay đổi U , họ đặc tính cơ trình bày trên hình 4.40. Đường 1 ứng với U_{dm} , đường 3 và 2 ứng với $U_3 < U_2 < U_{dm}$, còn đường 4 ứng với $U_4 > U_{dm}$.



Hình 4.28 Đặc tính cơ (tốc độ) của động cơ điện một chiều kích từ độc lập với các U khác nhau



Hình 4.29 Đặc tính cơ (tốc độ) của động cơ điện một chiều kích từ song song với các R_p khác nhau

c) Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở phụ R_f

Mắc thêm R_p vào mạch phần ứng (hình 4.36), ta thấy tốc độ động cơ giảm. Ta có họ đặc tính cơ ứng với các trị số khác nhau của R_p , trong đó $R_p = 0$ là đặc tính cơ tự nhiên. Ta thấy nếu R_p càng lớn đặc tính cơ càng dốc, tức đặc tính cơ càng mềm, nghĩa là tốc độ sẽ thay đổi nhiều khi tải thay đổi.

III. CÁC THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM :

Xem bảng các dụng cụ ở phụ lục C để biết các dụng cụ cần thiết cho bài thí nghiệm.

III. NỘI DUNG THÍ NGHIỆM :

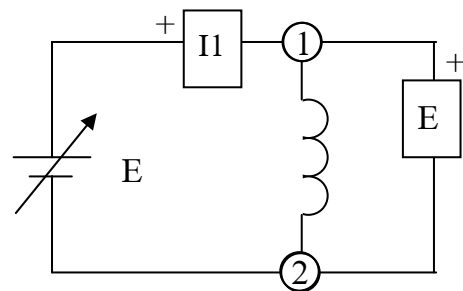
Thiết lập thiết bị :

- Cài các Module nguồn điện, Giao diện thu thập dữ liệu và máy điện một chiều trong hệ thống EMS.
- DAI LOW POWER INPUTS được nối với nguồn cung cấp chính, đặt công tắc nguồn AC-24V ở vị trí I (ON) và cáp dẹt của máy tính được nối với DAI.
- Hiện thị ứng dụng Metering, chọn File cấu hình DCMOTOR1.CFG.

1. ĐO ĐIỆN TRỞ MỘT CHIỀU CỦA MẠCH PHẦN ỨNG VÀ MẠCH KÍCH THÍCH.

Sơ đồ thí nghiệm hình 4.30.

- + Sử dụng nguồn cung cấp là nguồn điện một chiều (DC) điều chỉnh được từ 0-220V.
- + Trên cửa sổ Metering chuyển sang chế độ đo dòng điện và điện áp một chiều DC.
- + Dùng nguồn điện một chiều đầu 7-N, Vôn kế E1 và Ampe kế I1 đấu nối với các cuộn dây của **dây quấn phần ứng** như hình 1 để đo R_U và sau đó cho **dây quấn kích thích song song (Shunt) để đo R_f .**



Hình 4-30

+ Bật nguồn, xoay núm điều chỉnh tăng dần điện áp đặt vào hai đầu dây quấn để điện áp bằng 0.25, 0.50, 0.75, 1.0 U_{dm} đối với dây quấn kích từ và dòng điện bằng 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 I_{dm} đối với dây quấn phản ứng.

+ Ghi lại các trị số đo được trên các cửa sổ đo E1 và I1 vào máy tính bằng cách đưa con trỏ chuột đến nút **record data**. Sau khi đo hết các cuộn dây, mở bảng số liệu ghi vào bảng 1.

+ Tắt nguồn, xoay núm điều chỉnh điện áp về vị trí min, tháo gỡ các dây nối.

