

**Báo cáo thực tập tốt nghiệp**

# **Tự động điều khiển**



# CHƯƠNG I

## GIỚI THIỆU CHUNG VỀ MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

### 1.1. Nguyên lý làm việc của máy điện đồng bộ

Máy điện đồng bộ là thiết bị điện quan trọng được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp. Phạm vi sử dụng chính là làm máy phát điện, nghĩa là biến đổi cơ năng thành điện năng. Điện năng chủ yếu dùng trong nền kinh tế quốc dân và đời sống được sản xuất từ các máy phát điện quay bằng tuabin hơi, tuabin khí hoặc tuabin nước. Hai loại thường gặp nhất là máy phát nhiệt điện và máy phát thủy điện 3 pha.

Máy điện đồng bộ còn được dùng làm động cơ đặc biệt trong các thiết bị lớn, vì khác với động cơ không đồng bộ là chúng có thể phát ra công suất phản kháng.

Thông thường các máy đồng bộ được tính toán, thiết kế sao cho chúng có thể phát ra công suất phản kháng gần bằng công suất tác dụng. Trong một số trường hợp, việc đặt các máy đồng bộ ở gần các trung tâm công nghiệp lớn là chỉ để phát ra công suất phản kháng. Với mục đích chính là bù hệ số công suất  $\cos\varphi$  cho lưới điện được gọi là máy bù đồng bộ.

Ngoài ra các động cơ đồng bộ công suất nhỏ (đặc biệt là các động cơ kích từ bằng nam châm vĩnh cửu) cũng được dùng rộng rãi trong các trang bị tự động và điều khiển.

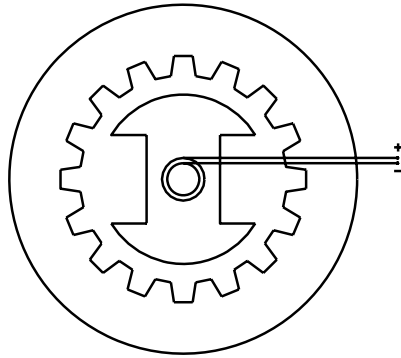
### 1.2. Phân loại và kết cấu của máy điện đồng bộ.

#### 1. Phân loại:

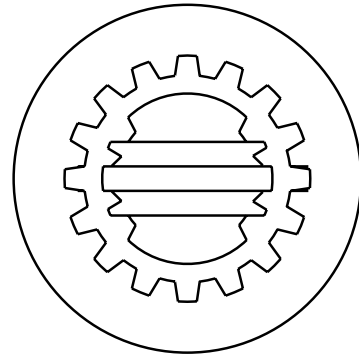
Theo kết cấu có thể chia máy điện đồng bộ thành 2 loại: Máy đồng bộ cực ẩn thích hợp với tốc độ quay cao (số cực  $2P = 2$ ), và máy điện đồng bộ cực lồi thích hợp với tốc độ quay thấp ( $2P \geq 4$ )

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc      Lớp CD ĐT4 - 1**

**K1**



Hình 1.1: Rôto cực lồi



Hình 1.2: Rôto cực ẩn

Theo chức năng có thể chia máy điện đồng bộ thành các loại chủ yếu sau:

*a. Máy phát điện đồng bộ*

- Máy phát điện đồng bộ thường được kéo bởi tuabin hơi hoặc tuabin nước và được gọi là máy phát tuabin hơi hay máy phát tuabin nước. Máy phát tuabin hơi có tốc độ quay cao, do đó được chế tạo theo kiểu cực ẩn và trục máy được đặt nằm ngang nhằm đảm bảo độ bền cơ cho máy. Máy phát điện tuabin nước có tốc độ quay thấp nên có kết cấu theo kiểu cực lồi, nói chung trục máy thường đặt thẳng đứng. Bởi vì để giảm được kích thước của máy nó còn phụ thuộc vào chiều cao cột nước. Trong trường hợp máy phát có công suất nhỏ và cần di động thường dùng động cơ diezen làm động cơ sơ cấp và được gọi là máy phát điện diezen, loại này thường được chế tạo theo kiểu cực lồi.

*b. Động cơ điện đồng bộ:*

Động cơ điện đồng bộ thường được chế tạo theo kiểu cực lồi và được sử dụng để kéo các tải không đòi hỏi phải thay đổi tốc độ, với công suất chủ yếu từ 200KW trở lên.

*c. Máy bù đồng bộ:*

Máy bù đồng bộ thường được dùng để cải thiện hệ số công suất  $\cos\varphi$  của lưới điện.

Ngoài các loại trên còn có các loại máy điện đặc biệt như: Máy biến đổi một pha ứng, máy đồng bộ tần số cao... và máy điện công suất nhỏ dùng trong tự động, như động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu, động cơ đồng bộ phản kháng, động cơ đồng bộ từ trễ, động cơ bước ...

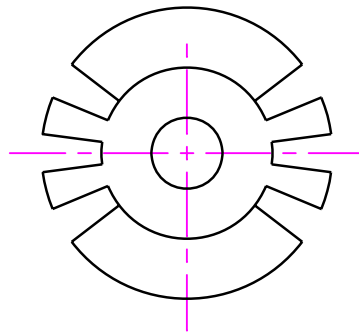
## 2. Kết cấu:

Để thấy rõ đặc điểm về kết cấu của máy điện đồng bộ, ta xét 2 trường hợp máy cực ẩn và máy cực lồi như sau:

### a. Kết cấu của máy đồng bộ cực ẩn:

Roto của máy đồng bộ cực ẩn làm bằng thép hợp kim chất lượng cao, được rèn thành khối hình trụ, sau đó gia công và phay rãnh để đặt dây quấn kích từ.

Phần không phay rãnh còn lại hình thành nên mặt cực từ. Mặt cực ngang trục lõi thép roto như hình 1.3.



Hình 1.3: Mặt cắt ngang trục lõi thép roto

Thông thường các máy đồng bộ được chế tạo với số cực  $2P = 2$ , tốc độ quay  $n = 3000$ (vòng/phút). Để hạn chế lực ly tâm, trong phạm vi an toàn đối với hợp kim, người ta chế tạo roto có đường kính nhỏ: ( $D = 1,1 \div 1,15$  (m)). Vì vậy muốn tăng công suất máy chỉ có thể tăng chiều dài  $l$  của roto ( $l_{\max} = 6,5$ m).

Dây quấn kích từ được đặt trong rãnh roto và được quấn thành các bó dây, các vòng dây trong bó dây được cách điện với nhau bằng một lớp mica mỏng. Miếng rãnh được nôm kín để cố định và ép chặt các bó dây.

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc Lớp CDĐT4 - 3**

Dòng điện kích từ là dòng một chiều được đưa vào cuộn kích từ thông qua chổi than đặt trên trục roto.

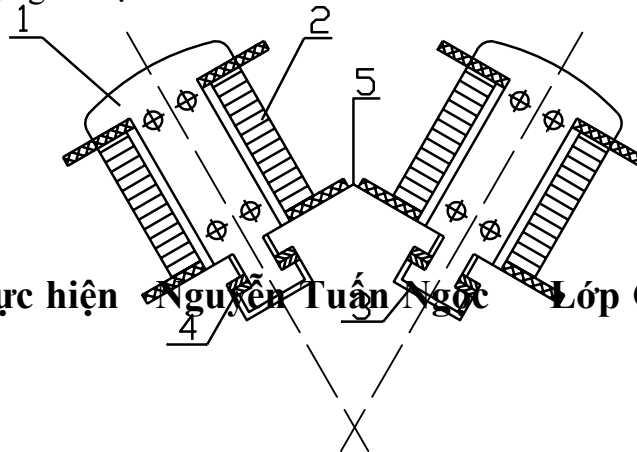
Stato của máy đồng bộ cực ẩn bao gồm lõi thép được ghép lại từ các lá thép kỹ thuật điện, trong đó có tạo rãnh để đặt dây quấn 3 pha. Stato được gắn liền với thân máy, dọc chiều dài lõi thép stato có làm những rãnh thông gió ngang trục với mục đích thông gió là mát máy điện. Trong các máy đồng bộ công suất trung bình và lớn thân máy được chế tạo theo kết cấu khung thép, máy phải có hệ thống làm mát. Nắp máy được chế tạo từ thép tấm hoặc gang đúc.

*b. Kết cấu của máy đồng bộ cực lõi:*

Máy đồng bộ cực lõi thường có tốc độ quay thấp vì vậy đường kính roto lớn hơn nhiều lần so với roto cực ẩn: ( $D_{\max} = 15\text{m}$ ), trong khi đó chiều dài lại nhỏ, với tỷ lệ  $l/D = 0,15 \div 0,2$ .

Roto của máy đồng bộ cực lõi công suất trung bình và nhỏ có lõi thép được chế tạo từ thép đúc và gia công thành khối lăng trụ, trên mặt có đặt các cực từ. Ở những máy lớn. Lõi thép đó được hình thành bởi các tấm thép dày từ 1mm đến 6mm, được dập hoặc đúc định hình sẵn để ghép thành các khối lăng trụ, và lõi thép này thường không trực tiếp lồng vào trục máy mà được đặt trên giá đỡ của roto.

Dây quấn cảm (trường hợp máy phát đồng bộ) hoặc dây quấn mở máy (trường hợp động cơ đồng bộ) được đặt trên các đầu cực. Các dây quấn này giống như dây quấn kiểu lồng sóc của máy điện không đồng bộ, nghĩa là làm bằng các thanh đồng đặt vào rãnh các đầu cực và được nối 2 đầu bởi 2 vòng ngắn mạch.



1. Lá thép cực từ
2. Dây quấn kích từ
3. Đuôi hình T
4. Nêm
5. Lõi thép roto.

Stato của máy đồng bộ cực lõi có thể đặt nằm ngang với máy có công suất nhỏ, tốc độ quay cao. Ở trường hợp máy phát tuabin nước công suất lớn, tốc độ chậm thì trục của máy phải đặt thẳng đứng theo 2 kiểu treo và kiểu đỡ tùy thuộc vào cách bố trí ổ trục đỡ.

+ Ưu điểm của kiểu treo là ổn định, ít chịu ảnh hưởng tác động của các phần phụ, nhưng chi phí xây dựng cao, còn kiểu đỡ là giảm được kích thước máy theo chiều cao. Do đó giảm được kích thước chung của máy. Như vậy tùy theo yêu cầu mà ta phải có cách bố trí sao cho hợp lý nhất.

### **1.3. Các thông số chủ yếu của máy phát điện đồng bộ**

Trong máy phát điện đồng bộ ngoài các thông số như: Công suất, điện áp, dòng điện định mức... còn phải kể đến các thông số cơ bản khác của máy phát điện đồng bộ là: điện trở, điện kháng của cuộn dây, các hằng số quán tính điện và cơ.

#### **1. Điện kháng đồng bộ dọc trục và ngang trục ( $X_d, X_q$ )**

Điện kháng đồng bộ dọc trục và ngang trục là một trong những thông số đặc trưng của máy phát điện ở chế độ xác lập. Ở máy phát điện cực lõi vì ở mặt cực, từ thông khe hở không khí là không đều, nên mạch từ không

bão hòa. Do đó điện kháng dọc trục và ngang trục là khác nhau ( $X_d \neq X_q$ ). Còn ở máy phát cực ẩn thì khe hở không khí là đều nhau, mạch từ bão hòa nên:

$$X_d = X_q.$$

## 2. Điện kháng quá độ $X'd$

Đặc trưng cho cuộn cảm của cuộn dây ở chế độ xác lập. Ở chế độ này từ thông sinh ra bởi cuộn dây stato đi qua cuộn dây roto bị giảm do phản ứng hồi cảm của cuộn dây này. Điện trở mạch kín của cuộn dây roto thường nhỏ nên phản ứng hồi cảm triệt tiêu hoàn toàn từ thông bên trong nó. Vì thế có thể coi điện cảm của nó khi mạch khép kín ra bên ngoài cuộn dây roto là rất nhỏ và không phụ thuộc vào dạng cực từ.

## 3. Điện kháng siêu quá độ:

Điện kháng này đặc trưng cho điện cảm của cuộn dây stato ở giai đoạn đầu của chế độ quá độ. ở giai đoạn đầu của chế độ này bị ảnh hưởng của cuộn dây cản, làm giảm đi từ thông cuộn dây stato. Do đó  $X''_d < X'_d$ . Do dòng điện xuất hiện trong cuộn dây cản là tức thời cho nên điện kháng  $X''_d$  chỉ tồn tại trong giai đoạn đầu của chế độ quá độ.

## 4. Hằng số quán tính cơ $T_j$ :

Đặc trưng cho mômen quán tính phân quay, hằng số này được tính toán tùy thuộc vào từng loại máy phát.

$$T_j = \frac{J}{J_{dm}} = \frac{\omega^2 dm}{S_{dm}} \cdot J$$

Trong đó:

$$\omega_{dm} = \frac{2\pi \cdot n}{60}$$

$$J = \frac{GD^2}{60}$$

Với:  $G$  - Khối lượng vật quay

$D$  - đường kính vật quay

#### 1.4. Đồ thị vectơ và các đặt tính của máy phát điện

##### 1. Phương trình điện áp và đồ thị vectơ của máy phát điện đồng bộ.

Đối với máy phát đồng bộ:

$$\dot{U} = \dot{E}_\delta - \dot{I}(r_{\text{tr}} + jX_{\delta\text{tr}}). \quad (1 - 1)$$

Đối với động cơ điện đồng bộ

$$\dot{U} = \dot{E}_\delta + \dot{I}(r_{\text{tr}} + jX_{\delta\text{tr}}). \quad (1 - 2)$$

Trong đó:

$U$ : Điện áp đầu cực máy phát

$R_{\text{tr}}, X_{\delta\text{tr}}$ : Điện trở và điện kháng tản của dây quấn phần ứng.

$E_\delta$ : Sức điện động cảm ứng trong dây quấn do từ trường khe hở không khí.

Khi có tải thì suất điện động cảm ứng này được chia làm 2 thành phần:

$$\dot{E}_\delta = \dot{E} + \dot{E}_{\text{tr}}$$

##### a. Ta xét trường hợp máy phát điện

Trong trường hợp này ta xét cho 2 loại máy cực ẩn và máy cực lồi.

Giả sử máy phát làm việc ở tải điện cảm có:

$$0 < \varphi < 90^\circ$$

Phương trình cân bằng điện áp cho máy cực ẩn

$$\dot{U} = \dot{E} + \dot{E}_{\text{tr}} - \dot{I}(r_{\text{tr}} + jX_{\text{tr}}) \quad (1 - 3)$$

$E_{\text{tr}}$ : Sức điện động phản ứng được biểu thị theo điện kháng phản ứng:

$$\dot{E}_{\text{tr}} = j \dot{I} X_{\text{tr}}$$

Vậy phương trình 1 - 3 trở thành:

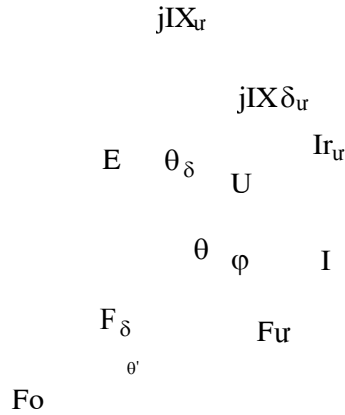
**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc      Lớp CDĐT4 - 7**

**K1**



$$\dot{U} = \dot{E} - j \dot{I}(X_{ur} + jX_{\sigma ur}) - \dot{I} r_{ur} \quad (1 - 4)$$

Ta biểu diễn phương trình 1 - 4 bằng đồ thị vectơ



Hình 1.5: Đồ thị sđđ của máy phát đồng bộ cực âm

Trên đồ thị thì: Từ thông chính  $\Phi_0(F_0)$  vượt trước E một góc  $\pi/2$  và

$\Phi_{ur}(F_{ur})$  chậm sau  $\dot{E}_{ur} = j IX_{ur}$  một góc  $\pi/2$ .

