

Bài 5.

NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĐIỀU KHIỂN ĐIỆN - KHÍ NÉN

Mục tiêu: Sinh viên trình bày được những khái niệm cơ bản thường dùng trong hệ thống điều khiển bằng điện – khí nén.

I/ KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ KỸ THUẬT ĐIỆN

1/ Điện trường

a/ Tụ điện

Hai mặt phẳng A đặt đối diện được tích điện $+Q$ và $-Q$. Điện tích Q và hiệu điện thế U có công thức như sau:

$$Q = C.U \quad (5.1)$$

Trong đó:

Q là lượng điện tích trên mặt phẳng (C – Culông)

C là điện dung tụ điện (F – Farad)

U là hiệu điện thế giữa hai mặt phẳng (V – vôn)

- Điện dung tụ điện

$$C = \frac{\epsilon.A}{d} \quad (5.2)$$

Trong đó

A là diện tích mặt phẳng (m^2)

d là khoảng cách giữa hai mặt phẳng (m)

ϵ là hằng số điện môi (F/m)

- Hằng số điện môi

$$\epsilon = \epsilon_0 . \epsilon_r \quad (5.3)$$

Trong đó:

ϵ_0 hằng số điện môi cho không khí và chân không ($\epsilon_0 = 8,85 . 10^{-12} F/m$)

ϵ_r chỉ số điện môi (không khí, chân không $\epsilon_r = 1$)

- Hiệu điện thế và cường độ dòng điện qua tụ điện

Trong khoảng thời gian Δt , từ phương trình (5.1) có thể viết được tổng quát như sau:

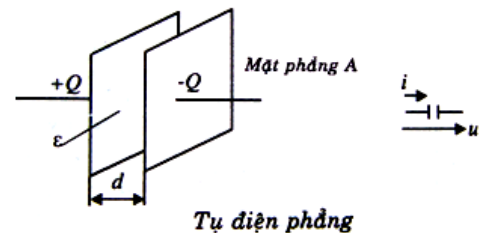
$$q = C.u \quad \text{hay} \quad dq = C.du$$

Khi dq thay đổi theo thời gian dt thì cường độ dòng điện i được viết như sau:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (5.4)$$

Như vậy cường độ dòng điện viết được như sau:

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (5.5)$$



Sau khi tích phân hiệu điện thế, ta được:

$$u = \frac{1}{C} \int i \cdot dt \quad (5.6)$$

b/ Tự điện với dòng điện 1 chiều

Quá trình chuyển mạch của tụ điện

Trong mạch điện có tụ điện, quá trình chuyển mạch có 3 giai đoạn

- Quá trình đóng mạch

$$u_r + u_C - U = 0 \quad (5.7)$$

Sau khi thay phương trình (5.5), (5.6) vào phương trình (5.7) và giải phương trình vi phân, ta có:

$$\text{Hiệu điện thế} \quad u_C = U(1 - e^{-t/T}) \quad (5.8)$$

$$\text{Cường độ dòng điện} \quad i = \frac{U}{R} e^{-t/T}, \text{ trong đó: hằng số thời gian } T = R \cdot C \quad (5.9)$$

Trong quá trình đóng mạch hiệu điện thế u và cường độ dòng điện i biến thiên theo hình a.

- Quá trình ổn định: năng lượng điện được tích ở tụ điện

$$W_e = C \cdot \int u \cdot du = \frac{1}{2} \cdot C \cdot u^2 \quad (5.10)$$

- Quá trình ngắt:

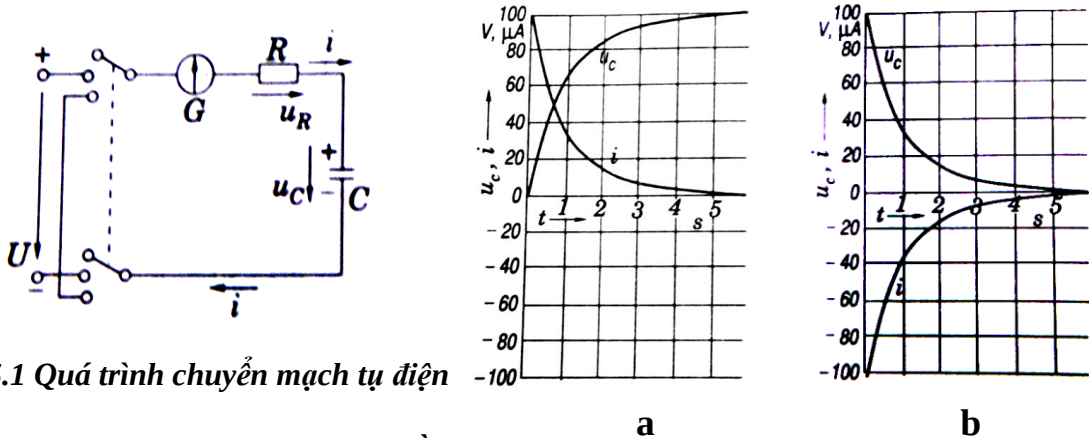
$$u_r + u_C = 0 \quad (5.11)$$

Sau khi thay phương trình (5.5), (5.6) vào phương trình (5.11) và giải phương trình vi phân ta có:

$$\text{Hiệu điện thế} \quad u_C = U \cdot e^{-t/T} \quad (5.12)$$

$$\text{Cường độ dòng điện} \quad i = -\frac{U}{R} \cdot e^{-t/T} \quad (5.13)$$

Trong quá trình đóng mạch hiệu điện thế u và cường độ dòng điện I biến thiên theo hình b.



