

GIÁO TRÌNH

KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ

LỜI NÓI ĐẦU

Giáo trình Kỹ thuật điện tử được biên soạn dựa theo nhiều tài liệu của những tác giả đã được xuất bản, cập nhật thông tin trên mạng sau đó chọn lọc, tổng hợp mà đặc biệt là bài giảng môn Kỹ thuật điện tử và kinh nghiệm thực tế giảng dạy của tôi.

Môn Kỹ thuật điện tử có thể giới thiệu để người đọc thấy được hình ảnh thu nhỏ của lãnh vực điện tử và cần thiết cho những ai muốn tìm hiểu tổng quát về điện tử. Tuy nhiên do chương trình học ở các khoa ngoài ngành Điện tử có nhiều môn để tìm hiểu Điện tử, môn Kỹ thuật điện tử được yêu cầu giảng 15 tiết lý thuyết và 30 tiết thực hành. Giáo trình Kỹ thuật điện tử nhằm làm tài liệu dạy – học môn kỹ thuật điện tử (lý thuyết). Học sinh – sinh viên cần có chuẩn bị trước, tự trả lời câu hỏi và bài tập sau mỗi chương, chọn đáp án cho các câu trắc nghiệm, hệ thống lại kiến thức đã học và kiến thức cần tìm hiểu thêm.... Trong giáo trình tôi trình bày 6 chương và phần phụ lục:

Chương 1: Cơ sở điện học.

Chương 2: Linh kiện thụ động.

Chương 3: Chất bán dẫn – diode.

Chương 4: Transistor mối nối lưỡng cực.

Chương 5: Transistor hiệu ứng trường.

Chương 6: Linh kiện có vùng điện trở âm.

Phụ lục: Câu hỏi trắc nghiệm, phần này tôi soạn riêng cho mỗi chương kết hợp với câu hỏi bài tập sau mỗi chương giúp học sinh – sinh viên tự kiểm tra và củng cố kiến thức của mình.

Tuy có nhiều cố gắng nhưng vì thời gian và trình độ của bản thân có giới hạn nên tài liệu khó tránh sai sót. Tôi mong nhận được sự góp ý chân thành của bạn đọc.

Tp.HCM năm 2009

GV biên soạn

Lê Thị Hồng Thắm

Chương 1

CƠ SỞ ĐIỆN HỌC

1.1. Nguồn gốc của dòng điện

1.1.1. Cấu tạo vật chất

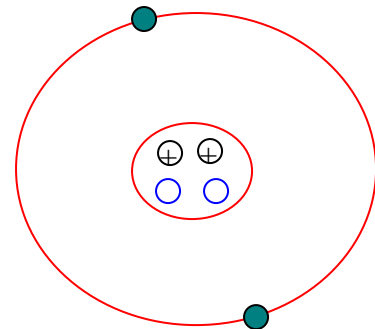
Khi nghiên cứu về thế giới xung quanh, các nhà khoa học cho rằng mọi vật đều được cấu tạo từ các phân tử nhỏ nhất không thể chia cắt. Theo thuyết nguyên tử thì nguyên tử là phân tử nhỏ nhất của vật chất.

Cuối thế kỉ 19, những cuộc tìm tòi và khảo sát khoa học đã chứng tỏ nguyên tử không phải là phân tử nhỏ nhất. Bằng thực nghiệm các nhà khoa học **đã khẳng định sự tồn tại của electron trong nguyên tử, electron mang điện tích âm.**

Năm 1911, từ kết quả thí nghiệm, nhà Vật lí người Anh Rutherford đưa ra mẫu nguyên tử Rutherford nhưng còn những hạn chế trong việc diễn tả, giải thích các quá trình thuộc lĩnh vực vi mô. Năm 1913, nhà Vật lí Đan mạch Niel Bohr đưa ra mẫu nguyên tử mới trên cơ sở thừa nhận những thành công của Rutherford và đưa ra hai tiên đề:

- ❖ Tiên đề 1 (tiên đề về các trạng thái dừng)
- ❖ Tiên đề 2 (tiên đề về tần số bức xạ)

Đến nay, mọi người **thừa nhận mỗi nguyên tử có cấu tạo gồm hạt nhân, quanh nó là các electron chuyển động trên những quỹ đạo xác định. Các electron sắp xếp trên những lớp vỏ kế tiếp nhau. Kể từ hạt nhân ra, các lớp vỏ được kí hiệu: K, L, M, N, O, P, Q; số lượng tử tương ứng là 1, 2, 3,..., 7; mỗi lớp có số electron giới hạn. Hạt nhân mang điện tích dương gồm có neutron là hạt không mang điện, proton là hạt mang điện tích dương.**



Ví dụ: Cấu tạo của nguyên tử He như hình 1.1.

Hình 1.1. Cấu tạo của nguyên tử He.

Bình thường, nguyên tử ở trạng thái trung hòa điện, nghĩa là nguyên tử có số lượng proton bằng số lượng electron.

1.1.2. Điện tích

Điện là một thuộc tính của hạt, lượng mang tính chất điện gọi là điện tích.

Đơn vị đo điện tích được tính bằng Coulomb (C).

Điện tích nguyên tố: $e = 1,6.10^{-19} \text{ C}$.

Từ nghiên cứu thực nghiệm dẫn đến qui ước gọi loại điện giống như loại điện xuất hiện trên thanh thủy tinh sau khi cọ xát vào lụa là điện dương, loại điện giống loại điện xuất hiện trên lụa là điện âm. Mọi vật chất đều có thể trở thành nhiễm điện nghĩa là có mang một điện tích.

Một vật hay một phần tử của vật chứa n_1e điện tích dương, $-n_2e$ điện tích âm thì điện tích toàn phần của nó là: $q = (n_1 - n_2)e$. (1.1)

Bình thường, có $n_1 = n_2$ nên tổng đại số những điện tích trong một thể tích của vật bằng 0. Khi $n_1 \neq n_2$, vật được gọi là vật mang điện tích.

Ngoài các hạt cơ bản electron, proton, neutron, người ta còn phát hiện nhiều hạt cơ bản khác: positron (e^+), hạt pi (π^+ , π^0 , π^-).

Tổng quát, tổng điện tích của một hệ cô lập không đổi.

Ngoài ra, độ lớn của một điện tích không thay đổi trong các hệ qui chiếu quán tính khác nhau. Do đó, độ lớn của một điện tích không phụ thuộc vào trạng thái đứng yên hay đang chuyển động của điện tích.

Các hạt mang điện tương tác nhau: các hạt trái dấu hút nhau, các hạt cùng dấu đẩy nhau.

Khi khảo sát các lực tương tác giữa những hạt tích điện, năm 1785, nhà vật lí người Pháp Coulomb đã phát hiện ra định luật sau và được gọi định luật Coulomb:

Lực tương tác giữa hai điện tích điểm q_1 , q_2 ở trạng thái đứng yên, cách nhau một khoảng r có:

- Phương là đường thẳng nối giữa hai điện tích điểm.
- Độ lớn tỉ lệ thuận với tích độ lớn các điện tích và tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng và phụ thuộc vào môi trường.
- Chiều là chiều của lực đẩy nếu hai điện tích cùng dấu, lực hút nếu hai điện tích trái dấu.

Độ lớn lực tương tác giữa hai điện tích điểm q_1 , q_2 ở trạng thái đứng yên, cách nhau một khoảng r được xác định theo định luật Coulomb:

$$F = K \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad (1.2a)$$

F: lực tương tác (N)

q_1, q_2 : điện tích (C)

r: khoảng cách giữa hai điện tích điểm (m)

Hằng số tỉ lệ K tùy thuộc hệ thống đơn vị.

Hệ thống đơn vị SI:

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \quad (1.2b)$$

$$K = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$

Hệ thống đơn vị CGSE: $K = 1$

Một nguyên tử trung hòa điện khi số lượng proton bằng số lượng electron. Một nguyên tử có số lượng proton khác số lượng electron thì trở thành ion:

- ion dương khi số lượng proton lớn hơn số lượng electron.
- ion âm khi số lượng proton nhỏ hơn số lượng electron.

Ví dụ:

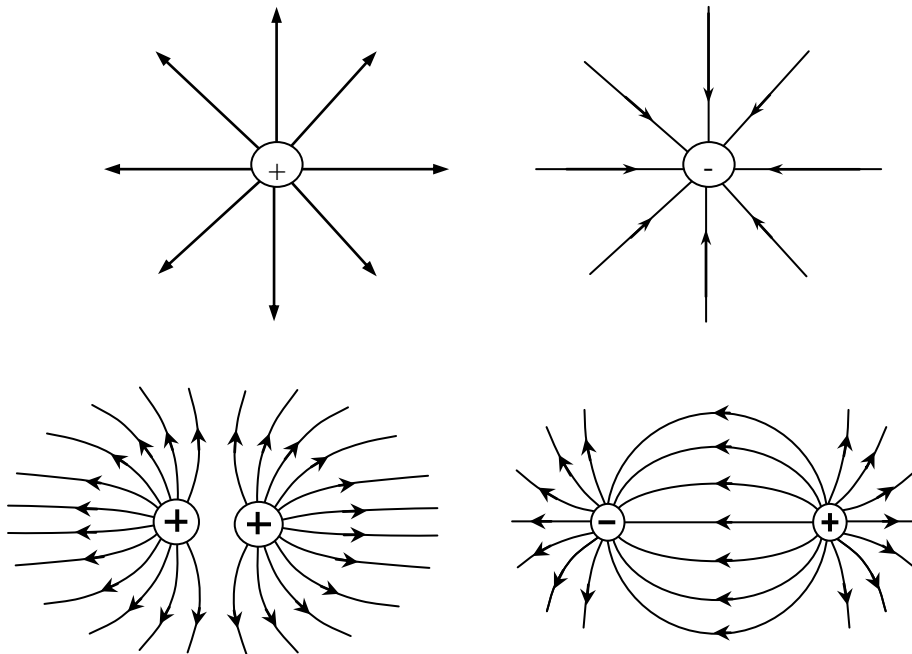
- Một điện tử thoát li khỏi nguyên tử thì điện tử này được gọi là điện tử tự do, nguyên tử còn lại là ion dương.
- Một nguyên tử khi mất điện tử trở thành ion dương còn nếu nguyên tử nhận thêm điện tử thì trở thành ion âm.

1.1.3. Điện trường

Năng lượng phân bố liên kết với điện tích cho chúng ta một hình ảnh về điện trường. Trong không gian xuất hiện một điện tích q thì nó tạo ra xung quanh có một điện trường lan truyền trong không gian.

Tính chất cơ bản của điện trường là khi có một điện tích q_t đặt trong điện trường thì điện tích đó chịu tác dụng của lực điện.

Điện trường là dạng vật chất tồn tại xung quanh điện tích và tác dụng lên điện tích khác đặt trong nó.



Hình 1.2. Biểu diễn chiều của đường sức.

Chiều của đường sức là chiều từ điện tích dương sang điện tích âm.

Người ta biểu diễn điện trường bằng các đường sức, mật độ các đường sức dùng để chỉ cường độ điện trường.

$$|\vec{E}| = \frac{|\vec{F}|}{q_t} \quad (1.3)$$

E: cường độ điện trường (V/m)

F: lực điện trường (N)

q_t : điện tích (C)

Vì điện tử mang điện tích âm nên lực tác động lên điện tử ngược chiều với điện trường hay nói cách khác, một điện tử tự do sẽ di chuyển ngược chiều với điện trường.

1.1.4. Điện thế - hiệu điện thế

Trong trường thế của một điện tích q , một điện tích điểm q_t đặt cách q một khoảng r , sẽ có thế năng:

$$W_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{qq_t}{r} \quad (1.4)$$

Do đó, thế năng của một điện tích điểm q_t tại một điểm bằng công của lực tĩnh điện khi dịch chuyển điện tích điểm q_t từ điểm đó ra xa vô cực.

Thế năng này chính là thế năng tương tác của hai điện tích q và q_t .

Nếu q, q_t cùng dấu thì $W_p > 0$.

Nếu q, q_t trái dấu thì $W_p < 0$.

Khi $r \rightarrow \infty$ thì $W_p \rightarrow 0$

Tại cùng một điểm A của tĩnh điện trường những điện tích điểm khác nhau $q_{t1}, q_{t2}, q_{t3}, \dots$ sẽ có thế năng $W_{p1}, W_{p2}, W_{p3}, \dots$, nhưng tỉ số:

$$\varphi_A = \frac{W_{p1}}{q_{t1}} = \frac{W_{p2}}{q_{t2}} = \frac{W_{p3}}{q_{t3}} = \dots = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{q}{r} \quad (1.5)$$

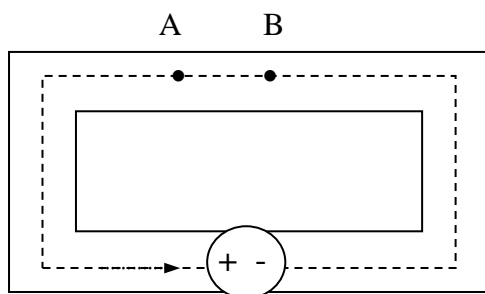
φ_A được gọi là điện thế của điện trường tại điểm A. φ_A là một đại lượng đặc trưng cho tĩnh điện trường do điện tích điểm q tạo ra tại điểm A đang xét.

Điện thế tại một điểm có trị số bằng công của lực điện trường tác dụng vào đơn vị điện tích dương khi điện tích này di chuyển từ điểm đó ra xa vô cực.

$$\varphi_A = \frac{A_\infty}{q} \quad (1.6a)$$

$$\text{hay } \varphi_A = \int_A^\infty \vec{E}d\vec{S} \quad (1.6b)$$

Tương tự như nước chỉ chảy thành dòng giữa hai nơi có địa thế khác nhau, bằng thực



Nguồn điện

Hình 1.3. Mạch điện kín.

thực nghiệm các nhà vật lí đã chứng tỏ rằng: các hạt mang điện tích chỉ chuyển động có hướng tạo thành dòng điện giữa hai điểm có điện thế khác nhau.

Ở mạch điện hình 1.3, tại A có điện thế V_A , tại B có điện thế V_B . Để dịch chuyển điện lượng q từ vị trí A sang vị trí B tức để tạo dòng điện từ A sang B thì nguồn điện phải tạo ra một năng

lượng là $U_{AB} > 0$. ($U_{AB} < 0$ thì dòng điện có chiều từ B về A).

$$U_{AB} = V_A - V_B = -U_{BA} \quad (1.7)$$

U_{AB} , U_{BA} gọi là hiệu điện thế giữa A và B.

Ngoài ra, hiệu điện thế giữa A và B có thể kí hiệu là U , U_1 ... Điểm nối chung của mạch điện được chọn làm điểm gốc (điểm đất, điểm mass). Điểm này có điện thế bằng 0. Khi cho điểm A nối trực tiếp xuống mass thì điểm A có điện thế $V_A = 0$.

Kí hiệu nối mass, nối đất (Ground \equiv GND)



Hình 1.4. Kí hiệu mass, GND.

Đơn vị đo điện thế, hiệu điện thế: Volt (V)

1 kV (kilovolt) = 10^3 V = 1000 V

1 mV (milivolt) = 10^{-3} V = 0,001 V

1.1.5. Dòng điện

Ở mạch hình 1.3, nếu có chênh lệch điện thế giữa A và B thì có sự dịch chuyển của các hạt mang điện theo một hướng xác định. Khi đó hình thành dòng điện chạy trong mạch. Ngược lại, không có chênh lệch điện thế giữa A và B thì không có sự dịch chuyển của các hạt mang điện nên không có dòng trong mạch.

Dòng điện là dòng chuyển dời có hướng của các hạt mang điện.

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (1.8)$$

I: cường độ dòng điện (A)

dq: điện lượng (C)

dt: khoảng thời gian ngắn (s)

Theo qui ước dòng điện có chiều từ dương sang âm.

Đơn vị đo cường độ dòng điện: Ampere (A)

1 mA (miliampere) = 10^{-3} A

1 μ A (microampere) = 10^{-6} A

1.2. Dòng điện một chiều

Khi dòng điện và điện thế phân bố trong một hệ mạch không thay đổi theo thời gian thì mạch được xem như ở trạng thái tĩnh hay trạng thái DC (Direct Current state).

1.2.1. Định nghĩa

Dòng điện một chiều là dòng điện có chiều và cường độ dòng điện không đổi theo thời gian.

1.2.2. Cường độ dòng điện

Cường độ dòng điện đo bằng lượng điện tích của các hạt mang điện chuyển động có hướng qua tiết diện dây dẫn trong một đơn vị thời gian.

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (1.9)$$

I: cường độ dòng điện (A)

dq: điện lượng (C)

dt: khoảng thời gian ngắn (s)

Dòng điện không đổi:

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.10)$$

Q là tổng các điện tích đi qua tiết diện dây dẫn trong khoảng thời gian t.

1.2.3. Chiều của dòng điện

Dòng điện trong mạch có chiều qui ước hướng từ nơi có điện thế cao sang nơi có điện thế thấp. Chiều của dòng điện ngược với chiều chuyển động của điện tử (ngược với chiều dịch chuyển của điện tích âm). Chiều của dòng điện cùng chiều dịch chuyển của điện tích dương.

Theo qui ước: chiều của dòng điện là từ dương sang âm.

1.2.4. Nguồn điện một chiều

Các loại nguồn một chiều:

- Pin, acquy.
- Máy phát điện một chiều.

Khi sử dụng nguồn một chiều, cần biết hai thông số quan trọng của nguồn là điện áp làm việc và điện lượng.

Điện lượng Q có đơn vị Ampere giờ (Ah). Điện lượng Q chỉ lượng điện đã được nạp và chứa trong nguồn. Thời gian sử dụng sẽ tùy thuộc cường độ dòng điện tiêu thụ và được tính theo công thức:

$$t = \frac{Q}{I} \quad (1.11a)$$

Q: điện lượng (Ah)

I: cường độ dòng điện (A)

t: thời gian (h)

Ví dụ:

Nguồn điện một chiều có điện lượng 50 Ah, nếu dòng điện tiêu thụ là $I = 1$ A thì thời gian sử dụng tối đa là:

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{50}{1} = 50 \text{ (h)} \quad (1.11b)$$

Theo lí thuyết nếu dòng tiêu thụ là 10 A thì thời gian sử dụng là 5 h hay nếu dòng điện tiêu thụ là 50 A thì thời gian sử dụng là 1 h.

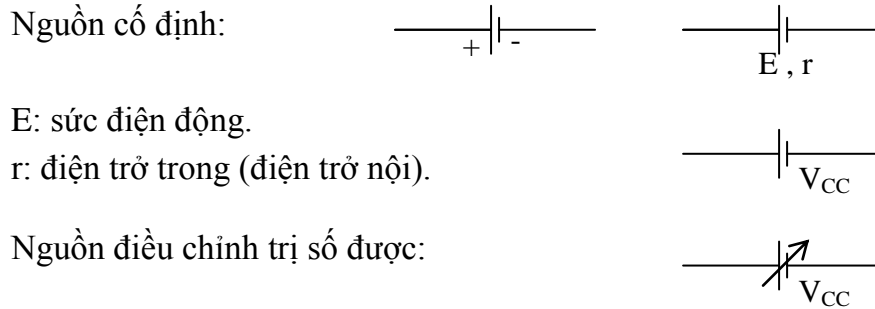
Thực tế thì khi dòng điện tiêu thụ lớn qua nội trở của nguồn sẽ sinh ra nhiệt lớn làm hư nguồn trước khi đạt thời gian sử dụng theo công thức trên.

Để tránh hư nguồn thì phải giới hạn dòng điện tiêu thụ ở mức:

$$I \leq \frac{Q}{10} \tag{1.11c}$$

Q: điện lượng (Ah)
 I: cường độ dòng điện (A)
 t: thời gian (h)

Kí hiệu:



Hình 1.5. Kí hiệu của nguồn một chiều.

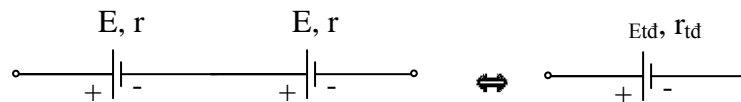
- Nguồn một chiều: V, U, V_{CC}, V_{BB}, E,...
- Nguồn dương: +V_{CC}
- Nguồn âm: - V_{CC}
- Nguồn đối xứng: ±V_{CC}

1.2.5. Cách mắc nguồn điện một chiều

- Mắc nối tiếp.
- Mắc song song.
- Mắc hỗn hợp.

Ví dụ: Mỗi nguồn có E = 1,5 V, Q = 4,5 Ah, r = 1 Ω.

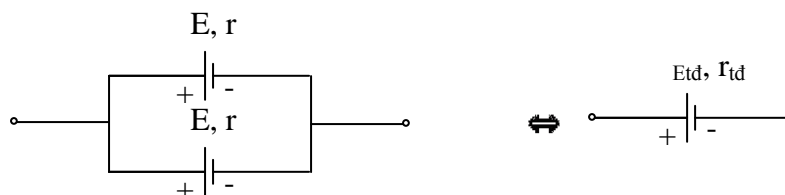
- Mắc nối tiếp.



Hình 1.6. Đoạn mạch có nguồn mắc nối tiếp.

Ta có: E_{td} = 3 V, Q_{td} = 4,5 Ah, r_{td} = 2 Ω.

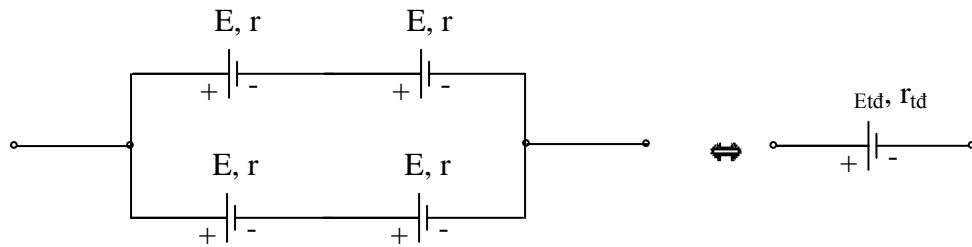
- Mắc song song.



Hình 1.7. Đoạn mạch có nguồn mắc song song.

Ta có: E_{td} = 1,5 V, Q_{td} = 9 Ah, r_{td} = 0,5 Ω.

- Mắc hỗn hợp.



Hình 1.8. Đoạn mạch có nguồn mắc hỗn hợp.

Ta có: $E_{td} = 3 \text{ V}$, $Q_{td} = 9 \text{ Ah}$, $r_{td} = 1 \Omega$.

1.2.6. Công – công suất

Dòng điện chạy qua bóng đèn làm bóng đèn cháy sáng, chạy qua bếp điện, bàn ủi sinh ra nhiệt, chạy qua động cơ làm động cơ quay. Điều này có nghĩa là năng lượng điện có thể chuyển đổi thành các dạng năng lượng khác: quang năng, nhiệt năng, cơ năng,....Như vậy dòng điện đã thực hiện được một công:

$$A = U.I.t = R.I^2.t \quad (1.12)$$

A: công của dòng điện được gọi là điện năng (J) (Joule)

U: điện áp (V)

I: cường độ dòng điện (A)

t: thời gian dòng điện chạy (s)

R: điện trở (Ω)

1 J = 1 Ws nhưng thực tế thường dùng Wh hay KWh.

1 KWh = 1000 Wh = 3600000 Ws.

Công suất của dòng điện là công của dòng điện sinh ra trong một đơn vị thời gian.

Kí hiệu: P, đơn vị: Watt (W).

$$P = U.I = RI^2 \quad (1.13)$$

1.3. Dòng điện xoay chiều

Khi dòng điện và điện thế phân bố trong một hệ mạch thay đổi theo thời gian thì mạch được xem như ở trạng thái động hay trạng thái AC (Alternative Current state).

1.3.1. Định nghĩa

Dòng điện xoay chiều hình sin là dòng điện có chiều và cường độ dòng điện biến đổi theo thời gian một cách tuần hoàn với qui luật hình sin.

1.3.2. Các đại lượng đặc trưng cho dòng điện xoay chiều hình sin

Các đại lượng đặc trưng cho dòng điện xoay chiều hình sin gồm có: giá trị đỉnh (giá trị cực đại), giá trị trung bình, giá trị hiệu dụng, giá trị tức thời, chu kì, tần số, tần số góc, góc pha, pha ban đầu.

- Dòng điện xoay chiều: $i = I_0 \sin \omega t$ (A) có:
 - Giá trị đỉnh (giá trị cực đại) là I_0 .

- Giá trị hiệu dụng $I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$. (1.14a)

- Tần số góc $\omega = 2\pi f$. (1.14b)

- Tần số là $f = \frac{1}{T}$. (1.14c)

- Chu kì là $T = \frac{1}{f}$. (1.14d)

- Góc pha là $100\pi t$ rad.

- Pha ban đầu bằng 0.

- Giá trị tức thời tại thời điểm t là i .

Ví dụ:

* Dòng điện xoay chiều: $i = 14,14\sin 100\pi t$ (A) có:

- Giá trị đỉnh (giá trị cực đại) là 14,41 A.

- Giá trị hiệu dụng 10 A.

- Tần số góc 100π rad/s.

- Tần số là 50 Hz.

- Chu kì là 0,02 s.

- Góc pha là $100\pi t$ rad.

- Pha ban đầu bằng 0.

▪ Điện áp xoay chiều: $u = U_0 \sin \omega t$ (V) có:

- Giá trị đỉnh (giá trị cực đại) là U_0 .

- Giá trị hiệu dụng $U = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$. (1.15a)

- Tần số góc $\omega = 2\pi f$. (1.15b)

- Tần số là $f = \frac{1}{T}$. (1.15c)

- Chu kì là $T = \frac{1}{f}$. (1.15d)

- Góc pha là $100\pi t$ rad.

- Pha ban đầu bằng 0.

- Giá trị tức thời tại thời điểm t là u .

Ví dụ:

* Điện áp xoay chiều: $u = 311,1\sin 100\pi t$ (V) có:

- Giá trị đỉnh (giá trị cực đại) là 311,1 V.

- Giá trị hiệu dụng 220 V.

- Tần số góc 100π rad/s.

- Tần số là 50 Hz.

- Chu kì là 0,02 s.

- Góc pha là $100\pi t$ rad.

- Pha ban đầu bằng 0.

Dòng điện xoay chiều $i = I_0 \sin \omega t$ (A) chạy qua đoạn mạch chỉ có thuần điện trở R thì hiệu điện thế giữa hai đầu điện trở là:

$$u = U_0 \sin \omega t \text{ (V)} \quad (1.16)$$

Dòng điện xoay chiều $i = I_0 \sin \omega t$ (A) chạy qua đoạn mạch chỉ có tụ C thì hiệu điện thế giữa hai đầu tụ là:

$$u = U_0 \sin(\omega t - \pi/2) \text{ (V)} \quad (1.17)$$

Dòng điện xoay chiều $i = I_0 \sin \omega t$ (A) chạy qua đoạn mạch chỉ có cuộn cảm L thì hiệu điện thế giữa hai đầu cuộn cảm L là:

$$u = U_0 \sin(\omega t + \pi/2) \text{ (V)} \quad (1.18)$$

Tóm lại:

- Hiệu điện thế giữa hai đầu điện trở thuần R cùng pha với dòng điện chạy qua điện trở R.
- Hiệu điện thế giữa hai đầu tụ điện chậm pha hơn dòng điện chạy qua tụ điện một góc là $\pi/2$.
- Hiệu điện thế giữa hai đầu cuộn cảm nhanh pha hơn dòng điện chạy qua cuộn cảm một góc là $\pi/2$.

CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

1. Nêu cấu tạo của một nguyên tử ở trạng thái bình thường. Khi một nguyên tử không ở trạng thái trung hòa điện thì nó trở thành ion gì?
2. Điện tích là gì? Cho biết đơn vị đo điện tích. Xác định lực tương tác giữa các điện tích.
3. Điện trường là gì? Xác định vectơ cường độ điện trường.
4. Điện thế là gì? Phân biệt khái niệm điện thế, hiệu điện thế, mass (GND), kí hiệu của nó.
5. Dòng điện là gì? Dòng điện một chiều là gì? Dòng điện xoay chiều là gì? Xác định chiều của dòng điện trên mạch điện. Nêu công thức tính cường độ dòng điện.
6. So sánh pha của hiệu điện thế giữa hai đầu tải với pha của dòng điện chạy qua tải, nếu tải là:
 - a. điện trở thuần.
 - b. tụ điện.
 - c. cuộn cảm.
7. Mỗi nguồn có sức điện động E , điện lượng Q , điện trở nội r . Nêu công thức tính E_{td} , Q_{td} , r_{td} của đoạn mạch gồm hai nguồn mắc:
 - a. nối tiếp.
 - b. song song.
8. Cho mạch như hình 1.6. Với mỗi nguồn có $E = 1,5 \text{ V}$, $Q = 4,5 \text{ Ah}$, $r = 1 \Omega$. Xác định E_{td} , Q_{td} , r_{td} của đoạn mạch.
9. Cho mạch như hình 1.7. Với mỗi nguồn có $E = 1,5 \text{ V}$, $Q = 4,5 \text{ Ah}$, $r = 1 \Omega$. Xác định E_{td} , Q_{td} , r_{td} của đoạn mạch.
10. Cho mạch như hình 1.8. Với mỗi nguồn có $E = 1,5 \text{ V}$, $Q = 4,5 \text{ Ah}$, $r = 1 \Omega$. Xác định E_{td} , Q_{td} , r_{td} của đoạn mạch.
11. Nêu biểu thức liên quan giữa ba đại lượng: tần số góc, tần số, chu kì.
12. Cho biết giá trị cực đại, hiệu dụng, trung bình, đỉnh, tần số góc, tần số, chu kì dao động của dòng điện xoay chiều: $i = 1,414\sin 100\pi t \text{ (A)}$.
13. Cho biết giá trị cực đại, hiệu dụng, trung bình, đỉnh, tần số góc, tần số, chu kì dao động của điện áp xoay chiều: $u = 31,11\sin 100\pi t \text{ (V)}$
14. Ta nói điện áp xoay chiều 220 V để chỉ giá trị hiệu dụng hay giá trị cực đại của điện áp này?
15. Tại sao ta phải tính giá trị trung bình ứng với một bán kì của điện áp xoay chiều? Nêu công thức tính giá trị trung bình ứng với một bán kì của điện áp xoay chiều.

Chương 2

LINH KIỆN THỤ ĐỘNG

2.1. Điện trở

2.1.1. Khái niệm

Điện trở (resistor) là một linh kiện có tính cản trở dòng điện và làm một số chức năng khác tùy vào vị trí của điện trở trong mạch điện.

2.1.2. Kí hiệu - đơn vị



Hình 2.1. Kí hiệu điện trở.

Đơn vị : Ohm (Ω)

1 k Ω = $10^3 \Omega$

1 M Ω = 10^3 k Ω = $10^6 \Omega$

2.1.3. Điện trở của dây dẫn

Điện trở của dây dẫn là đại lượng đặc trưng cho tính cản trở dòng điện của dây dẫn.

Kí hiệu: R; đơn vị: Ω (Ohm)

Điện dẫn là đại lượng đặc trưng cho tính dẫn điện của dây dẫn. Điện dẫn là nghịch đảo của điện trở.

Kí hiệu: G ; đơn vị: S (siemens)

$$G = \frac{1}{R} \quad (2.1a)$$

Từ thực nghiệm ta rút ra kết luận: ở một nhiệt độ nhất định, điện trở của một dây dẫn tùy thuộc vào chất của dây, tỉ lệ thuận với chiều dài của dây và tỉ lệ nghịch với tiết diện của dây.