Phương trình cân bằng điện áp cho máy cực lồi.

$$\dot{U} = \dot{E} - j \dot{I}_d X_{urd} - j \dot{I}_q X_{urq} - j \dot{I} X_{\sigma ur} - \dot{I} r_{ur} \quad (1 - 5)$$

Vì trong máy cực lồi thành phần sức từ động được chia thành 2 thành phần dọc trục và ngang trục.

$$\dot{E}_{ud} = -j \dot{I}_d X_{urd}$$

$$\dot{E}_{uq} = -j \dot{I}_q X_{urq}$$

Và thành phần  $-j \dot{I} X_{\delta ur}$  ta cũng phân tích thành 2 thành phần dọc trục và ngang trục.

$$-j \dot{I} X_{\delta ur} = -j \dot{I}_q X_{\delta ur} - (-j \dot{I}_d X_{\delta ur})$$

Lúc này phương trình (1 - 5) trở thành:

$$\dot{U} = \dot{E} - j \dot{I}_d X_d - j \dot{I}_q X_q - \dot{I} r_r \quad (1 -$$

6)

Với:  $X_d = X_{urđ} + X_{\delta ur}$

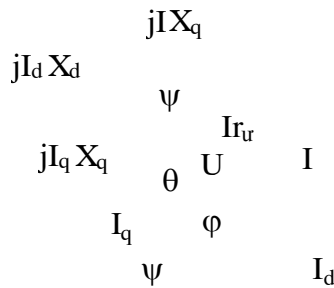
$$X_q = X_{urq} + X_{\delta ur}$$

$X_d$  : điện kháng đồng bộ dọc trục.

$X_q$  : điện kháng đồng bộ ngang trục.

Biểu diễn phương trình (1 - 6) trên đồ thị vectơ.

E



Hình 1.6: Đồ thị sđđ đã biến đổi của máy điện cực lồi + Trường hợp mạch từ bão hoà:

Đối với máy phát đồng bộ cực lồi việc thành lập đồ thị vectơ có xét đến trạng thái bão hoà mạch từ có gặp nhiều khó khăn. Vì lúc đó từ thông  $\Phi_d$  và  $\Phi_q$  có liên quan với nhau và trạng thái bão hoà theo hai phương đó là khác nhau. Như vậy  $X_{urđ}$  không những phụ thuộc vào  $\Phi_d$  mà còn phụ thuộc vào  $\Phi_q$ , và  $X_{urđ}$  cũng tương tự. Để đơn giản, ta cho rằng từ thông dọc trục và ngang trục chỉ ảnh hưởng theo hướng trục và giả sử rằng mức độ bão hoà theo hướng ngang trục là đã biết ( $K_{\mu q}$  đã biết).

Từ phương trình cân bằng điện áp:

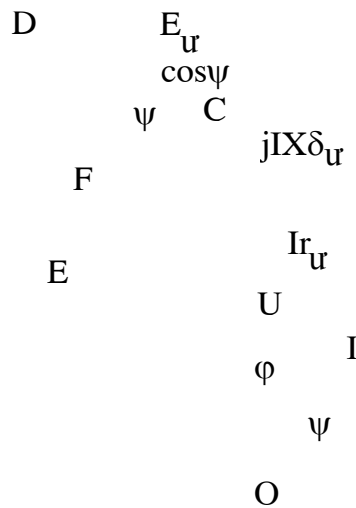
$$\dot{U} = \dot{E} - j I_d X_d - j I_q X_q - \dot{I} r_r \quad (1 - 7)$$

Vẽ đồ thị vectơ cho phương trình (1 - 7), trước hết ta vẽ vectơ  $\dot{U}$ ,  $\dot{I}_{rr}$ ,  $J \dot{I}_{rr}$ , ta được  $E_\delta$  rồi từ hướng  $\dot{I}X_{uq}$  ta vẽ đoạn:

$$CD = \dot{I}X_{uq} = \frac{E_{uq}}{\cos\psi}$$

Và xác định phương của E.

Vì điểm D nằm trên phương của  $\dot{E}$  nên đoạn thẳng CF thẳng góc với phương của E chính là  $\dot{I}_q X_{uq}$



Hình 1.7: Đồ thị vectơ của máy phát điện đồng bộ cực lỗi khi bão hòa. Đối với máy phát điện cực ẩn ta cũng có thể dựa trên phương trình điện áp ở trường hợp mạch từ không bão hòa.

$$\dot{U} = \dot{E} - j \dot{I}(X_u + X_{\delta u}) - \dot{I}r_u \tag{1 - 8}$$

Lúc này xác định  $E_0$  bằng đồ thị Potier

$$F_\delta = F_0 + F_r$$

$$\Rightarrow F_0 = F_\delta - F_r$$

U

$jIX_u$

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc Lớp CDĐT4 - 10**

**K1**



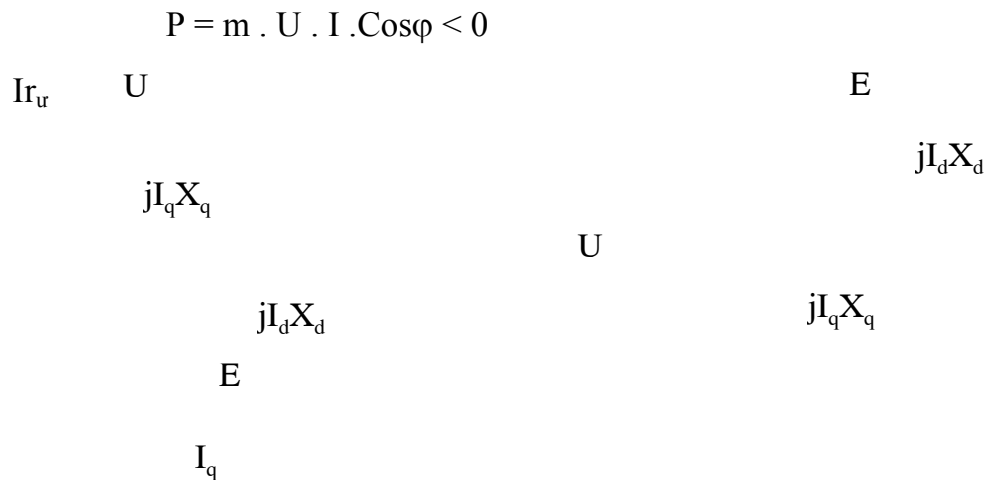
*b. Trường hợp động cơ điện:*

Khi chuyển sang làm việc như động cơ điện đồng bộ, máy phát ra công suất âm đưa vào mạng điện hay nói khác đi là tiêu thụ công suất điện lấy từ mạng để biến thành cơ năng. Thông thường động cơ đồng bộ có cấu tạo cực lồi, ta viết phương trình cân bằng điện áp cho trường hợp động cơ.

$$\dot{U} = \dot{E} + j \dot{I}_d X_d + j \dot{I}_q X_q + \dot{I} r_r \tag{1 - 9)}$$

Ta có thể vẽ đồ thị vectơ cho 2 trường hợp: Thiếu kích từ và khi quá kích từ.

Từ đồ thị sẽ cho ta thấy công suất do động cơ tiêu thụ từ mạng điện là:



## 2. Các đặc tính của máy phát đồng bộ

Khi vận hành bình thường máy phát đồng bộ cung cấp cho tải đối xứng. Chế độ này phụ thuộc vào hộ tiêu thụ điện năng nối với máy phát, công suất cung cấp cho tải không vượt quá giá trị định mức mà phải gần bằng định mức. Mặt khác ở chế độ này thông qua các đại lượng như điện áp, dòng điện, dòng kích từ, hệ số  $\cos\varphi$ , tần số  $f$ , và tốc độ quay  $n$ . Để phân tích đặc tính làm việc của máy phát điện đồng bộ ta dựa vào 3 đại lượng chủ yếu là:  $U, I, I_f$  thành lập các đường đặc tính sau:

a. *Đặc tính không tải:*

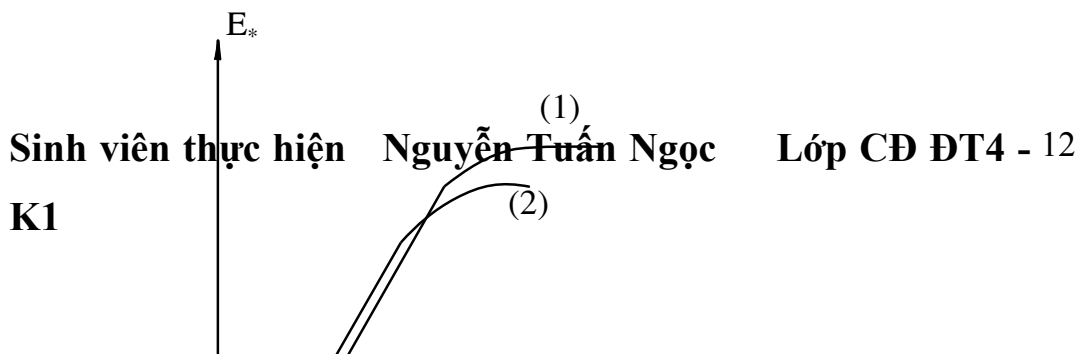
Đặc tính không tải là quan hệ:  $E = U_0 = f(i_t)$ , khi  $I = 0$  và  $f = f_{dm}$ .

Dạng đặc tính không tải của máy phát điện đồng bộ cực ẩn và cực lồi khác nhau không nhiều và có thể biểu thị theo đơn vị tương đối:

$$E_* = \frac{E}{E_{dm}}$$

$$i_* = \frac{i_t}{i_{tdm0}}$$

Trong đó  $i_{tdm0}$  là dòng điện không tải khi  $U = U_{dm}$



Đường 1: Với máy cực ẩ

Đường 2: Với máy cực lồi

*b. Đặc tính ngắn mạch:*

Đặc tính ngắn mạch là quan hệ giữa dòng ngắn mạch và dòng kích từ

$$I_n = f(i_t) \text{ khi } U = 0, Z_t = 0, f = f_{dm}$$

Xét trường hợp bỏ qua điện trở dây quấn phần ứng ( $r_r = 0$ ) thì mạch điện dây quấn phần ứng lúc ngắn mạch là thuần cảm  $\Psi = 90^\circ$ , như vậy  $I_q = \cos\Psi = 0$  và  $I_d = I \sin\Psi = I$

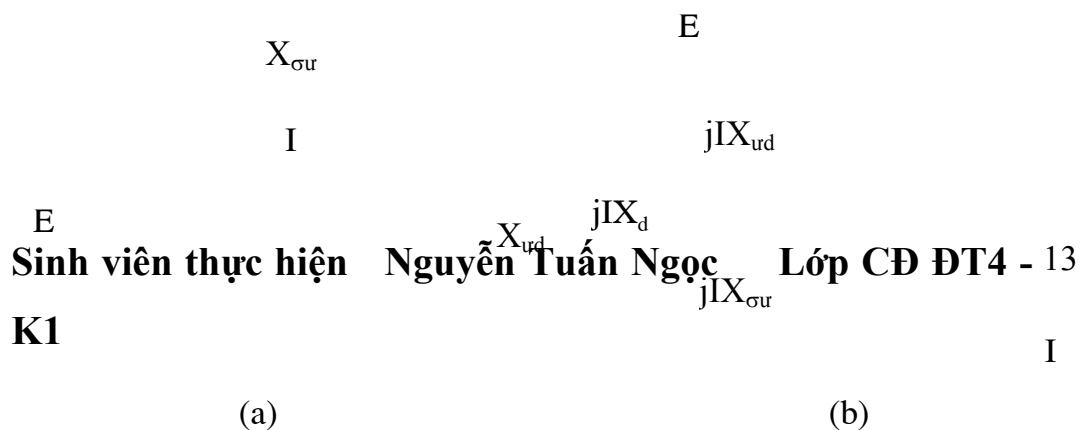
Đồ thị vectơ của máy phát lúc ngắn mạch dựa vào phương trình cân bằng điện áp:

$$\dot{U} = \dot{E} = j I_d X_d - j I_q X_q - \dot{I} r_r$$

Vì  $r_r = 0$ ;  $I_q = 0$  nên:

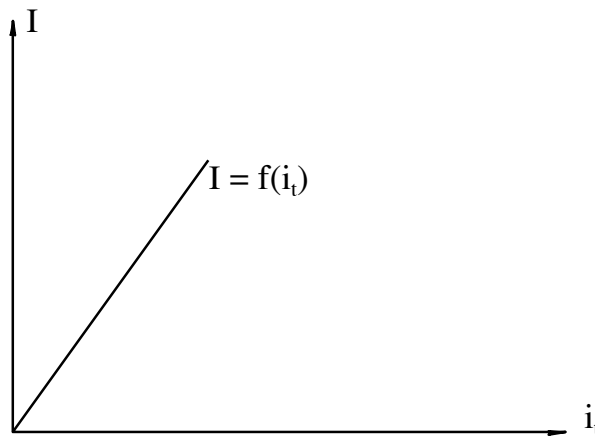
$$\text{Ta được: } \dot{E} = j I X_d \tag{1 - 10}$$

Lúc này sơ đồ thay thế của máy là:



Hình 1.12: Đồ thị vectơ lúc ngắn mạch và sơ đồ thay thế của máy phát điện

Lúc ngắn mạch, phản ứng phần ứng là khử từ, mạch từ của máy không bão hoà. Vì từ thông khe hở  $\Phi_{\delta}$  cần thiết để sinh ra:  $E_{\delta} = E - I X_{ud} = I X_{\delta r}$  rất nhỏ nên quan hệ  $I = f(i_t)$  là một đường thẳng.

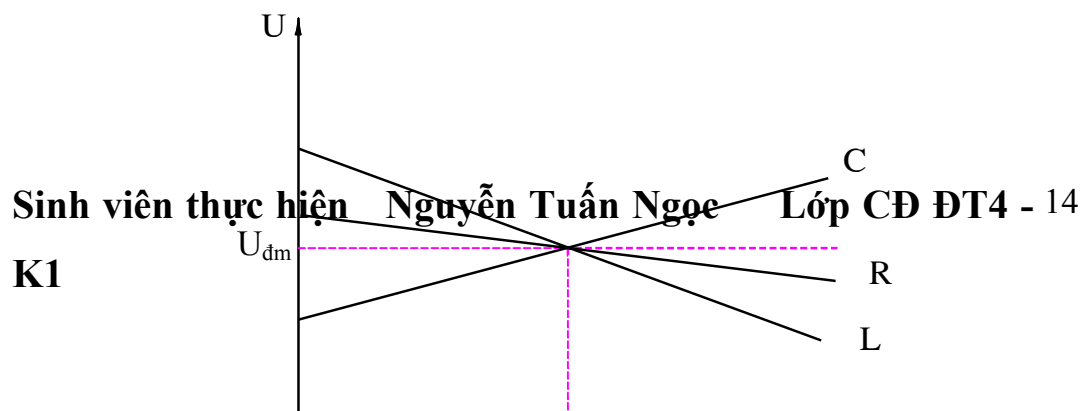


Hình 1.13: Đặc tính ngắn mạch máy phát

*c. Đặc tính ngoài*

Đặc tính ngoài là quan hệ  $U = f(I)$ . Khi  $i_t = \text{const}$ ,  $\cos\varphi = \text{const}$  và  $f = f_{dm}$ .