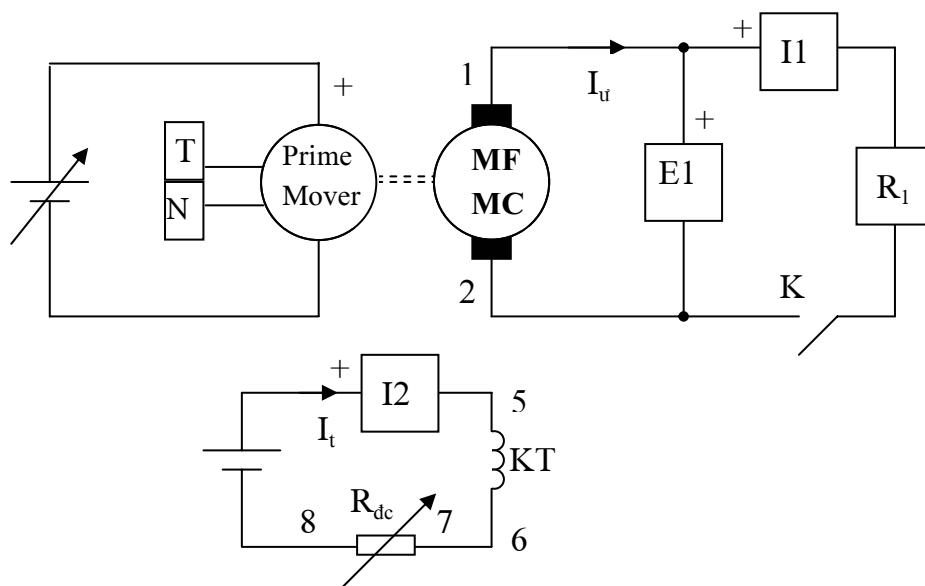
Bảng 1

Mạch kích từ					
I1(A)					
E1(V)					
Mạch phản ứng					
I1(A)					
E1(V)					

2. THÍ NGHIỆM MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU.

a) Máy phát điện một chiều kích từ độc lập:

Sơ đồ thí nghiệm như hình vẽ :



Hình 4.31 : Sơ đồ thí nghiệm không tải và có tải máy phát một chiều

• **Thí nghiệm lấy đặc tính không tải:(hình4.31)**

Trình tự tiến hành như sau:

- + Biến trở điều chỉnh R_{dc} để ở vị trí lớn nhất (1000 Ω).
- + Công tắc MODE để vị trí Prime Mover.
- + Công tắc DISPLAY để vị trí Speed (n).

Bảng 2

Không tải ($I_1 = 0$)									
I2(A)	0								
E1(V)									
Có tải ($I_2 = A$)									
I1(A)	0								
E1(V)									
Thành lập đặc tính điều chỉnh									
I2(A)									
I1(V)									

+ Hở K, bật nguồn và điều chỉnh để tăng dần điện áp U đặc vào động cơ sơ cấp (Prime mover) đạt đến tốc độ $n = n_{dm}$ của máy phát điện một chiều.

+ Điều chỉnh R_{dc} để tăng dòng điện kích từ cho đến khi điện áp đầu cực FM bằng $1.2U_{dm}$, trong quá trình tăng I_t , đưa con trỏ chuột đến nút **record data**, nhấp chuột để ghi kết quả vào máy tính. Sau đó mở bảng số liệu đo được ghi vào bảng 2 (hoặc dùng máy in để in bảng số liệu).

- **Thí nghiệm có tải: (hình 4.31)**

Trình tự tiến hành như sau :

+ Làm giống như thí nghiệm không tải để thành lập điện áp, nhưng chỉ bằng U_{dm} .

+ Đóng K để tăng dần tải cho đến khi tải định mức, trong quá trình tăng tải nếu điện áp sụt thì phải tăng dòng điện kích từ để $U = U_{dm}$. Trong quá trình tăng tải nếu tốc độ n giảm thì phải điều chỉnh để $n = n_{dm}$. Sau đó giảm dần tải, trong quá giảm tải đưa con trỏ chuột đến nút **record data**, nhấp chuột để ghi kết quả đo được vào máy tính. Sau đó mở bảng số liệu đo được ghi vào bảng 2.

- **Thành lập đặc tính điều chỉnh: (hình 4.31)**

Trình tự tiến hành như sau :

+ Làm giống như thí nghiệm không tải để thành lập điện áp, nhưng chỉ bằng U_{dm} .

+ Đóng K để tăng dần tải. Mỗi lần tăng tải, nếu điện áp U và tốc độ n giảm thì phải điều chỉnh dòng điện kích từ để giữ U và n bằng định mức. Sau đó đưa con trỏ chuột đến nút **record data**, nhấp chuột để ghi kết quả đo được vào máy tính. Mở bảng số liệu đo được ghi vào bảng 2.

b) Máy phát điện một chiều kích từ song song:

Sơ đồ thí nghiệm như hình 4.32:

- **Thí nghiệm không tải:(hình 4.32)**

Trình tự tiến hành như sau:

+ Để biến trở điều chỉnh R_{dc} ở vị trí lớn nhất (1000Ω).