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2.1b)$$

R: điện trở của dây dẫn (Ω)

l : chiều dài của dây dẫn (m)

S: tiết diện của dây dẫn (m^2)

ρ : điện trở suất (Ωm)

Điện trở suất:

Số đo điện trở của dây dẫn làm bằng một chất nào đó và có chiều dài 1 m, tiết diện bằng 1 m^2 được gọi là điện trở suất của chất đó.

Với những chất khác nhau thì điện trở suất của nó cũng khác nhau. Điện trở suất ρ biến đổi theo nhiệt độ và sự biến đổi này được xác định theo công thức sau:

$$\rho = \rho_0(1+at) \quad (2.1c)$$

ρ_0 : điện trở suất đo ở 0°C .

a: hệ số nhiệt độ

t: nhiệt độ ($^{\circ}\text{C}$)

ρ : điện trở suất ở nhiệt độ t.

Bảng 2.1 đưa ra trị số trung bình của điện trở suất của một số chất dẫn điện thường gặp:

Chất	$\rho(\Omega.m)$	Chất	$\rho(\Omega.m)$
Bạc	$0,016.10^6$	Kẽm	$0,06.10^6$
Đồng	$0,017.10^6$	Thép	$0,1.10^6$
Nhôm	$0,026.10^6$	Photpho	$0,11.10^6$
Vonfarm	$0,055.10^6$	Chì	$0,21.10^6$

Bảng 2.1. Điện trở suất của một số chất dẫn điện thường gặp.

2.1.4. Định luật Ohm

a. Định luật Ohm cho đoạn mạch thuần điện trở

Năm 1926, nhà vật lý người Đức George Simon Ohm đã thiết lập bằng thực nghiệm định luật sau: cường độ dòng điện trong một đoạn mạch tỉ lệ thuận với hiệu điện thế giữa hai đầu đoạn mạch và tỉ lệ nghịch với điện trở của đoạn mạch.

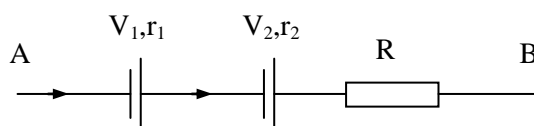
$$I = \frac{U}{R} \quad (2.2)$$

I: cường độ dòng điện (A)

U: hiệu điện thế giữa hai đầu đoạn mạch (V)

R: điện trở (Ω)

b. Định luật Ohm tổng quát đối với đoạn mạch



Hình 2.2. Đoạn mạch AB.

Dòng điện chạy trong đoạn mạch được tính bởi công thức:

$$I = \frac{\varphi_A - \varphi_B + \sum V}{R_t} \quad (2.3)$$

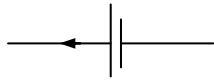
φ_A : điện thế tại A.

φ_B : điện thế tại B.

R_t : điện trở của đoạn mạch AB.

$$R_t = R + r_1 + r_2$$

Quy ước nguồn điện tùy theo chiều dòng điện:



Nguồn phát (cấp điện), quy ước $V > 0$



Nguồn thu (tiêu thụ điện), quy ước $V < 0$

c. Định luật Ohm tổng quát cho mạch kín

Dòng điện chạy trong một mạch kín được tính bởi công thức:

$$I = \frac{\sum V}{R_t} \quad (2.4a)$$

I: cường độ dòng điện chạy trong mạch kín.

$\sum V$: tổng điện thế có trong mạch kín.

R_t : điện trở của toàn mạch.

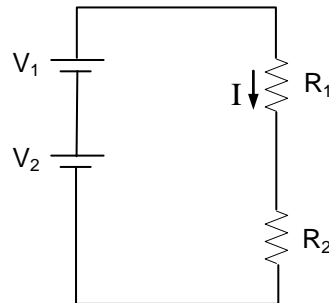
Thực ra, với đoạn mạch AB (hình 2.2) nếu hai đầu A, B của đoạn mạch trùng nhau, ta có một mạch kín. Khi đó $\varphi_A = \varphi_B$ và công thức tính dòng điện trở thành:

$$I = \frac{\sum V}{R_t} = \frac{V_1 + V_2}{R + r_1 + r_2} \quad (2.4b)$$

Ví dụ khác:

Ta có:

$$I = \frac{\sum V}{R_t} = \frac{V_1 + V_2}{R_1 + R_2} \quad (2.4c)$$



Hình 2.3. Mạch điện kín.

2.1.5. Định luật Kirchhoff

Thực tế, ta thường gặp các mạng điện phân nhánh phức tạp gồm nhiều nút và vòng mạng.

Một nút điện là chỗ nối các nhánh điện và phải có ít nhất ba nhánh điện trở lên.

Vòng mạng là vòng kín do các đoạn mạch tạo thành.

a. Định luật Kirchhoff thứ nhất (định luật nút)

Tổng đại số các cường độ dòng điện tại một nút bằng không.

$$\sum_{k=1}^n (\pm I_k) = 0 \quad (2.5a)$$

Tại nút có n nhánh điện. Qui ước: cường độ dòng điện tới nút mạng dấu +, cường độ dòng điện đi khỏi nút mạng dấu -.

Hay nói cách khác: Tổng các cường độ dòng điện tới nút bằng tổng các cường độ dòng điện đi khỏi nút đó.

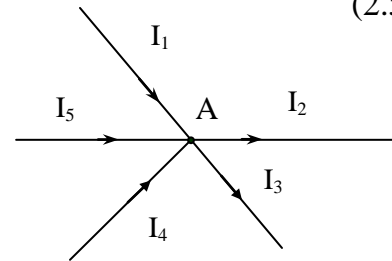
$$\sum I_{\text{vào}} = \sum I_{\text{ra}} \quad (2.5b)$$

Ví dụ:

Tại nút A ta có:

$$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 + I_5 = 0 \quad (2.5c)$$

$$\text{Hay } I_1 + I_4 + I_5 = I_2 + I_3 \quad (2.5d)$$



Hình 2.4. Nút A có 5 nhánh điện.

b. Định luật Kirchoff thứ hai (định luật vòng mạng)

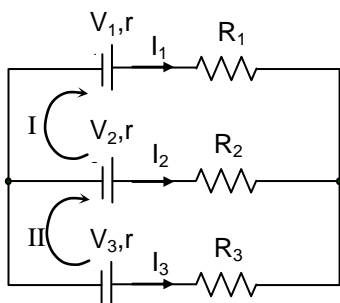
Trong một vòng mạng, tổng của tổng đại số các sức điện động và tổng đại số các độ giảm điện thế trên các phần tử khác bằng không.

$$\sum_{k=1}^n (\pm V_k) + \sum_{k'=1}^{n'} (\pm I_{k'}) R_{k'} = 0 \quad (2.6a)$$

Qui ước:

Sức điện động mang dấu + nếu chiều đi đã chọn trên vòng mạng xuyên vào cực dương của nguồn điện. Sức điện động mang dấu - nếu chiều đi đã chọn trên vòng mạng xuyên vào cực âm của nguồn điện.

Cường độ dòng điện mang dấu + nếu nó cùng chiều với chiều đã chọn và mang dấu - nếu nó ngược chiều với chiều đã chọn.



Hình 2.5. Mạch điện gồm hai vòng

Ví dụ: Xét mạch như hình 2.5 ta có:

Vòng I:

$$- V_1 + I_1(r_1 + R_1) - I_2(r_2 + R_2) + V_2 = 0 \quad (2.6b)$$

Vòng II:

$$- V_2 + I_2(r_2 + R_2) - I_3(r_3 + R_3) + V_3 = 0 \quad (2.6c)$$

2.1.6. Phân loại

Điện trở có thể phân loại dựa vào cấu tạo hay dựa vào mục đích sử dụng mà nó có nhiều loại khác nhau.

2.1.6.1. Phân loại theo cấu tạo

a. Điện trở than (carbon resistor)

Người ta trộn bột than và bột đất sét theo một tỉ lệ nhất định để cho ra những trị số khác nhau. Sau đó, người ta ép lại và cho vào một ống bằng Bakelite. Kim loại ép sát ở hai đầu và hai dây ra được hàn vào kim loại, bọc kim loại bên ngoài để giữ cấu trúc bên trong đồng thời chống cọ xát và ẩm. Ngoài cùng người ta sơn các vòng màu để cho biết trị số điện trở. Loại điện trở này dễ chế tạo, độ tin cậy khá tốt nên nó rẻ tiền và rất thông dụng. Điện trở than có trị số từ vài Ω đến vài chục $M\Omega$. Công suất danh định từ 0,125 W đến vài W.

b. Điện trở màng kim loại (metal film resistor)

Loại điện trở này được chế tạo theo qui trình kết lắng màng Ni – Cr trên thân gốm có xẻ rãnh xoắn, sau đó phủ bởi một lớp sơn. Điện trở màng kim loại có trị số điện trở ổn định, khoảng điện trở từ 10 Ω đến 5 $M\Omega$. Loại này thường dùng trong các mạch dao động vì nó có độ chính xác và tuổi thọ cao, ít phụ thuộc vào nhiệt độ. Tuy nhiên, trong một số ứng dụng không thể xử lí công suất lớn vì nó có công suất danh định từ 0,05 W đến 0,5 W. Người ta chế tạo loại điện trở có khoảng công suất danh định lớn từ 7 W đến 1000 W với khoảng điện trở từ 20 Ω đến 2 $M\Omega$. Nhóm này còn có tên khác là điện trở công suất.

c. Điện trở oxit kim loại (metal oxide resistor)

Điện trở này chế tạo theo qui trình kết lắng lớp oxit thiếc trên thanh SiO_2 . Loại này có độ ổn định nhiệt cao, chống ẩm tốt, công suất danh định từ 0,25 W đến 2 W.

d. Điện trở dây quấn (wire wound resistor)

Làm bằng hợp kim Ni – Cr quấn trên một lõi cách điện sành, sứ. Bên ngoài được phủ bởi lớp nhựa cứng và một lớp sơn cách điện. Để giảm tối thiểu hệ số tự cảm L của dây quấn, người ta quấn $\frac{1}{2}$ số vòng theo chiều thuận và $\frac{1}{2}$ số vòng theo chiều nghịch.

Điện trở chính xác dùng dây quấn có trị số từ 0,1 Ω đến 1,2 $M\Omega$, công suất danh định thấp từ 0,125 W đến 0,75 W.

Điện trở dây quấn có công suất danh định cao còn được gọi điện trở công suất. Loại này gồm hai dạng:

- ống có trị số 0,1 Ω đến 180 k Ω , công suất danh định từ 1 W đến 210 W.
- khung có trị số 1 Ω đến 38 k Ω , công suất danh định từ 5 W đến 30 W.

2.1.6.2. Về mục đích sử dụng

a. Điện trở cố định

Điện trở cố định là loại điện trở có trị số cố định không thay đổi được. Trị số này được nhà sản xuất ấn định có sai số trong phạm vi cho phép.

Nhóm điện trở cố định chia ra các loại:

- **Điện trở chính xác:** có thể là dạng màng kim loại hoặc dây quấn, được thiết kế để dùng trong các mạch đòi hỏi sai số trong phạm vi hẹp, độ ổn định lớn, tiếng ồn thấp và hệ số nhiệt độ thấp. Loại dây quấn tương đối lớn và chỉ có một khoảng điện trở từ 0,1 Ω đến 1,2 M Ω nhưng nó có độ ổn định cao nhất. Các hiệu ứng của điện cảm L và điện dung C của điện trở dây quấn khiến nó không thích hợp để dùng ở tần số lớn hơn 50 kHz ngay cả khi quấn đặc biệt để giảm điện cảm và điện dung liên kết. Điện trở màng kim loại không bền như điện trở dây quấn song có điện cảm nhỏ hơn. Điện trở màng kim loại thường có vỏ hoặc hàn kín hoặc đúc nhựa phenol. Nó có khoảng điện trở từ 10 Ω đến 5M Ω .
- **Điện trở bán chính xác:** được thiết kế cho các mạch đòi hỏi độ ổn định nhiệt độ lâu dài. Điện trở thường nhỏ hơn điện trở chính xác và rẻ hơn, chủ yếu làm chức năng hạn dòng và giảm áp trong các mạch.

Loại điện trở	Khoảng điện trở	Khoảng công suất danh định
Oxit kim loại	10 Ω đến 1,5 M Ω	0,25 W đến 2 W
Kim loại gốm	10 Ω đến 1,5 M Ω .	0,05 W đến 0,5 W
Than kết tủa	10 Ω đến 5 M Ω .	0,125 W đến 1 W

- **Điện trở đa dụng:** loại này nhỏ, rẻ tiền, thường hay dùng trong mạch điện tử mà dung sai ban đầu là không quan trọng (ví dụ: 5% hoặc lớn hơn), độ ổn định dài hạn là không quan trọng. Không được dùng những điện trở đó ở nơi cần hệ số nhiệt độ của điện trở thấp và mức ồn thấp. Khoảng điện trở từ 2,7 Ω đến 100 M Ω . Trị số điện trở trên 0,3M Ω bắt đầu bị giảm ở tần số xấp xỉ 100 kHz, ở trên tần số 1 MHz tất cả các trị số đều bị giảm. Khoảng công suất danh định từ 0,125 W đến 2 W.
- **Điện trở công suất:** có dạng dây quấn hoặc dạng màng, là loại có khoảng công suất danh định cao, được dùng trong các bộ nguồn công suất, các bộ chia áp...

b. Điện trở có trị số thay đổi được:

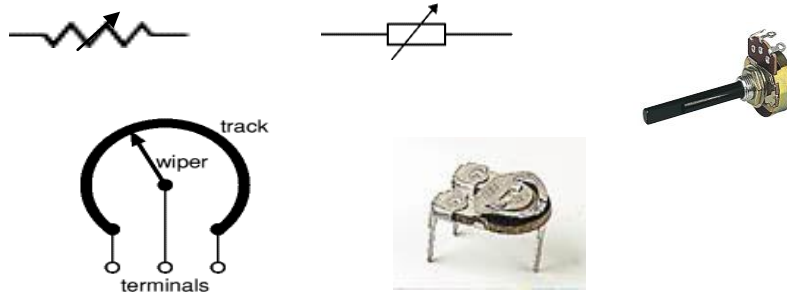
- **Biến trở (VR = Variable Resistor):** là loại điện trở có trị số thay đổi được
 Biến trở dây quấn: dùng dây dẫn có điện trở suất cao, đường kính nhỏ, quấn trên lõi cách điện bằng sứ hay nhựa tổng hợp hình vòng cung 270°. Hai đầu hàn hai cực dẫn điện A, B. Tất cả được đặt trong một vỏ bọc kim loại có nắp đậy. Trục trên vòng cung có quấn dây là một con chạy có trục điều khiển đưa ra ngoài nắp hộp. Con chạy được hàn với cực dẫn điện C.

Biến trở dây quấn thường có trị số nhỏ từ vài Ω đến vài chục Ω . Công suất khá lớn, có thể tới vài chục W.

Biến trở than: người ta tráng một lớp than mỏng lên hình vòng cung bằng bakelit. Hai đầu lớp than nối với cực dẫn điện A và B. Ở giữa là cực C của biến trở và chính là con

chạy bằng kim loại tiếp xúc với lớp than. Trục xoay được gắn liền với con chạy, khi xoay trục (chỉnh biến trở) con chạy di động trên lớp than làm cho trị số biến trở thay đổi. Biến trở than còn chia làm hai loại: biến trở tuyến tính, biến trở phi tuyến.

Biến trở than có trị số từ vài trăm Ω đến vài $M\Omega$ nhưng có công suất nhỏ.



Hình 2.6. Hình dạng và kí hiệu của biến trở.

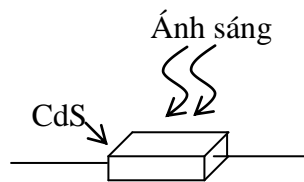
- **Nhiệt điện trở** là loại điện trở mà trị số của nó thay đổi theo nhiệt độ (thermistor).

Nhiệt trở dương (PTC = Positive Temperature Coefficient) là loại nhiệt trở có hệ số nhiệt dương.

Nhiệt trở âm (NTC = Negative Temperature Coefficient) là loại nhiệt trở có hệ số nhiệt âm.

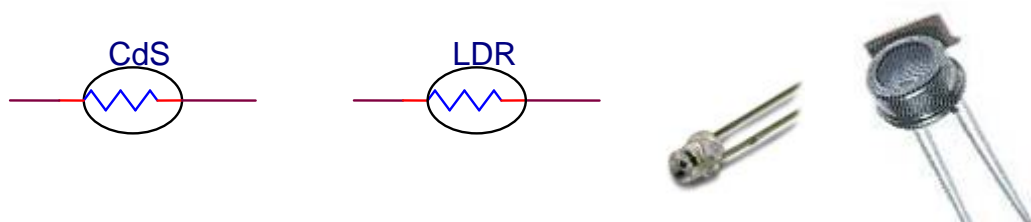
- **VDR (Voltage Dependent Resistor)** là loại điện trở mà trị số của nó phụ thuộc điện áp đặt vào nó. Thường thì VDR có trị số điện trở giảm khi điện áp tăng.

- **Điện trở quang (photoresistor)** là một linh kiện bán dẫn thụ động không có mối nối P – N. Vật liệu dùng để chế tạo điện trở quang là CdS (Cadmium Sulfid), CdSe (Cadmium Selenid), ZnS (sắt Sulfid) hoặc các tinh thể hỗn hợp khác.



Hình 2.7. Cấu tạo của điện trở quang.

Điện trở quang còn gọi là điện trở tùy thuộc ánh sáng (LDR \equiv Light Dependent Resistor) có trị số điện trở thay đổi tùy thuộc cường độ ánh sáng chiếu vào nó.



Hình 2.8. Hình dạng và kí hiệu của điện trở quang.

Kí hiệu và hình dạng của điện trở quang như hình 2.8.

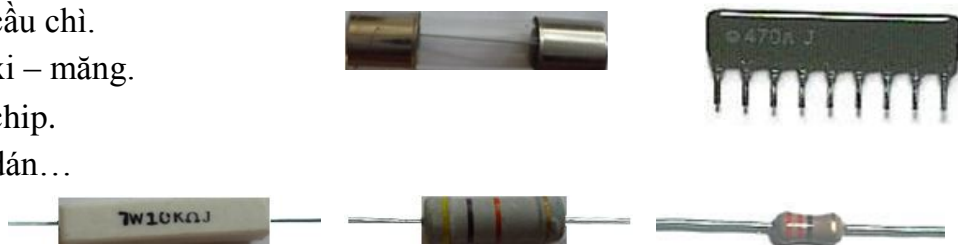
Khi bị che tối thì điện trở quang có trị số rất lớn, khi được chiếu sáng thì độ dẫn điện của chất bán dẫn tăng do các cặp điện tử tự do và lỗ trống hình thành nhiều tức là điện trở giảm nhỏ. Điện trở quang có trị số điện trở thay đổi không tuyến tính theo độ sáng chiếu vào nó. Khi trong bóng tối điện trở quang có trị số khoảng vài megaohm, trị số của điện trở quang trong bóng tối với nhiều trường hợp ứng dụng cần phải biết. Nó cho ta dòng điện rò lớn nhất với một điện thế trên điện trở quang. Dòng rò quá lớn sẽ dẫn đến sự sai lệch khi thiết kế mạch điện. Khi được chiếu sáng điện trở quang có trị số rất nhỏ khoảng vài chục đến vài trăm Ohm.

Hệ số nhiệt của điện trở quang tỉ lệ nghịch với cường độ chiếu sáng. Do đó để giảm bớt sự thay đổi của điện trở quang theo nhiệt độ, điện trở quang cần được cho hoạt động với mức chiếu sáng tối đa. Ở mức chiếu sáng thấp và trị số điện trở quang cao cho ta sự sai biệt khá lớn so với trị số chuẩn.

Điện trở quang được ứng dụng làm bộ phận cảm biến quang trong các mạch tự động điều khiển bởi ánh sáng; mạch đo ánh sáng; mạch chỉnh hội tụ của một số thiết bị; mạch trò chơi điện tử,...

c. Một số điện trở khác:

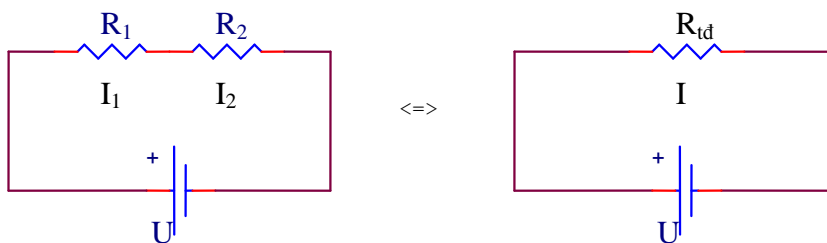
- Điện trở cầu chì.
- Điện trở xi – măng.
- Điện trở chip.
- Điện trở dán...



Hình 2.9. Hình dạng của một số loại điện trở.

2.1.7. Cách mắc điện trở

a. Mắc nối tiếp



Hình 2.10. Mạch điện trở mắc nối tiếp.

Xét mạch như hình 2.10, với:

- I_1 : cường độ dòng điện chạy qua R_1
- I_2 : cường độ dòng điện chạy qua R_2
- U_1 : hiệu điện thế giữa hai đầu R_1
- U_2 : hiệu điện thế giữa hai đầu R_2

Ta có: $I_1 = I_2 = I$ (2.7)

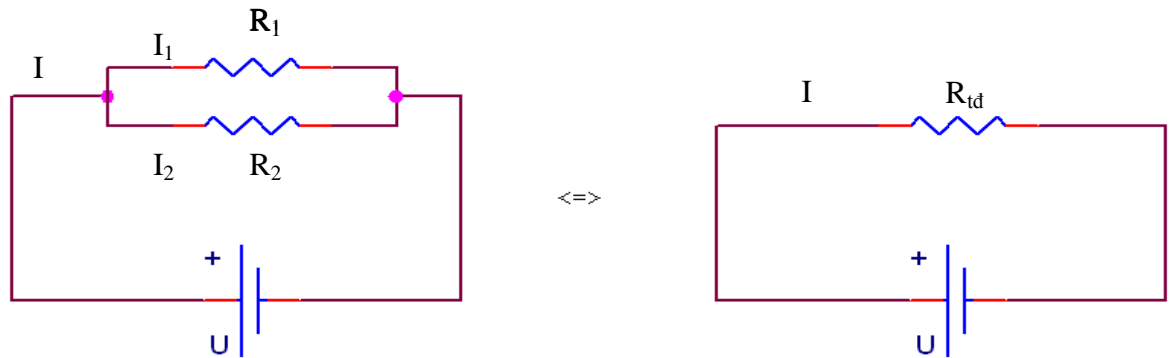
$U = U_1 + U_2$ (2.8)

$R_{td} = R_1 + R_2$ (2.9a)

Nếu có nhiều điện trở mắc nối tiếp thì

$R_{td} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ (2.9b)

b. Mắc song song



Hình 2.11. Mạch điện trở mắc song song.

Xét mạch như hình 2.11, với:

I_1 : cường độ dòng điện chạy qua R_1

I_2 : cường độ dòng điện chạy qua R_2

U_1 : hiệu điện thế giữa hai đầu R_1

U_2 : hiệu điện thế giữa hai đầu R_2

Ta có: $U_1 = U_2 = U$ (2.10)

$I = I_1 + I_2$ (2.11)

$\frac{1}{R_{td}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ hay $\frac{1}{R_{td}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ (2.12a)

Nếu có nhiều điện trở mắc song song với nhau thì:

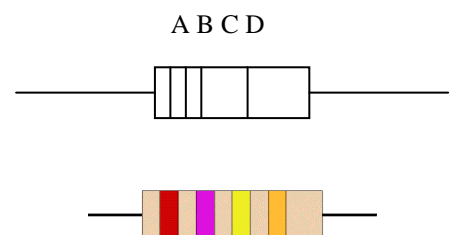
$\frac{1}{R_{td}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$ (2.12b)

2.1.8. Cách đọc trị số điện trở

a. Đọc trị số điện trở theo qui ước vòng màu:

❖ Điện trở 4 vòng màu

- Vòng A, B chỉ trị số tương ứng với màu.
- Vòng C chỉ hệ số nhân.
- Vòng D chỉ sai số.



Hình 2.12. Điện trở 4 vòng màu.

Ví dụ:

$$\text{Đỏ – tím – đỏ – bạc} = 2,7 \text{ k}\Omega \pm 10\%$$

$$\text{Đỏ – tím – đỏ – vàng nhũ} = 2,7 \text{ k}\Omega \pm 5\%$$

$$\text{Đỏ – đỏ – đỏ – vàng nhũ} = 2,2 \text{ k}\Omega \pm 5\%$$

$$\text{Nâu – lục – đỏ – vàng nhũ} = 1,5 \text{ k}\Omega \pm 5\%$$

$$\text{Cam – cam – vàng nhũ – vàng nhũ} = 3,3 \text{ }\Omega \pm 5\%$$

Màu	Vòng A, B	Vòng C	Vòng D
Đen	0	$\times 10^0 = \times 1$	-----
Nâu	1	$\times 10^1 = \times 10$	$\pm 1\%$
Đỏ	2	$\times 10^2 = \times 100$	$\pm 2\%$
Cam	3	$\times 10^3 = \times 1000$	$\pm 3\%$
Vàng	4	$\times 10^4 = \times 10000$	-----
Lục	5	$\times 10^5 = \times 100000$	-----
Lam	6	$\times 10^6 = \times 1000000$	-----
Tím	7	$\times 10^7 = \times 10000000$	-----
Xám	8	$\times 10^8 = \times 100000000$	-----
Trắng	9	$\times 10^9 = \times 1000000000$	-----
Vàng nhũ	-----	$\times 10^{-1} = \times 0,1$	$\pm 5\%$
Bạc	-----	$\times 10^{-2} = \times 0,01$	$\pm 10\%$
Màu thân điện trở	-----	-----	$\pm 20\%$

Bảng 2.2. Bảng qui ước màu điện trở.

❖ Điện trở 3 vòng màu:

Lần lượt được kí hiệu A, B, C. Ý nghĩa của các vòng màu tương tự loại điện trở 4 vòng màu: vòng A, B chỉ trị số tương ứng với màu. Vòng C chỉ hệ số nhân. Sai số xem như màu của thân điện trở.

Ví dụ:

$$\text{Đỏ – tím – đỏ} = 2,7 \text{ k}\Omega \pm 20\%$$

❖ Điện trở 5 vòng màu:

Loại điện trở 5 vòng màu được kí hiệu là vòng A, B, C, D, E: 3 vòng A, B, C chỉ trị số tương ứng với màu, vòng D chỉ hệ số nhân, vòng E chỉ sai số.

Ví dụ:

$$\text{Nâu – đen – đen – đen – nâu} = 100 \text{ }\Omega \pm 1\%$$

b. Đọc trị số điện trở theo qui ước chấm màu

Trên thân điện trở, một đầu điện trở có màu B khác với màu của thân điện trở (A), giữa thân có chấm màu (C). Ý nghĩa các màu và cách đọc trị số điện trở như trên.

Ví dụ:

Một điện trở có thân màu xanh lá cây, một đầu màu đỏ, giữa thân có chấm vàng, trị số của nó là 520 kΩ.

c. Điện trở có ghi số trên thân

Đối với điện trở có ghi số trên thân thì hai số đầu là số có ý nghĩa, số thứ ba chỉ số nhân.

Ví dụ:

Trên thân điện trở có ghi 103 thì trị số điện trở là 10 kΩ.

Ngoài ra trên thân điện trở có ghi con số và chữ thì con số chỉ trị số điện trở, chữ chỉ bội số: R = x1; K = x10³; M = x10⁶.

Ví dụ: 5R = 5 Ω.

4K7 = 4,7 kΩ.

Về lý thuyết, linh kiện điện trở có thể có giá trị bất kỳ từ thấp nhất đến cao nhất. Trong thực tế, các linh kiện điện trở có khoảng điện trở từ 0,1 Ω đến 100 MΩ.

Các giá trị tiêu chuẩn: 1.0; 1.2; 1.5; 1.8; 2.2; 2.7; 3.3; 3.9; 4.3; 4.7; 5.1; 5.6; 6.8; 7.5; 8.2; 9.1. Các linh kiện điện trở thường được chế tạo với giá trị là các giá trị tiêu chuẩn nhân với bội số của 10.

Ví dụ: điện trở: 10 Ω; 100 Ω; 1,5 kΩ; 2,7 kΩ; 5,6 kΩ....

2.1.9. Công suất của điện trở

Công suất của điện trở là trị số chỉ công suất tiêu tán tối đa của nó. Công suất chịu đựng này do nhà sản xuất cho biết dưới dạng ghi sẵn trên thân hoặc kích thước của điện trở. Kích thước điện trở lớn thì công suất của nó lớn. Công suất của điện trở thay đổi theo kích thước với trị số gần đúng như bảng 2.3.

Công suất	Chiều dài	Đường kính
2 W	1,6 cm	10 mm
1 W	1,2 cm	6 mm
0,5 W	1 cm	4 mm
0.25 W	0,7 cm	3 mm

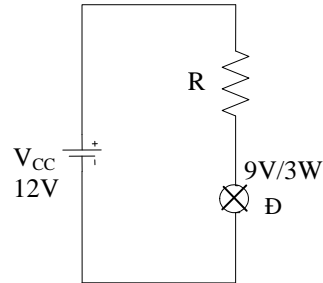
Bảng 2.3. Công suất của điện trở thay đổi theo kích thước.

Nên chọn công suất chịu đựng lớn hơn hay bằng 2 lần công suất tính toán.

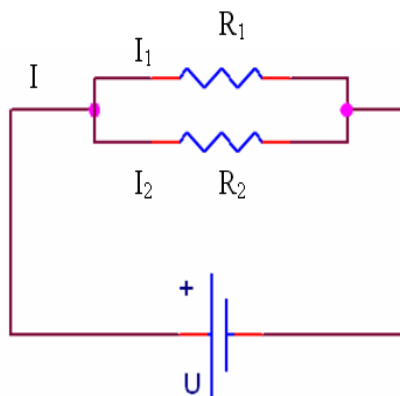
2.1.10. Ứng dụng

Điện trở có nhiều ứng dụng trong lãnh vực điện và điện tử:

- Tỏa nhiệt: bếp điện, bàn ủi.
- Thắp sáng: bóng đèn dây tóc.
- Bộ cảm biến nhiệt, cảm biến quang.
- Hạn dòng, chia dòng.
- Giảm áp, chia áp,....



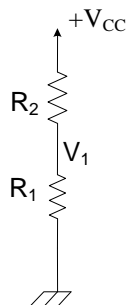
Hình 2.13. Mạch dùng R hạn dòng, giảm áp.



$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad (2.13a)$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (2.13b)$$

Hình 2.14. Mạch chia dòng.



$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{cc} \quad (2.14)$$

Hình 2.15. Mạch chia áp.

Mạch chia dòng như hình 2.14 còn được gọi là mạch phân dòng. Mạch chia áp như hình 2.15 còn được gọi là mạch phân áp hay cầu phân áp (mạch chia thế / mạch phân thế / cầu phân thế).

2.2. Tụ điện

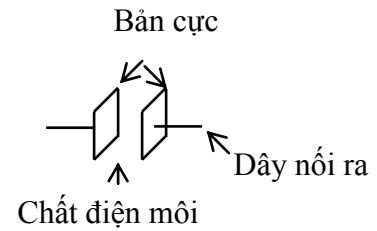
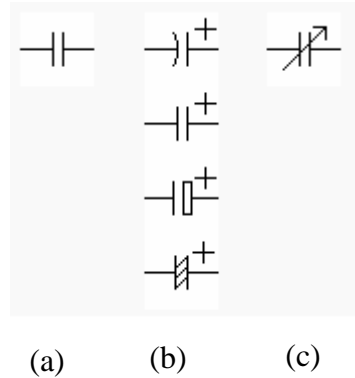
2.2.1. Khái niệm

Tụ điện (capacitor) là linh kiện có tính tích trữ năng lượng điện dưới dạng điện trường.