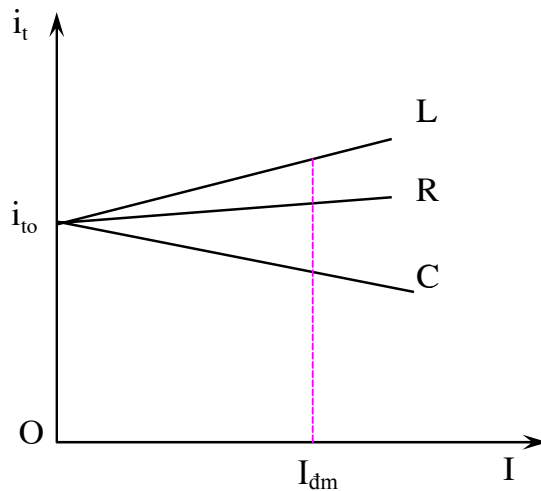
Đặc tính ngoài cho thấy lúc dòng điện kích từ không đổi, điện áp máy phát thay đổi theo tải.



Từ hình 1.14 ta thấy đặc tính ngoài phụ thuộc vào tính chất của tải. Nếu tải có tính cảm, khi I tăng phản ứng phản ứng bị khử từ, điện áp giảm nên đường đặc tính đi xuống. Nếu tải có tính dung thì I tăng, phản ứng phản ứng là trợ từ, điện áp tăng lên nên đường đặc tính đi lên. Khi tải làm thuần trở thì đường đặc tính gần như song song với trục hoành.

*d. Đặc tính điều chỉnh của máy phát điện đồng bộ*

Đặc tính điều chỉnh là quan hệ :  $i_t = f(I)$  khi  $U = \text{const}$ ,  $\text{Cos}\varphi = \text{const}$  và  $f = f_{dm}$ . Nó cho biết chiều hướng điều chỉnh dòng điện  $i_t$  của máy phát sao cho điện áp U ở đầu cực máy phát là không đổi.



Ta thấy với  $\text{Cos}\varphi = 1$ : Khi tải tăng điện áp đầu cực máy phát giảm do phản ứng khử từ tăng nên U bị giảm. Để giữ điện áp U không đổi thì ta phải tăng



dòng điện kích từ  $i_t$ . Ngược lại với tải điện dung khi I tăng mà muốn giữ U không đổi thì phải giảm dòng điện kích từ  $i_t$ .

Thông thường  $\text{Cos}\varphi = 0,8$  (thuần cảm), thì từ không tải ( $U=U_{dm}, I=0$ ) đến tải định mức ( $U = U_{dm}, I = I_{dm}$ ) thì phải tăng dòng điện từ hoá từ 1,7 đến 2,2 lần.

*e. Đặc tính tải của máy phát điện đồng bộ*

Đặc tính tải là quan hệ giữa điện áp đầu cực máy phát và dòng điện kích thích.

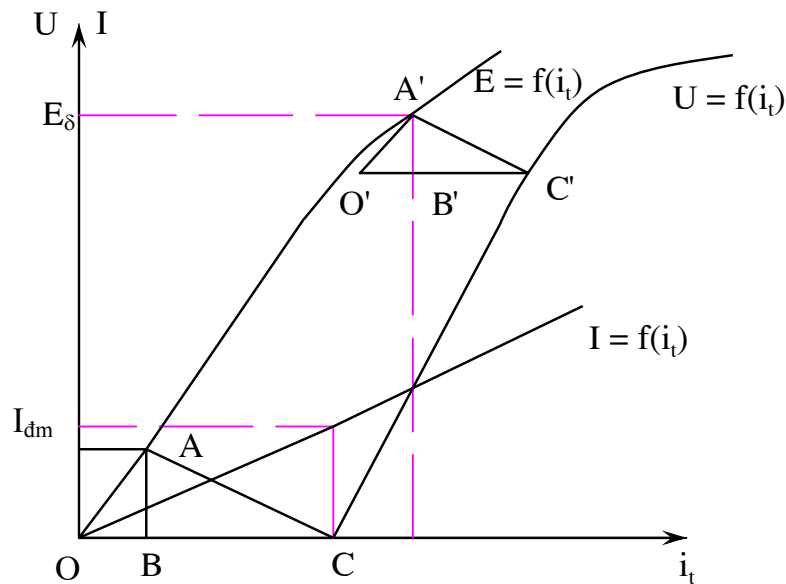
$$U = f(i_t) \text{ khi } I = \text{Const}, \text{Cos}\varphi = \text{const và } f = f_{dm}.$$

Với các trị số khác nhau của I và  $\text{Cos}\varphi$  sẽ có đặc tính khác nhau, trong đó có ý nghĩa nhất là tải thuần cảm ứng với  $\text{Cos}\varphi = 0$  ( $\varphi = \pi/2$ ) và  $I = I_{dm}$ .

Để xây dựng đường đặc tính tải ta phải điều chỉnh  $r_t$  và Z sao cho  $I = I_{dm}$ , và dạng đặc tính này được biểu diễn ở tải thuần cảm là chủ yếu.

Đường đặc tính tải cảm có thể suy ra được từ đặt tính không tải và tam giác điện kháng. Trước hết vẽ đường đặc tính không tải và đặc tính ngắn mạch rồi thành lập được tam giác điện kháng sau đó tịnh tiến trên đường đặc tính không tải ta vẽ được đặc tính tải cảm.

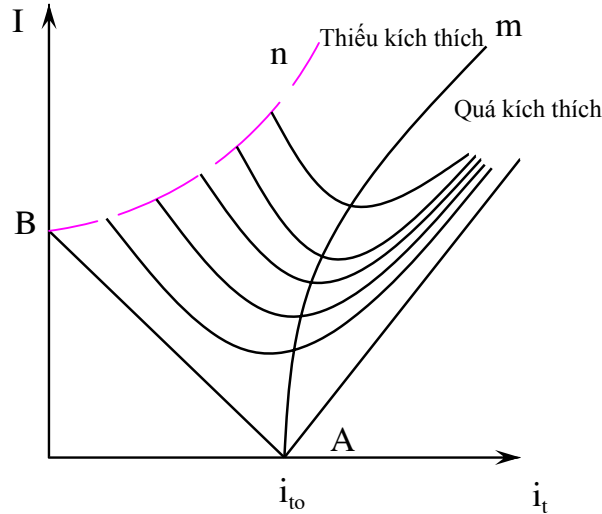
Dựng đường đặc tính tải như sau:



Hình 1.16: Đặc tính tải khi tải thuần cảm  
f. Họ đặc tính hình V máy phát điện.

Quan hệ:  $I = f(i_t)$  khi  $P = \text{const}$ .

Với mỗi giá trị của  $P = \text{const}$ , ta thay đổi  $Q$  và vẽ đồ thị suất điện động ta xác định được đặc tính hình V của máy phát điện đồng bộ. Thay đổi giá trị của  $P$  ta thành lập được một họ các đặc tính hình V như sau



Hình 1.17: Họ đặc tính hình V của máy phát đồng bộ

Trên hình, đường Am đi qua các điểm cực tiểu của họ đặc tính, tương ứng với  $\cos\varphi = 1$ . Bên phải đường Am ứng với tải cảm ( $\varphi > 0$ ) là chế độ làm việc quá kích thích, khu vực bên trái Am ứng với tải có tính dung ( $\varphi < 0$ ) là chế độ làm việc thiếu kích thích của máy. Đường Bn là giới hạn làm việc ổn định khi máy phát ở chế độ thiếu kích thích.

### 1.5. Chế độ thuận nghịch của máy điện, 3 chế độ làm việc của máy điện đồng bộ 3 pha.

#### 1. Chế độ máy phát:

Chế độ máy phát là quá trình biến đổi cơ năng thành điện năng, hay nói cách khác là máy điện làm việc ở trường hợp  $P > 0$  và  $Q > 0$ . Tức là máy phát ra công suất tác dụng cấp cho tải thuần trở, và phát ra công suất phản kháng cấp cho tải có tính cảm.

Ở trường hợp này có phương trình cân bằng điện áp:

$$\dot{E}_0 = \dot{U} + R \dot{I} + jX_d \dot{I} \quad (1 - 11)$$

Sức điện động ở rôto lớn hơn điện áp ở đầu cực máy phát. Do đó máy phát ra công suất  $P > 0$  và  $Q > 0$  cho lưới: Khi rôto quay sinh ra  $E_0$ , nên  $E_0$  cũng quay. Vậy chế độ máy phát thì  $E_0$  vượt trước  $U$ .

Khả năng tải của máy phát khi làm việc ở chế độ quá tải, dòng điện tăng, điện áp giảm. Lúc này máy phát làm việc ở trạng thái quá tải, mà muốn cho điện áp không thay đổi thì máy phát làm việc ở chế độ kích từ cưỡng bức (quá kích thích) để phát ra công suất phản kháng cho lưới. Khi máy phát bị non tải thì dòng giảm, điện áp tăng và lớn hơn sức điện động do phản ứng sinh ra. Lúc này để cho điện áp không đổi thì máy phát phải làm việc ở chế độ thiếu kích thích để tiêu thụ bớt một phần điện áp rơi ở đầu cực máy phát.

Ở máy phát điện công suất điện từ được chuyển từ rôto sang stato bằng công suất cơ đưa vào trừ các tổn hao trong thép rôto và stato.

## 2. Chế độ động cơ:

Nguyên lý chung của động cơ là biến đổi công suất điện thành công suất cơ. Ở chế độ này ta cung cấp công suất điện  $P = ui$ , dưới tác dụng của từ trường ở cực từ sẽ sinh ra một lực điện từ:  $F_{dt} = B_l i$ .

Công suất điện đưa vào động cơ:

$$P = ui = ei = B_l i \cdot V = F_{dt} \cdot V.$$

Như vậy công suất điện  $P_d = ui$  đưa vào động cơ đã biến thành công suất cơ:  $P_{cơ} = F_{dt} \cdot V$  trên trục động cơ.

Phương trình cân bằng điện áp ở chế độ động cơ.

$$\dot{E} = \dot{U} - j \dot{I} X_d - R \dot{I} \quad (1 - 12)$$

Ở trường hợp này ta xét cho động cơ đồng bộ, động cơ đồng bộ có cấu tạo và đặc tính cũng giống như máy phát. Động cơ đồng bộ làm việc với  $\cos\phi$  cao hơn và ít hoặc không tiêu thụ công suất phản kháng  $Q$  của

lưới điện là nhờ thay đổi dòng điện từ hoá (dòng kích từ). Do đó động cơ có thể phát ra công suất phản kháng đưa vào lưới điện.

Động cơ đồng bộ khác với máy phát đồng bộ là khi thiếu kích thích động cơ tiêu thụ công suất phản kháng của lưới điện ( $\varphi > 0$ ) và khi quá kích thích động cơ phát ra công suất phản kháng đưa vào lưới ( $\varphi < 0$ ). Vì vậy trong một số trường hợp người ta sử dụng chế độ quá kích thích của động cơ để làm máy bù.

### ***3. Chế độ máy bù động cơ.***

Máy bù đồng bộ thực chất là một động cơ đồng bộ làm việc ở chế độ không tải với dòng kích từ được điều chỉnh để máy phát ra hoặc tiêu thụ công suất phản kháng do đó duy trì được điện áp của lưới điện. Chế độ làm việc bình thường của máy bù đồng bộ là chế độ quá kích thích của động cơ đồng bộ để phát ra công suất phản kháng bù vào lưới điện. Ở trường hợp này máy bù như một tụ bù hay còn gọi là máy phát công suất phản kháng.

Trường hợp hệ tiêu thụ tăng tải thì dòng tăng, áp giảm thì máy bù làm việc ở chế độ quá kích thích. Khi tải giảm, điện áp tăng, dòng giảm thì máy bù làm việc ở chế độ thiếu kích thích để tiêu thụ bớt một phần điện áp rơi trên đường dây làm cho điện áp khởi tăng quá giá trị định mức.

## CHƯƠNG II

### CÁC SƠ ĐỒ KÍCH TỪ CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

#### 2.1. Khái niệm chung

Hệ thống kích từ có nhiệm vụ cung cấp dòng một chiều cho các cuộn dây kích thích của máy phát điện đồng bộ. Nó phải có khả năng điều chỉnh bằng tay hoặc tự động điều chỉnh dòng kích thích để đảm bảo máy phát làm việc ổn định kinh tế, với chất lượng điện năng cao trong mọi tình huống.

Trong chế độ làm việc bình thường, điều chỉnh dòng kích từ sẽ điều chỉnh được điện áp ở đầu cực máy phát, thay đổi lượng công suất phản kháng phát vào lưới điện. Thiết bị tự động điều chỉnh kích từ (TĐK) làm việc nhằm giữ điện áp máy phát không đổi khi phụ tải biến động. Ngoài ra TĐK còn nhằm các mục đích khác như nâng cao giới hạn công suất truyền tải từ máy phát điện vào hệ thống, đặc biệt khi nhà máy nối với hệ thống qua đường dây dài, đảm bảo ổn định tĩnh nâng cao tính ổn định động cho hệ thống điện.

Trong chế độ sự cố thì hệ thống kích từ làm việc ở chế độ cưỡng bức để duy trì điện áp của máy phát.

Để cung cấp tin cậy dòng một chiều cho cuộn dây kích từ của máy phát đồng bộ, cần phải có một hệ thống kích từ công suất đủ lớn (thường dùng các loại máy phát một chiều, máy phát xoay chiều tần số cao và chỉnh lưu...).

Như vậy một hệ thống kích từ làm việc tin cậy phải đảm bảo được những yếu tố cơ bản sau:

1. Có khả năng điều chỉnh dòng kích từ:  $i_t = U_t/r_t$  để duy trì điện áp máy phát  $U$  trong điều kiện làm việc bình thường.

2. Cường bức kích thích để giữ đồng bộ máy phát với lưới khi điện áp lưới hạ thấp do xảy ra ngắn mạch ở xa. Muốn vậy hệ thống kích từ phải

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc Lớp CDĐT4 - 20**

có khả năng tăng nhanh gấp đôi dòng kích từ trong khoảng thời gian  $t = 0,5s$ .

Hay:

$$\frac{U_{tm}(0,5) - U_{tdm}}{U_{tdm}} = 2$$

3. Có khả năng triệt từ trường kích thích, nghĩa là giảm nhanh dòng điện kích thích  $i_t$  đến 0 mà điện áp không vượt quá giá trị cho phép.

## 2.2. Phân loại và đặc điểm của các hệ thống kích từ

Ta có thể chia hệ thống kích từ thành 3 nhóm chính:

- Hệ thống kích từ dùng máy phát điện một chiều.
- Hệ thống kích từ dùng máy phát điện xoay chiều và chỉnh lưu.
- Hệ thống kích từ dùng chỉnh lưu có điều khiển.