Hình 5.1 Quá trình chuyển mạch tụ điện

c/ Tự điện với dòng điện xoay chiều

Trong mạch điện xoay chiều, tụ điện sẽ lần lượt được tích điện và sau đó phóng điện. Hình sau biểu diễn nguyên lý hoạt động của tụ điện trong mạch điện xoay chiều.

- Điện trở điện dung

Điện trở điện dung có công thức sau:

$$R_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C} = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (5.14)$$

Trong đó

R_C điện trở điện dung (Ω)

$\omega = 2\pi f$ tần số góc (rad/s)

f tần số (Hz)

C điện dung tụ điện (F)

Sự phụ thuộc R_C và tần số f được biểu diễn ở hình sau.

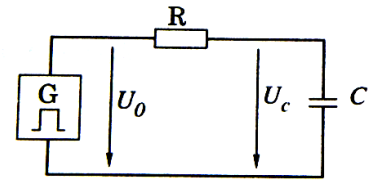
Theo định luật Ohm ta có:

$$R_C = \frac{U_c}{I_c} \quad (5.15)$$

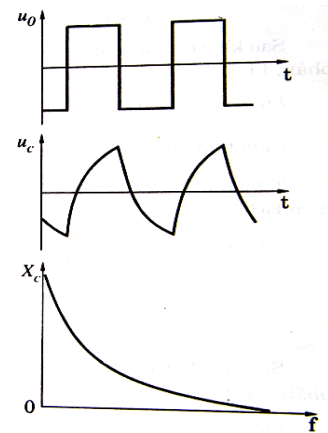
Trong đó: U_c là giá trị hiệu dụng hiệu điện thế

I_c là giá trị hiệu dụng cường độ dòng điện

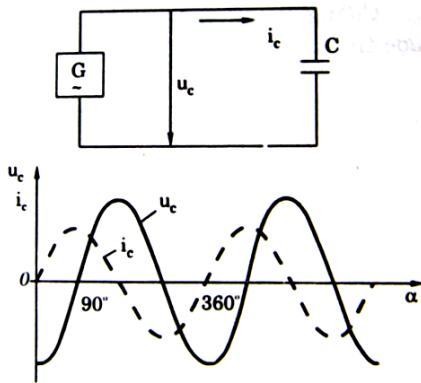
- Độ lệch pha hiệu điện thế và cường độ dòng điện của tụ điện được biểu diễn ở hình sau:



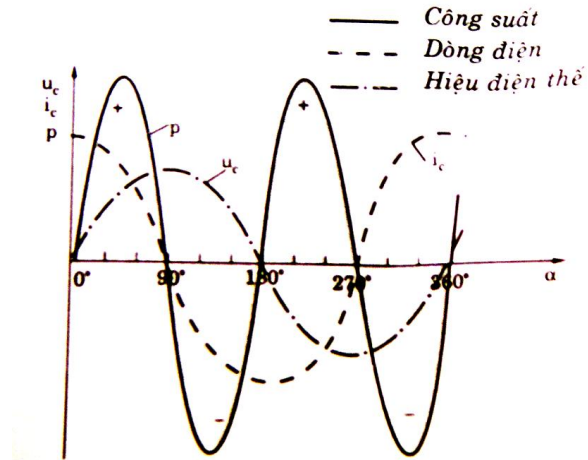
Hình 5.2 Tụ điện trong mạch điện xoay chiều



Hình 5.3 Điện trở điện dung



Hình 5.4 Độ lệch pha U_c và I_c



- Công suất phản kháng của tụ điện:

$$P_C = U_C \cdot I_C = I_C^2 \cdot R_C \quad (5.16)$$

2/ Từ trường

Khi có dòng điện I đi qua cuộn dây, sẽ xuất hiện trong cuộn dây một từ trường. Các đại lượng vật lý đặc trưng cho từ trường gồm:

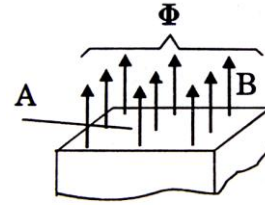
a/ Từ thông và mật độ từ thông

Từ thông là tổng các đường sức từ trường và có đơn vị là Weber (Wb) được minh họa ở hình sau.

Mật độ từ thông là số đường sức từ trường trên một đơn vị diện tích và có đơn vị là Tesla (T).

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad (5.17)$$

Trong đó: B là mật độ từ thông (T)
 Φ từ thông (Wb)
 A là diện tích (m²)



Hình 5.5 Mật độ từ thông

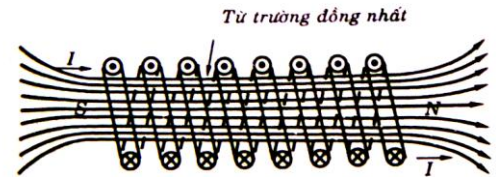
b/ Sức cảm ứng từ

Sức cảm ứng từ có công thức viết như sau:

$$\Psi = N \cdot I \quad (5.18)$$

Trong đó:

Ψ sức cảm ứng từ (A)
 N số vòng cuộn dây
 I cường độ dòng điện trong cuộn dây (A)



Hình 5.6 Sức cảm ứng từ

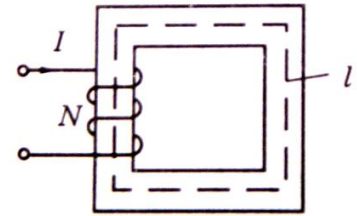
c/ Cường độ từ trường

Cường độ từ trường được tính theo công thức sau:

$$H = \frac{N \cdot I}{l} \quad \text{hoặc} \quad H = \frac{\Psi}{l} \quad (5.19)$$