2.2.2. Cấu tạo – kí hiệu

Tụ điện được cấu tạo gồm hai bản cực bằng chất dẫn điện (kim loại) đặt song song gần nhau nhưng cách điện bởi lớp điện môi ở giữa.

Kí hiệu của tụ điện:

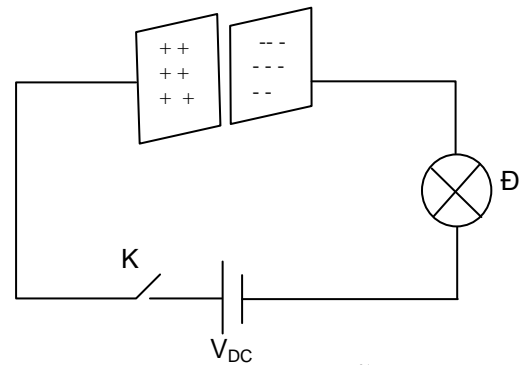


Hình 2.16. Cấu tạo của tụ điện.

Hình 2.17. Kí hiệu của tụ không phân cực (a), tụ có phân cực (b), tụ biến đổi (c).

2.2.3. Sự dẫn điện của tụ

Xét mạch như hình 2.14. Khi khóa K để hở thì đèn tắt. Đóng khóa K, ta thấy đèn lóe sáng lên rồi tắt. Nếu đổi nguồn V_{DC} bằng nguồn V_{AC} thì khi K để hở đèn tắt, K đóng ta thấy đèn sáng liên tục.



Hình 2.18. Mạch thí nghiệm sự dẫn điện của tụ.

2.2.4. Điện dung

Điện dung (capacitance) là đại lượng đặc trưng khả năng tích điện của tụ.

Kí hiệu: C, đơn vị: Farad (F)

Thường dùng các ước số của Farad:

Microfarad: $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{F}$

Nanofarad: $1 \text{nF} = 10^{-9} \text{F}$

Picofarad: $1 \text{pF} = 10^{-12} \text{F}$

Femtofarad: $1 \text{fF} = 10^{-15} \text{F}$

Điện dung phụ thuộc chất điện môi, tỉ lệ thuận với tiết diện của bản tụ và tỉ lệ nghịch với khoảng cách giữa hai bản tụ (bề dày của lớp điện môi).

$$C = \epsilon \frac{S}{d} \quad (2.15a)$$

Với:

C: điện dung (F)

S: tiết diện của bản tụ (m^2)

d: khoảng cách giữa hai bản tụ (m)

$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \quad (2.15b)$$

ϵ_r : hằng số điện môi tương đối.

ϵ_0 : hằng số điện môi không khí; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m.

Một số chất điện môi thường dùng để làm tụ: Không khí khô, giấy tẩm dầu, gốm, oxit nhôm, mica.

Chất điện môi	Hằng số điện môi ϵ_r
Không khí khô	1
Giấy	3,6
Gốm	5,5
Mica	4 ÷ 5

Bảng 2.4. Hằng số điện môi của một số chất.

Điện dung có thể đo bằng tỉ số điện tích của tụ trên hiệu điện thế giữa hai bản tụ điện.

$$C = \frac{Q}{U} \quad (2.16)$$

C: điện dung của tụ (F)

Q: điện tích (C)

U: hiệu điện thế giữa 2 bản tụ (V)

❖ Năng lượng tích trữ ở tụ điện là:

$$W = \frac{1}{2} CU^2 \quad (2.17)$$

W: năng lượng (J)

C: điện dung (F)

U: hiệu điện thế giữa 2 bản tụ (V)

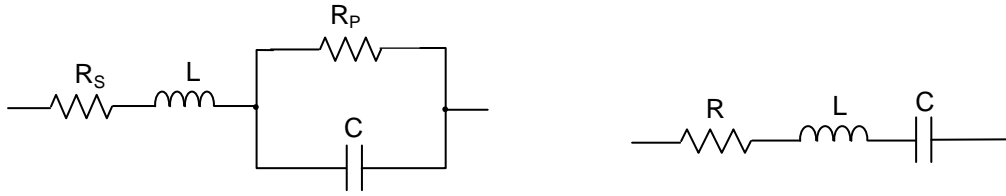
2.2.5. Điện thế làm việc

Đối với mỗi tụ điện, chỉ có thể đặt vào nó một điện áp lớn nhất nào đó, tùy theo kết cấu của lớp điện môi. Nếu điện áp đặt vào quá lớn điện môi sẽ bị đánh thủng và trở nên dẫn điện, làm tụ điện bị hỏng không dùng được nữa.

Điện thế làm việc (Working Volt = WV) chính là điện thế lớn nhất cho phép áp vào hai đầu tụ mà tụ chịu đựng được. Thường điện thế này có ghi trên tụ.

2.2.6. Mạch tương đương của tụ điện

Ngoài điện dung, một tụ điện thực tế còn có điện trở và điện cảm như trong mạch tương đương hình 2.15.



Hình 2.19. Mạch tương đương của tụ điện.

Với R_S là điện trở nối tiếp do các dây dẫn, các đầu tiếp xúc và các điện cực.

R_P : điện trở sun do điện trở suất của chất điện môi và vật liệu làm vỏ, do độ hao điện môi.

L: hệ số tự cảm (điện cảm) tập do dây dẫn và các điện cực.

Điện trở tương đương nối tiếp ESR (Equivalent Series Resistance) là điện trở AC của tụ điện phản ánh cả điện trở nối tiếp R_S và điện trở song song R_P tại tần số đã cho để độ hao của các phần tử này có thể biểu thị bằng độ hao của một điện trở R trong mạch tương đương.

Dung kháng: là đại lượng đặc trưng cho sức cản điện của tụ.

Kí hiệu: X_C hoặc Z_C , đơn vị: Ohm (Ω).

$$\text{Biểu thức: } X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2.18)$$

X_C : dung kháng (Ω)

ω : tần số góc (rad/s)

C: điện dung (F)

f: tần số (Hz)

Tổng trở (trở kháng): khi làm việc ở tần số cao thì phải tính thêm điện cảm ở đầu ra:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L + X_C)^2} \quad (2.19a)$$

Z: tổng trở (Ω)

R: ESR(Ω)

X_C : dung kháng (Ω)

$$X_L: \text{cảm kháng } (\Omega), X_L = \omega L = 2\pi f L \quad (2.19b)$$

L: hệ số tự cảm (H)

Hệ số công suất PF (Power Factor). Thuật ngữ PF chỉ độ hao điện trong tụ khi làm việc với điện áp AC. Ở tụ điện lí tưởng, dòng sẽ sớm pha hơn điện áp giữa hai đầu tụ là 90° . Tụ thực tế, do tổn hao ở chất điện môi, điện cực và các đầu tiếp xúc nên góc pha nhỏ hơn 90° . PF được định nghĩa là tỉ số điện trở tương đương nối tiếp R và tổng trở Z. PF có đơn vị: %.

Hệ số tiêu tán DF (Dissipation Factor) là tỉ số điện trở tương đương nối tiếp R và dung kháng X_C . DF có đơn vị: %. DF xấp xỉ bằng PF khi $PF \leq 10\%$.

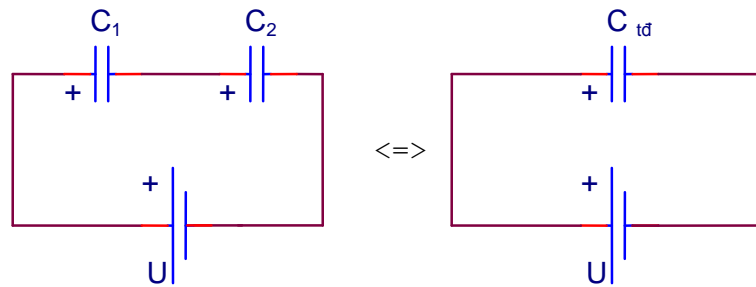
Hệ số phẩm chất Q (Quality Factor) là nghịch đảo của hệ số tiêu tán. Nó thường áp dụng cho tụ trong các mạch điều hưởng.

Dòng điện rỉ (rò) DC là dòng chạy qua tụ khi có đặt điện áp DC vào tụ.

Điện trở cách điện: là tỉ số của điện áp đặt vào tụ trên dòng điện rỉ (rò) và thường biểu thị bằng $M\Omega$.

2.2.7. Cách mắc tụ điện

a. Mắc nối tiếp



Hình 2.20. Mạch tụ điện mắc nối tiếp.

Điện tích nạp vào tụ được tính theo công thức:

$$Q = Q_1 = Q_2 \quad (2.20)$$

$$Q = C_1 U_1 = C_2 U_2 \Rightarrow U_1 = \frac{Q}{C_1} ; U_2 = \frac{Q}{C_2}$$

Mặt khác: $Q = C_{td} \cdot U \Rightarrow U = \frac{Q}{C_{td}}$

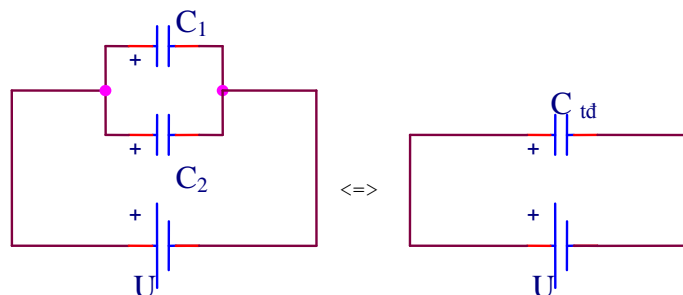
mà : $U = U_1 + U_2 \quad (2.21)$

$$\Rightarrow \frac{1}{C_{td}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (2.22a)$$

Nếu có nhiều tụ ghép nối tiếp thì:

$$\frac{1}{C_{td}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (2.22b)$$

b. Mắc song song



Hình 2.21. Mạch tụ điện mắc song song.

Hiệu điện thế giữa hai đầu tụ C_1, C_2 : $U = U_1 = U_2$ (2.23)

Điện tích nạp vào tụ C_1 : $Q_1 = C_1 U$

Điện tích nạp vào tụ C_2 : $Q_2 = C_2 \cdot U$

Điện tích nạp vào tụ C_{td} : $Q = C_{td} \cdot U$

Điện tích nạp vào tụ C_1, C_2 bằng điện tích nạp vào tụ C_{td} nên:
 $Q = Q_1 + Q_2$ (2.24)

$\Leftrightarrow C_{td} \cdot U = C_1 U + C_2 U = (C_1 + C_2) U$
 $\Rightarrow C_{td} = C_1 + C_2$ (2.25a)

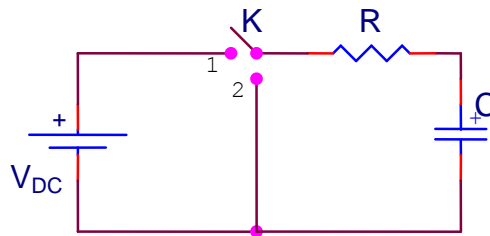
Nếu có nhiều tụ mắc song song thì:

$C_{td} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$

(2.25b)

2.2.8. Hiện tượng nạp – xả của tụ

Xét mạch như hình 2.18, giả sử tụ chưa tích điện, ta bật khóa K sang vị trí số 1 thì tụ bắt đầu nạp điện, lượng điện tích được tích trên hai bản tụ tăng dần đến khi hiệu điện thế giữa hai đầu tụ gần bằng nguồn V_{DC} ($99\% V_{DC}$)



Hình 2.22. Mạch khảo sát hiện tượng nạp - xả của tụ.

thì quá trình nạp điện của tụ được chấm dứt, tụ được xem như đã nạp đầy, nếu không có tác động khác thì hiện tượng vẫn không đổi.

Khi chưa tích điện thì hiệu điện thế giữa hai đầu tụ bằng không. Trong quá trình nạp điện thì hiệu điện thế giữa hai đầu tụ thay đổi theo dạng hàm số mũ:

$$v_c(t) = V_{DC}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (2.26a)$$

$e = 2,71828$
 $\tau = R \cdot C$ (2.26b)

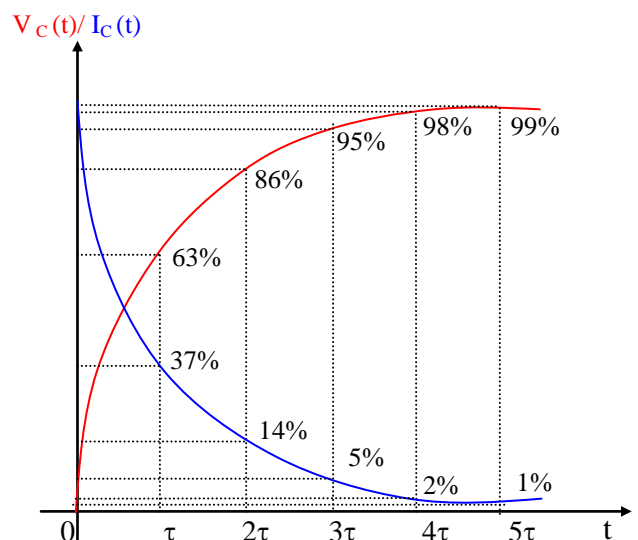
R: điện trở (Ω)

C: điện dung (F)

τ : thời hằng nạp – xả của tụ (s)

t: thời gian tụ nạp điện (s)

Trong quá trình nạp điện, tụ có dòng điện nạp thay đổi theo dạng hàm số mũ:



Hình 2.23. Đặc tuyến nạp của tụ.

$$i_c(t) = \frac{V_{DC}}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2.27)$$

Theo lý thuyết, thời gian để tụ nạp đầy là vô hạn ($v_c(t) = V_{DC}$). Trên thực tế, sau thời gian 5τ tụ đã nạp được $99\%V_{DC}$, lúc đó người ta xem như tụ đã nạp đầy.

Khi tụ đã nạp đầy, ta bật K qua vị trí số 2, tụ C xả điện qua R, hiệu điện thế giữa hai đầu tụ thay đổi theo biểu thức:

$$v_c(t) = V_{DC} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2.28a)$$

$$e = 2,71828$$

$$\tau = R.C$$

$$(2.28b)$$

R: điện trở (Ω)

C: điện dung (F)

τ : thời hằng nạp – xả của tụ (s)

t: thời gian tụ xả (s)

Dòng xả của tụ thay đổi theo biểu thức:

$$i_c(t) = \frac{V_{DC}}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2.29)$$

Để ý tốc độ nạp – xả nhanh trong thời gian lúc đầu từ 0 đến τ , sau đó chậm lại trong thời gian sau.

2.2.9. Phân loại

a. Dựa theo mục đích sử dụng

❖ Tụ cố định: là tụ có trị số điện dung cố định. Trị số này được nhà sản xuất ấn định có sai số trong phạm vi cho phép. Nó được chia làm hai dạng:

- Tụ có cực (polar): tụ có phân cực tính dương và âm.
- Tụ không phân cực (nonpolar): tụ có hai cực như nhau.

❖ Tụ biến đổi: là loại tụ có trị số điện dung được điều chỉnh thay đổi theo yêu cầu sử dụng.



Hình 2.24. Hình dạng tụ biến đổi.

b. Dựa theo chất điện môi

- Tụ hóa: là loại tụ có phân cực tính. Tụ hóa có bản cực là những lá nhôm, điện môi là lớp oxit nhôm rất mỏng được tạo bằng phương pháp điện phân. Điện dung của tụ hóa khá lớn.

Khi dùng phải ráp đúng cực tính dương và âm. Điện thế làm việc thường nhỏ hơn 500V.

- Tụ hóa tantalum (Ta): là tụ có phân cực tính, có cấu tạo tương tự tụ hóa nhưng dùng tantalum thay vì dùng nhôm. Tụ Tantalum có kích thước nhỏ nhưng điện dung lớn. Điện thế làm việc chỉ vài chục volt.

- Tụ giấy: là loại tụ không phân cực tính. Tụ giấy có hai bản cực là những lá nhôm hoặc thiếc, ở giữa có lớp cách điện là giấy tẩm dầu và cuộn lại thành ống.

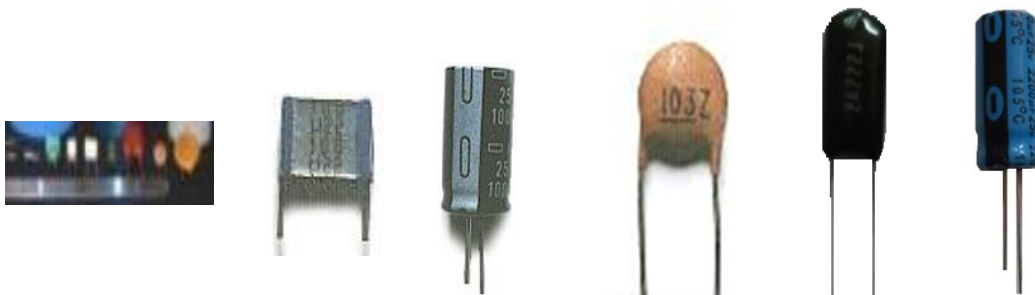
- Tụ màng: là tụ không phân cực tính. Tụ màng có chất điện môi là màng chất dẻo như: polypropylene, polystyrene, polycarbonate, polyethelene. Có hai loại tụ màng chính: loại foil và loại được kim loại hóa.

Loại foil dùng các miếng kim loại nhôm hay thiếc để tạo các bản cực dẫn điện. Loại được kim loại hóa được chế tạo bằng cách phun màng mỏng kim loại như nhôm hay kẽm trên màng chất dẻo, kim loại được phun lên đóng vai trò bản cực. Với cùng giá trị điện dung và định mức điện áp đánh thủng thì tụ loại kim loại hóa có kích thước nhỏ hơn loại foil. Ưu điểm thứ hai của loại kim loại hóa là nó tự phục hồi được. Điều này có nghĩa là nếu điện môi bị đánh thủng do quá điện áp đánh thủng thì tụ không bị hư luôn mà nó tự phục hồi lại. Tụ foil không có tính năng này.

- Tụ gốm (ceramic): là loại tụ không phân cực tính. Tụ gốm được chế tạo gồm chất điện môi là gốm, tráng trên bề mặt nó lớp bạc để làm bản cực.

- Tụ mica: là loại tụ không phân cực tính. Tụ mica được chế tạo gồm nhiều miếng mica mỏng, tráng bạc, đặt chồng lên nhau hoặc miếng mica mỏng được xếp xen kẽ với các miếng thiếc. Các miếng thiếc lẻ nối với nhau tạo thành một bản cực, Các miếng thiếc chẵn nối với nhau tạo thành một bản cực. Sau đó bao phủ bởi lớp chống ẩm bằng sáp hoặc nhựa cứng. Thường tụ mica có dạng hình khối chữ nhật.

Ngoài ra, còn có tụ dán bề mặt được chế tạo bằng cách đặt vật liệu điện môi gồm giữa hai màng dẫn điện (kim loại), kích thước của nó rất nhỏ. Mạng tụ điện (thanh tụ điện) là dạng tụ được nhà sản xuất tích hợp nhiều tụ điện ở bên trong một thanh (vỏ) để tiết kiệm diện tích. Người ta kí hiệu chân chung và giá trị của các tụ.



Hình 2.25. Hình dạng của một số loại tụ.

2.2.10. Cách đọc trị số điện dung

- Tụ có ghi số trên thân: .1 có nghĩa là tụ có điện dung $C = 0,1 \mu\text{F}$; .01 có nghĩa là tụ có điện dung $C = 0,01 \mu\text{F}$.

- Tụ có ghi số trên thân: 103K có nghĩa là tụ có điện dung:

$$C = 10000 \text{ pF} \pm 10\%.$$

Hai số đầu là số có nghĩa, số thứ ba chỉ số nhân. Chữ chỉ sai số: J = $\pm 5\%$.

$$K = \pm 10\%, M = \pm 20\%.$$

- Tụ có ghi hai chữ số trên thân, ví dụ: 47/50 thì số đầu là điện dung, đơn vị là pF, số thứ hai là trị số điện áp làm việc, đơn vị là volt.

- Tụ hóa: cực tính được ghi bằng dấu + hoặc dấu -. Đơn vị điện dung là microfarad, điện áp làm việc đơn vị là volt.

Ví dụ: trên thân tụ hóa ghi 2200 μF 25V có nghĩa là tụ có: $C = 2200 \mu\text{F}$, WV = 25 V

Qui ước màu đối với tụ điện tương tự qui ước màu đối với điện trở.

Tụ điện gồm dạng hình ống có 5 vòng màu như nhau nhưng có vòng thứ năm cách xa hơn. Ý nghĩa các vòng màu: vòng thứ nhất, vòng thứ hai chỉ số tương ứng với màu, vòng thứ ba chỉ số nhân, vòng thứ tư chỉ sai số, vòng thứ năm chỉ đặc điểm riêng của nó.

Tụ điện gồm dạng hình ống có 4 vòng màu như nhau nhưng có vòng thứ năm rộng hơn. Ý nghĩa các vòng màu: vòng thứ nhất, vòng thứ hai chỉ số tương ứng với màu, vòng thứ ba chỉ số nhân, vòng thứ tư chỉ sai số, vòng thứ năm chỉ hệ số nhiệt độ.

Đặc biệt đối với tụ dán bề mặt có ba cách mã hóa thông dụng, cả ba đều dùng đơn vị pF.

- Hệ 33 kí hiệu chữ in hoa và thường: trên thân tụ ghi một kí hiệu và theo sau là số (0 ÷ 9) chỉ số nhân.

Kí hiệu					Số nhân
A – 1.0	H – 2.0	b – 3.5	f – 5.0	X – 7.5	0 = x1
B – 1.1	J – 2.2	P – 3.6	T – 5.1	t – 8.0	1 = x10
C – 1.2	K – 2.4	Q – 3.9	U – 5.6	Y – 8.2	2 = x100
D – 1.3	a – 2.5	d – 4.0	m – 6.0	y – 9.0	3 = x1000
E – 1.5	L – 2.7	R – 4.3	V – 6.2	Z – 9.1	4 = x10000
F – 1.6	M – 3.0	e – 4.5	W – 6.8		5 = x100000
G – 1.8	N – 3.3	S – 4.7	n – 7.0		...

Ví dụ:

$$J3 = 2.2 \times 1000 = 2200 \text{ pF}$$

$$P2 = 3.6 \times 100 = 360 \text{ pF}$$

$$S1 = 4.7 \times 10 = 47 \text{ pF}$$

- Hệ 24 kí hiệu chữ in hoa: trên thân tụ ghi một kí hiệu và theo sau là số (1 ÷ 9) chỉ số nhân.

Ví dụ:

$$05 = 5 \text{ pF}$$

$$82 = 82 \text{ pF}$$

$$A1 = 10 \times 10 = 100 \text{ pF}$$

$$N3 = 33 \times 1000 = 33000 \text{ pF}$$

Kí hiệu					Số nhân
A – 10	F – 16	L – 27	R – 43	W – 68	1 = x10
B – 11	G – 18	M – 30	S – 47	X – 75	2 = x100
C – 12	H – 20	N – 33	T – 51	Y – 82	3 = x1000
D – 13	J – 22	P – 36	U – 56	y – 90	4 = x10000
E – 15	K – 24	Q – 39	V – 62	Z – 91	5 = x100000
					...

Lưu ý: với hệ này thì các giá trị nhỏ hơn 100 pF sẽ được ghi trực tiếp, các giá trị lớn hơn 100 pF được ghi bằng một chữ với một số.

- Hệ 24 kí hiệu chữ in hoa và số: trên thân tụ ghi một kí hiệu và số nhân được qui định bởi màu của kí hiệu đó.

Kí hiệu					Số nhân (màu)
A – 1.0	H – 1.6	N – 2.7	V – 4.3	3 – 6.8	cam = x1.0
B – 1.1	I – 1.8	O – 3.0	W – 4.7	4 – 7.5	đen = x10
C – 1.2	J – 2.0	R – 3.3	X – 5.1	7 – 8.2	lục = x100
D – 1.3	K – 2.2	S – 3.6	Y – 5.6	9 – 9.1	lam = x1000
E – 1.5	L – 2.4	T – 3.9	Z – 6.2		tím = x10000
					đỏ = x100000

Ví dụ:

$$W \text{ màu cam} = 4.7 \times 1.0 = 4.7 \text{ pF}$$

2.11. Ứng dụng

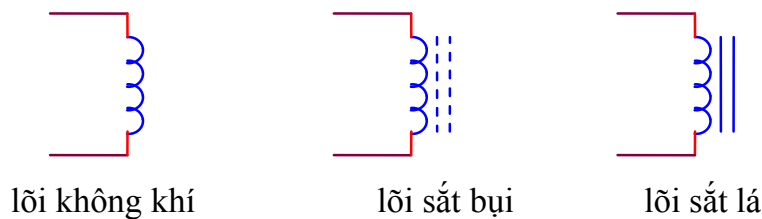
Tụ thường được dùng làm tụ lọc trong các mạch lọc nguồn, lọc chặn tần số hay cho qua tần số nào đó. Tụ có mặt trong mạch lọc thụ động, mạch lọc tích cực,...Tụ liên lạc để nối giữa các tầng khuếch đại. Tụ kết hợp với một số linh kiện khác để tạo những mạch dao động,...Ngày nay còn có tụ nano để tăng dung lượng bộ nhớ nhằm đáp ứng nhu cầu càng cao của con người.

2.3. Cuộn cảm

2.3.1. Cấu tạo – kí hiệu

Cuộn cảm (inductor) / cuộn dây (coil) là dây dẫn quấn nhiều vòng liên tiếp trên 1 cái lõi. Lõi của cuộn cảm có thể là một ống rỗng (lõi không khí), sắt bụi hay sắt lá.

Tùy theo loại lõi, cuộn cảm có các kí hiệu khác nhau:



Hình 2.26. Kí hiệu của cuộn cảm.

2.3.2. Hệ số tự cảm

Hệ số tự cảm là đại lượng đặc trưng cho khả năng tích trữ năng lượng từ trường của cuộn cảm.

Kí hiệu: L

Đơn vị đo: Henri (H)

Milihenri: 1 mH = 10^{-3} H

Microhenri: 1 μ H = 10^{-6} H

Hệ số tự cảm phụ thuộc vào số vòng dây, tiết diện, chiều dài và vật liệu làm lõi của cuộn cảm.

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{n^2}{l} \cdot S = \mu_0 \mu_r \frac{\pi d^2}{4} \quad (2.30)$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

μ_r : hệ số từ thẩm tương đối của vật liệu làm lõi đối với chân không.

n: số vòng dây

S: tiết diện lõi (m^2)

L: chiều dài lõi (m)

d: đường kính của lõi (m)

Mặt khác, hệ số tự cảm còn tính bởi công thức sau:

$$L = n \frac{\Delta\phi}{\Delta I} \quad (2.31)$$

ΔI : độ biến thiên dòng điện (A)

$\Delta\phi$: độ biến thiên từ thông (Wb)

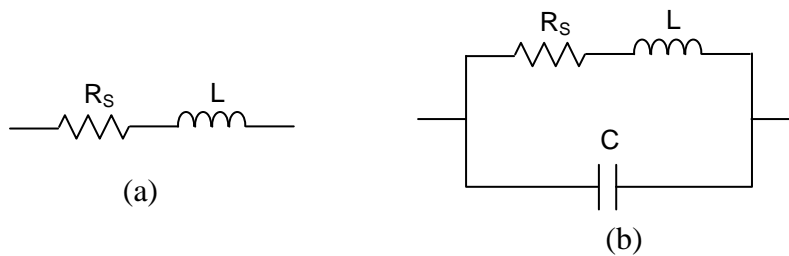
❖ Năng lượng nạp vào cuộn cảm

Dòng điện chạy qua cuộn cảm tạo ra năng lượng trữ dưới dạng từ trường.

$$W_L = \frac{1}{2} LI^2 \quad (2.32)$$

2.3.3. Mạch tương đương của cuộn cảm

Ngoài hệ số tự cảm L , một cuộn cảm thực tế còn có điện trở tổn hao (điện trở nối tiếp) R_s , có khi kể đến điện dung kí sinh C như mạch tương đương ở hình 2.23.



Hình 2.27. Mạch tương đương chưa kể điện dung kí sinh (a), kể đến điện dung kí sinh (b).

Hệ số phẩm chất Q (Quality Factor):

$$Q = \frac{X_L}{R_s} \quad (2.33)$$

R_s : điện trở nối tiếp (Ω)

Cảm kháng là đại lượng đặc trưng cho sức cản điện của cuộn cảm.

X_L : cảm kháng (Ω)

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad (2.34)$$

ω : tần số góc (rad/s)

L : hệ số tự cảm (H)

f : tần số (Hz)

2.3.4. Hiện tượng tự cảm

Nếu dòng điện I chạy trong một cuộn cảm thay đổi theo thời gian, thì cuộn cảm sẽ tự cảm ứng và sinh ra một sức điện động cảm ứng.

$$e = -n \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (2.35)$$

ΔI : độ biến thiên dòng điện (A)

$\Delta\phi$: độ biến thiên từ thông (wb)

Δt : khoảng thời gian biến thiên (s)

L: hệ số tự cảm (H)

e: sức điện động cảm ứng (V)

n: số vòng dây quấn của cuộn cảm.

Sức điện động cảm ứng sinh ra dòng điện gọi là dòng điện cảm ứng.

2.3.5. HỖ CẢM

Khi có hai hay nhiều cuộn cảm thì sự thay đổi dòng điện trong một cuộn cảm sẽ làm từ thông thay đổi, các cuộn cảm còn lại phản ứng bằng cách sinh ra các sức điện động cảm ứng. Khi đó người ta gọi là có hiện tượng hồ cảm giữa các cuộn cảm.

Kí hiệu: M

Đơn vị đo: Henri (H)

Ví dụ: có hai cuộn cảm L_1, L_2 đặt gần nhau. Khi dòng qua L_1 thay đổi, từ trường sinh ra từ cuộn L_1 làm ảnh hưởng đến cuộn L_2 và ngược lại. Như vậy đã có hiện tượng hồ cảm giữa hai cuộn cảm L_1, L_2 . Hệ số hồ cảm:

$$M = K\sqrt{L_1L_2} \quad (2.36)$$

L_1, L_2 : hệ số tự cảm (H)

M: hệ số hồ cảm (H)

K: hệ số liên kết (hệ số ghép), $0 \leq K \leq 1$

Hệ số K tùy thuộc cách ghép. Nếu hai cuộn dây cùng quấn trên một lõi từ thì $K = 1$; hai cuộn dây đặt xa nhau, không ảnh hưởng lẫn nhau hay có chắn từ ở giữa hay đặt thẳng góc với nhau thì $K = 0$.