### 1. Hệ thống kích từ dùng máy phát điện một chiều

f

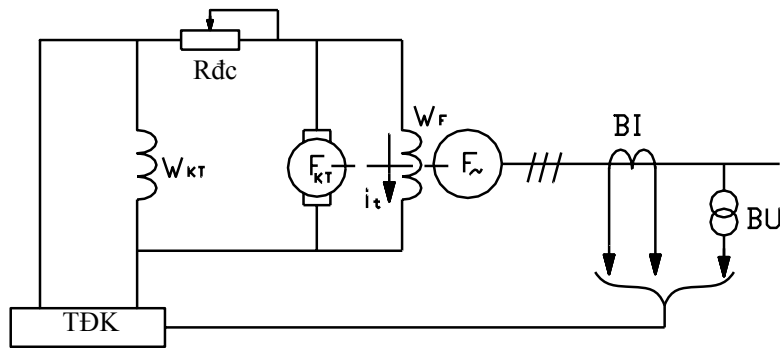
TĐK R<sub>đc</sub>

Hình 2.1: Sơ đồ kích từ dùng máy phát điện một chiều

Để điều chỉnh dòng kích từ  $i_t$  ta điều chỉnh bằng tay điện trở  $R_{đc}$  nhằm làm thay đổi dòng điện trong cuộn dây kích từ chính  $W_f$ . Dòng và áp trong các cuộn  $W_2$  và  $W_3$  thay đổi nhờ bộ TĐK, bộ này nhận tín hiệu thông qua máy biến dòng BI và máy biến điện áp BU ở phía đầu cực máy phát điện đồng bộ. Cuộn  $W_2$  điều chỉnh tương ứng với chế độ làm việc bình

thường, còn cuộn  $W_3$  làm việc ứng với chế độ kích thích cứng bức khi có sự cố.

a. Hệ thống kích từ song song

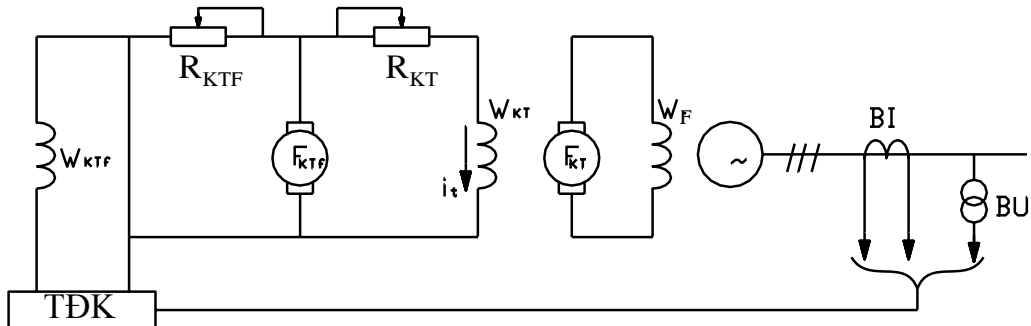


Hình 2.2: Sơ đồ kích từ song song

Với sơ đồ này máy phát kích từ phụ tự kích song song, dòng kích từ của máy phát kích (F<sub>KT</sub>) có thể thay đổi được nhờ R<sub>dc</sub> cho phép điều chỉnh bằng tay dòng điện cuộn dây kích từ W<sub>KT</sub>. Khi làm việc dòng điện kích từ thay đổi là nhờ bộ tự động điều chỉnh kích từ (TĐK), bộ phận này nhận tín hiệu từ đầu ra của máy phát điện qua bộ biến dòng và biến điện áp đo lường để thực hiện mọi quá trình tự động thay đổi dòng kích từ cho máy phát.

+ Ưu điểm: làm việc tin cậy, đơn giản, giá thành thấp nhưng có nhược điểm là khi cần sửa chữa máy kích thích thì phải dừng máy phát. Việc chế tạo máy phát một chiều bị hạn chế nên chỉ sử dụng cho các loại máy phát công suất trung bình và nhỏ.

b. Hệ thống kích từ độc lập



Hình 2.3: Sơ đồ kích từ độc lập



Hệ thống này dùng 2 máy phát điện một chiều một máy kích từ phụ và một máy kích từ chính.

Máy phát kích từ phụ tự kích song song, dòng kích từ trong cuộn  $W_{KT}$  có thể điều chỉnh được nhờ biến trở  $R_{KTF}$  và  $R_{KT}$ . Dòng và áp trong cuộn  $W_F$  của máy phát thay đổi nhờ bộ TĐK thay đổi dòng và áp đặt lên cuộn  $W_{KTF}$ , bộ này nhận tín hiệu từ đầu ra của máy phát thông qua bộ đo lường dùng bộ biến dòng BI và điện áp BU.

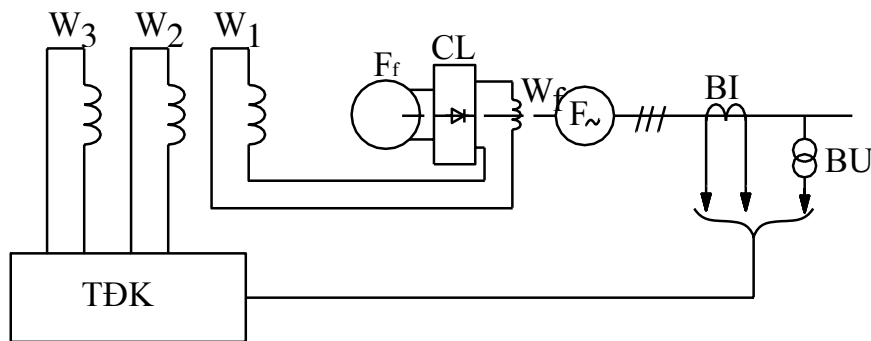
Khi thay đổi dòng kích từ của máy phát kích phụ thì thay đổi dòng kích từ máy kích thích dẫn đến thay đổi được dòng điện kích từ của máy phát chính.

+ Ưu điểm: làm việc tin cậy, độ điều chỉnh rộng.

+ Nhược điểm: kết cấu phức tạp, giá thành cao nên chỉ dùng cho các máy phát công suất trung bình và nhỏ.

## 2. Hệ thống kích từ dùng máy phát xoay chiều và chỉnh lưu

a. Hệ thống kích từ dùng máy phát xoay chiều tần số cao và chỉnh lưu



Hình 2.3: Hệ thống kích từ dùng máy phát xoay chiều tần số cao và chỉnh lưu

Máy phát xoay chiều tần số cao được chế tạo theo kiểu cảm ứng. Rôto không có cuộn dây mà chỉ có 10 rãnh trên bề mặt rôto. Cuộn kích từ đặt ở phần tĩnh, từ thông thay đổi được là nhờ kết cấu răng rãnh. Dòng điện và tần số của máy kích từ tần số 500Hz được nối trực tiếp qua chỉnh lưu cấp cho cuộn dây kích từ chính của máy phát.

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc Lớp CDĐT4 - 24**

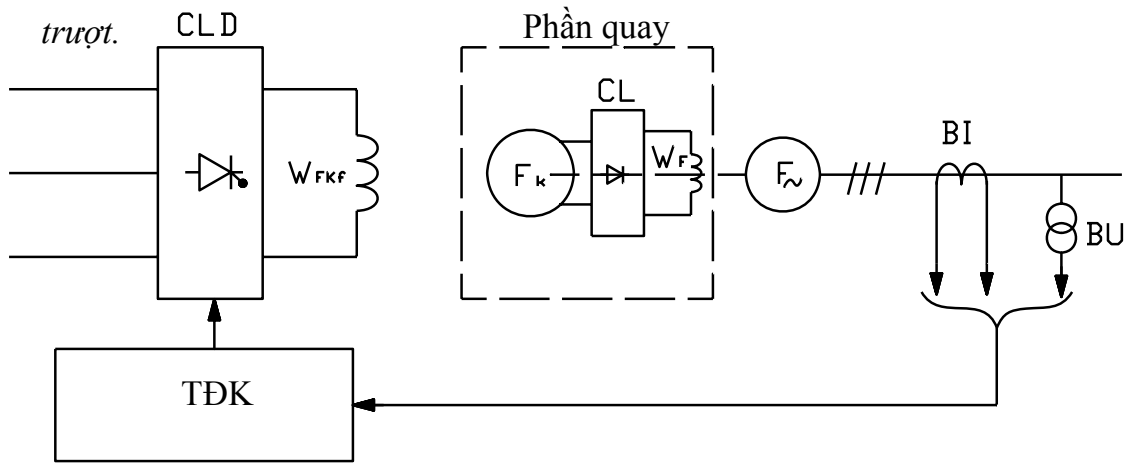
**K1**

Cuộn dây kích từ chính  $W_F$  được nối với tải của nó là cuộn dây  $W_1$  của máy xoay chiều tần số cao và được nối nối tiếp. Các cuộn  $W_2$  và  $W_3$  được cung cấp qua bộ TĐK, bộ này nhận tín hiệu từ đầu cực của máy phát chính.

+ Ưu điểm: sơ đồ này có ưu điểm hơn hệ thống kích từ dùng máy phát một chiều, thường được dùng cho những máy có công suất lớn.

+ Nhược điểm: vẫn còn tồn tại vành trượt và chổi than để cung cấp dòng một chiều kích từ cho rôto máy phát đồng bộ.

*b. Hệ thống kích từ dùng máy phát điện xoay chiều không vành trượt.*



Hình 2.4: Hệ thống kích từ không vành trượt

Với hệ thống này ta nhằm mục đích tăng công suất kích từ lớn hơn. Trong hệ thống người ta dùng một máy phát xoay chiều 3 pha quay cùng trục với máy phát chính làm nguồn cung cấp.

Máy phát kích từ xoay chiều có kết cấu đặc biệt, cuộn kích từ đặt ở stato, còn cuộn dây ba pha đặt ở rôto. Dòng xoay chiều ba pha tạo ra ở máy phát kích được chỉnh lưu thành một chiều nhờ bộ chỉnh lưu công suất lớn. Cuộn dây kích từ của máy phát chính nhận trực tiếp dòng một chiều qua chỉnh lưu không qua vành trượt và chổi than.

Để cung cấp dòng một chiều cho cuộn dây kích từ của máy phát kích người ta dùng một bộ chỉnh lưu có điều khiển mà nguồn cung cấp của nó có thể lấy từ một máy phát xoay chiều tần số cao hoặc từ một nguồn cụ thể khác.

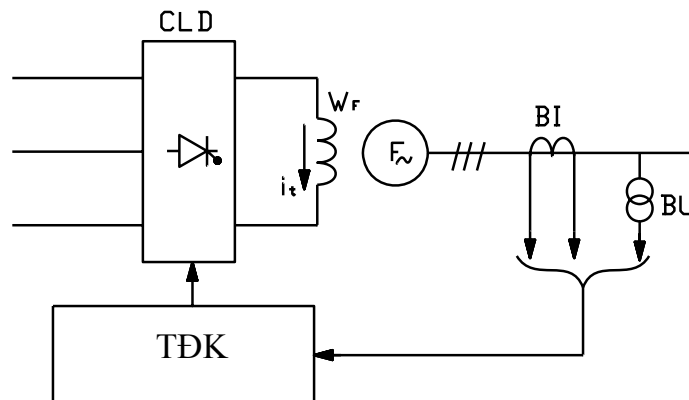
Bộ TĐK tác động trực tiếp vào bộ chỉnh lưu có điều khiển. TĐK nhận tín hiệu ở đầu cực máy phát qua bộ BI và BU làm thay đổi dòng kích từ của máy phát kích dẫn đến làm thay đổi dòng điện kích từ của máy phát chính.

+ Ưu điểm: Máy phát kích từ có công suất lớn, điện áp kích từ giới hạn lớn, hằng số thời gian điều chỉnh kích từ nhỏ.

+ Nhược điểm: kết cấu của máy phát điện chính phức tạp dẫn đến giá thành cao.

### 3. Hệ thống kích từ dùng chỉnh lưu có điều khiển.

Để có điện áp kích từ giới hạn lớn thì tốc độ tăng điện áp kích từ càng nhanh. Tức là hằng số thời gian của hệ thống kích từ nhỏ, hằng số này phụ thuộc vào tín hiệu ra của bộ tự động điều khiển kích từ (TĐK) và hệ thống kích từ cụ thể. Vì vậy hệ thống kích từ dùng chỉnh lưu có điều khiển là hợp lý hơn cả, xung điều khiển nhờ tác động của TĐK, bộ này nhận tín hiệu từ đầu ra của máy phát và tác động trực tiếp vào điện áp kích từ của máy phát.



Hình 2.5: Sơ đồ kích từ dùng chỉnh lưu có điều khiển

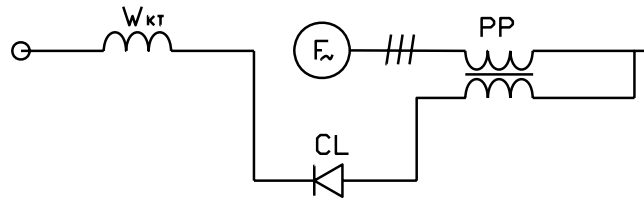
Với sơ đồ này dòng một chiều được cung cấp cho cuộn kích từ được nhận từ một nguồn từ máy phát xoay chiều hoặc lấy điện áp ra ở đầu cực máy phát qua chỉnh lưu có điều khiển. Chỉnh lưu này được dùng bằng các Tiristo hoặc chỉnh lưu thyngân có cực điều khiển có công suất lớn. Xung điều khiển được nhận trực tiếp từ bộ TĐK, bộ này lấy tín hiệu từ đầu ra của máy phát để làm thay đổi dòng, áp kích từ của máy phát.

+ Ưu điểm: hệ thống kích từ đơn giản, điều khiển rất nhanh, làm việc tin cậy nên được áp dụng rộng rãi trong các máy có công suất lớn.

### 2.3. Một số sơ đồ kích từ của máy phát đồng bộ tự kích

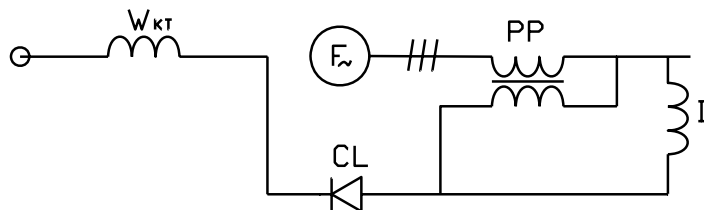
Tương tự như máy phát một chiều, máy phát đồng bộ cũng có thể tự kích. Trường hợp này cuộn dây kích từ của máy đồng bộ được nạp điện từ phần ứng của máy phát qua chỉnh lưu. Để thực hiện quá trình tự kích và ổn định điện áp ta dùng nguyên tắc khử hoặc hoạt động theo nguyên lý điều chỉnh (gọi là bộ điều chỉnh phức hợp pha). Khử ảnh hưởng của tải lên máy phát bằng cách tạo ra sự phụ thuộc của dòng kích từ với dòng tải cả về giá trị lẫn về pha. Ta có 2 phương pháp tạo điện áp nạp cuộn kích.

#### 1. Thực hiện cộng nối tiếp tác dụng của mạch áp và dòng rồi qua chỉnh lưu không điều khiển.



Hình 2.6: Sơ đồ dây nối máy phát tự kích ở hệ thống khử dòng tải thực hiện cộng nối tiếp

#### 2. Thực hiện cộng song song tác dụng của mạch áp và dòng.



Hình 2.6: Sơ đồ dây nối máy phát tự kích ở hệ thống khử dòng tải thực hiện cộng song song có cuộn cảm

Những bộ phận chính của 2 sơ đồ trên

D: cuộn cảm

PP: bộ biến dòng

Cuộn kháng D đặt ở mạch điện áp có nhiệm vụ là tạo sự phụ thuộc của điện áp máy phát với góc công suất và sự giảm nhiệt độ của cuộn dây lên máy phát.