Trong đó:

H cường độ từ trường (A/m)
 N số vòng cuộn dây
 I cường độ dòng điện trong cuộn dây (A)
 l chiều dài trung bình (m)



Hình 5.7 Cường độ từ trường

d/ Liên hệ giữa B và H

$$B = \mu \cdot H \quad \text{công thức tổng quát} \quad (5.20)$$

$$B = \mu_0 \cdot H \quad \text{công thức cho cuộn dây không lõi sắt} \quad (5.20a)$$

$$B = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot H \quad \text{công thức cho cuộn dây có lõi sắt} \quad (5.20b)$$

Trong đó

B mật độ từ thông (T)
 H cường độ từ trường (A/m)
 μ_0 hằng số từ trường (Vs/Am) và có giá trị $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6}$ Vs/Am
 μ_1 chỉ số thẩm từ
 μ độ thẩm từ (Am/Vs) $\mu = \mu_0 \cdot \mu_1$

Cho không khí μ_r có giá trị ≈ 1 . Đối với cuộn dây có lõi sắt, μ_r có giá trị thay đổi, mật độ từ thông sẽ tăng lên nhiều.

e/ Lực hút từ trường

Lực hút từ trường tác động vào chi tiết bằng sắt (vật liệu có từ hoá mềm) được biểu diễn như hình vẽ có giá trị sau:

$$F = \frac{B^2 \cdot A}{2 \cdot \mu_0} \quad (5.21)$$

Trong đó:

F là lực tác động (N)
 B mật độ từ thông (T)
 A diện tích (m²)

μ_0 hằng số từ trường (Vs/Am) và có giá trị $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6}$ Vs/Am

Hình biểu diễn nguyên lý hoạt động của role với 3 tiếp điểm. Tại vị trí 0, cả 2 cuộn dây không có dòng điện chạy qua. Lực lò xo giữ lõi sắt ở vị trí trung gian.

Khi công tắc ở vị trí 1, dòng điện vào cuộn dây nằm phía bên phải, lực từ trường của cuộn dây đó hút lõi sắt sang bên phải, tiếp điểm phía bên phải đóng, đèn báo hiệu L_2 sáng.

Khi công tắc ở vị trí 2, dòng điện vào cuộn dây nằm phía bên trái, lực từ trường của cuộn dây đó hút lõi sắt sang bên trái, tiếp điểm phía bên trái đóng, đèn báo hiệu L_1 sáng.

3/ Cảm ứng điện từ

Khi từ thông Φ thay đổi theo thời gian, thì t một hiệu điện thế cảm ứng và có giá trị:

$$U_{\text{ind}} = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (5.22)$$

Trong đó:

U_{ind} hiệu điện thế cảm ứng (V)
 N số vòng cuộn dây cảm ứng
 $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ thay đổi từ thông theo thời gian (Wb/s)

a/ Hiện tượng tự cảm

Khi dòng điện trong cuộn tự cảm thay đổi, thì sẽ xuất hiện một điện áp tự cảm và được viết như sau:

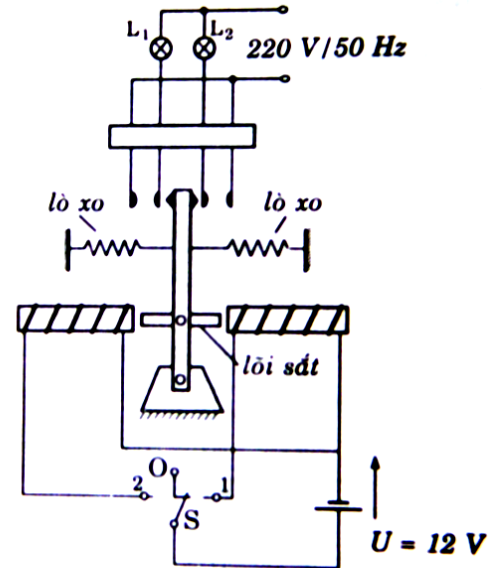
$$u_{\text{ind}} = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (5.23)$$

Trong đó:

u_{ind} điện áp tự cảm (V)
 N số vòng cuộn cảm ứng
 $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ thay đổi từ thông theo thời gian (Wb/s)

Thay các phương trình (5.19) và (5.20a) vào phương trình (5.17) ta có:

$$\Phi = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot A}{l} \cdot i \quad (5.24)$$



Hình 5.8 Nguyên lý hoạt động của role với 3 tiếp điểm

TRƯỜNG CỐT LÝ TỰ TRỌNG

Thay phương trình (5.24) vào (5.23), điện áp tự cảm u_{ind} được viết như sau:

$$u_{ind} = \mu_0 \cdot \frac{N^2 \cdot A}{l} \cdot \frac{di}{dt} \Rightarrow u_{ind} = L \cdot \frac{di}{dt} \quad (5.25)$$

Trong đó:

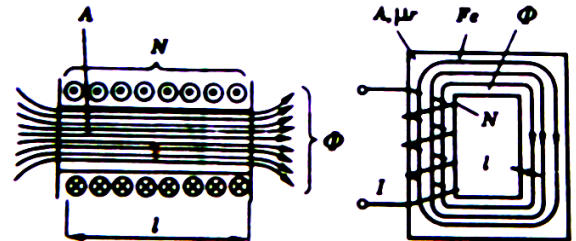
$$L = \mu_0 \cdot \frac{N^2 \cdot A}{l} \quad (5.26)$$

Độ tự cảm L của cuộn cảm ứng có chiều dài l với lõi sắt.

$$L = N^2 \cdot \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}{l} \quad (5.27)$$

Trong đó

L	độ tự cảm (H)
N	số vòng cuộn cảm ứng
μ_0	hằng số từ trường (Vs/Am)
μ_r	chỉ số thẩm từ
A	diện tích mặt cắt ngang của lõi từ (m^2)
l	chiều dài trung bình của đường sức (m)



Hình 5.9 Độ tự cảm của lõi sắt

b/ Cuộn cảm ứng với dòng điện một chiều

Trong mạch điện có cuộn cảm ứng, quá trình chuyển mạch có 3 giai đoạn.