2.3.6. Cách mắc cuộn cảm

a. Mắc nối tiếp



$$L_{td} = L_1 + L_2 \quad (2.37)$$

Hình 2.28. Cuộn cảm mắc nối tiếp

b. Mắc song song

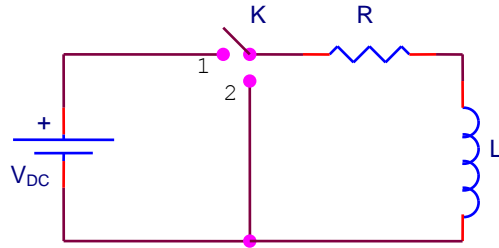


$$\frac{1}{L_{td}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \quad (2.38)$$

Hình 2.29. Cuộn cảm mắc song song

2.3.7. Hiện tượng nạp – xả của cuộn cảm

Xét mạch như hình 2.26, giả sử cuộn cảm chưa tích trữ năng lượng điện. Bật khóa K sang vị trí số 1 cuộn cảm phát sinh sức điện động cảm ứng bằng nguồn V_{DC} nhưng ngược dấu để chống lại dòng điện do nguồn V_{DC} cung cấp, do đó lúc đầu dòng điện chạy qua cuộn cảm bằng không. Sau đó dòng điện qua cuộn cảm tăng lên theo biểu thức sau:



Hình 2.30. Mạch khảo sát hiện tượng nạp - xả của cuộn cảm.

$$i_L(t) = \frac{V_{DC}}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (2.39a)$$

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (2.39b)$$

τ là thời hằng nạp – xả của cuộn cảm.

Ngược với dòng điện, hiệu điện thế giữa hai đầu cuộn cảm lúc đầu bằng nguồn V_{DC} nhưng sau đó giảm dần theo biểu thức:

$$v_L(t) = V_{DC} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2.40)$$

Sau thời gian 5τ thì cuộn cảm xem như được nạp đầy, nếu không có tác động khác thì hiện tượng vẫn không thay đổi.

Khi cuộn cảm nạp đầy ta bật khóa K sang vị trí số 2. Dòng điện xả được thay đổi theo hàm số mũ:

$$i_L(t) = \frac{V_{DC}}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2.41)$$

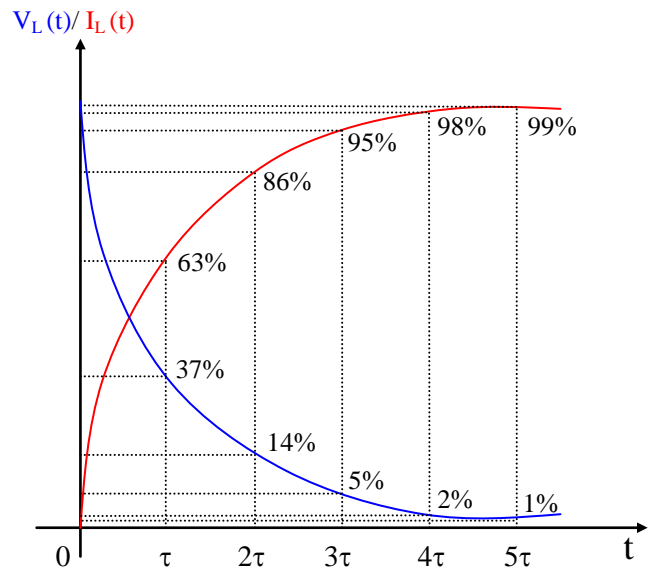
Trong quá trình xả năng lượng điện thì hiệu điện thế giữa hai đầu cuộn cảm thay đổi theo biểu thức:

$$v_L(t) = V_{DC} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2.42)$$

Sau thời gian 5τ thì cuộn cảm sẽ xả hết năng lượng điện đã tích trữ của nó.

2.3.8. Phân loại – ứng dụng

Có nhiều cách phân loại cuộn cảm:



Hình 2.31. Đặc tuyến nạp của cuộn cảm.

Phân loại theo kết cấu: cuộn cảm 1 lớp, cuộn cảm nhiều lớp, cuộn cảm có lõi không khí, cuộn cảm có lõi sắt bụi, cuộn cảm có lõi sắt lá...

Phân loại theo tần số làm việc: cuộn cảm âm tần, cuộn cảm cao tần.

Cuộn cảm 1 lớp lõi không khí: gồm một số vòng dây quấn vòng nọ sát vòng kia hoặc cách nhau vài lần đường kính sợi dây. Dây có thể cuốn trên khung đỡ bằng vật liệu cách điện cao tần (gốm; thủy tinh; nhựa...) hay nếu cuộn cảm đủ cứng thì có thể không cần khung đỡ mà chỉ cần hai kẹp giữ hai bên. Loại dây sử dụng: dây đồng thường ($f > 50$ MHz) hay dây Litz ($f < 2$ MHz).

Cuộn cảm nhiều lớp lõi không khí: khi trị số cuộn cảm lớn, cần có số vòng dây nhiều, nếu quấn một lớp thì chiều dài cuộn cảm quá dài và điện dung ký sinh quá lớn. Để kích thước hợp lý và giảm được điện dung ký sinh, người ta quấn các vòng của cuộn cảm thành nhiều lớp chồng lên nhau theo kiểu tổ ong (kiểu toàn dụng tiến).

Cuộn cảm có lõi sắt bụi (bột sắt từ): để rút ngắn kích thước của hai loại trên bằng cách lồng vào giữa nó một lõi ferit. Thân lõi có răng xoắn ốc. Hai đầu có khía 2 rãnh. Người ta dùng một cái quay vít nhựa để điều chỉnh lõi lên xuống trong lòng cuộn cảm để tăng hay giảm trị số điện cảm của cuộn cảm.

Hình dáng lõi có dạng hình trụ hay hình xuyên. Tần số làm việc: 100 kHz – 100 MHz.

Cuộn cảm có lõi sắt miếng (sắt lá): dùng dây đồng tráng men cách điện, được quấn thành từng lớp đều đặn, vòng nọ sát vòng kia, lớp nọ sát lớp kia bằng một lượt giấy bóng cách điện. Lõi từ là các lá thép Si, thép Si hạt định hướng. Hình dáng lõi: dạng chữ E, I, U, T, Mỗi lá thép được cách điện bởi lớp phủ rất mỏng oxit sắt, thép Si hoặc varnis. Vật liệu cách điện làm tăng điện trở trong phần cắt ngang của lõi để giảm dòng điện xoáy nhưng vẫn cho phép mật độ từ thông cao qua lõi.



Hình 2.32. Một số dạng cuộn cảm.

Hiện nay, nhà sản xuất đã chế tạo nhiều loại cuộn cảm có sẵn dưới dạng linh kiện dự trữ để ta có thể dùng ngay hoặc để đáp ứng nhu cầu riêng ta thiết kế quấn dây, chọn lõi cho cuộn cảm. Sau đây là ba cách quấn dây để tham khảo, cách quấn hình (c) có điện dung ký sinh nhỏ hơn hai cách kia.

Cuộn cảm được ứng dụng làm micro điện động, loa điện động, rờle, biến áp, cuộn dây trong đầu đọc đĩa,.... Trong mạch điện tử, cuộn cảm có thể ở mạch lọc nguồn, mạch lọc tần số, mạch dao động cộng hưởng, mạch tạo (chỉnh sửa) dạng sóng, dạng xung,...

2.4. Biến thế

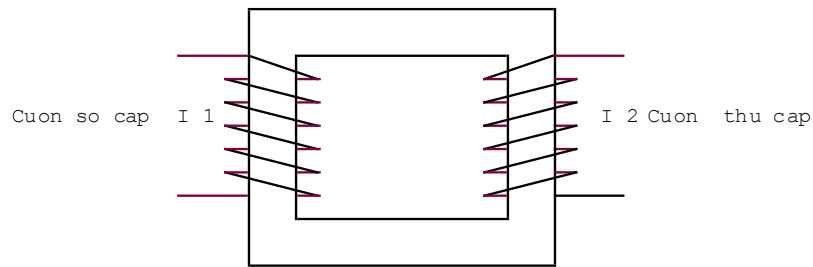
2.4.1. Khái niệm

Biến thế (transformer) là dụng cụ dùng để biến đổi điện áp hay dòng điện xoay chiều nhưng vẫn giữ nguyên tần số.

2.4.2. Cấu tạo – kí hiệu

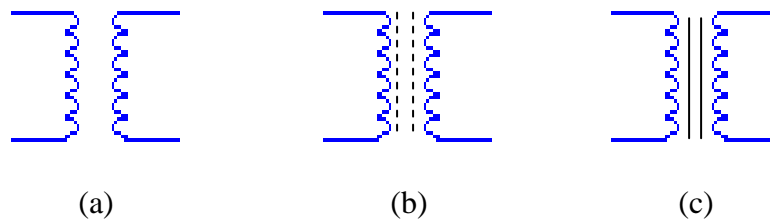
Cấu tạo và hình dạng của biến thế như hình 2.29. Biến thế gồm 2 cuộn dây đồng tráng men cách điện quấn trên một lõi thép từ khép kín: cuộn nhận điện áp vào gọi là cuộn sơ cấp, cuộn cho lấy điện áp ra là cuộn thứ cấp. Lõi từ không phải là một khối sắt mà gồm nhiều lá sắt mỏng ghép song song cách điện nhau để tránh dòng điện xoáy (Foucault) làm nóng biến thế.

Ngoài ra, lõi của biến thế có thể là sắt bụi hay không khí.



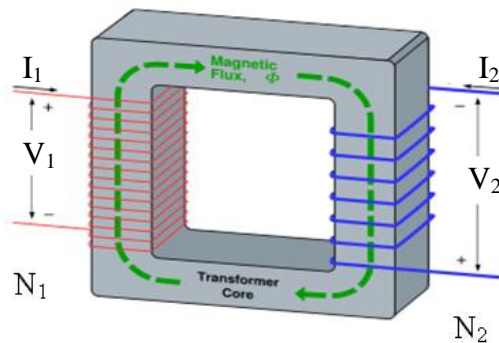
Hình 2.33. Cấu tạo của biến thế.

Kí hiệu của biến thế như hình 2.30.



Hình 2.34. Kí hiệu biến thế lõi không khí (a), lõi sắt bụi (b), lõi sắt lá (c).

2.4.3. Nguyên lý hoạt động



Hình 2.35. Cấu tạo của biến thế.

Khi cho dòng điện xoay chiều có điện thế V_1 vào cuộn sơ cấp, dòng điện I_1 sẽ tạo ra từ trường biến thiên chạy trong mạch từ và sang cuộn dây thứ cấp, cuộn thứ cấp nhận

được từ trường biến thiên sẽ làm từ thông qua cuộn dây thay đổi, cuộn thứ cấp cảm ứng cho ra dòng điện xoay chiều có điện thế V_2 .

$$V_1 = -N_1 \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (2.43)$$

$$V_2 = -N_2 \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (2.44)$$

N_1 : số vòng dây của cuộn sơ cấp.

N_2 : số vòng dây của cuộn thứ cấp.

V_1 : điện áp vào hai đầu cuộn sơ cấp.

V_2 : điện áp lấy ra ở hai đầu cuộn thứ cấp.

$\Delta\phi$: độ biến thiên từ thông (wb)

Δt : khoảng thời gian biến thiên (s)

2.4.4. Các công thức của biến thế

Tỉ lệ về điện thế $\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (2.45)$

Tỉ lệ dòng điện: $\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.46)$

Tỉ lệ về công suất: $P_1 = V_1 I_1 ; \quad P_2 = V_2 I_2$

Lí tưởng ta có: $P_1 = P_2 \quad (2.47a)$

$$\Leftrightarrow V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2$$

Thực tế: $P_2 < P_1 \quad (2.47b)$

Hiệu suất: $\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% \quad (2.47c)$

Tỉ lệ về tổng trở: $R_2 = \frac{V_2}{I_2} ; \quad R_1 = \frac{V_1}{I_1}$

$$\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \quad (2.48)$$

2.4.5. Phân loại - ứng dụng

Dựa theo tần số làm việc: biến thế âm tần, biến thế trung tần, biến thế cao tần.

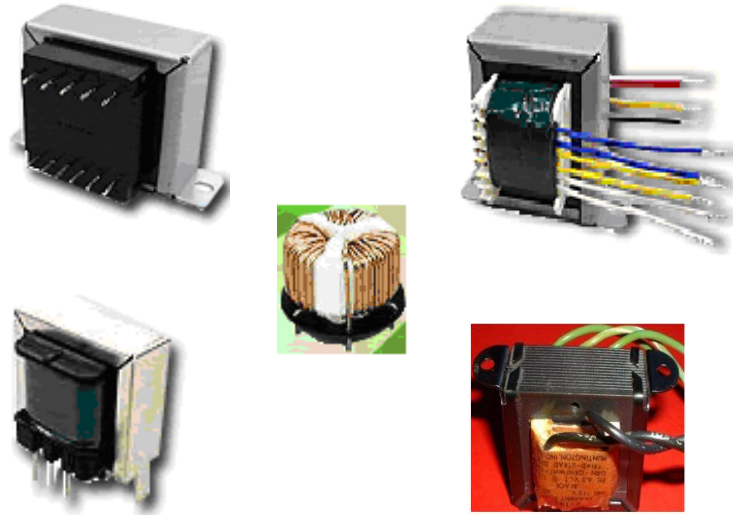
Dựa theo cấu tạo: biến thế có lõi sắt lá, biến thế có lõi sắt bụi, biến thế có lõi không khí,...

Dựa theo mục đích sử dụng: biến thế nguồn, biến thế loa, biến thế xuất âm, biến thế xung, biến thế đảo pha,...

Ứng dụng chủ yếu của biến thế là làm thay đổi điện thế, dòng điện theo yêu cầu thực tế.

Biến thế cộng hưởng là biến thế cao tần, cuộn sơ cấp hoặc cuộn thứ cấp được mắc song song với một tụ điện, hình thành mạch cộng hưởng. Nếu cả hai cuộn đều có mắc tụ

điện thì ta có biến thể cộng hưởng kép. Lõi của biến thể cộng hưởng làm bằng ferrite có thể điều chỉnh được. Một số biến thể cộng hưởng dùng ở tần số cao hơn có lõi không khí.



Hình 2.36. Hình dạng của biến thể.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Điện trở là gì? Hãy kể tên một số loại điện trở và nói vài ứng dụng của nó. Nêu vài cách đọc trị số điện trở.
2. Điện trở của dây dẫn là gì? Nêu công thức tính và cho biết tên, đơn vị của các đại lượng trong công thức. Điện trở của dây dẫn phụ thuộc vào những yếu tố nào của dây?
3. Tìm hiểu định luật Ohm, định luật Kirchhoff, ứng dụng của nó.
4. Điện trở có mấy cách mắc cơ bản? Hãy kể tên và vẽ đoạn mạch tương ứng gồm hai điện trở. Viết biểu thức quan hệ giữa các đại lượng I , U , R trong đoạn mạch. Nêu nhận xét.
5. Tụ điện là gì? Hãy kể tên một số loại tụ điện và nói vài ứng dụng của nó. Nêu vài cách đọc trị số điện dung.
6. Điện dung là gì? Nêu công thức tính và cho biết tên, đơn vị của các đại lượng trong công thức. Điện dung phụ thuộc vào những yếu tố nào của tụ điện?
7. Dung kháng là gì? Nêu công thức tính và cho biết tên, đơn vị của các đại lượng trong công thức. Dung kháng phụ thuộc vào những yếu tố nào?
8. Tụ điện có mấy cách mắc cơ bản? Hãy kể tên và vẽ đoạn mạch tương ứng gồm hai tụ điện. Viết biểu thức quan hệ giữa các đại lượng Q , U , C trong đoạn mạch. Nêu nhận xét.
9. Trình bày hiện tượng nạp – xả của tụ. Viết biểu thức tính dòng điện, hiệu điện thế giữa hai đầu tụ trong quá trình nạp, xả của tụ điện. Nêu nhận xét.
10. Viết công thức tính năng lượng tích trữ vào tụ. cho biết tên, đơn vị của các đại lượng trong công thức.
11. Cuộn cảm là gì? Hãy kể tên một số loại Cuộn cảm và nói vài ứng dụng của nó. Nêu vài cách đọc trị số điện cảm.
12. Hệ số tự cảm là gì? Nêu công thức tính và cho biết tên, đơn vị của các đại lượng trong công thức. Hệ số tự cảm phụ thuộc vào những yếu tố nào của cuộn cảm?
13. Cảm kháng là gì? Nêu công thức tính và cho biết tên, đơn vị của các đại lượng trong công thức. Cảm kháng phụ thuộc vào những yếu tố nào?
14. Trình bày hiện tượng nạp – xả của cuộn cảm. Viết biểu thức tính dòng điện, hiệu điện thế giữa hai đầu cuộn cảm trong quá trình nạp, xả của cuộn cảm. Nêu nhận xét.
15. Viết công thức tính năng lượng tích trữ vào cuộn cảm. cho biết tên, đơn vị của các đại lượng trong công thức.
16. So sánh quá trình nạp – xả của tụ với quá trình nạp – xả của cuộn cảm.
17. Biên thế là gì? Hãy kể tên một số loại biên thế và nói vài ứng dụng của nó.
18. Nêu nguyên lý hoạt động của biên thế.
19. Cho biết các công thức của biên thế.
20. Hãy kể tên và vẽ kí hiệu của những linh kiện đã học.

CHẤT BÁN DẪN – DIODE

3.1. Chất bán dẫn

3.1.1. Khái niệm

Sự dẫn điện của một chất tùy thuộc vào số điện tử (electron) nằm ở lớp vỏ ngoài cùng của nguyên tử. Dựa trên cơ sở này người ta xác định sự dẫn điện của một chất như sau:

- Chất dẫn điện (conductor) là một chất có số điện tử ở lớp ngoài cùng ít hơn rất nhiều so với số điện tử bão hòa của lớp đó.
- Chất cách điện (insulator) là một chất có số điện tử ở lớp ngoài cùng bằng hoặc gần bằng số điện tử bão hòa của lớp đó.
- Chất bán dẫn (semiconductor) là một chất có số điện tử ở lớp ngoài cùng nằm khoảng giữa hai loại trên.

Ngoài ra, người ta có thể phân biệt chất dẫn điện, chất cách điện, chất bán dẫn, dựa theo khái niệm điện trở suất, điện dẫn suất,... Có thể nói chất bán dẫn có độ dẫn điện nằm khoảng giữa kim loại và chất cách điện. Ta có thể điều chỉnh, thay đổi độ dẫn điện của chất bán dẫn.

Chất bán dẫn dạng nguyên tố được tìm thấy trong nhóm IV của bảng hệ thống tuần hoàn. Loại tiêu biểu của ngành điện tử: Silicium (Si), Germanium (Ge).

Chất bán dẫn dạng hợp chất được tạo thành bằng cách kết hợp các nguyên tố ở nhóm III và V, II và VI, có loại hợp chất gồm ba hay bốn nguyên tố. Ví dụ: AlGaAs, GaAsP, AlGaAsSb, GaInAsP. Trường hợp đặc biệt dạng hợp chất nhóm IV: SiC, SiGe.

- Hợp chất gồm hai nguyên tố III và V: AlAs, AlP, AlSb, GaAs, GaP, GaSb, InAs, InP, InSb.
- Hợp chất gồm hai nguyên tố II và VI : CdSi, CdTe, HgS, ZnS, ZnTe.

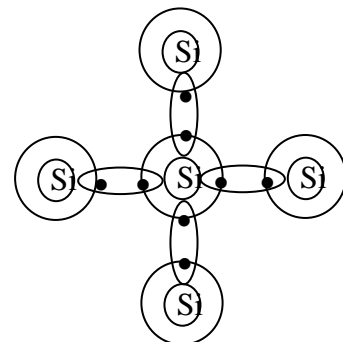
3.1.2. Bán dẫn thuần

- Khái niệm: Bán dẫn thuần là bán dẫn duy nhất không pha thêm chất khác vào.

- Sự dẫn điện của bán dẫn thuần :

Xét bán dẫn tinh khiết Si, Si có 4 điện tử ở lớp ngoài cùng, 4 điện tử này sẽ liên kết với 4 điện tử của bốn nguyên tử kế cận nó, hình thành mỗi liên kết gọi là liên kết cộng hóa trị.

Ở nhiệt độ thấp các liên kết đó bền vững nên tất



Hình 3.1. Cấu trúc tinh thể Si.

cả các điện tử bị ràng buộc trong mạng tinh thể, do đó Si không dẫn điện.

Ở nhiệt độ tương đối cao hoặc được cung cấp năng lượng dưới dạng khác: chiếu ánh sáng,... một trong những mối liên kết bị phá vỡ, điện tử thoát ra trở thành điện tử tự do, để lại trong mạng tinh thể một chỗ trống thiếu điện tử gọi là lỗ trống, lỗ trống mang điện tích dương. Nhiệt độ càng cao thì số điện tử tự do và lỗ trống hình thành càng nhiều nhưng mật độ của chúng (nồng độ trong một đơn vị thể tích) là bằng nhau và thường kí hiệu $n_i = p_i$ (3.1)

Khi không có điện trường thì điện tử tự do và lỗ trống chuyển động nhiệt hỗn loạn không ưu tiên theo phương nào nên không có dòng điện.

Khi có điện trường đặt vào tinh thể bán dẫn, dưới tác dụng của lực điện trường điện tử và lỗ trống chuyển động có hướng: điện tử chuyển động ngược chiều điện trường, lỗ trống chuyển động cùng chiều điện trường làm xuất hiện dòng điện trong bán dẫn.

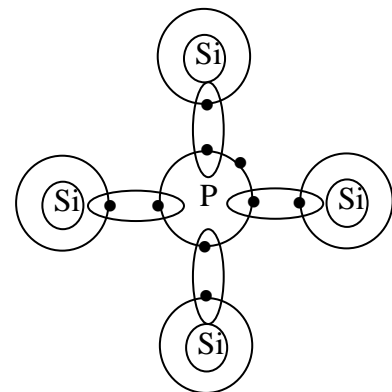
Như vậy, dòng điện trong bán dẫn thuần là dòng chuyển dời có hướng của điện tử tự do và lỗ trống dưới tác dụng của điện trường.

3.1.3. Bán dẫn tạp chất

Bán dẫn tạp chất là bán dẫn có pha thêm chất khác vào. Tùy vào chất khác là chất nào mà có hai loại bán dẫn tạp chất: bán dẫn loại N và bán dẫn loại P.

a. Bán dẫn loại N

Pha thêm một lượng rất ít phosphore (P) vào chất bán dẫn Si theo tỉ lệ $\frac{1}{10^8}$, sự dẫn điện của Si tăng lên 10 lần. P là chất ở nhóm V, có 5 điện tử ở lớp ngoài cùng. Bốn điện tử của nguyên tử P liên kết với 4 điện tử của bốn nguyên tử Si khác nhau nằm cận nó. Như vậy, P còn thừa lại một điện tử không nằm trong liên kết hóa trị. Điện tử thừa này rất dễ dàng trở thành điện tử tự do, nguyên tử tạp chất P khi đó bị ion hóa và trở thành một ion dương. Nếu có điện trường áp vào, các hạt dẫn tự do sẽ chuyển động có hướng, tạo nên dòng điện. Nếu pha chất P càng nhiều thì độ dẫn điện của bán dẫn Si càng tăng lên.



Hình 3.2. Bán dẫn loại N.

Tạp chất ở nhóm V cung cấp điện tử cho chất bán dẫn cơ bản nên được gọi là tạp chất cho (donor). Chất bán dẫn có pha thêm tạp chất ở nhóm V gọi là bán dẫn loại N (Negative).

Nếu gọi N_d là nồng độ tạp chất chứa trong một đơn vị thể tích chất bán dẫn cơ bản thì khi được cung cấp năng lượng đầy đủ, toàn bộ các nguyên tử tạp chất đã bị ion hóa. Nồng độ điện tử tự do do tạp chất cung cấp là:

$$n_d = N_d \quad (3.2)$$

Ngoài số điện tử tự do nhờ tạp chất cung cấp, chất bán dẫn cơ bản vẫn có quá trình sinh ra các cặp điện tử - lỗ trống do tác động của nhiệt độ (hoặc ánh sáng,...) giống như bán dẫn thuần. Vậy tổng nồng độ điện tử tự do trong chất bán dẫn loại N là:

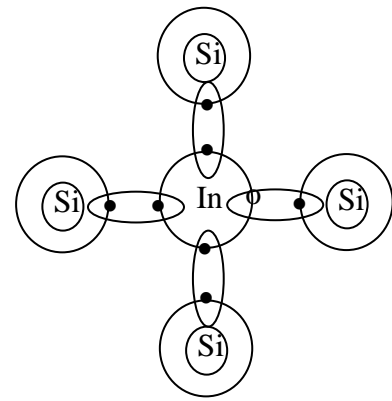
$$n_n = N_d + p_n \quad (3.3)$$

p_n là nồng độ lỗ trống trong bán dẫn loại N. $n_n > p_n$ nên bán dẫn loại N có hạt tải dẫn điện đa số là điện tử, hạt tải dẫn điện thiểu số là lỗ trống. Có trường hợp người ta bỏ qua vai trò của hạt tải dẫn điện thiểu số, lấy gần đúng đối với bán dẫn loại N là:

$$n_n \approx N_d \quad (3.4)$$

b. Bán dẫn loại P

Pha thêm một lượng rất ít Bore (B) vào chất bán dẫn Si theo tỉ lệ $\frac{1}{10^8}$, sự dẫn điện của Si tăng lên hơn 10 lần. B là chất ở nhóm III, có 3 điện tử ở lớp ngoài cùng. Ba điện tử của nguyên tử B liên kết với 3 điện tử của ba nguyên tử Si kế cận nó. Như vậy, B còn thiếu một điện tử cho liên kết cuối cùng. Nó dễ dàng nhận thêm một điện tử của nguyên tử gần nó có nghĩa là chỉ cần một kích thích nó (nhiệt độ, ánh sáng) là một trong những điện tử của các mối liên kết hoàn chỉnh bên cạnh sẽ đến thế vào mối liên kết thứ tư (mối liên kết thiếu điện tử ở trên). Nguyên tử tạp chất lúc đó trở thành ion âm, điều này làm phát sinh một lỗ trống. Như vậy, cứ có một nguyên tử tạp chất thì có thêm một lỗ trống, nồng độ tạp chất càng cao thì số lỗ trống càng nhiều. Nếu có điện trường áp vào thì các lỗ trống này sẽ tham gia dẫn điện.



Hình 3.3. Bán dẫn loại P.

Tạp chất ở nhóm III tiếp nhận điện tử từ chất bán dẫn cơ bản để sinh ra các lỗ trống nên được gọi là tạp chất nhận (acceptor). Chất bán dẫn có pha thêm tạp chất ở nhóm III gọi là bán dẫn loại P (Positive).

Nếu gọi N_a là nồng độ tạp chất chứa trong một đơn vị thể tích chất bán dẫn cơ bản thì khi được cung cấp năng lượng đầy đủ, toàn bộ các nguyên tử tạp chất đã bị ion hóa. Nồng độ điện tử tự do do tạp chất cung cấp là:

$$p_a = N_a \quad (3.5)$$

Ngoài số lỗ trống do tạp chất tạo ra, trong chất bán dẫn cơ bản cũng có quá trình sinh ra các cặp điện tử - lỗ trống do tác động của nhiệt độ (hoặc ánh sáng,...) giống như bán dẫn thuần. Vậy p_p là tổng nồng độ lỗ trống trong chất bán dẫn loại P; n_p là nồng độ điện tử trong bán dẫn loại P. Ta có:

$$p_p = N_a + n_p \quad (3.6)$$

Ta thấy $p_p > n_p$ nên bán dẫn loại P có hạt tải dẫn điện đa số là lỗ trống, hạt tải dẫn điện thiểu số là điện tử. Có trường hợp người ta bỏ qua vai trò của hạt tải dẫn điện thiểu số, lấy gần đúng đối với bán dẫn loại P là:

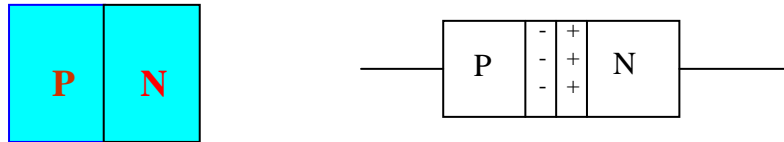
$$p_p \approx N_a \quad (3.7)$$

3.1.4. Mối nối P – N

*Chuyển động biểu kiến của lỗ trống.

Giả sử điện tử ở tại vị trí số 1, lỗ trống ở vị trí số 2, điện tử dịch chuyển từ 1 sang 2 để lại bên 2 điện tử và bên 1 lỗ trống. Như vậy, điện tử dịch chuyển từ 1 sang 2 còn lỗ trống được xem như dịch chuyển từ 2 sang 1. Sự dịch chuyển của lỗ trống gọi là chuyển động biểu kiến của lỗ trống. Điều này cho ta thấy điện tử và lỗ trống chuyển động ngược chiều nhau, điện tử di chuyển từ âm sang dương, ngược lại lỗ trống di chuyển từ dương sang âm.

Sau khi hình thành mẫu bán dẫn loại P, N; cho hai mẫu bán dẫn này tiếp xúc với nhau. Ta được một lớp tiếp xúc P – N (mối nối P - N). Tại nơi tiếp xúc P - N có hiện tượng trao đổi điện tích. Điện tử từ vùng N khuếch tán sang vùng P và ngược lại lỗ trống từ vùng P khuếch tán sang vùng N. Sự dịch chuyển này tạo ra dòng thuận (dòng khuếch tán) i_F có chiều từ P → N.



Hình 3.4. Mối nối P – N.

Tại nơi tiếp xúc điện tử và lỗ trống tái hợp nhau, bên vùng P sẽ tồn tại điện tích âm (ion âm), bên vùng N sẽ tồn tại điện tích dương (ion dương) → tồn tại một điện trường trong (điện trường nội tại) tạo ra dòng điện nghịch (dòng điện trôi) i_N . i_N ngược chiều với i_F . Khi $i_N = i_F$ thì sự khuếch tán của các hạt tải đa số ngừng lại.

Vùng cận mặt tiếp xúc gọi là vùng hiếm (vùng khiếm khuyết). Ở trạng thái cân bằng, hiệu điện thế tiếp xúc giữa bán dẫn P và bán dẫn N có một giá trị nhất định V_γ . Hiệu thế này ngăn cản, không cho hạt tải (hạt dẫn) tiếp tục di chuyển qua mặt ranh giới, duy trì trạng thái cân bằng, nên được gọi là hàng rào điện thế.

Bán dẫn chính (bán dẫn cơ bản) loại Si có $V_\gamma = 0,6 \text{ V}$

Ge có $V_\gamma = 0,2 \text{ V}$

3.2. Diode bán dẫn

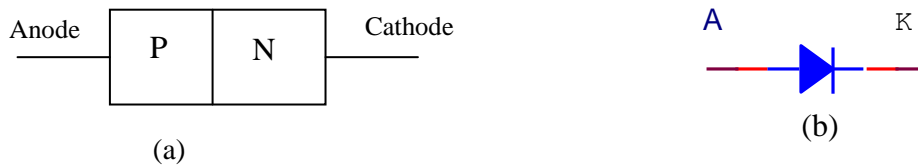
3.2.1. Cấu tạo – kí hiệu

Diode bán dẫn (semiconductor diode) là dụng cụ bán dẫn có một mối nối P- N. Từ mẫu bán dẫn loại P tiếp xúc kim loại đưa chân ra (cực ra) anode (A: cực dương). Mẫu bán dẫn

loại N tiếp xúc kim loại đưa chân ra cathode (K: cực âm). Bên ngoài có bọc bởi lớp plastic.

Có nhiều công nghệ chế tạo: cấy ion, khuếch tán chất kích tạp vào bán dẫn có tạp chất loại ngược lại, kéo lớp epitaxy,....

Ví dụ: Một diode có thể tạo ra bằng cách bắt đầu với mẫu bán dẫn loại N có pha tạp chất N_d và chuyển đổi có chọn lọc một phần của mẫu bán dẫn thành loại P bằng cách thêm các tạp chất nhận điện tử có $N_a > N_d$. Điểm mà vật liệu thay đổi từ loại P sang loại N được gọi là tiếp xúc luyện kim (mối nối luyện kim) (metallurgical junction). Mẫu bán dẫn loại P tiếp xúc kim loại đưa ra cực anode (A). Mẫu bán dẫn loại N tiếp xúc kim loại đưa ra cực Cathode (K).