+ Hở K, bật nguồn và điều chỉnh để tăng dần điện áp U đặc vào động cơ sơ cấp đến đạt tốc độ $n = n_{dm}$ của FM.

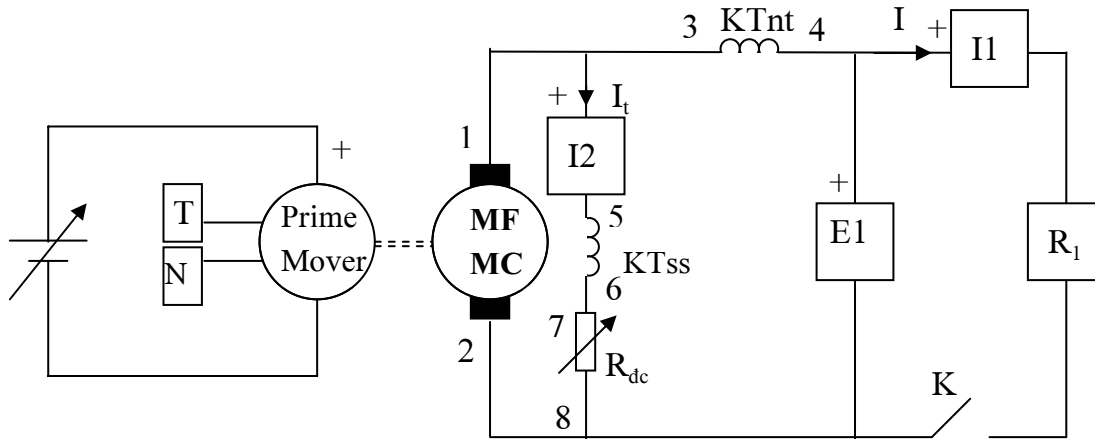
+ Giảm R_{dc} để tăng dòng điện kích thích cho đến khi điện áp đầu cực FM bằng $1.2U_{dm}$, trong quá trình tăng i_t , đưa con trỏ chuột đến nút **record data**, nhấp chuột để ghi kết quả đo

c) Máy phát điện một chiều kích từ hỗn hợp:

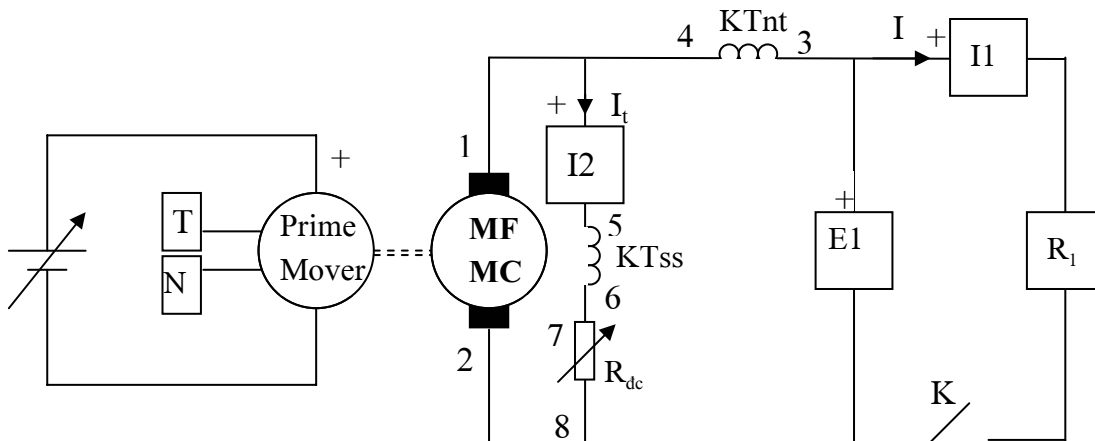
Sơ đồ thí nghiệm như hình 4.33 và 4.34 :

- **Thí nghiệm có tải : (hình 4.3, nối thuận)**

Trình tự tiến hành như sau :



Hình 4.33a: Sơ đồ thí nghiệm MFMC kích thích hỗn hợp nối thuận



Hình 4.34: Sơ đồ thí nghiệm MFMC kích thích hỗn hợp nối ngược

- + Làm giống như thí nghiệm không tải trên để thành lập điện áp.
- + Đóng K để tăng dần tải cho đến khi tải định mức. Trong quá trình tăng tải, đưa con trỏ chuột đến nút **record data**, nhấp chuột để ghi kết quả đo được vào máy tính. Trong quá trình tăng tải nếu n giảm thì phải điều chỉnh điện áp để $n = n_{dm}$. Sau đó mở bảng số liệu đo được ghi vào bảng 4 (hoặc dùng máy in để in bảng số liệu).