- *Quá trình đóng mạch:*

$$U_0 = u_{RV} + u_L \quad (5.28)$$

Sau khi giải phương trình trên ta có:

$$i_L = \frac{U_0}{R_V} \left(1 - e^{-\frac{R_V}{L}t} \right) \quad (5.29)$$

$$u_L = U_0 \cdot e^{-t/T} \quad (5.30)$$

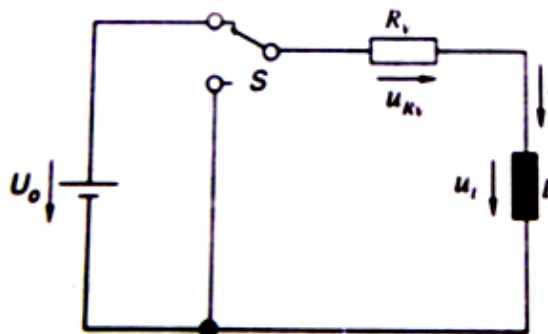
Trong đó hằng số thời gian $T = L/R_V$ (5.31)

- *Quá trình ổn định:* năng lượng điện chuyển đổi thành như năng lượng từ trường

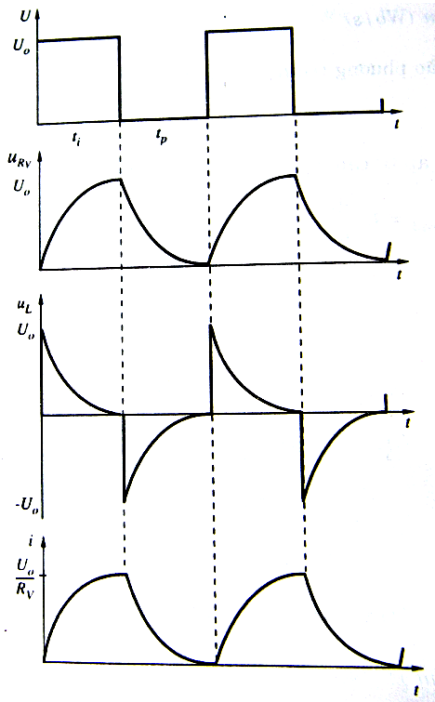
$W_m = L \cdot i^2 / 2$, dòng điện chạy qua cuộn dây cảm ứng.

- *Quá trình ngắt:* xuất hiện dòng điện cảm ứng có khuynh hướng ngăn chặn sự mất đi của từ trường. Với dòng điện này năng lượng từ trường chuyển đổi thành năng lượng điện. Hiệu điện thế $u_L = -u_{RV}$

Quá trình chuyển mạch được biểu diễn ở hình 5.10



Hình 5.10 Sơ đồ quá trình chuyển mạch của cuộn cảm ứng



Hình 5.11 Đồ thị biểu diễn quá trình chuyển mạch của cường độ dòng điện và hiệu điện thế

Trong quá trình ngắt hiệu điện thế u_L có giá trị lớn. Như vậy sẽ làm cho các phần tử trong mạch có thể bị hỏng do hiện tượng gọi là sự tạo ra tia lửa, ví dụ ở vị trí tiếp xúc ra công tắc.

Để khắc phục hiện tượng này, ta dùng một số biện pháp sau:

- Biện pháp để giảm hiệu điện thế quá tải trong quá trình ngắt của mạch có cuộn cảm ứng được biểu diễn ở hình 5.12

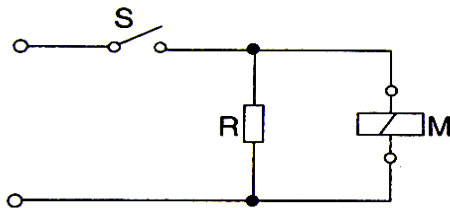
+ Mắc điện trở song song với cuộn cảm ứng (hình a).

+ Mắc thêm diốt vào mạch (hình b).

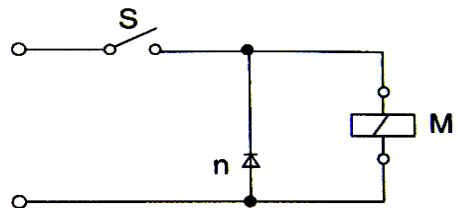
+ Mắc điện trở điều chỉnh được song song với cuộn cảm ứng (hình c).

+ Mắc thêm tụ điện vào mạch (hình d).

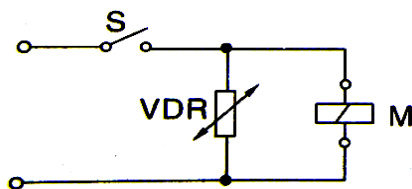
a.



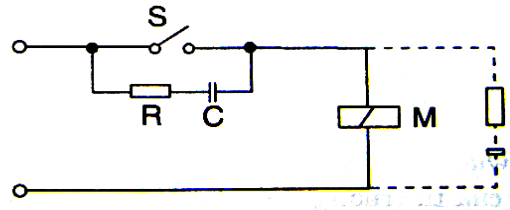
b.



c.