A: Anode: cực dương
K: Cathode: cực âm

Hình 3.5. Cấu tạo (a), kí hiệu (b) của diode.

3.2.2. Nguyên lí hoạt động

Ta có thể cấp điện để diode ở một trong những trạng thái sau:

$V_A > V_K$: $V_{AK} > 0$: diode phân cực thuận.

$V_A = V_K$: $V_{AK} = 0$: diode không phân cực.

$V_A < V_K$: $V_{AK} < 0$: diode phân cực nghịch.

a. Phân cực thuận

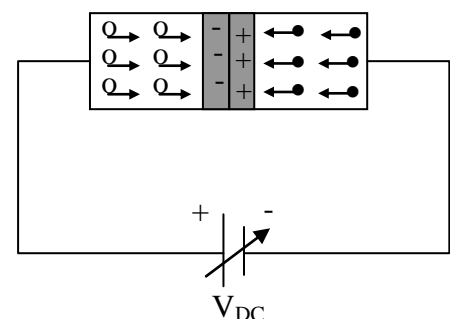
Phân cực thuận diode: ta nối A với cực dương của nguồn, K với cực âm của nguồn.

Điện tích âm của nguồn đẩy điện tử trong N về lớp tiếp xúc. Điện tích dương của nguồn đẩy lỗ trống trong P về lớp tiếp xúc, làm cho vùng khiếm khuyết càng hẹp lại. Khi lực đẩy đủ lớn thì điện tử từ vùng N qua lớp tiếp xúc, sang vùng P và đến cực dương của nguồn....Lực đẩy đủ lớn là lúc diode có V_{AK} đạt giá trị V_γ , lúc này diode có dòng điện chạy theo chiều từ A sang K.

V_γ được gọi là điện thế ngưỡng (điện thế thềm, điện thế mở).

Đối với loại Si có $V_\gamma = 0,6 \text{ V}$ (0,7 V); Ge có $V_\gamma = 0,2 \text{ V}$.

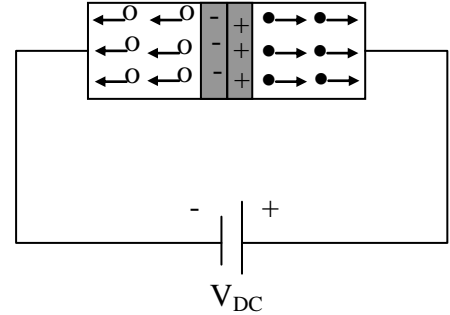
b. Phân cực nghịch



Hình 3.6. Mạch phân cực thuận diode.

Phân cực thuận diode: ta nối A với cực âm của nguồn, K với cực dương của nguồn.

Điện tích âm của nguồn sẽ hút lỗ trống của vùng P, điện tích dương của nguồn sẽ hút điện tử của vùng N, làm cho điện tử và lỗ trống càng xa nhau hơn. Vùng khiếm khuyết càng rộng ra nên hiện tượng tái hợp giữa điện tử và lỗ trống càng khó khăn hơn. Như vậy, sẽ không có dòng qua diode. Tuy nhiên, ở mỗi vùng bán dẫn còn có hạt tải thiểu số nên một số rất ít điện tử và lỗ trống được tái hợp tạo nên dòng điện nhỏ đi từ N qua P gọi là dòng nghịch (dòng rỉ, dòng rò). Dòng này rất nhỏ cỡ vài nA. Nhiều trường hợp coi như diode không dẫn điện khi phân cực nghịch. Tăng điện áp phân cực nghịch lên thì dòng xem như không đổi, tăng quá mức thì diode hư (bị đánh thủng). Nếu xét dòng điện rỉ thì diode có dòng nhỏ chạy theo chiều từ K về A khi phân cực nghịch.



Hình 3.7. Mạch phân cực nghịch diode.

c. Không phân cực:

Khi ta dùng nguồn V_{DC} điều chỉnh được và chỉnh về 0, lúc đó mạch có $V_A = V_K = 0$ hay $V_{AK} = 0$ hoặc trường hợp khác $V_A = V_K \neq 0$ nhưng V_{AK} vẫn bằng 0. Lúc này diode không được phân cực. Vì không có sự chênh lệch điện thế nên không có sự dịch chuyển của các hạt tải nên không có dòng điện.

3.2.3. Đặc tuyến Volt – Ampe

I_S : dòng nghịch bão hòa.

V_γ : điện thế ngưỡng.

V_B : điện thế đánh thủng.

k: hằng số Boltzman, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J}^0\text{K}$

T: nhiệt độ tuyệt đối của chất bán dẫn, ở nhiệt độ thường $T = 300^0\text{K}$.

$$\varphi_T = \frac{kT}{q} = 0,025 \text{ V} \approx 0,026 \text{ V} = 26 \text{ mV} \quad (3.8)$$

$$I_D = I_S \left(e^{\left(\frac{V_D}{0,026} \right)} - 1 \right)$$

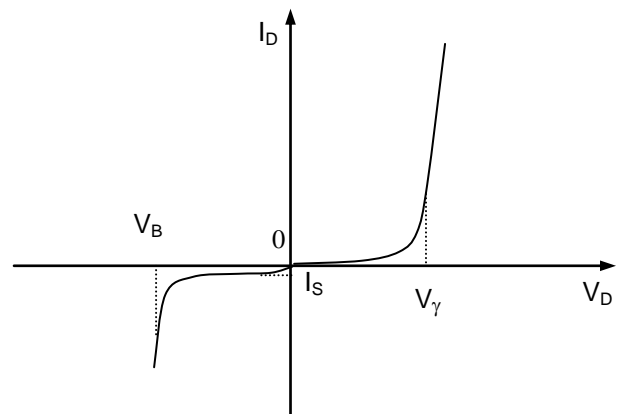
(3.9a)

$$\text{Phân cực thuận: } V_D > 0 \Rightarrow e^{\frac{V_D}{0,026}} \gg 1 \Rightarrow I_D = I_S e^{\frac{V_D}{0,026}} \quad (3.9b)$$

$$\text{Không phân cực: } V_D = 0 \Rightarrow e^{\frac{V_D}{0,026}} = 1 \Rightarrow I_D = I_S (1 - 1) = 0 \quad (3.9c)$$

$$\text{Phân cực nghịch: } V_D < 0 \Rightarrow e^{\frac{V_D}{0,026}} \ll 1 \Rightarrow I_D = I_S (-1) = -I_S \quad (3.9d)$$

Dấu (-) chỉ chiều dòng điện qua diode khi phân cực nghịch ngược với chiều dòng điện qua diode khi phân cực thuận.



Hình 3.8. Đặc tuyến Volt – Ampe.

3.2.4. Điện trở diode

Có hai loại điện trở liên quan đến diode:

- Điện trở tĩnh: điện trở đối với dòng điện một chiều.

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} \tag{3.10}$$

Khi diode được phân cực thuận có dòng lớn chạy qua diode nên điện trở thuận nhỏ.

Khi diode được phân cực nghịch có dòng rì nhỏ chạy qua diode nên điện trở thuận lớn.

Người ta lợi dụng đặc tính này để đo kiểm tra diode bằng máy đo V.O.M.

Điện trở thuận và điện trở nghịch của diode phụ thuộc vào chất bán dẫn làm diode là Ge hay Si theo bảng sau:

	Điện trở thuận	Điện trở nghịch
Diode Si	Vài Ω	vài trăm $k\Omega$
Diode Ge	Vài Ω	vài $M\Omega$

Bảng 3.1. Điện trở của diode.

Kết quả:

Điện trở thuận = điện trở nghịch = 0 Ω thì diode bị đánh thủng.

Điện trở thuận = điện trở nghịch = ∞ thì diode bị đứt.

Điện trở thuận đúng nhưng điện trở nghịch giảm xuống khá nhiều thì diode bị rò, rì không dùng được.

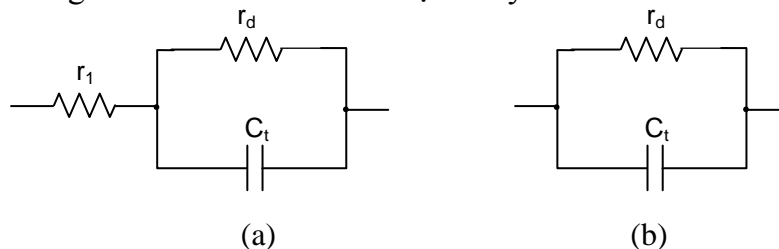
Điện trở thuận, điện trở nghịch đúng như bảng trên thì diode tốt.

Điện trở động: điện trở đối với tín hiệu xoay chiều.

$$r_d = \frac{\Delta v_D}{\Delta i_D} = \frac{0,026}{I_D} \tag{3.11}$$

Ngoài ra, đối với diode lí tưởng: nếu nó được phân cực thuận thì không có điện trở và nếu nó được phân cực nghịch thì có điện trở vô cực. Vậy diode lí tưởng được xem như công tắc (ON hay OFF) phụ thuộc vào cực tính của điện áp đặt vào diode.

Mạch tương đương của diode đối với tín hiệu xoay chiều như hình 3.15.



Hình 3.9. Mạch tương đương của diode đối với tín hiệu xoay chiều.

r_1 : điện trở của hai chất bán dẫn (ngoài vùng hiếm), thường bỏ qua.

r_d : điện trở động (điện trở vi phân): điện trở đối với tín hiệu xoay chiều.

$$r_d = \frac{\Delta v_D}{\Delta i_D} = \frac{0,026}{I_D} \quad (3.12)$$

C_t : điện dung tương đương của diode gồm điện dung môi nối C_j và điện dung khuếch tán C_d .

$$C_t = C_j + C_d \quad (3.13)$$

Trị số C_t thay đổi phụ thuộc điện áp đặt vào diode. Với tín hiệu tần số thấp, ảnh hưởng của C_t có thể bỏ qua. Nhưng với tín hiệu tần số cao thì ảnh hưởng của C_t là đáng kể. Chính điện dung này làm giảm trở kháng theo chiều nghịch ở tần số cao, làm xấu đặc tính chỉnh lưu của diode và làm chậm tốc độ đóng mở khi dùng diode như khóa điện tử.

3.2.5. Phân loại

Như đã biết diode cơ bản là một môi nối P – N nhưng có thể dựa theo kết cấu, dựa theo công dụng mà ta phân biệt các loại diode như sau:

Dựa theo kết cấu lớp tiếp xúc P – N

Có hai loại: diode tiếp điểm và diode tiếp mặt.

Diode tiếp điểm: là diode có mặt tiếp xúc giữa hai lớp bán dẫn P – N rất nhỏ gần như một điểm (thể tích rất nhỏ) được bọc bởi lớp vỏ thủy tinh. Dòng điện định mức rất bé (khoảng vài chục miliampe), điện áp ngược không vượt quá vài chục volt.

Diode tiếp mặt: là diode có mặt tiếp xúc giữa hai lớp bán dẫn P – N là một mặt phẳng, lớp vỏ bên ngoài là nhựa. Dòng điện định mức khá lớn (khoảng vài trăm miliampe đến vài trăm ampe), điện áp ngược đạt đến vài trăm volt.

Dựa vào công dụng

- Diode chỉnh lưu: Hình dạng to, thuộc loại tiếp mặt, hoạt động tần số thấp. Diode chỉnh lưu dùng để đổi điện xoay chiều sang điện một chiều. Đây là loại diode rất thông dụng, thường được bọc nhựa màu đen, có vạch trắng như hình 3.10.



Hình 3.10. Hình dạng diode chỉnh lưu.

Khi dùng cần quan tâm hai thông số: điện áp ngược cực đại và dòng thuận tối đa của diode, có thể mắc nối tiếp để tăng điện áp ngược, mắc song song để tăng dòng chịu đựng.

- Diode tách sóng: hình dạng nhỏ thuộc loại tiếp điểm, hoạt động tần số cao. Cũng làm nhiệm vụ như diode chỉnh lưu nhưng chủ yếu là với tín hiệu nhỏ và ở tần số cao. Diode này chịu dòng từ vài mA đến vài chục mA. Thường là loại Ge.

- Diode xung là diode dùng trong các mạch có tốc độ chuyển trạng thái rất nhanh và nó có tần số hoạt động cao hơn nhiều so với diode thường.

Các máy điện tử hiện đại thường dùng bộ nguồn cung cấp điện theo kiểu ngắt mở (switching), tạo ra dòng điện xoay chiều dạng xung có tần số khá cao, tới vài chục ngàn Hz. Sau đó dùng diode xung để chỉnh lưu thành điện DC cung cấp cho máy. Trong điện tử số, ta có thể dùng diode xung để làm các chuyển mạch điện tử hai trạng thái: dẫn khi phân cực thuận, ngưng (tắt) khi phân cực nghịch.

Hình dạng diode xung cũng tương tự diode thường, muốn phân biệt ta phải dùng sách tra cứu để tra.

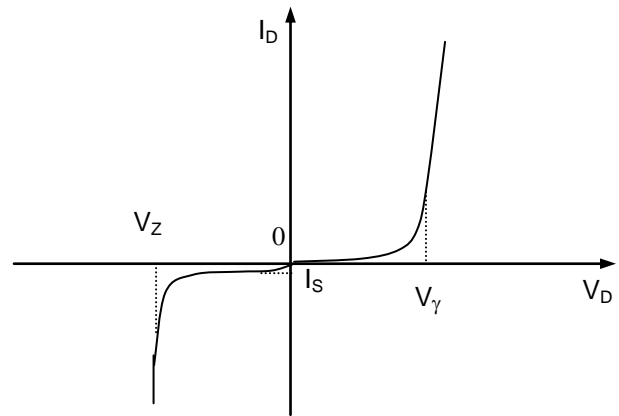
Các thiết bị xung còn dùng loại khác gọi là diode Schottky. Loại này có cấu tạo hơi khác so với diode thường, tốc độ chuyển trạng thái của nó rất cao.

- Diode zener: có cấu tạo giống diode thường nhưng chất bán dẫn được pha tạp chất với tỉ lệ cao hơn và có tiết diện lớn hơn diode thường, thường dùng bán dẫn chính là Si.



Hình 3.11. Kí hiệu của diode zener.

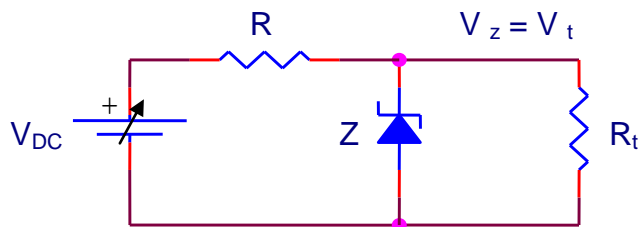
Đặc tuyến volt – ampe trong quá trình đánh thủng gần như song song với trục dòng điện, nghĩa là điện áp giữa A và K gần như không đổi. Ta lợi dụng ưu điểm này để dùng zener làm phân tử ổn định điện áp.



Hình 3.12. Đặc tuyến volt – ampe của diode zener.

Lưu ý: Diode zener dùng để ổn áp khi được phân cực nghịch. Khi phân cực thuận diode zener giống diode thường.

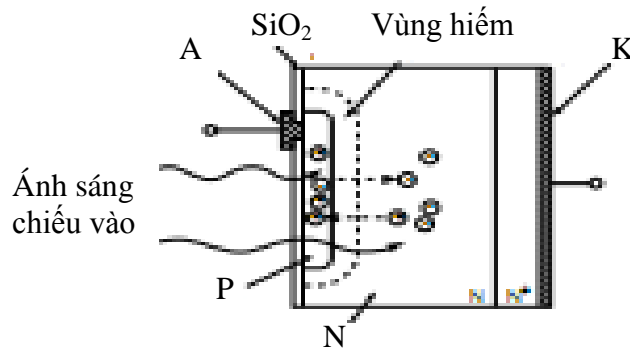
Các nhà chế tạo đã thay đổi nồng độ tạp chất để tạo ra các loại diode zener có giá trị ổn áp V_z khác nhau, ví dụ: 5 V; 6 V; 6,8 V; 7,5 V;...



Hình 3.13. Mạch ổn áp đơn giản.

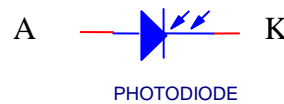
Hình 3.13 là mạch ổn áp đơn giản có điện áp ra trên tải $V_t = V_z$ là một trị số không đổi trong khi điện thế nguồn cung cấp V_{DC} thay đổi. Tuy nhiên cần để ý khi $V_{DC} < V_z$ thì mạch chưa ổn áp, $V_{DC} = V_z$ thì zener mới bắt đầu ghim áp.

- Diode quang - diode cảm quang (photodiode) có cấu tạo bán dẫn giống như diode thường nhưng đặt trong vỏ cách điện có một mặt là nhựa hay thủy tinh trong suốt để nhận ánh sáng bên ngoài chiếu vào mối nối P-N của diode, có loại dùng thấu kính hội tụ để tập trung ánh sáng.



Hình 3.14. Cấu tạo của diode quang.

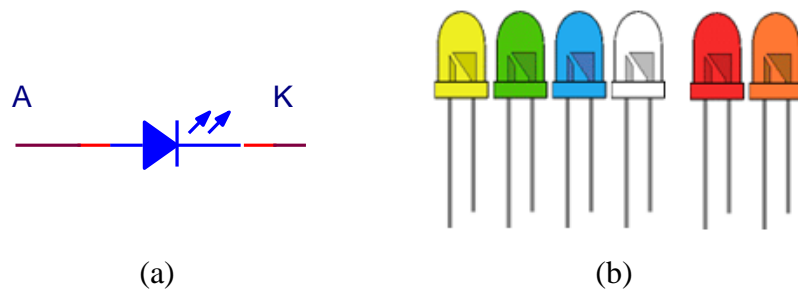
Kí hiệu của diode quang như hình 3.15:



Hình 3.15. Kí hiệu của diode quang

Qua thí nghiệm cho thấy khi photodiode được phân cực thuận thì hai trường hợp mỗi nối P – N được chiếu sáng hay che tối dòng điện thuận qua diode thay đổi ít. Ngược lại diode bị phân cực nghịch, mỗi nối P – N được chiếu sáng thì dòng điện nghịch tăng lên lớn hơn nhiều lần so với khi bị che tối. Do nguyên lí trên nên diode quang được sử dụng ở trạng thái phân cực ngược trong các mạch điều khiển ánh sáng.

- Diode phát quang: LED (Light Emitting Diode)



Hình 3.26. Kí hiệu (a), hình dạng (b) của LED.

Diode phát quang có cấu tạo gồm một mối nối P – N, tiếp xúc kim loại đưa ra cực A (Anode), K (cathode). Diode phát quang được làm từ các chất GaAs, GaP, GaAsP, SiC... Diode phát quang là diode phát sáng khi có dòng chạy qua nó. Diode này có thể phát ra nhiều màu sắc khác nhau.

- Diode GaAs cho ra ánh sáng hồng ngoại mà mắt nhìn không thấy được, nó có sự tái hợp vùng dẫn – vùng hóa trị là trực tiếp. Bước xạ phát sinh chủ yếu là qua sự tái hợp. Năng lượng photon khoảng 1,4eV.

Chương 3: Chất bán dẫn - diode

- Diode GaAsP với sự tái hợp trực tiếp và năng lượng lớn hơn $1,7\text{eV}$ cho ra ánh sáng khả kiến, khi thay đổi hàm lượng photpho sẽ cho ra ánh sáng khác nhau như đỏ, cam, vàng.

- Diode GaP pha thêm tạp chất (Nitơ và ZnO) sẽ có bức xạ cho ra ánh sáng. Tùy loại tạp chất mà diode có thể cho ra các màu từ đỏ, cam, vàng, xanh lá cây.

- Diode SiC khi pha thêm tạp chất sẽ cho ra ánh sáng màu xanh da trời. LED màu xanh da trời chưa phổ biến vì giá thành cao.

Do khác nhau về vật liệu chế tạo nên điện áp ngưỡng của các loại LED cũng khác nhau.

LED đỏ có $V_\gamma = 1,6\text{ V} \div 2\text{ V}$

LED cam có $V_\gamma = 2,2\text{ V} \div 3\text{ V}$

LED xanh lá có $V_\gamma = 2,7\text{ V} \div 3,2\text{ V}$

LED vàng có $V_\gamma = 2,4\text{ V} \div 3,2\text{ V}$

LED xanh da trời có $V_\gamma = 3\text{ V} \div 5\text{ V}$

LED hồng ngoại có $V_\gamma = 1,8\text{ V} \div 5\text{ V}$

Tương tự diode thường, LED cũng có ba trạng thái:

$V_{AK} > 0$: LED được phân cực thuận.

$V_{AK} = 0$: LED không được phân cực.

$V_{AK} < 0$: LED được phân cực nghịch.

LED chỉ phát sáng trong trường hợp dẫn điện (cho dòng chạy qua) khi nó được phân cực thuận và V_{AK} nằm trong khoảng mức ngưỡng cho phép của LED. Những trường hợp còn lại LED tắt.

Lưu ý: Đặc tuyến volt – ampe của LED tương tự đặc tuyến volt – ampe của diode thường nhưng khoảng mức ngưỡng cho phép của LED tùy loại LED và mức ngưỡng này lớn hơn mức ngưỡng của diode thường. Điện áp nghịch tối đa của LED tương đối thấp.

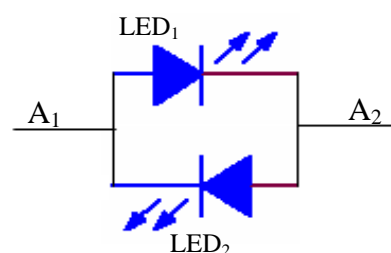
Khi dùng thường mắc điện trở nối tiếp với LED để hạn dòng qua LED.

LED hai màu

LED hai màu là loại LED đôi gồm hai LED nằm song song và ngược chiều nhau, trong đó có một LED đỏ và một LED xanh lá cây hay một LED vàng và một LED xanh lá cây.

Loại LED hai màu thường để chỉ cực tính của nguồn hay chiều quay của động cơ.

Kí hiệu LED đôi loại hai màu như hình 3.17. Nếu chân A_1 có điện áp sao cho $V_{A_1A_2} > 0$ và nằm trong khoảng mức ngưỡng cho phép thì LED₁



Hình 3.17. Kí hiệu LED hai màu.

sáng và ngược lại nếu chân A_2 có điện áp sao cho $V_{A_1A_2} < 0$ và nằm trong khoảng mức ngưỡng cho phép thì LED₂ sáng.

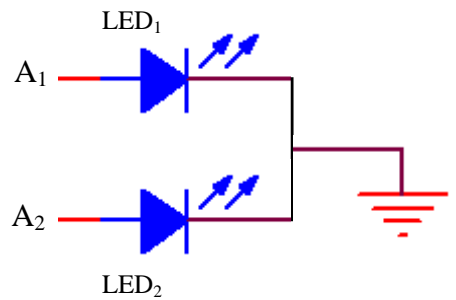
Tổng quát:

- Khi chỉ có dòng qua LED₁ thì LED sáng màu của LED₁.
- Khi chỉ có dòng qua LED₂ thì LED sáng màu của LED₂.
- Khi không có dòng qua hai LED thì LED tắt.

LED ba màu

LED ba màu cũng là loại LED đôi nhưng không ghép song song mà hai LED chỉ có chung cực cathode, trong đó một LED đỏ ra chân ngắn, một LED màu xanh lá cây ra chân dài, chân giữa là cathode chung.

Kí hiệu LED đôi loại ba màu như hình 3.18. Nếu chân A_1 có điện áp dương thì LED đỏ sáng, nếu chân A_2 có điện áp dương thì LED xanh sáng, nếu chân A_1 và A_2 có điện áp dương thì hai LED đều sáng và cho ra ánh sáng màu vàng.



Hình 3.18. Kí hiệu LED ba màu.

Tổng quát:

- Khi chỉ có dòng qua LED₁ thì LED sáng màu của LED₁.
- Khi chỉ có dòng qua LED₂ thì LED sáng màu của LED₂.
- Khi có dòng qua hai LED thì LED sáng màu pha của màu LED₁ và màu LED₂.
- Khi không có dòng qua hai LED thì LED tắt.

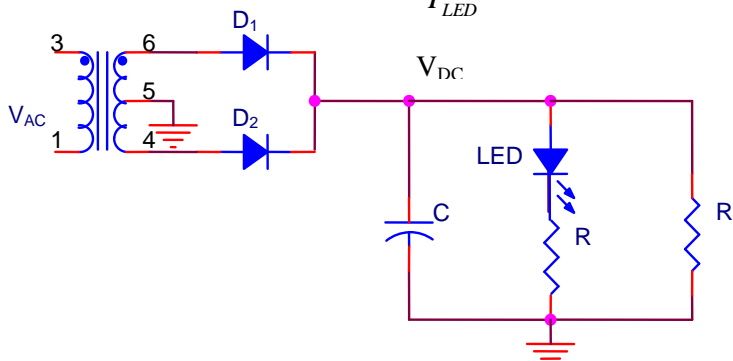
Một số mạch ứng dụng của LED

Mạch báo nguồn DC

Khi sử dụng LED điều quan trọng là phải tính điện trở nối tiếp với LED có trị số thích hợp để tránh dòng điện qua LED quá lớn sẽ làm hư LED.

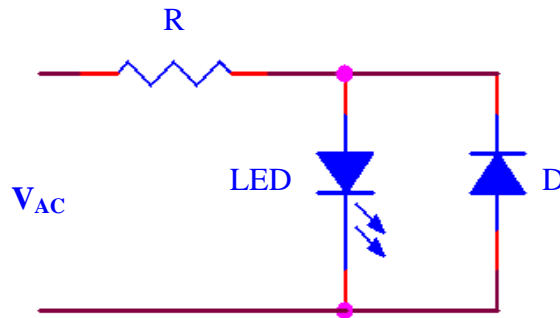
Điện trở trong mạch báo nguồn DC được tính theo công thức:

$$R = \frac{V_{DC} - V_{LED}}{I_{LED}}$$



Hình 3.19. Mạch báo nguồn DC.

Mạch bảo nguồn AC



Hình 3.20. Mạch bảo nguồn AC.

Trong mạch bảo nguồn AC, LED chỉ sáng khi được phân cực thuận bằng bán kì thích hợp, khi LED bị phân cực nghịch thì diode D được phân cực thuận nên dẫn điện để giữ cho mức điện áp ngược trên LED là $V_D = 0,7V$ tránh hư LED.

Điện trở trong mạch bảo nguồn AC được tính theo công thức:

$$R = \frac{V_{AC} - V_{LED}}{I_{LED}} \quad (3.14)$$

LED được ứng dụng nhiều trong các mạch điện tử: mạch bảo vệ thiết bị, mạch quang báo, mạch đèn trang trí, mạch đồ chơi, mạch kiểm soát điện áp cho xe hơi,...đặc biệt LED được tích hợp thành nhiều dạng đèn rất đẹp và tiện lợi. Hình 3.21 là một dạng bóng đèn ứng dụng LED. Tuổi thọ của LED cao hơn bóng đèn thường, tùy loại LED mà ta có đặc trưng chiếu sáng khác nhau.



Hình 3.21. Dạng bóng đèn ứng dụng LED.

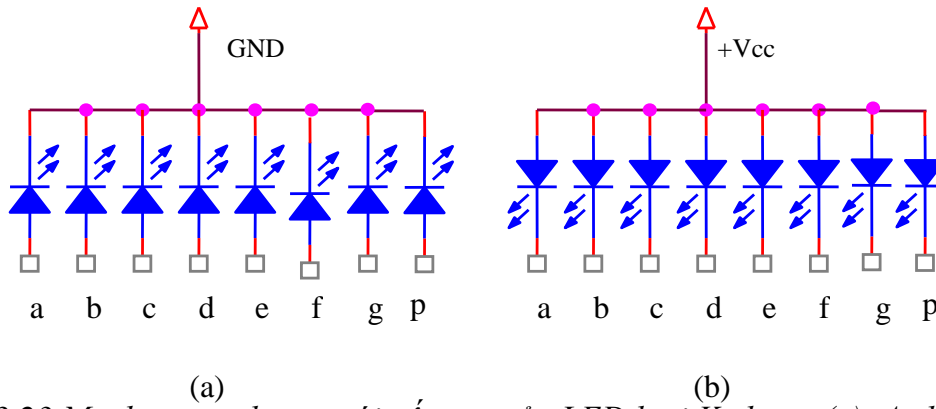


Hình 3.22. Ma trận LED.

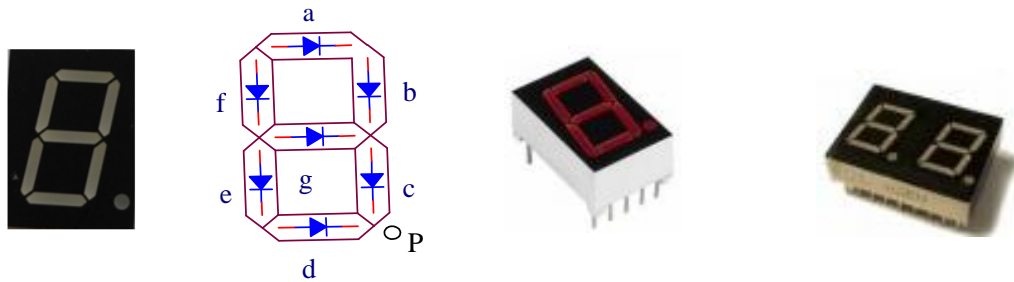
Ngoài ra, LED phát ra tia hồng ngoại (IRED) dùng để truyền tín hiệu trong các bộ ghép quang, đọc tín hiệu, mạch điều khiển từ xa,...

LED bảy đoạn

LED bảy đoạn có loại anode chung và loại cathode chung. Hiện nay LED bảy đoạn được dùng nhiều trong các thiết bị hiển thị số.



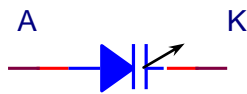
Hình 3.23 Mạch tương đương với cấu tạo của LED loại K chung (a), A chung (b).



Hình 3.24. Hình dạng của LED bảy đoạn.

LED bảy đoạn là tập hợp tám LED được chế tạo dạng thanh dài sắp xếp như hình 3.23 và được kí hiệu bằng tám chữ cái là a, b, c, d, e, f, g, p. Phần phụ của LED bảy đoạn là một chấm sáng p để chỉ dấu phẩy thập phân. Dấu chấm này là một LED p tương ứng được phát sáng. Khi cho các thanh sáng với các số lượng và vị trí thích hợp ta có những chữ số từ 0 đến 9 và những chữ cái từ A đến F.

- Diode biến dung (Varicap)



Hình 3.25. Kí hiệu diode biến dung.

Diode biến dung (Varicap) là loại diode có điện dung kí sinh thay đổi theo điện áp phân cực.

Cấu tạo diode tại mỗi nối P-N có hàng rào điện thế làm cho điện tử của vùng N không sang được vùng P. Khoảng cách này coi như một lớp cách điện có tác dụng như điện môi trong tụ điện và hình thành tụ điện kí sinh, kí hiệu C_D . Điện dung C_D có trị số cũng được tính theo công thức :

$$C_D = \epsilon \frac{S}{d} \tag{3.15}$$

Trong đó: ϵ : hằng số điện môi.

S: tiết diện mỗi nối.

d: bề dày lớp điện môi thay đổi theo hiệu điện thế V_D .