Từ hai nguyên lý tổng quát trên, để thực hiện quá trình ổn định điện áp cho máy phát ta có thể sử dụng một số hệ thống phức hợp pha như sau:

*a. Hệ thống phức hợp pha không điều chỉnh.*

Hệ thống này đơn giản, tin cậy, thời gian trở về của điện áp ổn định phụ thuộc vào các thông số của máy. Dòng ổn định của hệ thống được xác định bằng tổng trở mạch ngoài, đặc tính ngắn mạch và các thông số của mạch điều chỉnh.

*b. Hệ thống phức hợp pha điều chỉnh.*

Hệ thống này tăng độ chính xác ổn định điện áp máy phát, hệ thống được kết hợp cả 2 phương pháp là khử và điều chỉnh. Khác với hệ thống phức hợp pha không điều chỉnh là phản ảnh lên sự thay đổi nhiệt độ và tốc độ. Tín hiệu tạo ra ở khâu phụ này tỷ lệ với sai số và được dẫn tới bộ phận phức hợp có điều khiển hoạt động theo hướng làm giảm sai số. Độ chính xác của hệ thống phụ thuộc vào từng loại hệ thống phụ.

*c. Hệ thống có điều chỉnh (mắc song song)*

Hệ thống này chỉ có phản hồi điện áp của phần ứng. Bằng cách giải quyết này ta đã đơn giản đi rất nhiều nên hệ thống có kích thước và trọng lượng nhỏ hơn nhiều so với bộ phức hợp pha.

#### **2.4. Điều kiện tự kích của máy phát điện đồng bộ.**

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc Lớp CD ĐT4 - 28**

**K1**

Điều kiện tự kích của máy phát điện đồng bộ là : có lượng từ dư đủ lớn trong các cực từ để khi rôto quay tạo ra sức điện động  $E_{\text{dur}}$  trong dây quấn phần ứng. Nếu máy mới sử dụng lần đầu hoặc mất từ dư thì phải dùng nguồn ngoài (ắc quy...) để kích từ lại.

Dòng kích từ phải tạo ra từ trường cùng chiều với từ dư trong máy. Nếu từ trường do dòng kích từ tạo ra ngược chiều với từ trường do từ dư sinh ra thì sẽ bị khử từ dư và máy phát sẽ không thể thành lập được điện áp ở đầu cực.

Có điện trở mạnh kích từ nhỏ để đảm bảo cho sự gia tăng của dòng kích từ. Làm cho từ trường tăng lên trong quá trình tự kích cho đến khi đạt được điện áp ra ổn định.

Nhằm cải thiện điều kiện tự kích người ta dùng hai phương pháp sau:

- a. Dùng miếng đệm bằng nam châm vĩnh cửu tại các cực từ.
- b. Tăng dòng kích từ bằng cộng hưởng, ta mắc nối tiếp các tụ điện và các cuộn kháng. Để đảm bảo cho quá trình tự kích thì:  $X_c \geq X_\Sigma$  và tần số cộng hưởng được chọn từ 85% đến 90% tần số định mức của máy. Trong hệ thống phức hợp pha có điều chỉnh thì không nên dùng tụ bởi vì lúc này tụ điện có ảnh hưởng đến bộ tự động điều chỉnh điện áp (TĐK) của hệ thống.

Ngoài những biện pháp trên, để cho quá trình tự kích được dễ dàng người ta còn sử dụng:

- + Sử dụng mạch phụ nạp từ các cực của máy phát, mạch này sẽ tự động ngắt ra khi quá trình tự kích đã kết thúc.
- + Mắc song song các phần tử có trong mạch điện áp một điện trở nhỏ.
- + Dùng một nguồn ngoài (ắc quy hoặc máy phát tốc) trong quá trình tự kích.

## CHƯƠNG III

### THIẾT KẾ TÍNH TOÁN MỘT PHƯƠNG ÁN

#### 3.1. Tính toán mạch động lực:

##### 1. Tính toán các thông số của máy phát:

Số liệu ban đầu:

Máy phát chính F có:

$$S = 200\text{KVA}, U_{\text{dm}} = 400\text{V}, f = 50\text{Hz}.$$

Cuộn kích từ có:

$$U_{\text{KT}} = 60\text{V}; \quad i_{\text{KT}} = 56\text{A}$$

Máy phát kích F<sub>K</sub> có:

$$U_{\text{K}} = 60\text{V}; \quad I = 60\text{A}$$

Cuộn dây kích từ phụ C<sub>KFK</sub> có:

$$r = 100\Omega \quad i_{\text{KT}} = 0,56\text{A}$$

Rơ le điện áp RL có:

$$\text{Hút ở } 280\text{V} \text{ nhả ở } 140\text{V}$$

Khi có thêm điện trở R = 56KΩ thì:

$$\text{Hút ở } 300 \times 1,7$$

$$\text{Nhả ở } 180 \times 1,7$$

- Dòng điện định mức của máy phát chính:

$$I_{\text{dm}} = \frac{S_{\text{dm}}}{\sqrt{3} U_{\text{dm}}} = \frac{200 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 288,7(\text{A})$$

- Điện áp pha định mức máy phát chính

$$I_{\text{fdm}} = \frac{U_{\text{dm}}}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230,9(\text{A})$$

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc      Lớp CDĐT4 - 30**

**K1**

$$\sqrt{3} \quad \sqrt{3}$$

- Điện áp định mức của máy phát kích:

$$U_{\text{đmFK}} = 60(\text{V})$$

- Công suất định mức của máy phát kích

$$P = U_{\text{đmFK}} \cdot I_{\text{đm}} = 60 \times 60 = 3,6(\text{KW})$$

- Điện áp định mức của cuộn dây kích từ máy phát kích

$$U_{\text{KTđmFK}} = i_{\text{đm}} \cdot r_{\text{KT}} = 0,56 \times 100 = 56(\text{V})$$

**2. Tính chọn van cho mạch lực:** Th  $i_d = 0,56 \text{ A}$

$$U_{\text{fdm}} = 231 \text{ V} \quad U_d \quad \begin{matrix} r_{\text{kt}} = 100 \Omega \\ X_L \end{matrix}$$

Hình 3.1: Sơ đồ mạch lực

a. Tính chọn Tiristo (Th):

Điện áp tải sau chỉnh lưu chính là điện áp định mức của cuộn dây kích từ máy phát kích:

$$U_d = U_{\text{KTđmFK}} = 56(\text{V})$$

Điện áp ngược lớn nhất van phải chịu là:

$$U_{\text{ngmax}} = \sqrt{2} U_{\text{fdm}} = \sqrt{2} \cdot 231 = 326(\text{V})$$

- Dòng điện làm việc của Th chính là dòng định mức qua cuộn dây kích từ của máy phát kích.

$$I_{\text{LVth}} = i_d = 0,56(\text{A})$$

Để cho Th làm việc an toàn khỏi bị đánh thủng ta phải chọn hệ số dự trữ:

Đối với điện áp ta nên chọn:  $K_u = 1,6$

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc Lớp CDĐT4 - 31**

**K1**



Đối với dòng điện: khi làm việc có cánh tản nhiệt với đầy đủ diện tích bề mặt nên chọn dòng làm việc bằng 40% dòng điện định mức van ( $I_{dmv} \geq 2,5I_{lv}$ ).

Vậy ta chọn Th chịu được điện áp ngược và dòng điện:

$$U'_{ngmax} = U_{ngmax} \cdot K_u = 326 \times 1,6 = 522(V)$$

$$I_{dmth} = 2,5 \cdot I_{LVth} = 2,5 \times 0,56 = 1,4(A)$$

Căn cứ vào 2 giá trị trên ta chọn Th do hãng Thomson sản xuất loại BKY54 - 600T có các thông số:

$$I_{dm} = 2(A)$$

$$U_{ngmax} = 600(V)$$

$$U_g = 1,5(V)$$

$$I_g = 10(mA)$$

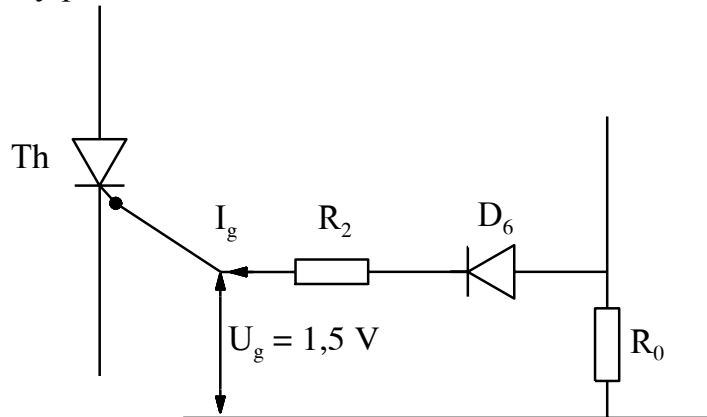
$$di/dt = 200(A/\mu s)$$

$$du/dt = 100(V/\mu s)$$

$$\Delta U_{th} = 0,7(V)$$

*b. Tính chọn mạch cấp xung điều khiển:*

Mạch tạo xung mỗi ban đầu có tác dụng tạo một xung điện áp và dòng tác động vào cực điều khiển của Th, kích Th mở và cấp dòng điện kích từ cho máy phát kích.



Để đảm bảo  $I_g = 10(\text{mA})$  và  $U_g = 1,5(\text{V})$  thì ta phải chọn dòng điện qua  $R_0$  phải lớn hơn gấp nhiều lần dòng  $I_g$ , để khi cấp dòng  $I_g$  cho Th thì không làm ảnh hưởng đến trạng thái của  $Tr_3$ .

Vậy ta chọn:  $I_{R0} = 14 \cdot I_g = 14 \cdot 10 = 140(\text{mA})$

Ta có phương trình cân bằng điện áp như sau:

$$U_g = I_g \cdot R_2 + \Delta U_{D6} + I_{R0} \cdot R_0 \quad (3-1)$$

Lý tưởng ta chọn  $\Delta U_{D6} = 0,6(\text{V})$

Để tính được  $R_2$  ta chọn  $R_0$

Vậy chọn  $R_0 = 5(\Omega)$

Từ (4 - 1) suy ra:

$$R_2 = \frac{U_g - \Delta U_{D6} - I_{R0} \cdot R_0}{I_g}$$

$$R_2 = \frac{1,5 - 0,6 - 0,14 \cdot 5}{0,01} = 20(\Omega)$$

+ Chọn Điốt  $D_6$ :

Dòng làm việc của  $D_6$  chính là dòng  $I_g$ .

$$I_{D6} = I_g = 10(\text{mA})$$

Với chỉnh lưu 1/2 chu kỳ thì  $D_6$  phải chịu điện áp ngược là:

$$U_{ng\max D} = \sqrt{2} \cdot U_g = \sqrt{2} \cdot 1,5 = 2,12(\text{V})$$

Ngoài ra để điốt làm việc an toàn và không bị đánh thủng thì ta phải chọn hệ số dự trữ về dòng và áp cho van.

Theo tài liệu tham khảo 3 ta chọn như sau:

$$\text{Đối với điện áp: } K_U = 1,6$$

$$\text{Đối với dòng điện: } K_I = 1,2$$

Vậy ta chọn điốt chịu được dòng điện và điện áp ngược như sau:

$$U'_{ng\max D} = K_U \cdot U_{ng\max} = 1,6 \times 2,12 = 3,4(\text{V})$$

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc Lớp CDĐT4 - 33**

$$I_{dmD} = K_I \cdot I_{LV} = 1,2 \times 10 = 12(\text{mA})$$

Căn cứ vào các thông số trên ta chọn điôt có loại 1D9B do Nga sản xuất có các thông số sau:

$$I_{dm} = 20(\text{mA})$$

$$U_N = 30(\text{V})$$

$$\Delta U = 1(\text{V})$$

c. Tính nguồn cung cấp cho mạch phát xung:

 $R_{16}$ 
 $D_5$ 

$$U_{fdm} = 220 \text{ V}$$

 $Z_{D1}$ 
 $Z_{D2}$ 

Với loại điôt Zener thì loại có điện áp ổn  $U_{\dot{o}n} = 8(\text{V})$  là ưu việt nhất. Vậy ta chọn loại điôt Zener do Nga sản xuất, ký hiệu  $\text{D}814\text{B}$  có:

$$U_Z = 8 \div 9,5(\text{V})$$

$$I_{\text{min}} = 2(\text{mA})$$

$$I_{\text{max}} = 32(\text{mA})$$

Theo sơ đồ ta dùng 2 zener mắc nối tiếp nên ta có:  $U_{\dot{o}n} = 16(\text{V})$

+ Chọn điôt chỉnh lưu  $D_5$ .

Dòng điện làm việc của điôt chỉnh là dòng điện lớn nhất:

$$I_D = I_{\text{max}} = 32(\text{mA})$$

Vì sơ đồ chỉnh lưu 1/2 chu kỳ nên van phải chịu điện áp ngược là:

$$U_{ng\text{max}} = \sqrt{2} \cdot U_{\dot{o}n} = \sqrt{2} \cdot 16 = 22,6(\text{V})$$

Tương tự để van làm việc an toàn và không bị đánh thủng thì ta chọn hệ số dự trữ cho van.

Chọn  $K_U = 1,6$

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc      Lớp CD ĐT4 - 34**

**K1**

Ở đây ta cho van làm việc có cánh tản nhiệt đầy đủ diện tích bề mặt, có quạt thông gió nên ta được phép chọn:  $I_{dmv} = 2.5 I_D$ , tức là cho phép van làm việc tới 40%  $I_{dmv}$ .

Vậy ta phải chọn điôt có dòng định mức và chịu được điện áp ngược như sau:

$$I_{dmD5} = 2,5I_{lv} = 2,5 \cdot 32 = 80(\text{mA})$$

$$U'_{ngmaxD5} = K_U \cdot U_{ngmax} = 1,6 \cdot 22,6 = 36,2(\text{V})$$

Vậy tra bảng 4 tài liệu tham khảo 3 ta chọn điôt KYZ70 có:

$$U_{ng} = 50(\text{V}) \quad I_{Dmax} = 2(\text{A})$$

+ Tính điện trở  $R_{16}$

Để đảm bảo cho nguồn có  $U_{\hat{on}} = 16(\text{V})$  thì ta chọn nguồn khi chưa có điôt ổn áp  $Z_{D1}$  và  $Z_{D2}$  là:  $U = 20(\text{V}) = V_{BB}$  nhằm đảm bảo cho sự sụt áp trên điện trở  $R_{16}$  và điôt  $D_5$ .