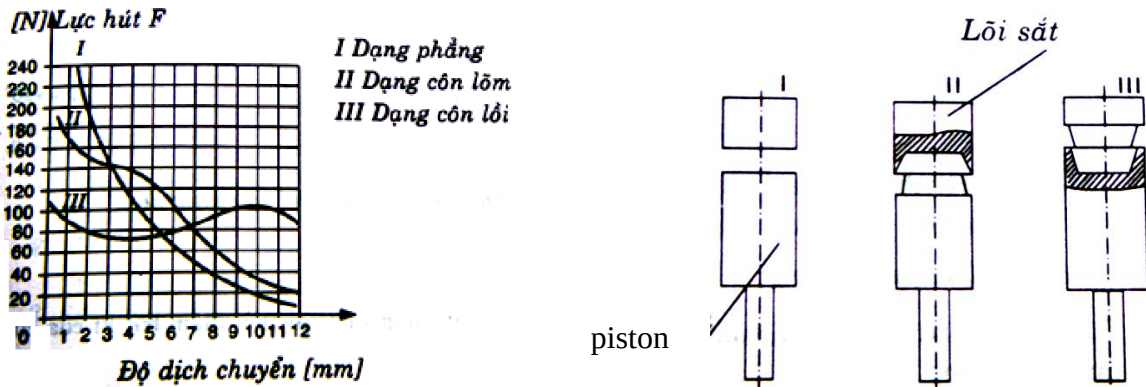


d.



Hình 5.12 Sơ đồ mạch điện giảm hiệu điện thế quá tải trong quá trình ngắt của mạch có cuộn cảm ứng

- Sự phụ thuộc độ dịch chuyển của lõi sắt vào lực hút từ trường F của nam châm điện với những hình dạng khác nhau, được biểu diễn ở hình sau.



Hình 5.13 Sự phụ thuộc độ dịch chuyển của lõi sắt vào lực hút từ trường F của nam châm điện với những hình dạng khác nhau

c/ Cuộn cảm ứng với dòng điện xoay chiều

- Điện trở kháng cảm ứng ở trong mạch điện xoay chiều phụ thuộc vào độ tự cảm L và tần số góc ω :

$$R_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (5.32)$$

Trong đó:

R_L điện trở kháng cảm ứng (Ω)

ω tần số góc (rad/s)

f tần số (Hz)

L độ tự cảm (H)

- Điện trở kháng cảm ứng cũng có công thức như định luật Ohm.

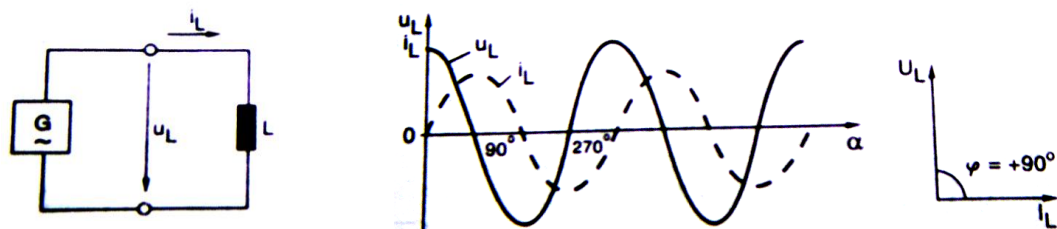
$$R_L = U/I$$

Trong đó:

U giá trị hiệu dụng hiệu điện thế (V)

I giá trị hiệu dụng cường độ dòng điện (A)

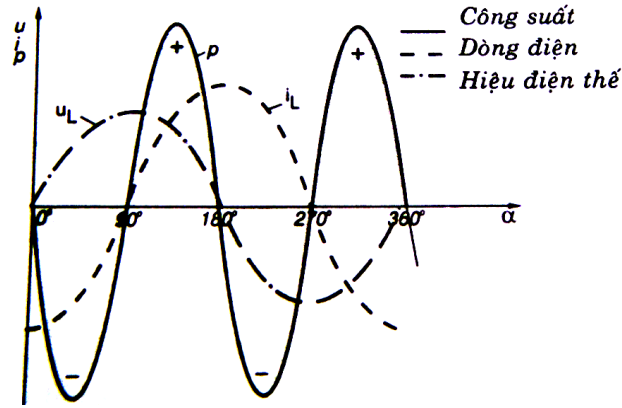
- Độ lệch pha hiệu điện thế và cường độ dòng điện của cuộn cảm ứng được biểu diễn ở hình vẽ sau.



Hình 5.14 Đồ thị lệch pha của hiệu điện thế và cường độ dòng điện qua cuộn cảm ứng

Công suất cuộn cảm ứng cũng tương tự như công suất của tụ điện, công suất tại thời điểm bất kỳ của cuộn cảm ứng được viết:

$$P_L = U_L \cdot I_L \quad (5.33)$$



Hình 5.15 Đồ thị công suất

II/ KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĐIỆN TỬ

1/ Chất bán dẫn

a/ Nguyên tắc hoạt động

Trong mạng tinh thể có các chất kích tạp được kiểm soát: chất tạp cho (arsen) hay chất tạp nhận (Al) thì khả năng dẫn điện của silic sẽ thay đổi.

- Chất bán dẫn N: là sự kích tạp của silic và chất tạp cho (arsen). Nguyên tử tạp có hoá trị 5 bằng năng lượng rất nhỏ sẽ ion hoá và giải phóng 1 điện tử tự do và gọi là hạt mang điện chính.