- **Thí nghiệm có tải : (hình 4.34) nối ngược)**

Trình tự tiến hành như sau :

- + Làm giống như thí nghiệm không tải trên để thành lập điện áp.

+ Đóng K để tăng dần tải cho đến khi tải định mức. Trong quá trình tăng tải, đưa con trỏ chuột đến nút **record data**, nhấp chuột để ghi kết quả đo được vào máy tính. Trong quá trình tăng tải nếu n giảm thì phải điều chỉnh điện áp để $n = n_{dm}$. Sau đó mở bảng số liệu đo được ghi vào bảng 4.

Bảng 4

Nối thuận (hình 4a)									
$i_t = I_2(A)$									
$I = I_1(A)$	0								
$U = E_1(V)$									
Nối ngược (hình 4b)									
$i_t = I_2(A)$									
$I = I_1(A)$	0								
$U = E_1(V)$									

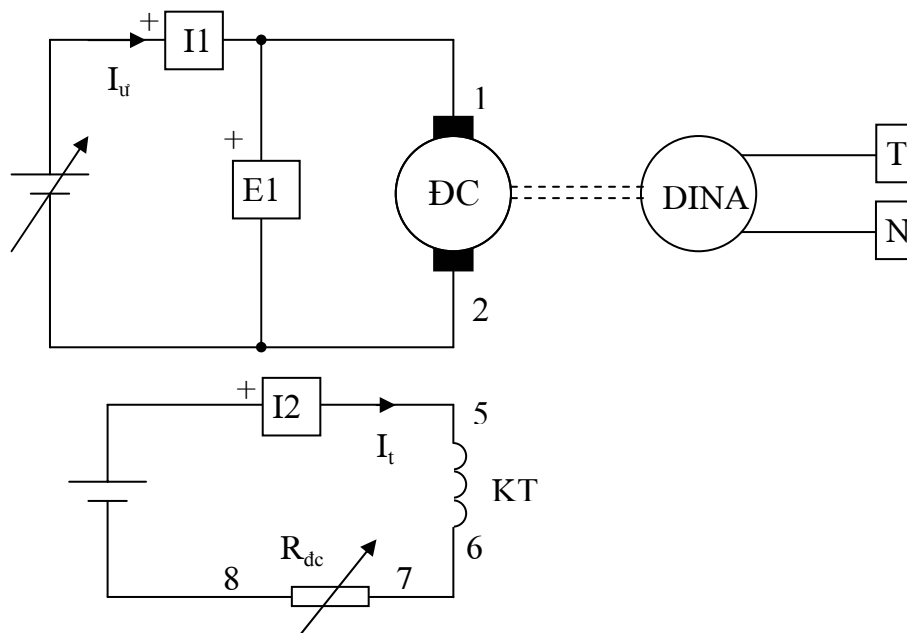
3. THÍ NGHIỆM ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU.

a) Lấy đặc tính cơ động cơ một chiều KT độc lập

Sơ đồ nối dây thí nghiệm hình 4.35

Trình tự tiến hành như sau :

- + Để biến trở điều chỉnh R_{dc} ở vị trí max.(1000Ω).
- + Công tắt MODE để vị trí Dinamoteur.
- + Công tắt DISPLAY để vị trí Speed (N).
- + Công tắt Load control mode để vị trí MAN và xoay núm điều chỉnh về vị trí min.



Hình 4.35 Sơ đồ thí nghiệm lấy đặc tính cơ động cơ một chiều KT độc lập

+ Mở cửa sổ đo momen và tốc độ để ghi số liệu.