Vậy ta có phương trình:

$$U_{R16} = U_{lưới} - \Delta U_{D5} - V_{BB}$$

$$U_{R16} = 220 - 0,6 - 20 = 199,4(\text{V})$$

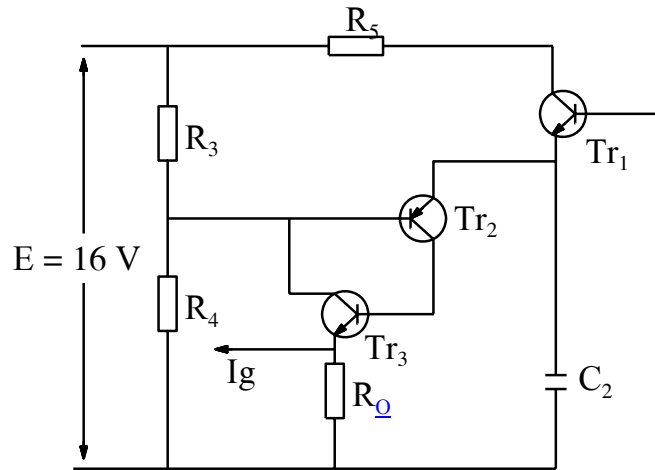
$$\text{Suy ra: } R_{16} = \frac{U_{16}}{I_{max}} = \frac{199,4}{32 \cdot 10^{-3}} = 6,2(\text{K}\Omega)$$

### 3.3. Tính toán mạch điều khiển

#### 1. Tính mạch tạo xung khi role điện áp RL hút

Để tính toán chọn các linh kiện trong mạch tạo xung ta dựa vào dòng điện xung, điện áp xung cần mở Tiristo và điện áp nguồn nuôi (E).

Với tính toán ở trên ta được  $E = 16(\text{V})$



Hình 4.3: Bộ tạo xung

a. Chọn  $Tr_3, Tr_2$ :

+ Việc chọn  $Tr_3$  bắt đầu từ dòng emitter  $I_{ETr3}$

Theo (4 - 2) đã tính  $I_{R0} = 140(\text{mA})$

Suy ra  $I_{ETr3} = I_g + I_{R0} = 10 + 140 = 150(\text{mA})$

Ngoài ra trong việc chọn Tranzito, để đảm bảo cho Tranzito làm việc an toàn thì  $U_{CE0}$  lúc hở mạch nằm trong khoảng  $(1,5 \div 2)E$  của nguồn nuôi.

Vậy ta chọn  $Tr_3$  loại Nhật Bản chế tạo, ký hiệu: 2SC182 - SN có các thông số sau:

$$U_{CB0} = 25(\text{V})$$

$$U_{EB0} = 5(\text{V})$$

$$I_C = 150(\text{mA})$$

$$\beta = 55: \text{ hệ số khuếch đại}$$

+ Chọn Tranzito ( $Tr_2$ ):

Để chọn  $Tr_2$  ta dựa vào thông số của  $Tr_3$  và phải đảm bảo.

$$I_{CTr2} = I_{BTr3}$$

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc      Lớp CDĐT4 - 36**

**K1**

$$U_{CB0Tr2} = U_{CB0Tr3}$$

Mà theo thông số của  $Tr_3$  ta có:

$$I_{BTr3} = \frac{I_{CTr3}}{\beta} = \frac{150}{55} = 2,7(\text{mA})$$

Vậy:  $I_{CTr2} = I_{BTr3} = 2,7(\text{mA})$

$$U_{CB0Tr2} = U_{CB0Tr3} = 25(\text{V})$$

Nên ta chọn  $Tr_3$  loại 2SA243 - GP, do Nhật Bản chế tạo làm việc ở chế độ xung, có các thông số như sau:

$$U_{CB0} = 25(\text{V})$$

$$U_{EB0} = 0,4(\text{V})$$

$$I_C = 5(\text{mA})$$

$$\beta = 20$$

Tính dòng điện trên các cực của Tranzito ( $Tr_2$ )

$$I_{BTr2} = \frac{I_{CTr2}}{\beta} = \frac{5}{20} = 0,25(\text{mA})$$

$$I_{ET2} = (1 + \beta) I_{BTr2} = (1 + 20) \cdot 0,25 = 5,25 (\text{mA})$$

*b. Tính các điện trở phân áp  $R_3$  và  $R_4$ .*

Để tính các điện trở  $R_3$  và  $R_4$  ta phải dựa vào các thông số của  $Tr_2$  và  $Tr_3$  đã chọn.

Theo tài liệu tham khảo 3 có thể áp dụng công thức gần đúng sau:

$$R_3 = \frac{(\beta_{Tr2} + 1)(R_{td} + R_0)(\eta \cdot E + \Delta U_{Tr2})}{\eta(\beta_{Tr3} \cdot \beta_{Tr2} - 1)\Delta U_{td}}$$

Trong đó:

$$\eta = 0,5 \div 0,85: \text{hệ số cấu trúc.}$$

Chọn:  $\eta = 0,85$

$$\beta_{Tr2} = 55$$

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc      Lớp CDĐT4 - 37**

**K1**

$$\beta_{Tr3} = 20$$

$$R_{td} = R_{BETr2} // R_{BETr3} = 10 \div 12$$

Ở đây ta chọn  $R_{td} = 11(\Omega)$ : điện trở tương đương

$$\Delta U_{td} = \Delta U_{BETr2} + \Delta U_{CETr3} = \begin{cases} 0,5 - Ge \\ 1 - Si \end{cases}$$

Với:

$$\Delta U_{BETr2} = \begin{cases} 0,3 - Ge \\ 0,6 - Si \end{cases} \quad \Delta U_{CETr3} = \begin{cases} 0,15 - Ge \\ 0,3 - Si \end{cases}$$

Như vậy ta có:  $\Delta U_{td} = 0,5(V)$

$$R_3 = \frac{(55+1)(11+5)(0,85.16+0,3)}{0,85(55.20-1).0,5} = 26,66(\Omega)$$

Vậy ta chọn  $R_3 = 27(\Omega)$

+ Tính điện trở  $R_4$

$$R_4 = \frac{\eta.R_3}{1-\eta} = \frac{0,85.27}{1-0,85} = 153 (\Omega)$$

Theo sơ đồ hình 4 - 3 ta coi dòng  $I_{R3} \approx I_{R4}$

Nên ta suy ra:

$$I_{R3} = \frac{U_B}{R_4}$$

Mà  $U_B = \Delta U_{CETr3} + U_g = 0,3 + 1,5 = 1,8(V)$

Vậy:  $I_{R3} = I_{R4} = \frac{1,8}{153} = 12(mA)$

*c. Tính chọn tụ điện  $C_2$ .*

Tụ  $C_2$  có nhiệm vụ nạp và phóng cho dòng chảy qua bộ khuếch đại và tạo ra một xung điện áp và dòng điện trên  $R_0$  cấp trực tiếp vào cực điều khiển của Tiristo. Khi role điện áp RL tác động hút tiếp điểm  $R_{L2}$  và nhả tiếp điểm  $R_{L1}$  thì tụ  $C_2$  được nạp qua  $R_5$  và điện trở động của  $Tr_1$ , khi điện áp  $U_c = U_{mở}$  thì tụ  $C_2$  phóng.

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc      Lớp CDĐT4 - 38**

**K1**

$$U_m = \eta E + \Delta U_{Tr2}$$

$$U_m = 0,85 \cdot 16 + 0,3 = 14(V)$$

Khi điện áp  $U_C = U_D$  thì tụ tiếp tục nạp và chuẩn bị cho lần phóng tiếp theo.

Với  $U_D = 0,5(V)$  là điện áp rơi trên cực emitor  $Tr_1$  khi ở trạng thái mở.

Để tính tụ  $C_2$  ta dựa vào hằng số thời gian nạp tụ:

$$\tau_{nạp} = (R_5 + R_{dTr1})C_2$$

Trong đó:  $\tau_{nạp} = \frac{T}{360} \cdot \alpha$ , với  $\alpha$  là góc mở của  $Th$ , ta chọn tải điều

chỉnh với góc mở là:  $\alpha = 30^\circ \div 120^\circ$ .

Và ta có:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02(s)$$

T: là hằng số thời gian 1 chu kỳ của điện áp

*d. Chọn Tranzito ( $Tr_1$ )*

Để Tranzito ( $Tr_1$ ) làm việc an toàn ta phải chọn Tranzito có:

$$I_{ETr1} = I_{ETr2} = 5,25(mA)$$

Vậy ta chọn  $Tr_1$  loại 2SA442 - GP do Nhật Bản chế tạo có các thông số sau:

$$U_{CB0} = 20(V)$$

$$U_{CE0} = 20(V)$$

$$I_C = 5(mA)$$

$$\beta = 25$$

+ Xác định dòng điện trên các cực của  $Tr_1$

$$I_{BTr1} = \frac{I_{ETr1}}{1 + \beta} = \frac{5,25}{1 + 25} = 0,2(mA)$$

$$I_{CTr1} = \beta \cdot I_{BTr1} = 25 \cdot 0,2 = 5(mA)$$

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc      Lớp CDĐT4 - 39**

**K1**



+ Xác định điện trở động của  $Tr_1$

Như đã biết điện trở động của  $Tr_1$  có ảnh hưởng đến dòng chạy qua nó:

$R_{\text{động max}}$  ứng với  $I_{Emin}$

$R_{\text{động min}}$  ứng với  $I_{Emax}$

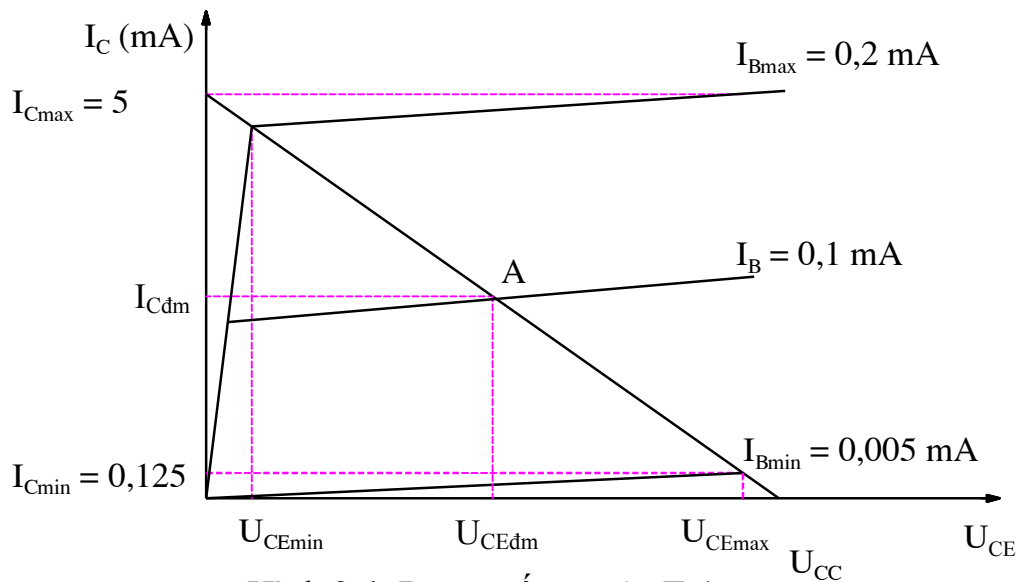
Để xác định được điện trở động của  $Tr_1$  ta phải dựng đặc tuyến ra của nó dựa vào các số liệu đã có.

Đặc tuyến ra có dạng  $I_C = f(U_{CE})$

Ta có:  $I_{Cmax} = 5(mA)$

$I_{Bmax} = 0,2(mA)$

Từ  $I_{Bmax} = 0,2(mA)$  ta chia thành những khoảng có  $\Delta I_B = 0,05$  và  $I_{Bmin} = 0,005(mA)$ , rồi dựng đường đặc tính  $I_B = f(U_{CE})$ . Sau đó ta dựng đường đặc tính tải tĩnh có tọa độ  $(U_{CC}/R_5; U_{CC})$ .



Hình 3.4: Đặc tuyến ra của  $Tr_1$

Theo đặc tuyến hình (3 - 4) ta có:

Ứng với  $I_{Cmax} = 5(mA)$  ta tính được  $I_{Bmax} = 0,2(mA)$

Ứng với  $I_{Cmin} = 0,125(mA)$  với  $I_B = 0,005(mA)$

Để tính được tụ  $C_2$  ta phải chọn điện trở  $R_5$ . Ở đây ta chọn  $R_5 = 3,2(K\Omega)$ .

Vậy khi  $I_B$  tăng từ  $0,1(mA)$  đến  $0,2(mA)$  thì trên hình (4 - 4) ta có  $I_C = 4,8(mA)$

$$\text{Vậy: } U_{CEmin} = U_{CC} - I_C \cdot R_5$$

$$U_{CEmin} = 16 - 4,8 \cdot 3,2 = 0,64(V)$$

Và khi giảm  $I_B$  từ  $0,1$  đến  $0,005$  thì lúc này  $I_C = 0,125(mA)$

$$\text{Nên } U_{CEmax} = U_{CC} - I_C \cdot R_5$$

$$U_{CEmax} = 16 - 0,125 \cdot 3,2 = 15,6(V)$$

Xác định chế độ định mức tại điểm làm việc tĩnh A

$$I_{Cdm} = \frac{I_{Cmax} - I_{Cmin}}{2} = \frac{5 - 0,125}{2} = 2,44(mA)$$

$$I_{CEdm} = \frac{U_{CEmax} - U_{CEmin}}{2} = \frac{15,6 - 0,64}{2} = 7,5(mA)$$

Điện trở động ứng với dòng  $I_{Cmax}$ :

$$R_{dmin} = \frac{U_{CEmin}}{I_{Cmax}} = \frac{0,64}{5 \cdot 10^{-3}} = 128(\Omega)$$

Điện trở động ứng với dòng  $I_{Cmin}$ :

$$R_{dmax} = \frac{U_{CEmax}}{I_{Cmin}} = \frac{15,6}{0,125 \cdot 10^{-3}} = 125(K\Omega)$$

\* Xác định chu kỳ nạp tụ điện  $C_2$

+ Trường hợp góc mở  $\alpha_{min} = 30^0$

$$\text{Ta có: } \tau_{nạp} = \frac{T}{360^0} \alpha_{min} = \frac{0,02}{360} \cdot 30 = 0,0017(s)$$

+ Trường hợp góc mở  $\alpha_{max} = 120^0$

$$\tau_{nạp} = \frac{T}{360^0} \alpha_{max} = \frac{0,02}{360} \cdot 120 = 0,0067(s)$$

U

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc Lớp CĐ ĐT4 - 41**

**K1**

$\pi$

$2\pi$  t

O  $\alpha_{min}$

$\alpha$

\* Xác định điện dung tụ  $C_2$

+ Trường hợp chu kỳ nạp là nhỏ nhất.

$$\tau_{\text{nạp min}} = (R_5 + R_{\text{dmin}}) \cdot C_2$$

$$\Rightarrow C_2 = \frac{\tau_{\text{nạpmin}}}{R_5 + R_{\text{dmin}}} = \frac{0,0017}{3,2 \cdot 10^3 + 128} = 0,51(\mu\text{F})$$

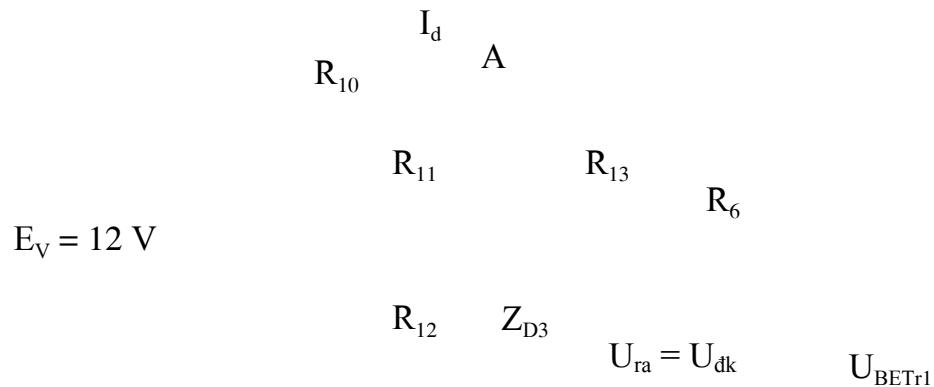
+ Trường hợp chu kỳ nạp là lớn nhất

$$\tau_{\text{nạp max}} = (R_5 + R_{\text{dmax}}) \cdot C_2$$

$$\Rightarrow C_2 = \frac{\tau_{\text{nạpmax}}}{R_5 + R_{\text{dmax}}} = \frac{0,0067}{3,2 \cdot 10^3 + 125 \cdot 10^3} = 0,052(\mu\text{F})$$

Căn cứ vào 2 giá trị đã tính ở trên ta phải chọn tụ  $C_2 = 0,51(\mu\text{F})$ .