Diode biến dung được dùng chủ yếu trong các mạch cộng hưởng với vai trò là một tụ điện biến đổi theo điện áp để điều chỉnh tần số cộng hưởng của mạch. Ví dụ: trong các bộ tuner của TV, bộ điều hướng của máy radio,....

Thực tế, khi dùng ta cần lưu ý:

- Loại diode.
- Dòng thuận tối đa của diode.
- Điện áp ngược tối đa mà diode chịu được.
- Đặc biệt với loại diode zener ta cần xem điện áp ghim V_Z .

Trên thân diode thường có ghi một số kí hiệu dưới dạng chữ số hay vòng màu. Ta có thể đọc trực tiếp hoặc tra cứu để biết được vài thông số của diode trước khi sử dụng nó.

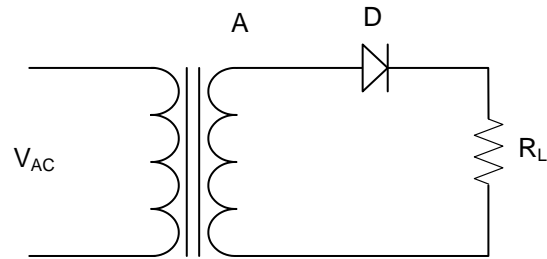
Ví dụ: DZ5.6 $\rightarrow V_Z = 5,6$ V

DZ9.1 $\rightarrow V_Z = 9,1$ V

3.2.6. Mạch chỉnh lưu

a. Mạch chỉnh lưu bán kì

Xét mạch như hình 3.26, biến thế dùng để giảm điện áp xoay chiều xuống trị số thích hợp.

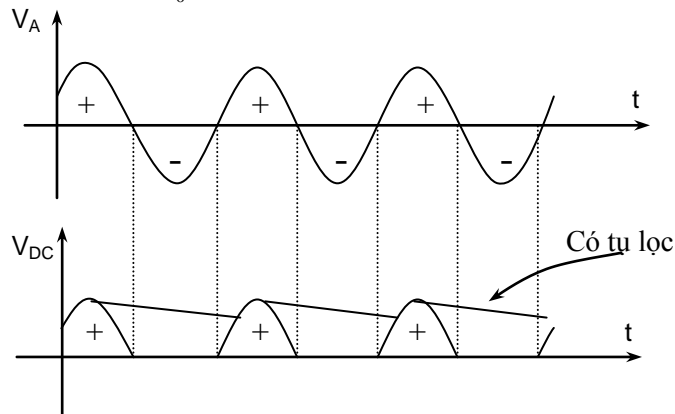


Hình 3.26. Mạch chỉnh lưu bán kì.

Giả sử bán kì đầu tại A là bán kì dương, D được phân cực thuận nên dẫn điện, có dòng I_L qua tải với chiều từ trên hướng xuống, và cho ra điện thế trên tải V_{DC} dạng bán kì dương gần bằng V_A . Bán kì kế tiếp tại A là bán kì âm, D phân cực nghịch nên không có dòng hay dòng qua tải bằng không và $V_{DC} = 0$.

Giá trị trung bình của điện áp ra:

$$\bar{V} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U_0 \sin \omega t d(\omega t) \quad (3.16)$$

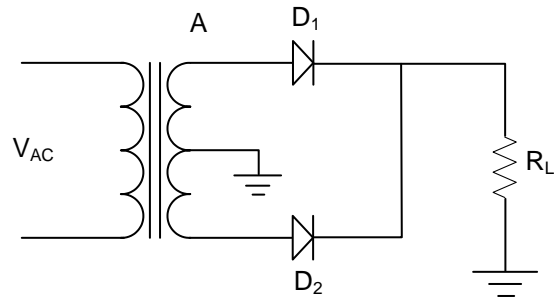


Hình 3.27. Dạng sóng vào, ra của mạch chỉnh lưu bán kì.

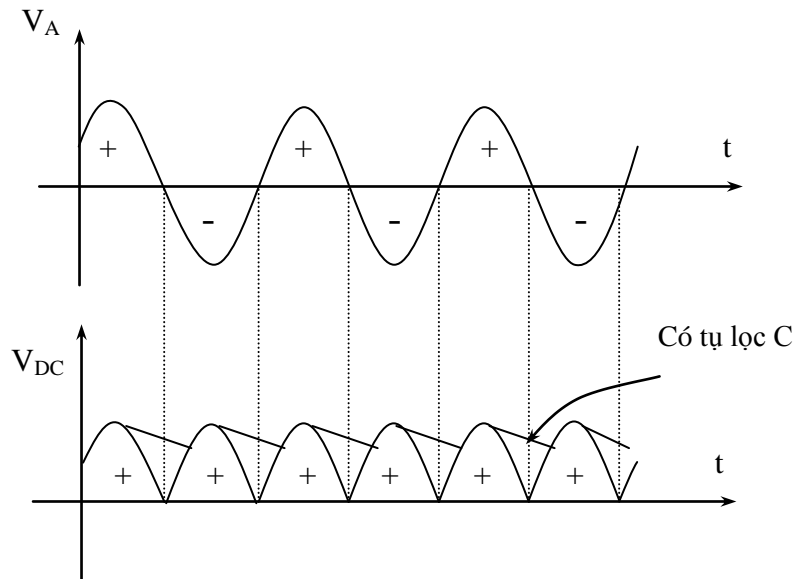
b. Mạch chỉnh lưu toàn kì

❖ Dùng hai diode

Xét mạch như hình 3.28. Mạch dùng biến áp đảo pha, cuộn thứ cấp có ba đầu ra, điểm giữa chia cuộn thứ thành hai nửa cuộn bằng nhau. Điều này giúp cho diode D_1 và D_2 luân phiên dẫn điện trong mỗi bán kì, cụ thể là: giả sử bán kì đầu tại A là bán kì dương, tương ứng tại B là bán kì âm. Ta có D_1 dẫn điện, D_2 ngưng dẫn, cấp dòng qua tải có chiều từ trên hướng xuống tạo hiệu điện thế V_{DC} giữa 2 đầu tải. Bán kì kế tiếp A là bán kì âm, tương ứng tại B là bán kì dương. Ta có D_1 ngưng dẫn, D_2 dẫn điện, cấp dòng qua tải có chiều từ trên hướng xuống, tạo ra V_{DC} .



Hình 3.28. Mạch chỉnh lưu toàn kì dùng hai diode.



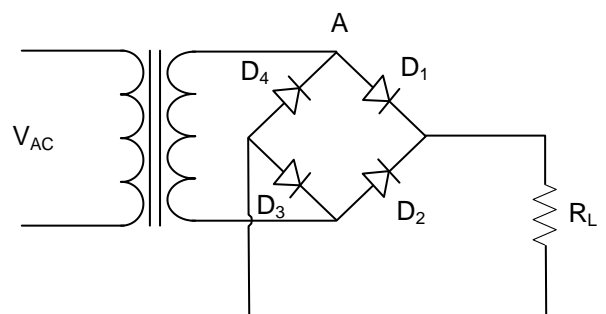
Hình 3.29. Dạng sóng vào, ra của mạch chỉnh lưu toàn kì.

Giá trị trung bình của điện áp ra:

$$\bar{V} = \frac{2}{2\pi} \int_0^{\pi} U_0 \sin \omega t d(\omega t) \quad (3.17)$$

❖ Dùng cầu diode

Xét mạch như hình 3.30. Giả sử bán kì đầu tại A là bán kì dương thì ta có D_1 và D_3 dẫn điện, cấp dòng qua tải có chiều từ trên hướng xuống. D_2 và D_4 ngưng dẫn. Bán kì kế tiếp tại A là bán kì âm thì ta có D_1 và D_3 ngưng dẫn, D_2 và D_4 dẫn điện, cấp dòng qua tải có chiều từ



Hình 3.30. Mạch chỉnh lưu toàn kì dùng cầu diode.

trên hướng xuống.

Dạng sóng vào, ra của mạch như hình 3.29.

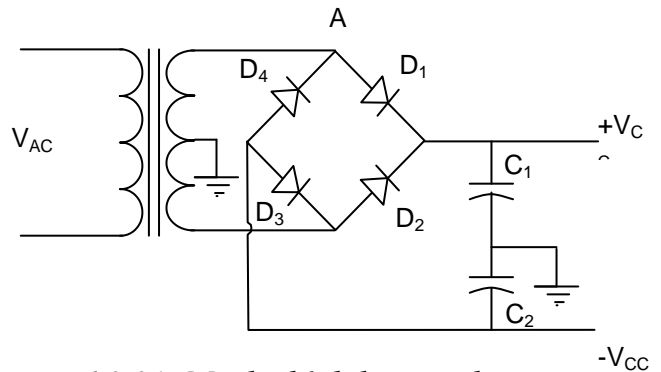
Như vậy, những mạch trên có điện áp ra trên tải là điện áp một chiều còn bị nhấp nháy. Để giảm bớt nhấp nháy, nâng cao chất lượng ra ta mắc thêm tụ lọc C song song với tải.

c. *Chỉnh lưu âm dương*

Mạch dùng biến áp đảo pha và cầu diode.

C_1 và C_2 là 2 tụ lọc nguồn.

Ngõ ra là hai nguồn điện áp một chiều đối xứng $\pm V_{CC}$.

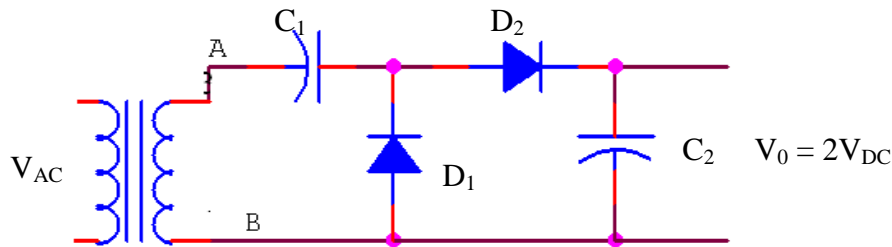


Hình 3.31. Mạch chỉnh lưu âm dương

d. *Mạch nhân áp*

Mạch có tác dụng chỉnh lưu và nâng cao được điện áp ra lên 2, 3, n lần điện áp đỉnh của nguồn xoay chiều.

- *Mạch chỉnh lưu tăng đôi điện thế kiểu Schenbel*

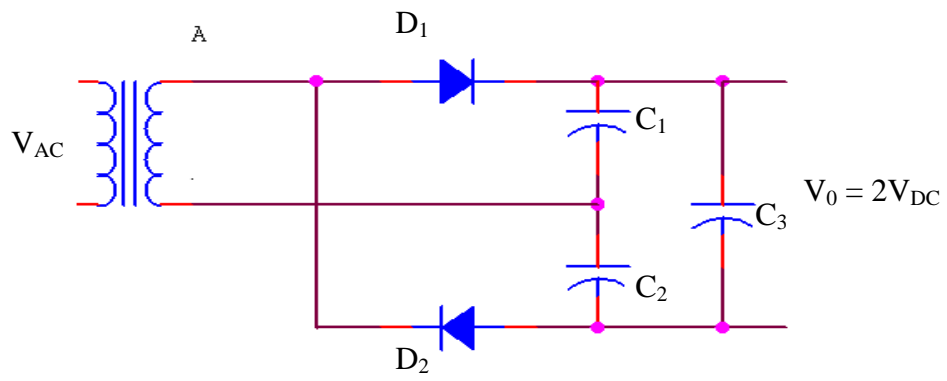


Hình 3.32. Mạch chỉnh lưu nhân đôi điện áp kiểu Schenbel.

Giả sử bán kì đầu tại A là bán kì âm, tương ứng tại B là bán kì dương, D_1 dẫn điện, D_2 ngưng dẫn, dòng điện chạy từ dương qua D_1 nạp vào tụ C_1 một hiệu điện thế V_{DC} có cực tính như hình vẽ... bán kì kế tiếp tại A là bán kì dương, tại B là bán kì âm, D_1 ngưng dẫn, D_2 dẫn điện với điện thế áp vào D_2 gồm: điện thế tụ C_1 nối tiếp với điện thế xoay chiều bán kì dương. Như vậy D_2 dẫn nạp vào tụ C_2 một hiệu điện thế là $2V_{DC}$ cấp điện cho tải.

- *Mạch chỉnh lưu tăng đôi điện thế kiểu Latour*

Giả sử tại A là bán kì dương, D_1 dẫn điện, D_2 ngưng dẫn, dòng điện qua D_1 nạp vào tụ C_1 một hiệu điện thế là U_2 . Bán kì kế tiếp tại A là bán kì âm, D_1 ngưng dẫn, D_2 dẫn điện, dòng điện qua D_2 nạp vào tụ C_2 một lượng điện thế V_{DC} . Như vậy cả chu kì điện xoay chiều vào, điện thế một chiều ở ngõ ra gồm hiệu điện thế giữa hai đầu tụ C_1 cộng với hiệu điện thế giữa hai đầu tụ C_2 được nạp ở tụ C_3 . Nó chính là $2V_{DC}$ cấp điện cho tải.



Hình 3.33. Mạch chỉnh lưu nhân đôi điện áp kiểu Latour.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Hãy phân biệt chất cách điện, chất bán dẫn, chất dẫn điện. Cho ví dụ.
2. Bán dẫn thuần là gì? Nêu sự dẫn điện của bán dẫn thuần.
3. Bán dẫn tạp chất là gì? Có mấy loại? Kể tên và nêu đặc trưng của nó.
4. Hãy giải thích cơ chế dẫn điện của chất dẫn điện, chất cách điện, chất bán dẫn, bán dẫn loại N, bán dẫn loại P, mối nối P – N theo lý thuyết vùng năng lượng.
5. Diode bán dẫn là gì? Nêu nguyên lý hoạt động của nó. Cho biết điều kiện để nó dẫn điện, điều kiện để nó ngưng dẫn. Hãy vẽ và giải thích đặc tuyến volt – ampe của diode.
6. Khi nào cần dùng diode mắc nối tiếp, diode mắc song song?
7. Nêu cách đo thử diode.
8. Hãy kể tên và vẽ kí hiệu của một số loại diode bán dẫn và cho biết vài ứng dụng của nó.
9. Diode zener còn được gọi là diode gì? Tại sao?
10. Diode quang là gì? Nêu nguyên lý hoạt động của diode quang.
11. Cho biết vài mạch ứng dụng của diode quang.
12. LED là gì? Nêu nguyên lý hoạt động của LED.
13. LED bảy đoạn là gì? Vị trí các LED a, b, c, d, e, f, g, p trên LED bảy đoạn là cố định hay thay đổi được? Tại sao?
14. Hãy vẽ những đoạn sáng tương ứng trên LED bảy đoạn để hiển thị các chữ số 0, 1, 2, ..., 9.
15. Hãy kể tên LED sáng, LED tắt trong LED bảy đoạn khi dùng nó hiển thị các chữ số 0, 1, 2, ..., 9.
16. Hãy kể tên một số loại LED và vẽ kí hiệu tương ứng, cho biết vài ứng dụng của nó.
17. Hãy kể tên những linh kiện quang điện tử đã học và chia nó ra hai nhóm linh kiện biến đổi tín hiệu quang \rightarrow điện, điện \rightarrow quang.
18. Hãy vẽ và giải thích nguyên lý hoạt động của một số mạch ứng dụng đã được trình bày ở trên.

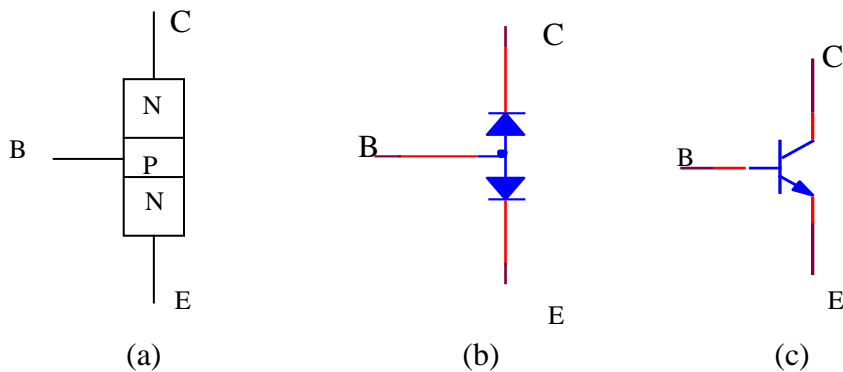
Chương 4

TRANSISTOR MỖI NỐI LƯƠNG CỰC

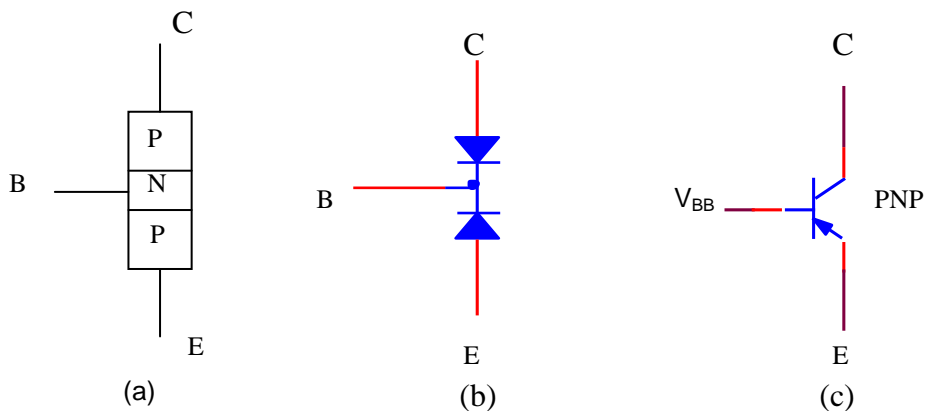
Transistor mỗi nối lưỡng cực (BJT) được phát minh vào năm 1948 bởi John Bardeen và Walter Brattain tại phòng thí nghiệm Bell (ở Mỹ). Một năm sau nguyên lý hoạt động của nó được William Shockley giải thích. Những phát minh ra BJT đã được trao giải thưởng Nobel Vật lý năm 1956. Sự ra đời của BJT đã ảnh hưởng rất lớn đến sự phát triển điện tử học.

BJT \equiv Bipolar Junction Transistor \equiv Transistor mỗi nối lưỡng cực \equiv Transistor tiếp xúc lưỡng cực \equiv Transistor tiếp giáp hai cực \equiv Transistor lưỡng nối \equiv Transistor lưỡng cực.

4.1. Cấu tạo – kí hiệu



Hình 4.1. Cấu tạo (a) – mạch tương đương với cấu tạo (b) – kí hiệu (c) của BJT loại NPN.



Hình 4.2. Cấu tạo (a) – mạch tương đương với cấu tạo (b) – kí hiệu (c) của BJT loại PNP.

BJT là một linh kiện bán dẫn được tạo thành từ hai mỗi nối P – N, nhưng có một vùng chung gọi là vùng nền.

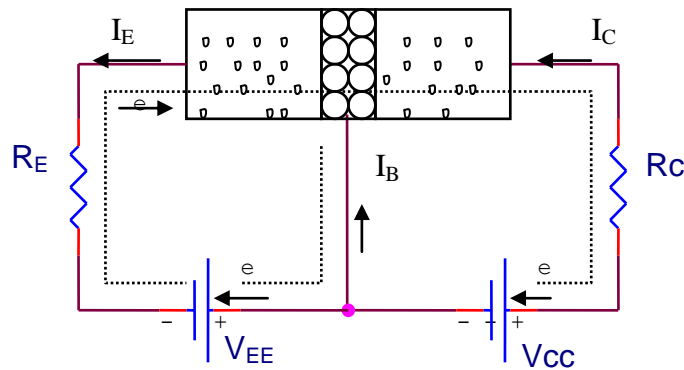
Tùy theo sự sắp xếp các vùng bán dẫn mà ta có hai loại BJT: NPN, PNP.

Ba vùng bán dẫn được tiếp xúc kim loại nối dây ra thành ba cực:

- Cực nền: B (Base)
- Cực thu: C (Collector)
- Cực phát: E (Emitter)

Trong thực tế, vùng nền rất hẹp so với hai vùng kia. Vùng thu và vùng phát tuy có cùng chất bán dẫn nhưng khác nhau về kích thước và nồng độ tạp chất nên ta không thể hoán đổi vị trí cho nhau.

4.2. Nguyên lí hoạt động



Hình 4.3. Mạch khảo sát để giải thích nguyên lí hoạt động của BJT.

Khi chưa có nguồn cấp điện V_{CC} , V_{EE} thì BJT có hai mối nối P – N ở trạng thái cân bằng và hàng rào điện thế ở mỗi mối nối duy trì trạng thái cân bằng này.

Với hình 4.3, ta chọn nguồn $V_{CC} \gg V_{EE}$ và trị số điện trở sao cho thỏa điều kiện:

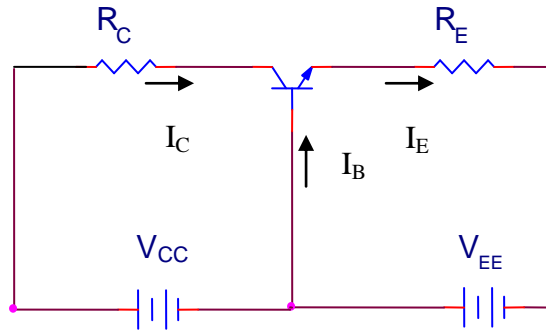
- Mối nối P – N giữa B và E (lớp tiếp giáp, lớp tiếp xúc J_E) được phân cực thuận.
- Mối nối P – N giữa B và C (lớp tiếp giáp, lớp tiếp xúc J_C) được phân cực nghịch.
- V_{BE} đạt thế ngưỡng tùy loại BJT.

Điện tử từ cực âm của nguồn V_{EE} di chuyển vào vùng phát qua vùng nền, đáng lẽ trở về cực dương của nguồn V_{EE} nhưng vì: vùng nền rất hẹp so với hai vùng kia và nguồn $V_{CC} \gg V_{EE}$ nên đa số điện tử từ vùng nền vào vùng thu, tới cực dương của nguồn V_{CC} , một ít điện tử còn lại về cực dương của nguồn V_{EE} . Sự dịch chuyển của điện tử tạo thành dòng điện:

- Dòng vào cực nền gọi là dòng I_B .
- Dòng vào cực thu gọi là dòng I_C .
- Dòng từ cực phát ra gọi là dòng I_E .

Ngoài ra, mối nối P – N giữa B và C được phân cực nghịch còn có dòng rò (rì) rất nhỏ gọi là I_{CBO} .

4.3. Hệ thức liên hệ giữa các dòng điện



Hình 4.4. Mạch tương đương với hình 4.3

Sự dịch chuyển của các điện tử như trên cho thấy:

$$I_E = I_B + I_C \quad (4.1)$$

$$I_C = \alpha I_E \quad (4.2)$$

$\alpha = (\text{Tổng số điện tử dịch chuyển đến vùng thu}) / (\text{Tổng số điện tử dịch chuyển từ vùng phát})$

Hệ số α gần bằng 1.

Từ (4.2) ta có: $I_E = \frac{I_C}{\alpha}$ (4.3)

Thế (4.3) vào (4.1) ta có:

$$\begin{aligned} \frac{I_C}{\alpha} &= I_B + I_C \\ \Rightarrow I_C \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right) &= I_B \\ \Leftrightarrow I_C &= \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_B \end{aligned} \quad (4.4)$$

Đặt $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ (4.5)

β được gọi là hệ số khuếch đại dòng.

$$I_C = \beta I_B \quad (4.6)$$

Kết hợp (1) và (4) ta được hệ thức thường dùng:

$$I_E = I_B + I_C \approx I_C = \beta I_B \quad (4.7)$$

Mối nối giữa nền và thu phân cực nghịch còn có dòng điện rỉ (dòng rò như diode phân cực nghịch) gọi là I_{CBO} rất nhỏ (cỡ μA). Vậy nếu xét dòng rỉ ta có:

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \quad (4.8)$$

$$I_E = \frac{I_C - I_{CBO}}{\alpha} \quad (4.9)$$

Thế (4.9) vào (4.1) ta được:

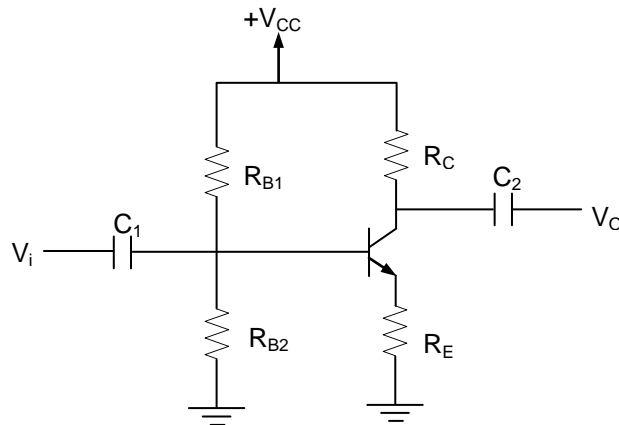
$$\begin{aligned}
 \frac{I_C - I_{CBO}}{\alpha} &= I_B + I_C \\
 \Rightarrow I_C \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right) &= I_B + \frac{I_{CBO}}{\alpha} \\
 \Leftrightarrow I_C &= \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B + \frac{I_{CBO}}{1-\alpha} \\
 \Leftrightarrow I_C &= \beta I_B + \frac{I_{CBO}}{1-\alpha} \\
 \Rightarrow I_E = I_B + I_C &\approx I_C = \beta I_B + \frac{I_{CBO}}{1-\alpha} \quad (4.11)
 \end{aligned}$$

Khi bỏ qua dòng điện rỉ I_{CBO} thì phương trình (4.11) trở thành phương trình (4.7), phương trình (4.10) trở thành phương trình (4.6).

4.4. Các cách mắc cơ bản

4.4.1. BJT mắc kiểu cực phát chung

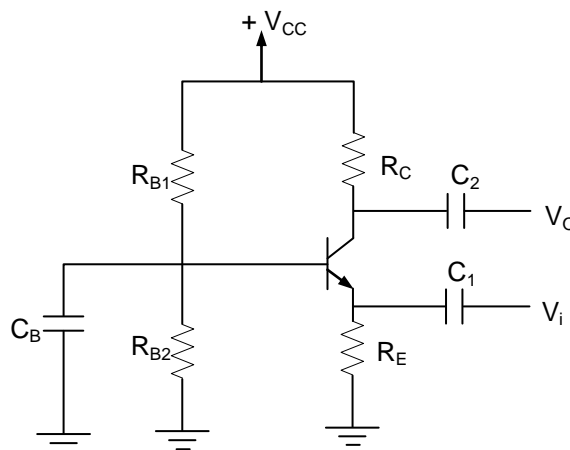
Mạch dùng BJT mắc kiểu cực phát chung (Common Emitter \equiv CE) như hình 4.5.



Hình 4.5. BJT mắc kiểu cực phát chung.

4.4.2. BJT mắc kiểu cực nền chung

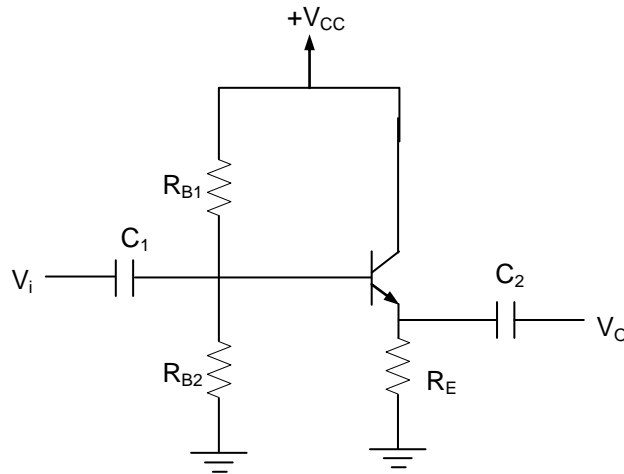
Mạch dùng BJT mắc kiểu cực nền chung (Common Base \equiv CB) như hình 4.6.



Hình 4.6. BJT mắc kiểu cực nền chung.

4.4.3. BJT mắc kiểu cực thu chung

Mạch dùng BJT mắc kiểu cực thu chung (Common Collector \equiv CC) như hình 4.7.



Hình 4.7. BJT mắc kiểu cực thu chung.

❖ **CE:**

- Tín hiệu vào B so với E, tín hiệu ra C so với E.
- Pha giữa tín hiệu vào và ra: đảo pha.
- Hệ số khuếch đại A_i , A_v lớn.

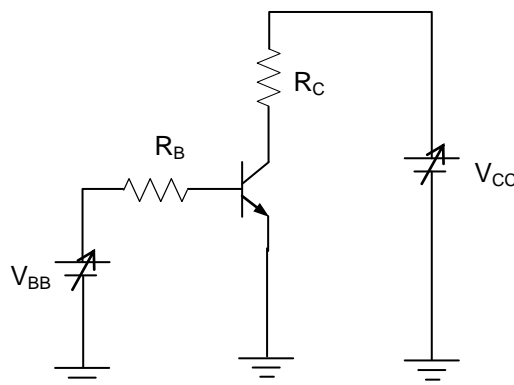
❖ **CB:**

- Tín hiệu vào E so với B, tín hiệu ra C so với B.
- Pha giữa tín hiệu vào và ra: cùng pha.
- Hệ số khuếch đại A_v lớn, $A_i \approx 1$.

❖ **CC:**

- Tín hiệu vào B so với C, tín hiệu ra E so với C.
- Pha giữa tín hiệu vào và ra: cùng pha.
- Hệ số khuếch đại A_i lớn, $A_v \approx 1$.

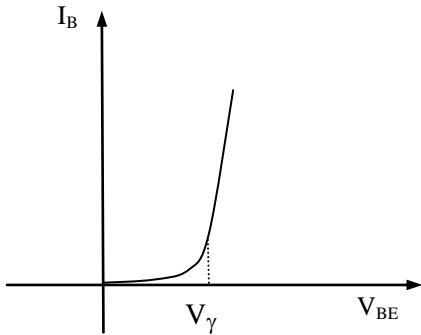
4.5. Đặc tuyến của BJT



Hình 4.8. Mạch khảo sát đặc tuyến của BJT.

Xét mạch như hình 4.8. Với V_{BE} là hiệu điện thế giữa cực nền B và cực phát E. V_{CE} là hiệu điện thế giữa cực thu C và cực phát E.

4.5.1. Đặc tuyến ngõ vào $I_B(V_{BE})$ ứng với $V_{CE} = \text{const}$



Chọn nguồn V_{CC} dương xác định để có $V_{CE} = \text{const}$. Chỉnh nguồn V_{BB} để thay đổi V_{BE} từ 0 tăng lên đến giá trị nhỏ hơn điện thế ngưỡng V_γ thì đo dòng $I_B \approx 0$. Tiếp tục tăng nguồn V_{BB} để có $V_{BE} = V_\gamma$ thì bắt đầu có dòng I_B và I_B cũng tăng theo dạng hàm số mũ như dòng I_D của diode phân cực thuận.

Hình 4.9. Đặc tuyến ngõ vào của BJT

4.5.2. Đặc tuyến truyền dẫn $I_C(V_{BE})$ ứng với $V_{CE} = \text{const}$

Để khảo sát đặc tuyến này, ta đo, chỉnh nguồn tương tự đặc tuyến ngõ vào nhưng dòng thì đo I_C , quan sát xem I_C thay đổi như thế nào khi V_{BE} thay đổi. Ta có đặc tuyến truyền dẫn $I_C(V_{BE})$ có dạng giống như đặc tuyến ngõ vào $I_B(V_{BE})$ nhưng dòng I_C có trị số lớn hơn I_B nhiều lần.