- Chất bán dẫn P: là sự kích tạp của silic và chất tạp nhận (Al). Nguyên tử tạp có hoá trị 3 bằng năng lượng rất nhỏ sẽ ion hoá và giải phóng một điện tử hụt (lỗ trống) và gọi là hạt mang điện chính.

- Miền điện tích không gian:

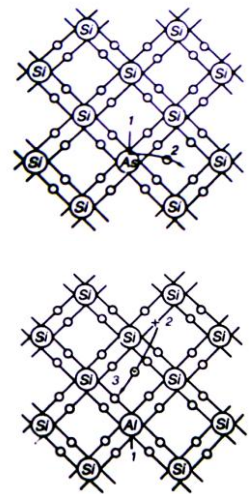
+ Các ion mang điện tích âm và mang điện tích dương trong lớp ranh giới P-N sẽ sắp xếp biểu diễn như hình vẽ. Như vậy trong miền điện tích không gian này sẽ có một điện trường được tạo ra với mật độ ion có chiều dày d_0 và tạo một hiệu điện thế giữa lớp P và N gọi là hiệu điện thế khuếch tán và có giá trị $0,6 \div 0,7V$ (chất bán dẫn silic).

+ Khi được phân cực, lớp tiếp giáp P-N với chiều dày d_0 sẽ lớn lên, tuy nhiên sẽ có 1 dòng điện rất nhỏ chạy qua và gọi là chiều đóng.

+ Khi được phân cực, lớp tiếp giáp P-N với chiều dày d_0 sẽ nhỏ dần, điện trở thuần thấp và dòng điện thuận xuất hiện gọi là hướng thông.

b/ Điốt

Điốt là chất bán dẫn loại P-N, có 2 cực nối, gọi là cực dương (A) và cực âm (K). Điốt gồm các loại chính sau:



Hình 5.16 Mạng tinh thể

Điốt nắn dòng (điốt một chiều)

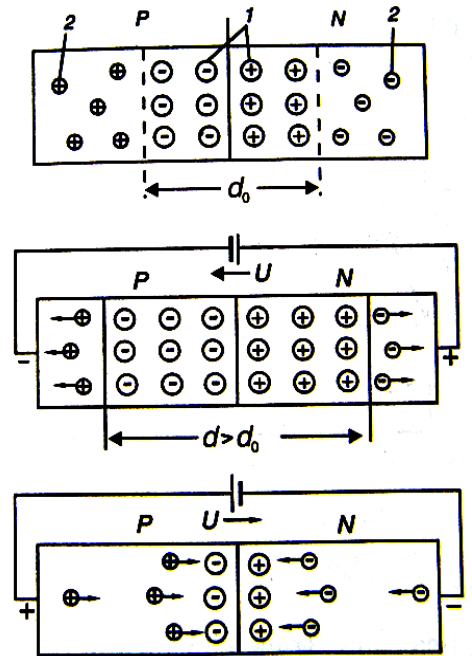
Đường đặc trưng và kí hiệu của điốt silic P-N nắn dòng được biểu diễn ở hình sau. Chiều thông sẽ đạt được khi hiệu điện thế nguồn lớn hơn hiệu điện thế khuếch tán U_S ($0,6 \div 0,7V$) và cực âm nối với K, cực dương nối với A.

Khi phân cực ngược lại, dòng ngược I_R có giá trị rất nhỏ (điện trở ngược có giá trị rất lớn $1M\Omega - 10^3M\Omega$) gọi là chiều chắn.

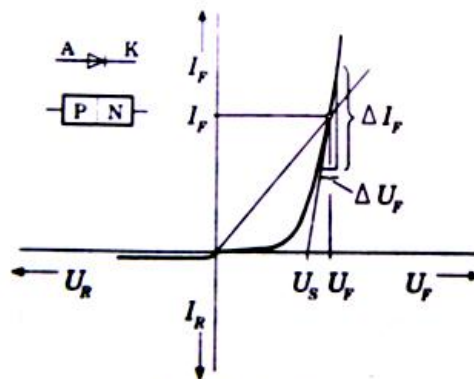
Điốt Zener (Z –Điốt)

Z-điốt là loại điốt P-N, có đặc điểm là trong chiều chắn tại điểm của hiệu điện thế đánh xuyên Z_U (điện áp ngược) dòng điện sẽ tăng, trong khi đó hiệu điện thế gần như không đổi.

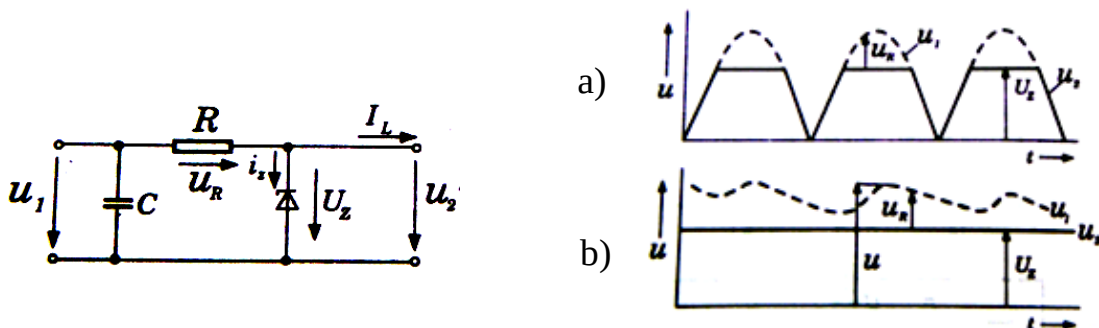
Z-điốt được sử dụng để ổn định hiệu điện thế trong mạch, khi phụ tải thay đổi.