## 2. Tính toán cầu đo



Sinh viên thực hiện **Nguyễn Tuấn Ngọc** <sup>B<sub>k</sub></sup> **Lớp CDĐT4 - 42**

**K1**

Hình 3.6: Sơ đồ cầu đo

Giả thiết điện áp cầu đo ở chế độ định mức là  $E_v = 12(\text{V})$ . Điện trở  $R_{10}$  hoạt động như một biến trở để điều chỉnh tĩnh, khi tính toán ta coi như điện áp rơi trên nó là:  $U_{R10} = 0$  (điều chỉnh về 0).

$$\text{Ta có: } E_v = U_{AB} = U_{R11} + U_{R12} = U_{R13} + U_{\text{đmZD3}}$$

Chọn điôt ổn áp do Liên Xô cũ chế tạo ký hiệu Д184b có các thông số sau:

$$U_{\text{đm}} = 8(\text{V})$$

$$I_{\text{min}} = 2(\text{mA})$$

$$I_{\text{max}} = 32(\text{mA})$$

U<sub>đm</sub>

I<sub>min</sub>

I<sub>đm zd</sub>

I<sub>max</sub>

Hình 3.6: Đường đặc tính của Zener

Dòng điện làm việc ở chế độ định mức:

$$I_{\text{đmZD3}} = \frac{I_{\text{min}} + I_{\text{max}}}{2} = \frac{2 + 32}{2} = 17(\text{mA})$$

Dòng điện vào cầu đo

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc      Lớp CĐ ĐT4 - 43**

**K1**

$$I_d = 2I_{\max} = 2 \cdot 32 = 64(\text{mA})$$

Tính điện trở  $R_{13}$

Ta có:  $U_{R13} = I_{R13} \cdot R_{13}$

Mà ta có:  $U_{R13} = U_{AB} - U_{\text{ônZD3}} = E - U_{\text{ônZD3}}$

$$U_{R13} = 12 - 8 = 4(\text{V})$$

$$\Rightarrow R_{13} = \frac{U_{R13}}{I_{R13}} = \frac{4}{17 \cdot 10^{-3}} = 235,3(\Omega)$$

Vậy ta chọn  $R_{13} = 235(\Omega)$

Để có  $U_{ra} = U_{dk} = 4(\text{V})$  thì ta phải chọn  $U_{R12} = 4(\text{V})$  vì:

$$U_{ra} = U_{\text{ônZD3}} - U_{R12}$$

$$U_{ra} = 8 - 4 = 4(\text{V})$$

Mặc khác ta có dòng điện ở 2 nhánh của cầu là như nhau:

$$I_{R12} = I_{\text{dmZD3}} = 17(\text{mA})$$

Vậy ta được:

$$R_{12} = \frac{U_{R12}}{I_{R12}} = \frac{4}{17 \cdot 10^{-3}} = 235(\Omega)$$

Tương tự ta có:  $U_{R11} = U_{AB} - U_{R12}$

$$U_{R11} = 12 - 4 = 8(\text{V})$$

$$\text{Vậy: } R_{11} = \frac{U_{R11}}{I_{R11}} = \frac{8}{17 \cdot 10^{-3}} = 471(\Omega)$$

Như đã phân tích ở trên thì  $R_{10}$  chỉ dùng với mục đích hạn chế dòng  $I_d$  và nó làm việc như một chiết áp. Vậy ta có thể chọn  $R_{10}$  sao cho thích hợp.

Ở đây ta chọn  $R_{10} = 40(\Omega)$

- Tính điện áp ra của cầu đo ở chế độ định mức.

Ta dựng đặc tính ra của cầu phi tuyến.

U

$U_{\text{ôn}}$

**Sinh viên thực hiện** Nguyễn Tuấn Ngọc **Lớp CĐĐT4 - 44**

$U_{\text{zđm}}$

**K1**

$$U_{ra} = U_{dk}$$

$U_{Rdm}$

Ta có:  $U_{rađm} = U_{đkđm} = U_{ônZD3} - U_{R13}$

$$U_{rađm} = 8 - 4 = 4(V)$$

+ Tính điện trở vào của Tranzito ( $Tr_1$ ):  $R_6$

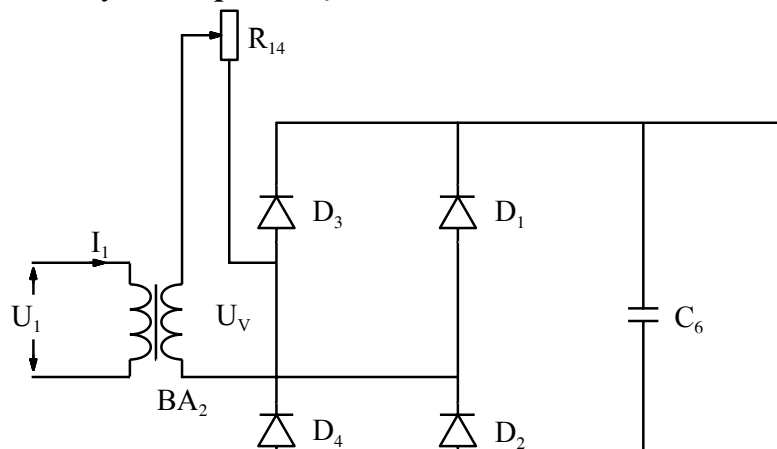
Để đảm bảo dòng điện ra  $I_{đk}$  không làm ảnh hưởng đến trạng thái của cầu đo thì yêu cầu  $I_{đmZD} \geq 5 \cdot I_{ra}$ . Mặc khác ta phải đảm bảo  $I_{ra} = I_{BTr1}$ .

Vậy ta chọn  $I_{ra} = 2(mA)$

Vậy

$$R_6 = \frac{U_{đk}}{I_{BTr1}} = \frac{4}{2 \cdot 10^{-3}} = 2(K\Omega)$$

### 3. Tính toán máy biến áp và chọn van chỉnh lưu.



Sinh viên thực hiện **Nguyễn Tuấn Ngọc** — **Lớp CD-ĐT4 - 45**

**K1**

Hình 3.9: Sơ đồ chỉnh lưu cầu một pha

Để tính toán thiết kế máy biến áp và chọn van ta dựa vào những giả thiết ban đầu. Điện áp định mức vào cầu phi tuyến và dòng điện chính là điện áp trung bình và dòng điện tải sau chỉnh lưu.

$$U_d = E_v = 12(V)$$

$$I_d = I_{dm} = 64(mA)$$

a. Tính chọn tụ lọc  $C_6$

Khi điện áp xoay chiều thứ cấp của máy biến áp được chỉnh lưu thành các nửa chu kỳ dương lặp lại của điện áp hình sin. Vì vậy điện áp sau chỉnh lưu có hình dạng nhấp nhô, để điện áp này trở nên bằng phẳng và có hình dạng gần như một chiều người ta mắc thêm bộ tụ lọc.

Biên độ điện áp sau chỉnh lưu.

Mức tối thiểu của điện áp ra là  $E_{min}$ .

Mức tối đa của điện áp ra là  $E_{max}$ .

Thời gian nạp tụ:

$$t_1 = \frac{T}{4} - \text{thời gian ứng với } \theta.$$

Thời gian phóng tụ là:

$$t_2 = \frac{T}{4} + \text{thời gian ứng với } \theta$$

Trong đó  $\frac{T}{4}$  là thời gian ứng với  $90^\circ$

U  
U<sub>m</sub>  
U<sub>d</sub>

$$\Delta U_c = U_{gs}$$

E<sub>min</sub> E<sub>max</sub>  
t

$$E_{\min} = E_{\max} \cdot \sin\theta$$

$$\text{Hay: } \theta = \arcsin \frac{E_{\min}}{E_{\max}}$$

Nếu  $I_d$  được coi là không đổi thì ta có:

$$I_d = \frac{C_6 \cdot d_{U_{gs}}}{D_t}$$

Trong đó  $U_{gs}$  là điện áp gợn sóng và chính là độ dao động điện áp của chỉnh lưu khi có tụ  $C_6$ .

Vậy ta suy ra được:

$$C_6 = \frac{I_d \cdot t_2}{U_{gs}}$$

Hoặc ta có thể tính theo công thức:

$$\frac{\Delta U_c}{U_m} = \left( 1 - \frac{1}{m_x \cdot C_6 \cdot 2 \cdot R_t \cdot f} \right) \frac{1}{m_x \cdot C_6 \cdot R \cdot f}$$

Trong đó:

$\Delta U_c = U_{gs}$ : điện áp gợn sóng.

$m_x$ : là số xung áp của điện áp đầu vào bộ lọc trong một chu kỳ điện áp nguồn.

$f$ : tần số

$R_t$ : điện trở tải

$C_6$ : tụ lọc

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc      Lớp CD ĐT4 - 47**

**K1**



Giả thiết là:  $\Delta U_c = U_{gs} = 15\%U_d$

Nên ta được:

$$\Delta U_c = U_{gs} = \frac{15 \times 12}{100} = 1,8(\text{V})$$

Vậy:

$$E_{\min} = U_d - \frac{U_{gs}}{2} = 12 - \frac{1,8}{2} = 11,1(\text{V})$$

$$E_{\max} = U_d + \frac{U_{gs}}{2} = 12 + \frac{1,8}{2} = 12,9(\text{V})$$

$$\Rightarrow \theta = \arcsin \frac{E_{\min}}{E_{\max}} = \arcsin \frac{11,1}{12,9} = 59^\circ$$

Ta tính thời gian phóng của tụ  $C_6$

$$t_2 = \frac{T}{4} + \text{thời gian ứng với góc } \theta$$

$$\text{Hay } t_2 = \frac{T}{360} (90^\circ + 59^\circ)$$

$$\text{Mà: } T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02(\text{s})$$

$$\text{Vậy: } t_2 = \frac{0,02}{360} (90^\circ + 59^\circ) = 0,0083(\text{s}) = 8,3(\text{ms})$$

$$\text{Suy ra: } C_6 = \frac{I_d \cdot t_2}{U_{gs}} = \frac{64 \cdot 10^{-3} \cdot 8,3 \cdot 10^{-3}}{1,8} = 295(\mu\text{F})$$

Để đảm bảo chất lượng dòng một chiều sau chỉnh lưu nên ta mắc thêm tụ lọc  $C_5$ , nhưng để đảm bảo dòng đưa đến cầu đo là chính xác và độ nhạy thì tụ  $C_5$  không thể quá lớn. Ta có thể tính toán như trên bộ tụ  $C_6$ .

Vậy ta có thể chọn  $C_5 = 290(\mu\text{F})$

*b. Tính toán và chọn van chỉnh lưu:*

Ta có điện áp ra của cầu chỉnh lưu là:

$$U_d = \frac{2}{\pi} U_{2\max}$$

$$\Rightarrow U_{2\max} = \frac{\pi \cdot U_d}{2}$$

Với:  $U_d = E = 12(\text{V})$  như ta giả thiết.

$$\text{Vậy: } U_{2\max} = \frac{3,14 \cdot 12}{2} = 18,8(\text{V})$$

Giá trị hiệu dụng của điện áp vào của chỉnh lưu

$$U_V = \frac{U_{2\max}}{\sqrt{2}} = \frac{18,8}{\sqrt{2}} = 13,3(\text{V})$$

Dòng điện trung bình chạy trong mỗi van:

$$I_D = \frac{I_d}{2} = \frac{64}{2} = 32 (\text{mA})$$

Dòng điện vào cầu đo là:

$$I_V = I_d \cdot 1,11 = 64 \times 1,11 = 71(\text{mA})$$

Để đảm bảo an toàn cho điôt ta phải chọn hệ số dự trữ về dòng và áp.

Theo tài liệu tham khảo 3 ta chọn như sau:

$K_I = 1,2$ : hệ số dự trữ về dòng

$K_U = 1,6$ : hệ số dự trữ về áp

Vậy ta phải chọn điôt chịu được điện áp ngược và dòng điện như sau:

$$U_{ng\max} = K_U \cdot U'_{ng\max} = 1,6 \cdot 18,8 = 30(\text{V})$$

$$I'_{dmD} = K_I \cdot I_{Div} = 1,2 \cdot 32 = 38,4(\text{mA})$$

Căn cứ vào các số liệu đã tính ta chọn điôt loại 206 do Liên Xô chế tạo có thông số sau:

$$I_{dmD} = 0,1(\text{A})$$

$$U_{ng} = 100(\text{V})$$

$$\Delta U = 1(\text{V})$$

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc      Lớp CĐ ĐT4 - 49**

**K1**

Vì các van là hoàn toàn giống nhau nên ta chọn  $D_1, D_2, D_3, D_4$  cùng loại và có thông số như đã chọn ở trên.

*c. Thiết kế máy biến áp*

+ Ta có công suất tác dụng của phụ tải:

$$P_d = U_{do} \cdot I_d$$

Trong đó:

$$U_{do} = U_d + \Delta U_V + \Delta U_R + \Delta U_X.$$

Với:  $\Delta U_V, \Delta U_R, \Delta U_X$ : là sụt áp trên van, trên điện trở và điện kháng của máy biến áp.

Vì đây là loại máy biến áp có công suất nhỏ nên độ sụt áp trên điện trở là tương đối lớn khoảng 4%, trên điện kháng khoảng 1,5%, độ sụt áp trên 2 van nối tiếp là:  $\Delta U_V = 2\Delta U = 2(V)$

$$\text{Do đó: } U_{do} = 12 + 2 + 12(4\% + 1,5\%)$$

$$U_{do} = 12 + 2 + 12(0,04 + 0,015) = 14,66(V)$$

$$\text{Vậy: } P_d = 14,66 \cdot 64 \cdot 10^{-3} = 0,94(W)$$

Công suất toàn phần của máy biến áp

$$S_{ba} = K_s \cdot P_d$$

Trong đó:  $K_s$  là hệ số công suất theo sơ đồ mạch động lực.

Vì ta dùng sơ đồ cầu chỉnh lưu một pha nên tra bảng 2 tài liệu tham khảo 3 ta được :  $K_s = 1,23$ .

$$\text{Vậy: } S_{ba} = 1,23 \cdot 0,94 = 1,16(W)$$

\* Tính toán mạch từ máy biến áp

Chọn mạch từ có hình dạng như sau:



Hình 3.11. Mạch từ máy biến áp

Tiết diện trụ giữa được tính theo công thức gần đúng như sau:

$$Q_{Fe} = K \sqrt{\frac{S_{ba}}{m \cdot f}}$$

Trong đó:

K: là hệ số phụ thuộc vào phương thức làm mát.

$K = 4 \div 5$  nếu là biến áp dầu.

$K = 5 \div 6$  nếu là biến áp khô.

Vậy ta chọn  $K = 6$  ứng với máy biến áp khô.

$m = 1$  là số trụ tác dụng của máy biến áp (vì ở đây ta dùng máy biến áp 1 pha).