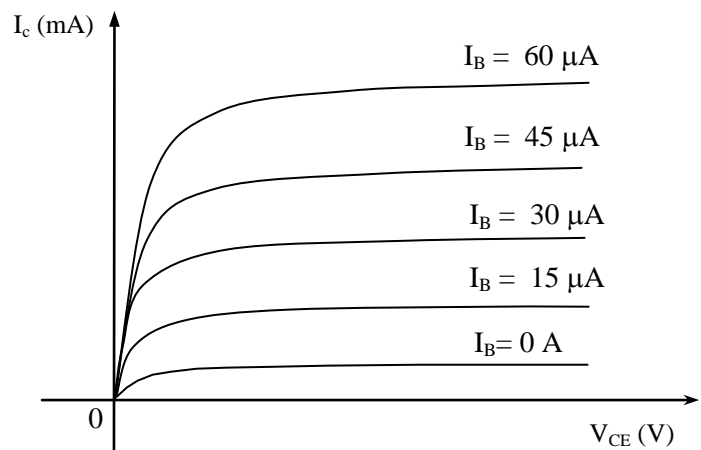
$$I_C = \beta I_B \quad (4.12)$$

4.5.3. Đặc tuyến ngõ ra $I_C(V_{CE})$ ứng với $I_B = \text{const}$

Nguồn V_{BB} phân cực thuận mỗi nối P – N giữa B và E để tạo dòng I_B . V_{CC} Khi điện thế $V_B < V_\gamma$ tức $V_{BE} < V_\gamma$ thì có dòng $I_B = 0$ và $I_C = 0$ mặc dù có tăng nguồn. Khi điện thế $V_{BE} \geq V_\gamma$ thì có dòng $I_B \neq 0$.

Thay đổi V_{BB} để I_B có trị số nào đó, dùng máy đo, giả sử đo được $I_B = 15 \mu\text{A}$. Lúc này giữ cố định I_B bằng cách không đổi V_{BB} , tiếp theo thay đổi $V_{CC} \rightarrow V_{CE}$ thay đổi, đo dòng I_C tương ứng với V_{CE} thay đổi.

Ban đầu I_C tăng nhanh theo V_{CE} , nhưng đến giá trị cỡ $I_C = \beta I_B$ thì I_C gần như không tăng mặc dù hiệu điện thế V_{CE} tăng nhiều.



Hình 4.10. Họ đặc tuyến ngõ ra của BJT

Muốn I_C tăng cao hơn thì phải tăng V_{BB} để có I_B tăng cao hơn, tiếp tục thay đổi V_{CC} để đo I_C tương ứng, ta cũng thấy lúc đầu I_C tăng nhanh theo V_{CE} , nhưng đến giá trị bão hòa $I_C = \beta I_B$, I_C gần như không tăng mặc dù V_{CE} vẫn tăng.

Khảo sát tương tự $I_C(V_{CE})$ ở những giá trị I_B khác nhau ta có họ đặc tuyến ngõ ra như hình 4.10.

Trên đây ta đã xét đặc tuyến của BJT mắc kiểu CE. Ta cũng có thể xét đặc tuyến của BJT mắc kiểu khác:

❖ BJT mắc kiểu CB:

- Đặc tuyến ngõ vào $I_E(V_{EB})$ ứng với $V_{CB} = \text{const.}$
- Đặc tuyến truyền dẫn $I_C(V_{EB})$ ứng với $V_{CB} = \text{const.}$
- Đặc tuyến ngõ ra $I_C(V_{CB})$ ứng với $I_E = \text{const.}$

❖ BJT mắc kiểu CC:

- Đặc tuyến ngõ vào $I_B(V_{BC})$ ứng với $V_{EC} = \text{const.}$
- Đặc tuyến truyền dẫn $I_E(V_{BC})$ ứng với $V_{EC} = \text{const.}$
- Đặc tuyến ngõ ra $I_E(V_{EC})$ ứng với $I_B = \text{const.}$

4.6. Phân cực BJT

BJT có rất nhiều ứng dụng trong các thiết bị điện tử, tùy theo từng ứng dụng cụ thể mà BJT cần cung cấp điện thế và dòng điện cho từng chân một cách thích hợp. Phân cực (định thiên) là áp đặt hiệu điện thế cho các cực BJT. Phân cực BJT là chọn nguồn điện DC và điện trở sao cho I_B , I_C , V_{CE} có trị số thích hợp theo yêu cầu.

Điều kiện để BJT dẫn điện:

- Mối nối P – N giữa B và E (tiếp giáp J_E) được phân cực thuận.
- Mối nối P – N giữa B và C (tiếp giáp J_C) được phân cực nghịch.
- V_{BE} đạt thế ngưỡng tùy loại BJT.

❖ BJT loại NPN:

$$V_{BE} = 0,6 \text{ V (0,7 V) (Si)}$$

$$V_{BE} = 0,2 \text{ V (0,3 V) (Ge)}$$

$$V_{CE} \in (\frac{1}{3}V_{CC} \div \frac{2}{3}V_{CC})$$

❖ BJT loại PNP:

$$V_{EB} = 0,6 \text{ V (0,7 V) (Si)}$$

$$V_{EB} = 0,2 \text{ V (0,3 V) (Ge)}$$

$$V_{EC} \in (\frac{1}{3}V_{CC} \div \frac{2}{3}V_{CC})$$

4.6.1. Dùng hai nguồn riêng

Xét mạch như hình 4.11, dùng BJT mắc kiểu CE, nguồn V_{BB} phân cực thuận mối nối BE. Nguồn V_{CC} kết hợp với V_{BB} phân cực nghịch mối nối BC. Mạch trên đã được thiết kế sẵn, bây giờ ta tính toán I_B , I_C , V_{CE} để xác định điểm làm việc ở trạng thái tĩnh của BJT theo thiết kế.

$$\text{Ta có: } I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (4.13)$$

$$I_B = \frac{3,6 - 0,6}{50k} = 60 \text{ (}\mu\text{A)}$$

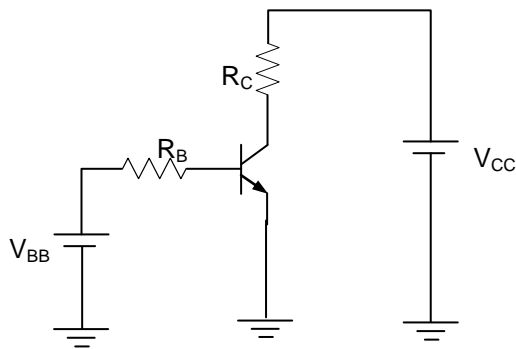
$$I_C = \beta I_B \quad (4.14)$$

$$I_C = 80 \cdot 60 = 4800 \text{ (}\mu\text{A)} = 4,8 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C \quad (4.15)$$

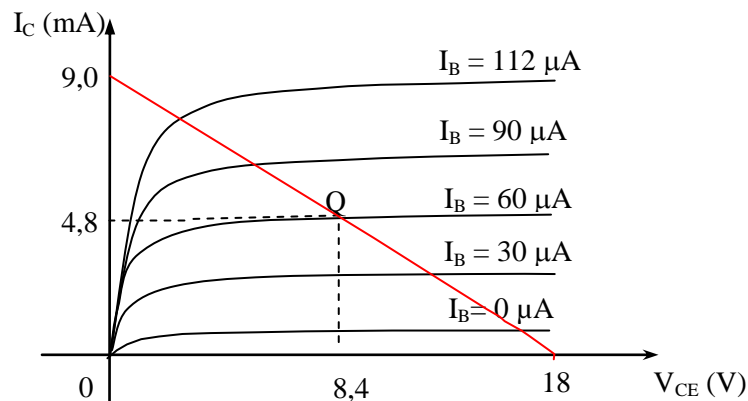
$$V_{CE} = 18 - 4,8 \cdot 2k = 18 - 9,6 = 8,4 \text{ (V)}$$

Điểm phân cực Q trên đặc tuyến ngõ ra được xác định bởi ba đại lượng I_B , I_C , V_{CE} , hay điểm phân cực Q có tọa độ I_B , I_C , V_{CE} . Điểm phân cực Q còn gọi là điểm hoạt động tĩnh (quiescent operating point) hay điểm làm việc ở trạng thái tĩnh.



$$\begin{aligned} V_{CC} &= 18 \text{ V} \\ V_{BB} &= 3,6 \text{ V} \\ V_{BE} &= 0,6 \text{ V} \\ \beta &= 80 \\ R_B &= 50 \text{ k} \\ R_C &= 2 \text{ k} \end{aligned}$$

Hình 4.11. Mạch phân cực BJT dạng dùng hai nguồn có cực E nối mass.



Hình 4.12. Điểm Q trên đặc tuyến ngõ ra của BJT.

Giả sử BJT có đặc tuyến ngõ ra như hình 4.12. Điểm trên đặc tuyến ngõ ra Q có tọa độ $I_B = 60 \mu\text{A}$; $I_C = 4,8 \text{ mA}$; $V_{CE} = 8,4 \text{ V}$ là điểm phân cực. Hay viết dạng khác $Q(V_{CE}; I_C)$

❖ **Tọa độ điểm phân cực Q:**

$$\mathbf{Q} \begin{cases} I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \\ I_C = \beta I_B \\ V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \end{cases} \quad (4.16)$$

❖ **Đường tải tĩnh (static load line)**

Đối với R_C không đổi thì I_C thay đổi phụ thuộc hiệu điện thế V_{CE} theo dạng biểu thức:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \quad (4.17)$$

Để thấy rõ phương trình dạng toán học có I_C là hàm số, V_{CE} là biến số ta có thể viết lại biểu thức trên như sau:

$$I_C = \frac{-V_{CE}}{R_C} + \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (4.18)$$

Biểu thức (4.18) chính là phương trình đường tải tĩnh.

$$I_C = \frac{-V_{CE}}{R_C} + \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{-V_{CE}}{2k} + \frac{18}{2k} = -0,5V_{CE} + 9$$

⇔ $I_C = -0,5V_{CE} + 9$ (mA): **Phương trình đường tải tĩnh.**

Theo phương trình đường tải tĩnh, ta thấy nó có dạng đường thẳng (phương trình bậc nhất $y = ax + b$). Muốn vẽ đường thẳng, ta phải tìm hai điểm đặc biệt.

Điểm nằm trên trục biến số V_{CE} có giá trị hàm $I_C = 0$

$$I_C = 0 \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} = 18 \text{ V} \rightarrow A(18 \text{ V}; 0)$$

Điểm nằm trên trục hàm số I_C có giá trị biến số $V_{CE} = 0$

$$V_{CE} = 0 \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{18}{2k} = 9 \text{ (mA)} \rightarrow B(0; 9 \text{ mA})$$

Vậy đường tải tĩnh là một đường thẳng qua hai điểm A, B và dĩ nhiên đường thẳng này qua điểm Q.

Ý nghĩa: Đường tải tĩnh là quỹ tích điểm phân cực Q. Khi phân cực mạnh hơn thì điểm Q chạy lên phía trên. Khi phân cực yếu hơn thì điểm Q chạy xuống phía dưới.

Khi BJT làm nhiệm vụ khuếch đại tín hiệu biên độ nhỏ thì phân cực sao cho điểm Q nằm khoảng giữa đường tải tĩnh là thích hợp.

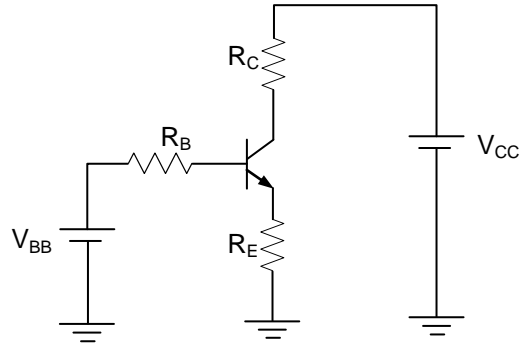
❖ **Điện thế tại các cực của BJT:**

$$\begin{aligned} V_E &= 0 \text{ V} \\ V_B &= V_E + V_{BE} = 0,6 \text{ V} \\ V_C &= V_{CC} - I_C R_C = 18 - 4,8 \cdot 2k = 18 - 9,6 = 8,4 \text{ (V)} \end{aligned} \quad (4.19)$$

Trường hợp có thêm điện trở R_E

❖ **Tọa độ điểm phân cực:**

$$Q \begin{cases} I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + \beta R_E} \\ I_C = \beta I_B \\ V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \end{cases} \quad (4.20)$$



Hình 4.13. Mạch phân cực BJT dạng dùng hai nguồn có R_E .

❖ **Phương trình đường tải tĩnh:**

$$I_C = \frac{-V_{CE}}{R_C + R_E} + \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \quad (4.21)$$

❖ **Điện thế tại các cực của BJT:**

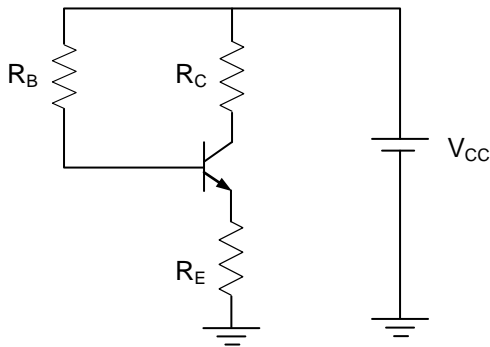
$$V_E = I_E \cdot R_E \quad (4.22a)$$

$$V_B = V_E + V_{BE} \quad (4.22b)$$

$$V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C \quad (4.22c)$$

4.6.2. Dùng một nguồn duy nhất

a. Dùng điện trở giảm áp R_B



❖ **Tọa độ điểm phân cực:**

$$Q \begin{cases} I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta R_E} \\ I_C = \beta I_B \\ V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \end{cases} \quad (4.23)$$

Hình 4.14. Mạch phân cực BJT dạng dùng điện trở giảm áp R_B .

❖ **Phương trình đường tải tĩnh:**

$$I_C = \frac{-V_{CE}}{R_C + R_E} + \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \quad (4.24)$$

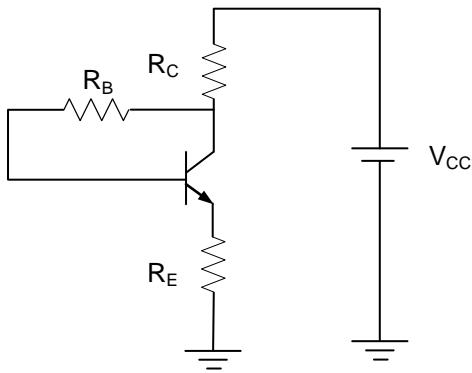
❖ **Điện thế tại các cực của BJT:**

$$V_E = I_E \cdot R_E \quad (4.25a)$$

$$V_B = V_E + V_{BE} \quad (4.25b)$$

$$V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C \quad (4.25c)$$

b. Dùng điện trở hồi tiếp áp R_B



❖ **Tọa độ điểm phân cực:**

$$Q \begin{cases} I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)} \\ I_C = \beta I_B \\ V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \end{cases} \quad (4.26)$$

Hình 4.15. Mạch phân cực BJT dạng dùng điện trở hồi tiếp áp R_B .

❖ **Phương trình đường tải tĩnh:**

$$I_C = \frac{-V_{CE}}{R_C + R_E} + \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \quad (4.27)$$

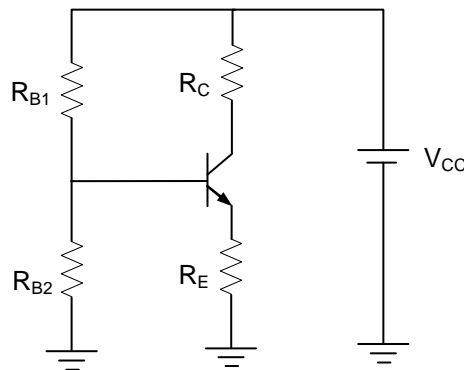
❖ **Điện thế tại các cực của BJT:**

$$V_E = I_E \cdot R_E \quad (4.28a)$$

$$V_B = V_E + V_{BE} \quad (4.28b)$$

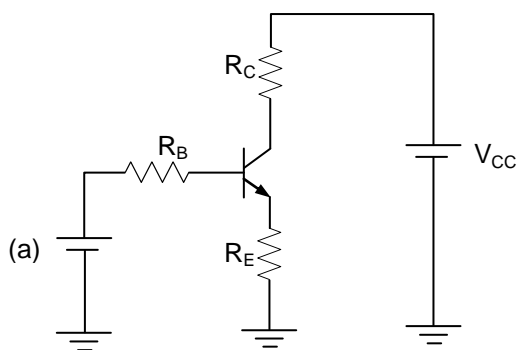
$$V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C \quad (4.28c)$$

c. Dùng cầu phân thế



Hình 4.16. Mạch phân cực BJT dạng dùng cầu phân thế.

Áp dụng định lý Thevenin ta vẽ mạch tương đương như hình 4.17:



Với nguồn:

$$V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} \quad (4.29)$$

$$R_B = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \quad (4.30)$$

Hình 4.17. Mạch tương đương hình 4.16.

❖ **Tọa độ điểm phân cực:**

$$Q \begin{cases} I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + \beta R_E} \\ I_C = \beta I_B \\ V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \end{cases} \quad (4.31)$$

❖ **Phương trình đường tải tĩnh:**

$$I_C = \frac{-V_{CE}}{R_C + R_E} + \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \quad (4.32)$$

❖ **Điện thế tại các cực của BJT:**

$$V_E = I_E \cdot R_E \quad (4.33a)$$

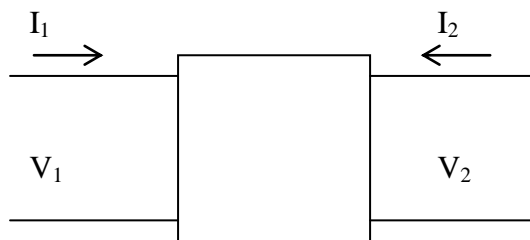
$$V_B = V_E + V_{BE} \quad (4.33b)$$

$$V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C \quad (4.33c)$$

Dùng một nguồn để phân cực BJT ta có ba dạng mạch như trên. Ngoài ra, ta có thể vẽ thêm ba dạng mạch tương tự nhưng cực E nối trực tiếp xuống mass nghĩa là có ba mạch phân cực mới. Khi tính toán để thiết kế mạch ta vẫn dùng các công thức trên nhưng chỗ nào có R_E thì ta thế R_E bằng 0. Trường hợp này ta luôn có $V_E = 0$ vì cực E nối trực tiếp xuống mass, tính toán đơn giản nhưng mạch hoạt động không ổn định bằng trường hợp có R_E .

4.7. Mạch tương đương dùng tham số h (hybrid) của BJT

Để khảo sát mạch ta cần trình bày dưới dạng một mô hình tương đương. Mô hình này xuất phát từ hệ thức toán học. Đối với trạng thái động tin hiệu nhỏ ta có thể xem BJT như một phần tử tuyến tính, tức là phần tử mà quan hệ giữa dòng điện và điện áp được thể hiện bằng những hàm bậc nhất (trong phạm vi hẹp của điện áp và dòng điện, đặc tuyến Volt – Ampe của BJT là những đoạn thẳng có độ dốc không đổi). Vì vậy, ở trạng thái động tin hiệu nhỏ BJT được thay thế bởi mạng bốn cực tuyến tính như hình 4.18. Với điện áp và dòng điện ở ngõ vào là V_1, I_1 hoặc V_i, I_i ; điện áp và dòng điện ở ngõ vào là V_2, I_2 hoặc V_o, I_o .



Hình 4.18. Mạng bốn cực tương đương của BJT.

Chọn I_1, V_2 làm hai biến độc lập và V_1, I_2 là hàm của chúng, ta có:

$$V_1 = f(I_1, V_2) \quad (4.34a)$$

$$I_2 = f(I_1, V_2) \quad (4.34b)$$

Lấy vi phân toàn phần, ta có:

$$dV_1 = \frac{\partial V_1}{\partial I_1} dI_1 + \frac{\partial V_1}{\partial V_2} dV_2 \quad (4.35)$$

$$dI_2 = \frac{\partial I_2}{\partial I_1} dI_1 + \frac{\partial I_2}{\partial V_2} dV_2$$

Các đại lượng biến thiên dV_1 , dV_2 , dI_1 , dI_2 được kí hiệu bằng các chữ thường v_1 , v_2 , i_1 , i_2 (là điện áp và dòng điện xoay chiều do nguồn tín hiệu xoay chiều gây ra trên các cực của BJT). Hệ phương trình trở thành:

$$v_1 = h_{11}i_1 + h_{12}v_2 \quad (4.36a)$$

$$i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}v_2 \quad (4.36b)$$

Với

$$h_{11} = \frac{\partial V_1}{\partial I_1} = h_i$$

$$h_{12} = \frac{\partial V_1}{\partial V_2} = h_r$$

$$h_{21} = \frac{\partial I_2}{\partial I_1} = h_f$$

$$h_{22} = \frac{\partial I_2}{\partial V_2} = h_o$$

(4.37)

Hệ phương trình (4.36a, 4.36b) là hệ phương trình cơ bản dùng tham số h. Nó diễn tả quan hệ giữa dòng và áp trên ngõ vào và ngõ ra của mạng bốn cực. Nó gián tiếp phản ánh mối quan hệ tiềm ẩn bên trong của BJT khi làm việc ở trạng thái động tín hiệu nhỏ.

Ý nghĩa các tham số:

$$h_i = h_{11} = \left. \frac{v_1}{i_1} \right|_{v_2=0} = \left. \frac{v_i}{i_i} \right|_{v_o=0} \quad (4.38)$$

h_i là tổng trở vào của BJT khi điện áp xoay chiều ở ngõ ra bị ngắn mạch.

$$h_f = h_{21} = \left. \frac{i_2}{i_1} \right|_{v_2=0} = \left. \frac{i_o}{i_i} \right|_{v_o=0} \quad (4.39)$$

h_f là hệ số khuếch đại dòng (độ lợi dòng) của BJT khi ngõ ra bị ngắn mạch đối với tín hiệu xoay chiều.

$$h_o = h_{22} = \left. \frac{i_2}{v_2} \right|_{i_1=0} = \left. \frac{i_o}{v_o} \right|_{i_i=0} \quad (4.40)$$

h_0 là tổng dẫn ra (điện dẫn ra) (dẫn nạp ra) của BJT khi dòng xoay chiều ở ngõ vào bị hở mạch.

$$h_r = h_{12} = \left. \frac{v_1}{v_2} \right|_{i_i=0} = \left. \frac{v_i}{v_o} \right|_{i_i=0} \quad (4.41)$$

h_r là hệ số hồi tiếp điện áp của BJT khi hở mạch ngõ vào đối với tín hiệu xoay chiều.

Như vậy, phẩm chất, tính năng của BJT thể hiện qua giá trị các tham số h_{ij} của nó. Các h_{ij} được gọi là tham số xoay chiều (tham số vi phân) của BJT.

Ngoài ra, ta có thể dùng tham số “hỗ dẫn”

$$g_m = \left. \frac{i_2}{v_1} \right|_{v_2=0} = \left. \frac{i_o}{v_i} \right|_{v_o=0} \quad (4.42)$$

G_m cho biết ảnh hưởng của điện áp vào đối với dòng ra

$$g_m = \frac{h_{21}}{h_{11}} = \frac{h_f}{h_i} \quad (4.43)$$

Áp dụng cho mạch CE:

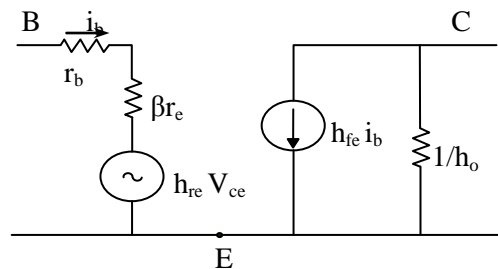
$$g_m = \frac{h_{fe}}{h_{ie}} \text{ hay } h_{fe} = g_m h_{ie} \quad (4.44)$$

Ngoài hệ tham số h , ta có thể dùng các tham số z , tham số y .

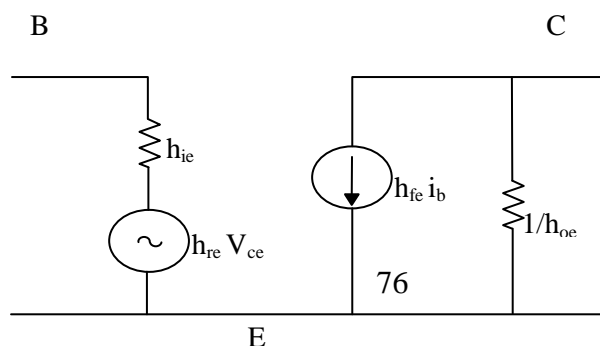
Quá trình thiết lập hệ phương trình cơ bản đối với các tham số này vẫn tương tự như trên (chỉ khác cách chọn biến và hàm). Ý nghĩa từng tham số z_{ij} , y_{ij} được suy luận một cách tương tự nhưng ở đây không xét.

Về mặt toán học, các tham số xoay chiều giới thiệu trên đây thực chất là những đạo hàm riêng biểu thị cho độ dốc (hoặc nghịch đảo độ dốc) của những đặc tuyến tĩnh tương ứng. Các tham số này chỉ có ý nghĩa khi BJT làm việc với tín hiệu nhỏ.

Mạch tương đương dùng tham số h (hybrid) của BJT:



Hình 4.19. Mô hình tương đương của BJT đối với tín hiệu xoay chiều biên độ nhỏ, tần số thấp.



Hình 4.20. Mô hình tương đương dùng tham số h (hybrid) của BJT mắc kiểu CE.

Với r_b là điện trở nền, điện trở này phụ thuộc vào nồng độ tạp chất ở vùng nền. Để giảm r_b nồng độ tạp chất ở vùng nền phải cao nhưng điều này ảnh hưởng bất lợi đến hiệu suất cực phát.

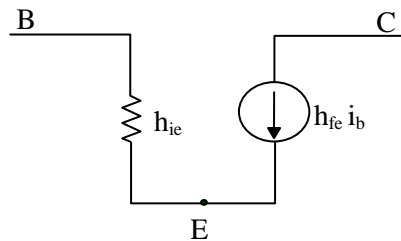
r_e là điện trở động giữa B và E khi mỗi nối P – N giữa B và E được phân cực thuận. Nếu xem dòng i_b chạy khắp mạch ngõ vào thì phải thế $r_e = \beta r_e$.

$$\text{Thế } h_{ie} = r_b + \beta r_e \quad (4.45)$$

$h_{re}V_{ce}$: nguồn điện áp này thể hiện ảnh hưởng của ngõ ra đối với ngõ vào, tức là thể hiện sự truyền điện áp theo chiều ngược (hiện tượng hồi tiếp nội bộ của BJT). Thực tế, các BJT thường có h_{12} (h_r) rất bé (cỡ $10^{-3} \div 10^{-4}$) nên bỏ qua $h_{re}V_{ce}$.

Giữa C và E có nguồn dòng $h_{fe} \cdot i_b$. h_{22} (h_o) thường rất bé nghĩa là $\frac{1}{h_o}$ rất lớn nên có thể bỏ qua nhánh $\frac{1}{h_o}$

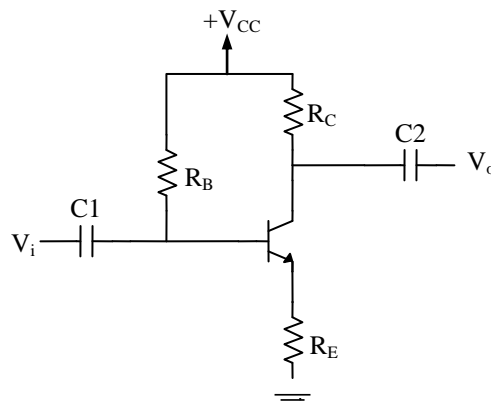
Như vậy, ta có mô hình đơn giản như hình 4.21.



Hình 4.21. Mô hình tương đương dùng tham số h dạng đơn giản nhất của BJT mắc kiểu CE.

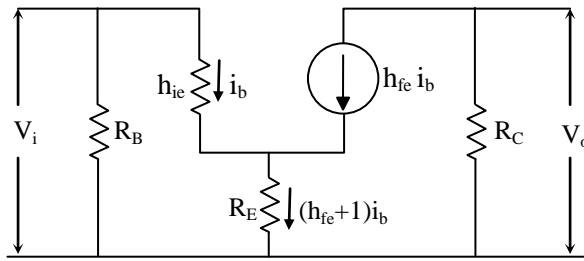
Ví dụ:

Vẽ mạch tương đương dùng tham số h (hybrid) của mạch khuếch đại như hình 4.22.



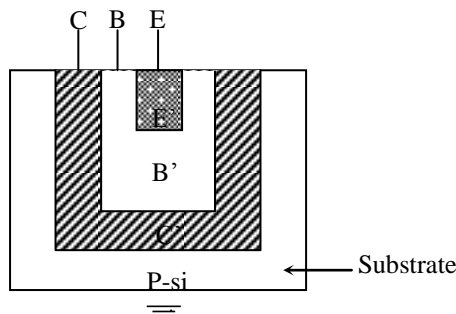
Hình 4.22. Mạch khuếch đại dùng BJT mắc kiểu CE.

Mạch tương đương dùng tham số h (hybrid) của mạch hình 4.22:

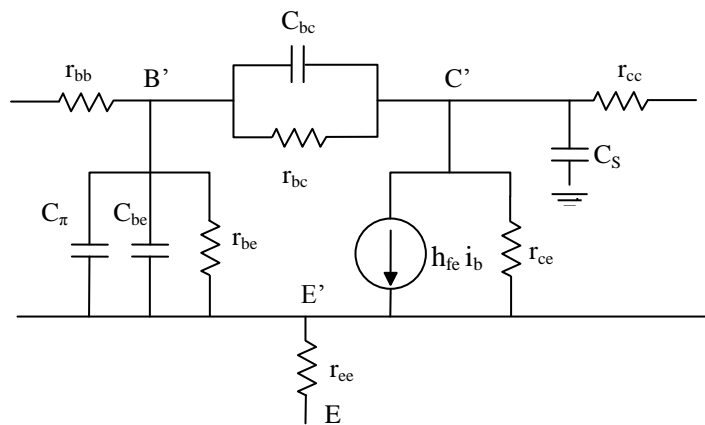


Hình 4.23. Mạch tương đương dùng tham số h (hybrid) của mạch hình 4.22.

Lưu ý: Mô hình tương đương dùng tham số h (hybrid) của BJT ở trên chỉ đúng khi BJT làm việc với tín hiệu xoay chiều biên độ nhỏ, tần số thấp hoặc trung bình. Khi làm việc ở tần số cao mạch tương đương vẽ phức tạp hơn, có thêm vài tham số ảnh hưởng mô hình. Mô hình này gọi là mô hình π hỗn hợp (Hybrid – Pi mode).



Hình 4.24. Mặt cắt ngang của BJT loại NPN.



Hình 4.25. Mô hình π hỗn hợp của BJT.

Với:

$r_{bb} = r_b$ là điện trở nền, điện trở này phụ thuộc vào nồng độ tạp chất ở vùng nền.

$r_{be} = r_e$: là điện trở động giữa B và E khi mối nối P – N giữa B và E được phân cực thuận.

c_{be} : điện dung tiếp xúc của mối nối BE (tụ liên cực)

c_{π} : điện dung khuếch tán.

r_{bc} : là điện trở động của mối nối P –N giữa B và C phân cực nghịch nên r_{bc} rất lớn.

c_{bc} điện dung tiếp xúc của mối nối BC.

$h_{fe}i_b$: nguồn dòng.