Hình 5.17 Sự phân cực của điện cực trong miền điện tích không gian



Hình 5.18 Điốt nắn dòng



Hình 5.19 Mạch ổn định hiệu điện thế bằng Z-Điốt

a. Hiệu điện thế không có tụ điện b. Hiệu điện thế có tụ điện

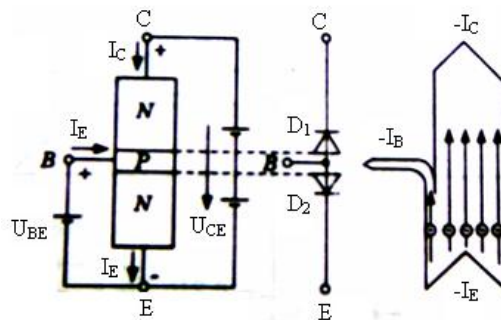
c/ Tranzito

Tranzito là chất bán dẫn có 3 lớp P-N-P hoặc N-P-N.

- Cấu tạo của tranzito lưỡng cực gồm có 3 cực: cực góp (C), cực gốc (B) và cực phát (E). Đặc điểm quan trọng là lớp P (nối với cực gốc B) rất mỏng ($< 50 \mu m$) và chất tạp rất ít.

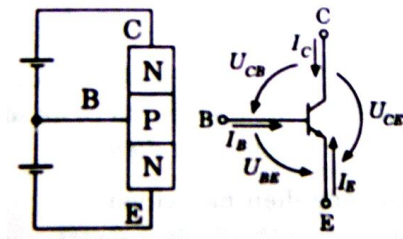
- Khi giữa cực C và E đặt một điện áp U_{CE} , điốt D_1 ở chiều bị chặn, tranzito có điện trở cực góp rất lớn. Dòng điện tử ở lớp N của điốt D_2 không thể chuyển động qua lớp P vì điện áp $U_{BE} = 0$.

- Khi tạo một điện áp giữa cực B và E có giá trị $U_{BE} = 0,7V$, các điện tử tự do ở cực E sẽ qua lớp P. Nhưng lớp P do tính chất là rất mỏng nên phần lớn (khoảng 90% - 99%) sẽ chuyển động đến cực C và như vậy dòng điện qua tranzito sẽ xuất hiện. Chỉ một ít qua cực B và như vậy tạo ra dòng điện cực gốc.

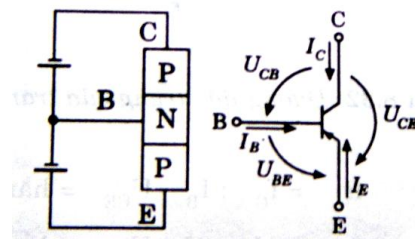


Hình 5.20 Cấu tạo và nguyên lí hoạt động của tranzito lưỡng cực loại N-P-N

- Ký hiệu tranzito lưỡng cực :

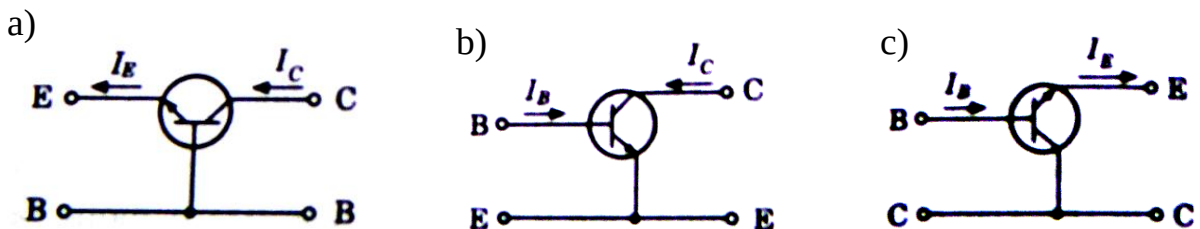


Loại N-P-N



Loại P-N-P

- Mạch lắp cơ bản của tranzito lưỡng cực có 3 loại chính: mạch tranzito cực gốc chung (hình a), mạch tranzito cực phát chung (hình b), mạch tranzito cực góp chung (hình c).



Hình 5.21 Mạch lắp cơ bản của tranzito lưỡng cực

2/ Sơ đồ mạch thông dụng**Sơ đồ mạch nắn dòng điện xoay chiều**

Mạch nắn dòng là chuyển dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều bằng điốt, tranzito hoặc thiristo. Giá trị trung bình hiệu điện thế một chiều U_g được tính theo công thức sau:

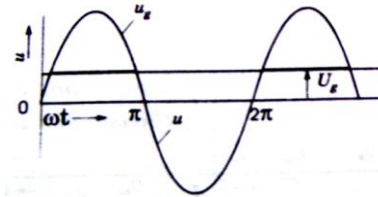
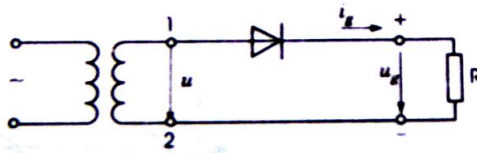
$$W_u = U_u : U_g$$

Trong đó:

W_u độ gợn sóng

U_u giá trị hiệu dụng hiệu điện thế xoay chiều

U_g giá trị trung bình hiệu điện thế một chiều

- Mạch điểm giữa một xung (mạch 1 đường)

$$U_g = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot U \quad W_u = 1,21$$

$$f_u = f$$

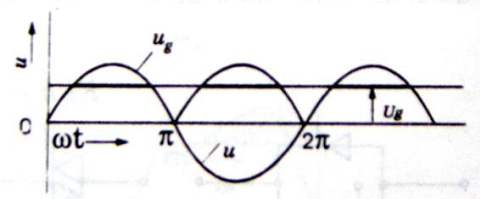
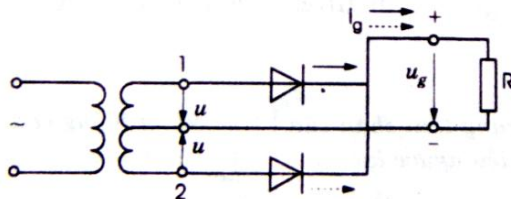
Trong đó f tần số cơ bản (Hz)

- Mạch điểm giữa 2 xung

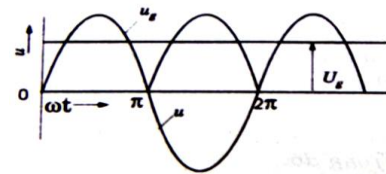
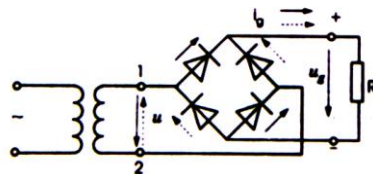
Giá trị trung bình của hiệu điện thế một chiều U_g được tính theo công thức sau:

$$U_g = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U \quad W_u = 0,483$$

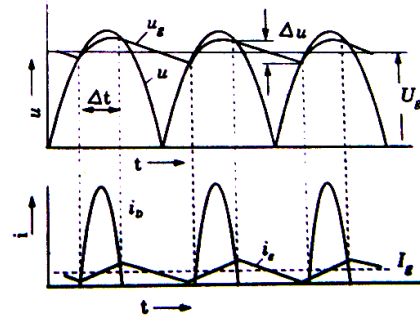
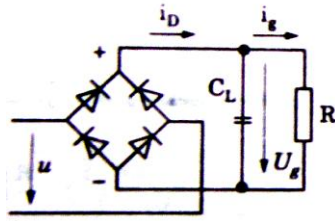
$$f_u = 2f$$

**- Mạch cầu 2 xung**

Giá trị trung bình của hiệu điện thế một chiều U_g được tính theo công thức như mạch điểm giữa 2 xung.

**- Mạch giảm gợn sóng (bộ lọc gợn sóng)**

Dòng điện một chiều sau khi nắn dòng, độ gợn sóng W_u vẫn còn có giá trị lớn. Biện pháp để thực hiện giảm độ gợn sóng là sử dụng bộ lọc trở – dung.



Khi $u > u_g$ tụ điện sẽ nạp, thực hiện quá trình nạp. Trong khoảng thời gian Δt dòng điện i_D chạy qua tụ điện. Trong thời gian $u < u_g$, diốt bị chặn và tụ điện sẽ phóng điện, u_g sẽ giảm phụ thuộc vào hằng số thời gian $T = R.C_L$

Như vậy độ gợn sóng ΔU còn rất nhỏ. Giá trị trung bình của độ gợn sóng đó của hiệu điện thế một chiều U_g gọi là điện áp tiếng ù U_{br} và có giá trị:

$$U_{br} \approx \frac{\Delta U}{2\sqrt{2}}$$

Trong đó ΔU phụ thuộc vào tụ điện và có giá trị:

$$\Delta U = \frac{I_g}{2.f.C_L}$$

C_L điện dung tụ điện

f tần số cơ bản (Hz)

- Bộ lọc san bằng

Sau bộ lọc trở dung, điện áp tiếng ù U_{br} vẫn còn có giá trị lớn. Tiếp tục giảm điện áp tiếng ù, người ta sử dụng bộ lọc san bằng gồm: bộ lọc thông thấp RC hoặc LC. Sự liên hệ giữa điện áp tiếng ù trước bộ lọc thông thấp U_{br1} và sau bộ lọc thông thấp U_{br2} được đặc trưng bởi hệ số gợn sóng s:

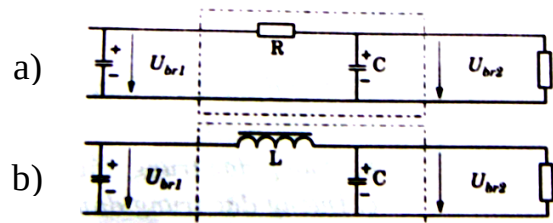
$$s = \frac{U_{br1}}{U_{br2}}$$

Trong đó:

U_{br1} điện áp tiếng ù trước bộ lọc thông thấp (V)

U_{br2} điện áp tiếng ù sau bộ lọc thông thấp (V)

s hệ số gợn sóng



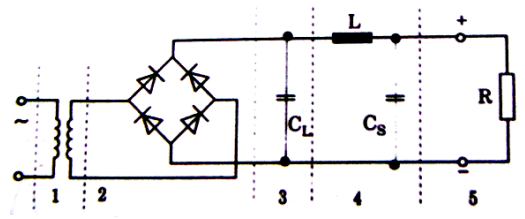
Hình 5.22 Bộ lọc san bằng

a. bộ lọc thông thấp RC

b. bộ lọc thông thấp LC

- Mạng điện thông dụng

Mạng điện thông dụng gồm các phần tử cơ bản như hình vẽ sau.



Hình 6.23 Mạng điện thông dụng

- 1- Máy biến thế
- 2- Bộ nắn dòng
- 3- Bộ lọc gợn sóng
- 4- Bộ lọc san bằng
- 5- Phụ tải