$f = 50\text{Hz}$ : tần số lưới điện .

Vậy ta được:

$$Q_{Fe} = 6 \cdot \sqrt{\frac{1,16}{1 \cdot 50}} = 0,91(\text{cm}^2)$$

Căn cứ vào kết quả tính được ta tra bảng II-2 tài liệu tham khảo 3 ta chọn mạch từ có kích thước như sau:

$$a = 12(\text{m})$$

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc      Lớp CDĐT4 - 51**

**K1**

$$h = 30(\text{mm})$$

$$c = 12(\text{mm})$$

$$C = 48(\text{mm})$$

$$H = 42(\text{mm})$$

$$b = 10(\text{mm})$$

Chọn vật liệu làm mạch từ là tôn silic tổn thất 1,3(W/kg), trọng lượng 7,5(kg/dm<sup>3</sup>). Bề dày mỗi lá tôn là 0,2(mm).

Từ những số liệu trên ta có thể tính được trọng lượng sắt của mạch từ như sau:

$$G_{\text{Fe}} = G_{\text{Fet}} + G_{\text{Feg}}$$

Trong đó:

$G_{\text{Fet}}$ : là trọng lượng sắt trong trụ.

$G_{\text{Feg}}$ : là trọng lượng sắt trong gông.

Ta có:

$$G_{\text{Fet}} = h \cdot 2 \cdot S_t \cdot \gamma_{\text{Fe}}$$

Với:  $S_t = a \cdot b = 12 \cdot 10 = 1,2(\text{cm}^2)$  là tiết diện trụ giữa của máy biến áp.

$\gamma_{\text{Fe}}$ : trọng lượng riêng của Fe.

$$\text{Vậy } G_{\text{Fet}} = 30 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-2} \cdot 7,5 = 0,054(\text{Kg})$$

Tương tự ta có:

$$G_{\text{Feg}} = C \cdot S_g \cdot \gamma_{\text{Fe}}$$

Và  $S_g = 2 \left[ \left( \frac{H-h}{2} \right) \cdot b \right]$  : tiết diện gông

$$S_g = 2 \left[ \left( \frac{42-30}{2} \right) \cdot 10 \right] = 120(\text{mm}^2)$$

$$\text{Vậy } G_{\text{Feg}} = 48 \cdot 10^{-2} \cdot 120 \cdot 10^{-4} \cdot 7,5 = 0,0432(\text{Kg})$$

Cho nên ta được:

$$G_{\text{Fe}} = 0,054 + 0,0432 = 0,0972(\text{Kg}) = 97,2(\text{g})$$

+ Chọn mật độ từ cảm trong các trụ là:

$$B_m = 1,1(\text{Tecla})$$

\* Tính toán dây quấn

Số vòng dây cuộn sơ cấp:

$$W_1 = \frac{U_1}{4,44.f.Q_{Fe}.B_m}$$

Trong đó:

$$U_1 = 220(\text{V})$$

$Q_{Fe}$  : tiết diện lõi thép

$B_m$  : mật độ từ cảm

$$\text{Vậy } W_1 = \frac{220}{4,44.50.1,2.10^{-2}.11} = 7507(\text{vòng})$$

Số vòng dây của cuộn thứ cấp.

Ta có thể tính theo công thức:

$$W_2 = K_U . W_1$$

Với  $K_U$  là tỷ số biến áp chọn  $K_U = 0,28$

$$\text{Vậy } W_2 = 0,28 \times 7507 = 2115(\text{vòng})$$

Chọn mật độ dòng điện

$$J_1 = J_2 = 2,75(\text{A/mm}^2) \text{ theo tài liệu tham khảo 3}$$

+ Đường kính dây được tính theo công thức

$$d = \sqrt{\frac{4I}{\pi.J}}$$

Vậy ta có đường kính dây quấn sơ cấp là:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4I_1}{\pi.J}}$$

Trong đó:

$$I_1 = K_U . I_2 = 0,28 . 71 = 20(\text{mA})$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4.20.10^{-3}}{3,14.2,75}} = 0,096(\text{mm})$$

Tra bảng II-3 tài liệu tham khảo 3 ta chọn dây  $\pi\text{ЭЛ-1}$  có:

$$\text{Đường kính tính toán: } d_{tt} = 0,1(\text{mm})$$

$$\text{Đường kính kể cả cách điện: } d_{cd} = 0,125(\text{mm})$$

$$\text{Tiết diện: } S = 0,00785(\text{mm}^2)$$

$$\text{Trọng lượng: } G_U = 0,0698(\text{g/m})$$

$$\text{Điện trở suất: } \rho_{cu} = 2,291(\Omega/\text{m})$$

- Đường kính dây quấn thứ cấp.

$$d_2 = \sqrt{\frac{4I_2}{\pi.J}} = \sqrt{\frac{4.71.10^{-3}}{3,14.2,75}} = 0,18(\text{mm})$$

Tra bảng II-3, tài liệu tham khảo 3 ta chọn loại  $\pi\text{ЭЛ-1}$  có:

$$d_{tt} = 0,18(\text{mm})$$

$$S = 0,0254(\text{mm}^2)$$

$$G_U = 0,226(\text{g/m})$$

$$\rho_{cu} = 0,707(\Omega/\text{m})$$

Đường kính ngoài:  $d_{cd} = 0,21(\text{mm})$

+ Tính số vòng dây trên mỗi lớp dây

$$W_{11} = \frac{h - h_g}{d_{n1}}$$

Trong đó:

$d_n$  : đường kính dây quấn kể cả cách điện

$h_g$  : khoảng cách cách điện với gông, ta có thể chọn:

$$h_g = 2d_n = 2 \cdot 0,125 = 0,25(\text{mm})$$

$$\text{Vậy: } W_{11} = \frac{30 - 0,25}{0,125} = 238(\text{vòng})$$

+ Số lớp dây của cuộn sơ cấp là:

$$S_{1d1} = \frac{W_1}{W_{11}} = \frac{7507}{238} = 32(\text{lớp})$$

Trước khi quấn dây người ta lồng vào trụ một ống quấn dây làm bằng vật liệu cách điện dày 1(mm).

+ Ta có đường kính của đường tròn ngoại tiếp trụ là:

$$R = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{12^2 + 10^2} = 15,6(\text{mm})$$

Vậy ta chọn ống cách điện có đường kính ngoài là 18(mm).

$$R' = R + 0,2 = 18(\text{mm})$$

+ Tính bề dày của cuộn dây sơ cấp có kể cả cách điện dày 0,1(mm)

$$e_1 = 32 \cdot 0,125 + 32 \cdot 0,1 = 7,2(\text{mm})$$

- Bán kính trung bình của dây quấn sơ cấp là:

$$r_1 = \frac{R' + e_1}{2} = \frac{18 + 7,2}{2} = 12,6(\text{mm})$$

- Chiều dài dây quấn sơ cấp là:

$$L_1 = 2\pi \cdot r_1 \cdot W_1 \cdot 10^{-3}$$

$$L_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 12,6 \cdot 7507 \cdot 10^{-3} = 594(\text{m})$$

\* Dây quấn thứ cấp

+ Số vòng dây trên mỗi lớp:

$$W_{22} = \frac{h - h_g}{d_{n2}} = \frac{30 - 0,25}{0,21} = 142(\text{vòng})$$

+ Số lớp dây của cuộn thứ cấp:

$$S_{1d2} = \frac{W_2}{W_{22}} = \frac{2115}{142} = 15(\text{lớp})$$

+ Bề dày cuộn thứ cấp kể cả cách điện giữa 2 lớp với nhau, chọn loại cách điện dày 0,1(mm):

$$e_2 = 15 \cdot 0,21 + 15 \cdot 0,1 = 4,6(\text{mm})$$

+ Bán kính trung bình của dây quấn thứ cấp:

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc      Lớp CD ĐT4 - 55**



$$r_2 = \frac{R' + e_2}{2} = \frac{18 + 4,6}{2} = 11,3(\text{mm})$$

+ Chiều dài dây quấn thứ cấp:

$$L_2 = 2\pi \cdot r_2 \cdot W_2 \cdot 10^{-3}$$

$$L_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 11,3 \cdot 2115 \cdot 10^{-3} = 150(\text{m})$$

\* Điện trở dây quấn ở nhiệt độ  $75^{\circ}\text{C}$

+ Điện trở cuộn sơ cấp

$$r_1 = \rho_{\text{cu1}} \cdot L_1(1 + \alpha t)$$

Trong đó:

$\alpha = 0,004$ : hệ số nhiệt điện trở

$t = 75^{\circ}\text{C}$  : nhiệt độ cuộn dây

$$\rho_{\text{cu1}} = 2,291 (\Omega/\text{m})$$

$$\text{Vậy } r_1 = 2,291 \cdot 594(1 + 0,004 \cdot 75) = 1,77(\text{K}\Omega)$$

+ Điện trở cuộn thứ cấp:

$$r_2 = \rho_{\text{cu2}} \cdot L_2(1 + \alpha t)$$

$$r_2 = 0,707 \cdot 150(1 + 0,004 \cdot 75) = 138(\Omega)$$

\* Tính máy biến áp BA1

BA1

BI

R<sub>15</sub>

R<sub>14</sub>

U<sub>f</sub>

220(V)

U<sub>f. áp</sub>

U<sub>v</sub> =

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc Lớp CĐ ĐT4 - 56**

**K1**

Căn cứ vào sơ đồ ta có:

$$U_v = U_{f.dòng} - U_{f.áp}$$

Trong đó:

$$U_{f.dòng} = K_I \cdot I_{đm}$$

$$U_{f.áp} = K_U \cdot I_1$$

Với:  $K_U = 0,28$  đã chọn

Vậy ta được:

$$13,3 = 289 \cdot K_I - 0,28 \cdot 220$$

$$\Rightarrow K_I = \frac{13,3 + 61,6}{289} = 0,26$$

Nên ta được:  $U_{f.dòng} = 0,26 \cdot 289 = 75(V)$

Để thuận lợi cho quá trình điều chỉnh thì ta chọn  $U_{f.d} = 94\%U_2$

Vậy điện áp thứ cấp của máy biến áp BA1 là:  $U_{2BA1} = 80(V)$

Điện áp sơ cấp máy biến áp BA1

$$U_{1BA1} = K_{BA} \cdot U_{2BA2}$$

Chọn  $K_{BA} = 1,5$

Vậy  $U_{1BA1} = 1,5 \cdot 80 = 120(V)$

+ Ở mục 4 - 2 ta đã tính được dòng điện định mức của máy phát chính là:  $I_{đm} = 288(A)$ .

Vậy ta chọn biến dòng loại BD8 do công ty EMIC sản xuất có thông số như sau:

Dòng sơ cấp:  $I_1 = 300(A)$

Dòng thứ cấp:  $I_2 = 5(A)$

Số vòng dây sơ cấp:  $n_1 = 1(\text{vòng})$

Dung lượng:  $S = 10(VA)$

Cấp chính xác: 0,5

**Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc      Lớp CDĐT4 - 57**

**K1**

+ Tính điện trở phân áp  $R_{15}$ :

Để cho:  $U_{1BA1} = 120(V)$  thì ta chọn  $R_{15}$  sao cho

$$U_{1BA1} = I_{2BI} \cdot R_{15}$$

$$\Rightarrow R_{15} = \frac{U_{1BA1}}{I_{2BI}} = \frac{120}{5} = 24(\Omega)$$

**MỤC LỤC**

|  | Trang     |
|--|-----------|
| <b>Mở đầu .....</b>  |           |
| <b>Chương I - Giới thiệu chung về máy điện đồng bộ .....</b>               | <b>2</b>  |
| 1.1. Nguyên lý làm việc của máy điện .....                                 | 2         |
| 1.2. Phân loại và kết cấu của máy điện đồng bộ .....                       | 2         |
| 1. Phân loại.....  | 2         |
| 2. Kết cấu .....   | 4         |
| 1.3. Các thông số chủ yếu của máy phát đồng bộ .....                       | 6         |
| 1. Điện kháng đồng bộ dọc trục và ngang trục .....                         | 6         |
| 2. Điện kháng quá độ .....   | 6         |
| 3. Điện kháng siêu quá độ .....  | 7         |
| 4. Hằng số quán tính .....   | 7         |
| 1.4. Đồ thị vectơ và đặt tính .....  | 7         |
| 1. Phương trình điện áp và đồ thị vectơ<br>của máy phát điện đồng bộ ..... | 7         |
| 2. Đặc tính của máy phát điện đồng bộ .....                                | 12        |
| 1.5. Chế độ thuận nghịch của máy điện .....                                | 17        |
| 1. Chế độ máy phát .....   | 17        |
| 2. Chế độ động cơ .....  | 18        |
| 3. Chế độ máy bù đồng bộ .....   | 19        |
| <b>Chương II - Các sơ đồ kích từ của MFĐ đồng bộ .....</b>                 | <b>20</b> |
| 2.1. Khái niệm chung .....   | 20        |
| 2.2. Phân loại và đặc điểm của các hệ thống kích từ .....                  | 2         |
| 1. Hệ thống kích từ dùng máy phát điện một chiều .....                     | 22        |
| 2. Hệ thống kích từ dùng máy phát xoay chiều<br>và chỉnh lưu .....         | 24        |
| 3. Hệ thống kích từ dùng chỉnh lưu có điều khiển .....                     | 26        |
| <b>Sinh viên thực hiện Nguyễn Tuấn Ngọc    Lớp CD ĐT4 - 59</b>             |           |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.3. Một số sơ đồ kích từ của máy phát đồng bộ tự kích .....   | 27        |
| 1. Thực hiện cộng nối tiếp tác dụng của mạch áp và dòng<br>rời qua chỉnh lưu không điều khiển .....  | 27        |
| 2. Thực hiện cộng song song tác dụng của mạch áp và dòng.  | 27        |
| 2.4. Điều kiện tự kích của máy phát điện đồng bộ .....   | 28        |
| <b>Chương III - Khảo sát các sơ đồ hệ thống tự kích và tự ổn định điện áp<br/>của máy phát điện đang vận hành theo công suất khác nhau .....</b> | <b>30</b> |
| 3.1. Khái quát chung về hệ thống điều chỉnh điện áp .....  | 30        |
| 3.2. Khảo sát các hệ thống tự kích và tự động ổn định điện áp .....  | 31        |
| 1. Sơ đồ 1 .....   | 31        |
| 2. Sơ đồ 2 .....   | 33        |
| 3. Sơ đồ 3 .....   | 35        |
| 4. Sơ đồ 4 .....   | 38        |
| 5. Sơ đồ 5 .....   | 40        |
| 6. Sơ đồ 6 .....   | 43        |
| 7. Sơ đồ 7 .....   | 49        |
| <b>Chương IV - Thiết kế tính toán một phương án .....</b>  | <b>56</b> |
| 4.1. Chọn phương án .....  | 56        |
| 4.2. Tính toán mạch động lực .....   | 58        |
| 1. Tính toán các thông số của máy phát .....   | 58        |
| 2. Tính chọn van cho mạch lực .....  | 59        |
| 4.3. Tính toán mạch điều khiển .....   | 63        |
| 1. Tính mạch tạo xung khi role RL hút .....  | 63        |
| 2. Tính toán cầu đo .....  | 70        |
| 3. Tính toán máy biến áp và chọn van chỉnh lưu .....   | 73        |
| <b>Kết luận .....</b>  | <b>85</b> |
| <b>Tài liệu tham khảo .....</b>  | <b>86</b> |