+ Đóng nguồn tăng dần điện áp đặt vào phần ứng động cơ $U = U_{dm}$. Điều chỉnh dòng điện kích từ để $n = 1,05n_{dm}$ (Khoảng 1575vg/ph). Sau đó xoay múm điều chỉnh Load control để tăng momen. Trong quá trình tăng tải, đưa con trỏ chuột đến nút **record data**, nhấp chuột để ghi kết quả đo được vào máy tính. Sau đó mở bảng số liệu đo được ghi vào bảng 4.

Bảng 5

Đặc tính cơ									
N(Vg/ph)									
T(N.m)	0								
I1(A)									
E1(V)									

b) Điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều Kích Từ độc lập

- Thay đổi từ thông: (Sơ đồ thí nghiệm hình 4.35)

Trình tự tiến hành như sau :

+ Làm như thí nghiệm lấy đặc tính cơ. Sau đó thay đổi dòng điện kích từ và làm lại như trên. Lấy khoảng 3 giá trị dòng kích từ. Sau đó mở bảng số liệu đo được ghi vào bảng 6.

Bảng 6

Đặc tính cơ khi $i_t = A$									
N(Vg/ph)									
T(N.m)	0								
Đặc tính cơ khi $i_t = A$									
N(Vg/ph)									
T(N.m)	0								

- Thay đổi điện áp đặt vào mạch phản ứng: (Sơ đồ thí nghiệm hình 4.35)

Trình tự tiến hành như sau :

+ Làm như thí nghiệm lấy đặc tính cơ. Sau đó thay đổi điện áp đặt vào mạch phản ứng và làm lại như trên. Lấy khoảng 3 giá trị điện áp đặt vào mạch phản ứng. Sau đó mở bảng số liệu đo được ghi vào bảng 7.

Bảng 7

Đặc tính cơ khi $U = V$									
N(Vg/ph)									
T(N.m)	0								
Đặc tính cơ khi $U = V$									
N(Vg/ph)									
T(N.m)	0								

Số liệu Động cơ Một chiều và Máy phát Một chiều :

IV. BÁO CÁO THÍ NGHIỆM

1. Từ các số liệu bảng 1, tính điện trở của các cuộn dây theo công thức sau:

$$R_1 = \frac{U_{12}}{I_{12}}; \quad R_{tb} = \frac{R_{u1} + R_{u2} + R_{u3} + R_{u4}}{4}$$

2. Từ số liệu bảng 2, 3 đo được vẽ các đặc tính của máy phát điện. Nhận xét các đường đặc tính đó và so sánh với dạng lý thuyết đã học.
3. Tính độ biến đổi điện áp định mức máy phát một chiều KT độc lập:

$$\Delta U_{dm} \% = \frac{E - U_{dm}}{U_{dm}} 100$$

4. Từ số liệu bảng 4 vẽ các đường đặc tính ngoài của máy phát điện kích từ hỗn hợp nối thuận và nối ngược cùng chung trên một hệ trục tọa độ. Nhận xét các đường đặc tính đó và so sánh với dạng lý thuyết đã học.
5. Từ số liệu bảng 5 đo được vẽ đặc tính cơ và từ số liệu bảng 6, 7 kết hợp với bảng 5 vẽ họ đặc tính cơ của động cơ điện một chiều khi thay đổi từ thông và thay đổi điện áp đưa vào mạch phản ứng. Nhận xét các đường đặc tính đó và so sánh với dạng lý thuyết đã học.
6. Trên cơ sở số liệu bảng 5, tính và vẽ đặc tính hiệu suất của động cơ.

Khi không tải: Công suất tổng đưa vào máy kể cả tổn hao đồng:

$$P_{tg} = UI = P_{Cu} + P_{Fe} + P_{cơ} + P_f$$

Trong đó: $P_{Fe} + P_{cơ} = P_{tg} - P_{Cu}$ với $P_{Cu} = R_u I^2$ Và P_f = tổn hao phụ không đáng kể

V. CÂU HỎI KIỂM TRA

1. Mục đích thí nghiệm.
2. Phân biệt các sơ đồ đấu nối kích thích độc lập, song song và hỗn hợp.
3. Ý nghĩa của các đường đặc tính máy.
4. Cách xác định các thông số máy.
4. Cách tạo File cấu hình, bảng số liệu, lưu số liệu và vẽ đồ thị trong phần mềm Lab - Volt.