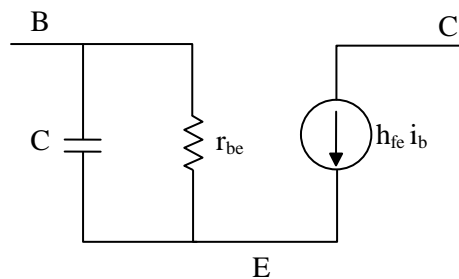
r_{ce} : điện trở ra. Điện trở này càng cao càng tốt để đảm bảo dòng điện của BJT chỉ được điều khiển bằng tín hiệu vào.

c_s : điện dung giữa vùng thu có pha tạp chất và đế.

r_{cc} : điện trở vùng thu được pha tạp chất ít ở gần vùng nền và pha nhiều ở xa vùng nền để đảm bảo giá trị r_{cc} nhỏ.

r_{ee} : điện trở vùng phát, r_{cc} : điện trở này phụ thuộc nồng độ tạp chất vùng phát và độ linh động của các hạt dẫn.

Để đơn giản ta bỏ qua nhiều tham số và mô hình đơn giản như hình 4.26.



Hình 4.26. Mô hình π hỗn hợp dạng đơn giản.

Nguồn dòng $h_{fe}i_b$ còn được thay thế tương đương là $g_m v_{be}$.

4.8. Phân loại - ứng dụng

Ta có thể dựa vào cấu tạo hay dựa vào ứng dụng để phân loại:

Dựa vào cấu tạo ta có hai loại:

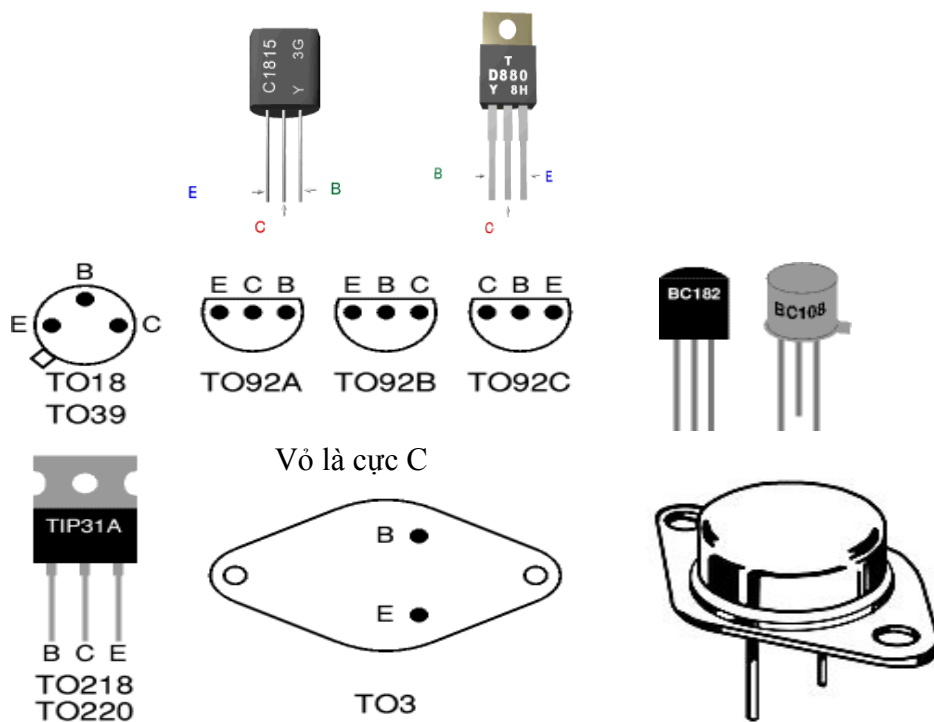
- BJT loại NPN, được chế tạo từ bán dẫn chính là Si hoặc Ge.
- BJT loại PNP, được chế tạo từ bán dẫn chính là Si hoặc Ge.

Dựa vào ứng dụng:

- BJT làm việc tần số thấp.
- BJT làm việc tần số cao.
- BJT có tần số cắt thấp.
- BJT có tần số cắt cao.
- BJT công suất nhỏ, tần số thấp.
- BJT công suất nhỏ, tần số trung bình.
- BJT công suất nhỏ, tần số cao.
- BJT công suất trung bình, tần số thấp.
- BJT công suất trung bình, tần số trung bình.
- BJT công suất trung bình, tần số cao.

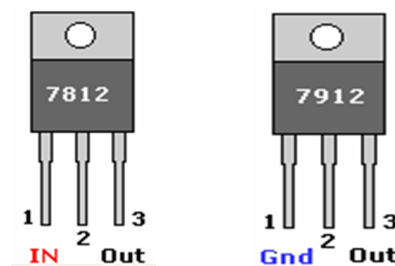
- BJT công suất cao, tần số thấp.
- BJT công suất cao, tần số trung bình.
- BJT công suất cao, tần số cao.
- BJT số là loại BJT có kết hợp thêm các điện trở ở bên trong nó.
- BJT xuất ngang trong TV và monitor vi tính (sò ngang).
- BJT dán (gắn bề mặt) (BJT chip).
- BJT Darlington...

Khi dùng BJT, ta cần biết một số thông số của BJT: I_{Cmax} , I_{Bmax} , điện áp đánh thủng, công suất cực đại cho phép, hệ số khuếch đại dòng, tần số cắt, loại BJT, ..., những thông số này dễ dàng biết được khi tìm hiểu, tra cứu BJT.



Hình 4.27. Hình dạng và sơ đồ chân của một số loại BJT.

BJT có chức năng đặc biệt là khuếch đại tín hiệu nên nó được dùng làm phần tử trong nhiều dạng mạch khuếch đại; BJT được dùng làm những mạch: ổn áp, dao động, khóa, ...; nó được tích hợp theo một sơ đồ nhất định để có những IC (Integrated Circuit) chuyên dụng:



Hình 4.28. Hình dạng và sơ đồ chân của một số loại IC.

CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

1. BJT là gì? Có mấy loại? Kể tên và vẽ kí hiệu tương ứng của BJT.
2. Điều kiện để BJT dẫn điện là gì? Nêu nguyên lí hoạt động của BJT.
3. BJT có mấy cách mắc cơ bản? Nêu cách nhận dạng kiểu mắc của BJT.
4. Thiết lập hệ thức liên hệ giữa các dòng điện của BJT.
5. Nêu cách khảo sát đặc tuyến của BJT, vẽ dạng đặc tuyến của BJT.
6. Phân cực BJT là gì? Có những dạng phân cực nào? Kể tên và vẽ dạng mạch tương ứng. Ứng với mỗi mạch hãy thiết lập công thức xác định tọa độ điểm phân cực Q, điện thế tại các cực của BJT. Đường tải tĩnh là gì? Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh. Khi phân cực mạnh hay yếu thì Q dịch chuyển theo hướng nào? Tại sao?
7. Nêu cách ổn định nhiệt cho BJT.
8. Vẽ mạch tương đương dùng tham số h (hybrid) của BJT. Nêu ý nghĩa của các tham số trong mô hình tương đương. Kiểm chứng những đặc tính của các mạch khuếch đại dùng BJT mắc kiểu CE, CB, CC.
9. Cho mạch như hình 4.11. Với $V_{CC} = 12 \text{ V}$; $V_{BB} = 3 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 100$; $R_B = 120 \text{ k}$; $R_C = 3 \text{ k}$.
 - a. Đây là mạch gì?
 - b. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.
 - c. Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
 - d. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.
10. Cho mạch như hình 4.11. Với $V_{CC} = 18 \text{ V}$; $V_{BB} = 3,6 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 80$; $R_B = 50 \text{ k}$; $R_C = 2 \text{ k}$.
 - a. Đây là mạch gì?
 - b. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.
 - c. Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
 - d. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.
11. Cho mạch như hình 4.13. Với $V_{CC} = 12 \text{ V}$; $V_{BB} = 3 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 100$; $R_B = 70 \text{ k}$; $R_C = 2,5 \text{ k}$; $R_E = 0,5 \text{ k}$.
 - a. Đây là mạch gì?
 - b. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.
 - c. Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
 - d. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.
12. Cho mạch như hình 4.13. Với $V_{CC} = 18 \text{ V}$; $V_{BB} = 3,6 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 80$; $R_B = 10 \text{ k}$; $R_C = 1,5 \text{ k}$; $R_E = 0,5 \text{ k}$.
 - a. Đây là mạch gì?

- b. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.
 - c. Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
 - d. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.
13. Cho mạch như hình 4.14. Với $V_{CC} = 12\text{ V}$; $V_{BE} = 0,6\text{ V}$; $\beta = 100$; $R_B = 520\text{ k}$; $R_C = 2,5\text{ k}$; $R_E = 0,5\text{ k}$.
- a. Đây là mạch gì?
 - b. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.
 - c. Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
 - d. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.
14. Cho mạch như hình 4.14. Với $V_{CC} = 12\text{ V}$; $V_{BE} = 0,6\text{ V}$; $\beta = 100$; $R_B = 570\text{ k}$; $R_C = 3\text{ k}$; $R_E = 0\text{ k}$ (cực E nối trực tiếp xuống mass).
- a. Hãy vẽ dạng mạch. Đây là mạch gì?
 - b. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.
 - c. Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
 - d. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.
15. Cho mạch như hình 4.15. Với $V_{CC} = 12\text{ V}$; $V_{BE} = 0,6\text{ V}$; $\beta = 100$; $R_B = 270\text{ k}$; $R_C = 2,5\text{ k}$; $R_E = 0,5\text{ k}$.
- a. Đây là mạch gì?
 - b. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.
 - c. Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
 - d. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.
16. Cho mạch như hình 4.15. Với $V_{CC} = 12\text{ V}$; $V_{BE} = 0,6\text{ V}$; $\beta = 100$; $R_B = 270\text{ k}$; $R_C = 3\text{ k}$; $R_E = 0\text{ k}$ (cực E nối trực tiếp xuống mass).
- a. Hãy vẽ dạng mạch. Đây là mạch gì?
 - b. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.
 - c. Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
 - d. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.
17. Cho mạch như hình 4.16. Với $V_{CC} = 12\text{ V}$; $V_{BE} = 0,6\text{ V}$; $\beta = 100$; $R_{B1} = 56\text{ k}$; $R_{B2} = 10\text{ k}$; $R_C = 2,5\text{ k}$; $R_E = 0,5\text{ k}$.
- a. Đây là mạch gì?
 - b. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.
 - c. Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
 - d. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

18. Cho mạch như hình 4.16. Với $V_{CC} = 18 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 80$; $R_{B1} = 48 \text{ k}$; $R_{B2} = 12 \text{ k}$; $R_C = 1,5 \text{ k}$; $R_E = 0,5 \text{ k}$.

- Đây là mạch gì?
- Xác định tọa độ điểm phân cực Q.
- Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
- Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

19. Cho mạch phân cực BJT dạng dùng cầu phân thế. Với $V_{CC} = 12 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 100$; $R_{B1} = 10 \text{ k}$; $R_{B2} = 56 \text{ k}$; $R_C = 2,5 \text{ k}$; $R_E = 0,5 \text{ k}$.

- Hãy vẽ dạng mạch (lưu ý: phải chọn R_{B1} , R_{B2} vị trí thích hợp).
- Xác định tọa độ điểm phân cực Q.
- Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
- Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

20. Cho mạch phân cực BJT dạng dùng cầu phân thế. Với $V_{CC} = 18 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 80$; $R_{B1} = 12 \text{ k}$; $R_{B2} = 48 \text{ k}$; $R_C = 1,5 \text{ k}$; $R_E = 0,5 \text{ k}$.

- Hãy vẽ dạng mạch (lưu ý: phải chọn R_{B1} , R_{B2} vị trí thích hợp).
- Xác định tọa độ điểm phân cực Q.
- Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
- Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

21. Cho mạch phân cực BJT dạng dùng điện trở hồi tiếp áp R_B . Với $V_{CC} = 12 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 100$; $R_B = 270 \text{ k}$; $R_C = 2,5 \text{ k}$; $R_E = 0,5 \text{ k}$.

- Hãy vẽ dạng mạch.
- Xác định tọa độ điểm phân cực Q.
- Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
- Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

22. Cho mạch phân cực BJT dạng dùng điện trở giảm áp R_B . Với $V_{CC} = 12 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 100$; $R_B = 520 \text{ k}$; $R_C = 2,5 \text{ k}$; $R_E = 0,5 \text{ k}$.

- Hãy vẽ dạng mạch.
- Xác định tọa độ điểm phân cực Q.
- Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
- Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

23. Cho mạch phân cực BJT dạng dùng điện trở hồi tiếp áp R_B ; cực E nối trực tiếp xuống mass. Với $V_{CC} = 12 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 100$; $R_B = 270 \text{ k}$; $R_C = 3 \text{ k}$.

- Hãy vẽ dạng mạch.
- Xác định tọa độ điểm phân cực Q.

c. Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.

d. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

24. Cho mạch phân cực BJT dạng dùng điện trở giảm áp R_B ; cực E nối trực tiếp xuống mass. Với $V_{CC} = 12\text{ V}$; $V_{BE} = 0,6\text{ V}$; $\beta = 100$; $R_B = 570\text{ k}$; $R_C = 3\text{ k}$.

a. Hãy vẽ dạng mạch.

b. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.

c. Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.

d. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

25. Cho mạch phân cực BJT dạng dùng hai nguồn. Với $V_{CC} = 12\text{ V}$; $V_{BE} = 3\text{ V}$; $V_{BE} = 0,6\text{ V}$; $\beta = 100$; $R_B = 70\text{ k}$; $R_C = 2,5\text{ k}$; $R_E = 0,5\text{ k}$.

a. Hãy vẽ dạng mạch.

b. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.

c. Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.

d. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

26. Cho mạch phân cực BJT dạng dùng hai nguồn. Với $V_{CC} = 18\text{ V}$; $V_{BE} = 3,6\text{ V}$; $V_{BE} = 0,6\text{ V}$; $\beta = 80$; $R_B = 10\text{ k}$; $R_C = 1,5\text{ k}$; $R_E = 0,5\text{ k}$.

a. Hãy vẽ dạng mạch.

b. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.

c. Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.

d. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

27. Cho mạch phân cực BJT dạng dùng hai nguồn, cực E nối trực tiếp xuống mass. Với $V_{CC} = 12\text{ V}$; $V_{BB} = 3\text{ V}$; $V_{BE} = 0,6\text{ V}$; $\beta = 100$; $R_B = 120\text{ k}$; $R_C = 3\text{ k}$.

a. Hãy vẽ dạng mạch.

b. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.

c. Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.

d. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

28. Cho mạch phân cực BJT dạng dùng hai nguồn, cực E nối trực tiếp xuống mass. Với $V_{CC} = 18\text{ V}$; $V_{BE} = 3,6\text{ V}$; $V_{BE} = 0,6\text{ V}$; $\beta = 80$; $R_B = 50\text{ k}$; $R_C = 2\text{ k}$.

a. Hãy vẽ dạng mạch.

b. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.

c. Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.

d. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

29. Cho mạch như hình 4.14. $V_{CC} = 12\text{ V}$; $V_E = 1\text{ V}$; $V_{BE} = 0,6\text{ V}$; $\beta = 100$. Mạch có điểm phân cực Q(6 V; 2 mA).

- a. Xác định trị số các điện trở.
- b. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
- c. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

30. Cho mạch như hình 4.14. $V_{CC} = 12 \text{ V}$; $V_E = 0 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 100$. Mạch có điểm phân cực Q(6 V; 2 mA).

- a. Xác định trị số các điện trở.
- b. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
- c. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

31. Cho mạch như hình 4. 15. $V_{CC} = 12 \text{ V}$; $V_E = 1 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 100$. Mạch có điểm phân cực Q(6 V; 2 mA).

- a. Xác định trị số các điện trở.
- b. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
- c. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

32. Cho mạch như hình 4. 15. $V_{CC} = 12 \text{ V}$; $V_E = 0 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 100$. Mạch có điểm phân cực Q(6 V; 2 mA).

- a. Xác định trị số các điện trở.
- b. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
- c. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

33. Cho mạch như hình 4.14. $V_{CC} = 12 \text{ V}$; $V_B = 1,6 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 100$. Mạch có điểm phân cực Q(6 V; 2 mA).

34. Cho mạch như hình 4.14. $V_{CC} = 12 \text{ V}$; $V_C = 7 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 100$. Mạch có điểm phân cực Q(6 V; 2 mA).

- a. Xác định trị số các điện trở.
- b. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
- c. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

35. Cho mạch như hình 4.15. $V_{CC} = 12 \text{ V}$; $V_B = 1,6 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 100$. Mạch có điểm phân cực Q(6 V; 2 mA).

- a. Xác định trị số các điện trở.
- b. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
- c. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

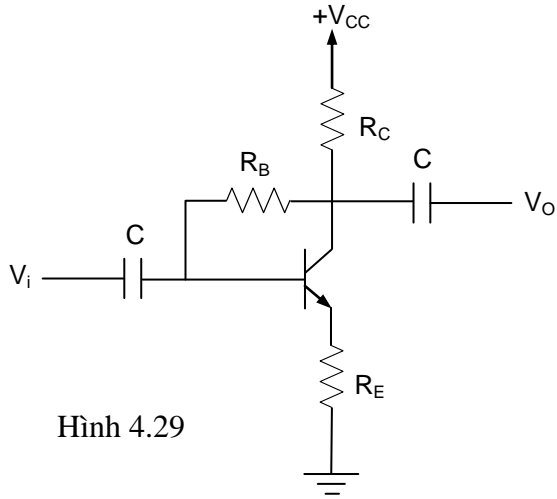
36. Cho mạch như hình 4.15. $V_{CC} = 12 \text{ V}$; $V_C = 7 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 100$. Mạch có điểm phân cực Q(6 V; 2 mA).

- a. Xác định trị số các điện trở.
- b. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
- c. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

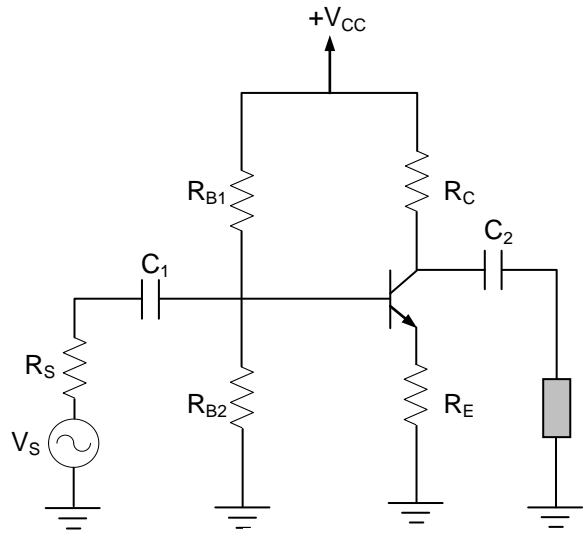
37. Cho mạch như hình 4.14. $V_{CC} = 12 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 100$. Mạch có điểm phân cực Q(6 V; 2 mA). Chọn $R_E = 0,5 \text{ k}$.

- a. Xác định trị số các điện trở.
- b. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
- c. Cho biết điện thế tại các cực của BJT.

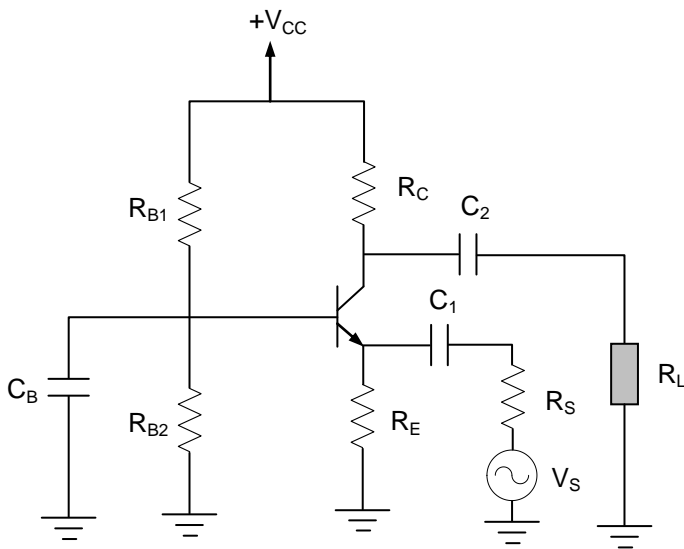
38. Cho mạch như hình 4.15. $V_{CC} = 12 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 100$. Mạch có điểm phân cực Q(6 V; 2 mA). Chọn $R_E = 0,5 \text{ k}$.
- Xác định trị số các điện trở.
 - Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
 - Cho biết điện thế tại các cực của BJT.
39. Cho mạch như hình 4.14. $V_{CC} = 12 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 100$. Mạch có điểm phân cực Q(6 V; 2 mA). Chọn $R_C = 2,5 \text{ k}$.
- Xác định trị số các điện trở.
 - Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
 - Cho biết điện thế tại các cực của BJT.
40. Cho mạch như hình 4.15. $V_{CC} = 12 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$; $\beta = 100$. Mạch có điểm phân cực Q(6 V; 2 mA). Chọn $R_C = 2,5 \text{ k}$.
- Xác định trị số các điện trở.
 - Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
 - Cho biết điện thế tại các cực của BJT.
41. Cho mạch như hình 4.5.
- Đây là mạch gì?
 - Vẽ mạch tương đương dùng tham số h của mạch hình 4.5.
42. Cho mạch như hình 4.6.
- Đây là mạch gì?
 - Vẽ mạch tương đương dùng tham số h của mạch hình 4.6.
43. Cho mạch như hình 4.7.
- Đây là mạch gì?
 - Vẽ mạch tương đương dùng tham số h của mạch hình 4.7.
44. Cho mạch như hình 4.22 nhưng cực E được nối trực tiếp xuống mass.
- Đây là mạch gì?
 - Vẽ mạch tương đương dùng tham số h của mạch hình 4.22 nhưng cực E được nối trực tiếp xuống mass.
45. Cho mạch như hình 4.29.
- Đây là mạch gì?
 - Vẽ mạch tương đương dùng tham số h của mạch hình 4.29.
46. Cho mạch như hình 4.30.
- Đây là mạch gì?
 - Vẽ mạch tương đương dùng tham số h của mạch hình 4.30.
47. Cho mạch như hình 4.31.
- Đây là mạch gì?
 - Vẽ mạch tương đương dùng tham số h của mạch hình 4.31.
48. Cho mạch như hình 4.32.
- Đây là mạch gì?
 - Vẽ mạch tương đương dùng tham số h của mạch hình 4.32.



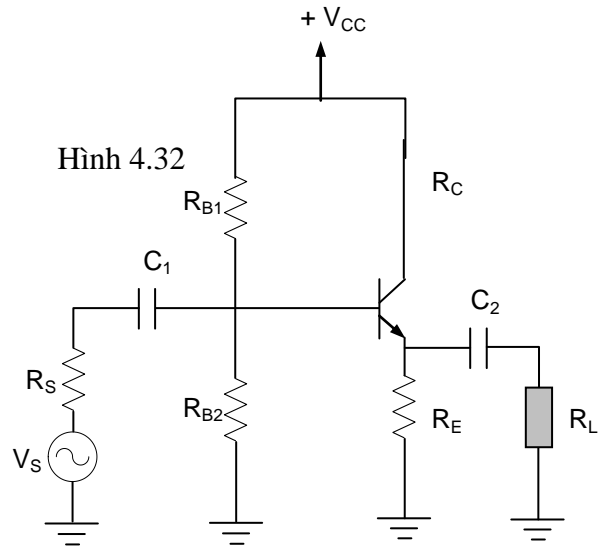
Hình 4.29



Hình 4.30



Hình 4.31



Hình 4.32

Chương 5

TRANSISTOR HIỆU ỨNG TRƯỜNG

Như đã biết ở chương 4, BJT là Transistor mối nối lưỡng cực có tổng trở vào nhỏ ở cách mắc thông thường. Dòng $I_C = \beta I_B$, muốn dòng I_C càng lớn ta phải tăng dòng I_B (thúc dòng ngõ vào). Ở chương 5 sẽ tìm hiểu về transistor hiệu ứng trường (FET \equiv Field Effect Transistor). FET có tổng trở vào lớn, dòng ngõ ra được thay đổi bằng cách thay đổi điện áp ở ngõ vào hay nói cách khác dòng giữa cực máng (cực thoát) (D) và cực nguồn (S) được điều khiển bởi điện áp giữa cực cổng (G) và cực nguồn (S).

5.1. JFET

5.1.1. Cấu tạo – kí hiệu

JFET (Junction Field Effect Transistor) được gọi là FET nối.

JFET có cấu tạo như hình 5.1.

Trên thanh bán dẫn hình trụ có điện trở suất khá lớn (nồng độ tạp chất tương đối thấp), đáy trên và đáy dưới lần lượt cho tiếp xúc kim loại đưa ra hai cực tương ứng là cực máng (cực thoát) và cực nguồn.

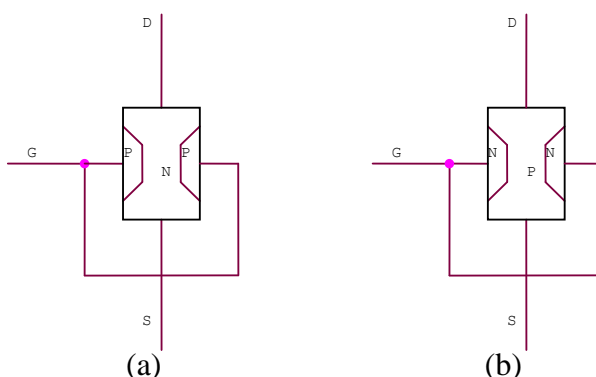
Vòng theo chu vi của thanh bán dẫn người ta tạo một mối nối P – N. Kim loại tiếp xúc với mẫu bán dẫn mới, đưa ra ngoài cực cổng (cửa).

D: Drain: cực máng (cực thoát).

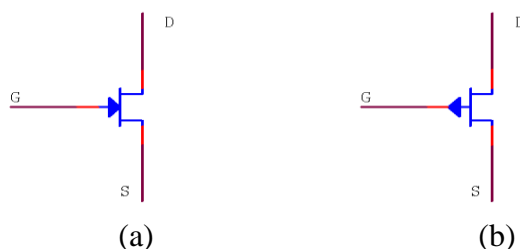
G: Gate: cực cổng (cực cửa).

S: Source: cực nguồn.

Vùng bán dẫn giữa D và S được gọi là thông lộ (kênh). Tùy theo loại bán dẫn giữa D và S mà ta phân biệt JFET thành hai loại: JFET kênh N, JFET kênh P. Nó có kí hiệu như hình 5.2.

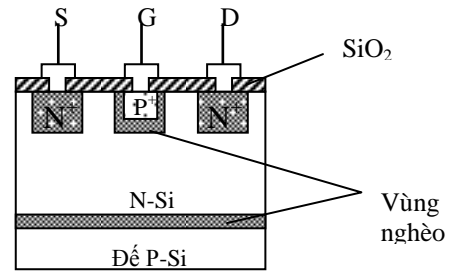


Hình 5.1. Cấu tạo của JFET kênh N (a), JFET kênh P (b).



Hình 5.2. Kí hiệu của JFET kênh N (a), JFET kênh P (b).

Thực tế, cấu tạo của JFET phức tạp hơn. Điện hình là với công nghệ planar – epitaxy, cấu trúc JFET kênh N như hình 5.3. Các cực D, G, S đều lấy ra từ trên bề mặt của phiến bán dẫn. Các vùng N^+ để tạo tiếp xúc không chính lưu giữa cực máng, cực nguồn với kênh dẫn loại N. Vùng P^+ đóng vai trò cực cổng. Lớp cách điện SiO_2 để bảo vệ bề mặt.



Hình 5.3. Cấu trúc JFET chế tạo theo công nghệ planar.

5.1.2. Nguyên lý vận chuyển

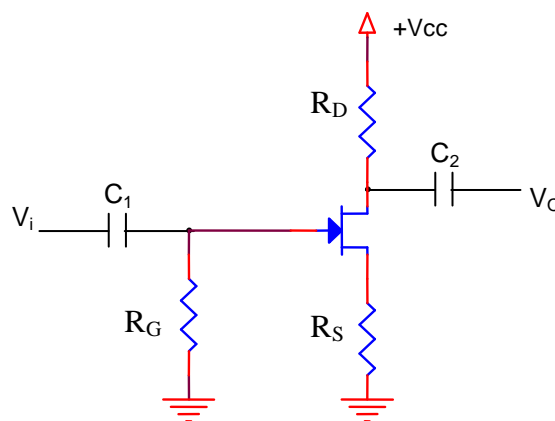
Giữa D và S đặt một điện áp V_{DS} tạo ra một điện trường có tác dụng đẩy hạt tải đa số của bán dẫn kênh chạy từ S sang D hình thành dòng điện I_D . Dòng I_D tăng theo điện áp V_{DS} đến khi đạt giá trị bão hòa I_{DSS} (saturation) và điện áp tương ứng gọi là điện áp tắt kênh V_{PO} (pinch off), tăng V_{DS} lớn hơn V_{PO} thì I_D vẫn không tăng.

Giữa G và S đặt một điện áp V_{GS} sao cho không phân cực hoặc phân cực nghịch mỗi nối P – N. Nếu không phân cực mỗi nối P – N ta có dòng I_D đạt giá trị lớn nhất I_{DSS} . Nếu phân cực nghịch mỗi nối P – N làm cho vùng tiếp xúc thay đổi diện tích. Điện áp phân cực nghịch càng lớn thì vùng tiếp xúc (vùng hiếm) càng nở rộng ra, làm cho tiết diện của kênh dẫn bị thu hẹp lại, điện trở kênh tăng lên nên dòng điện qua kênh I_D giảm xuống và ngược lại. V_{GS} tăng đến giá trị V_{PO} thì I_D giảm về 0.

5.1.3. Các cách mắc cơ bản của JFET

a. JFET mắc kiểu cực nguồn chung (Common Source \equiv CS)

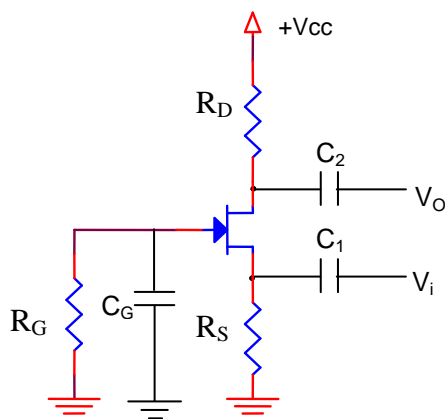
Mạch dùng JFET mắc kiểu cực nguồn chung (Common Source \equiv CS) như hình 5.4.



Hình 5.4. JFET mắc kiểu cực nguồn chung.

b. JFET mắc kiểu cực cổng chung (Common Gate \equiv CG)

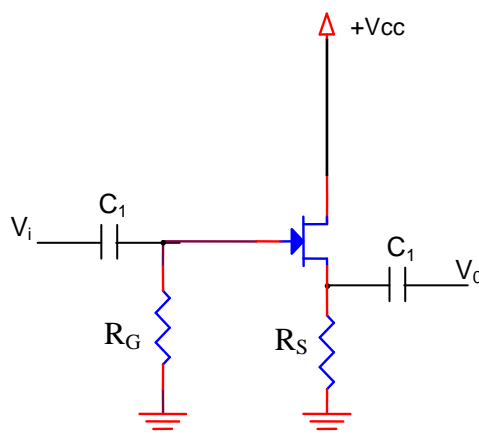
Mạch dùng JFET mắc kiểu cực cổng chung (Common Gate \equiv CG) như hình 5.5.



Hình 5.5. JFET mắc kiểu cực cổng chung.

c. JFET mắc kiểu cực thoát chung (Common Drain \equiv CD)

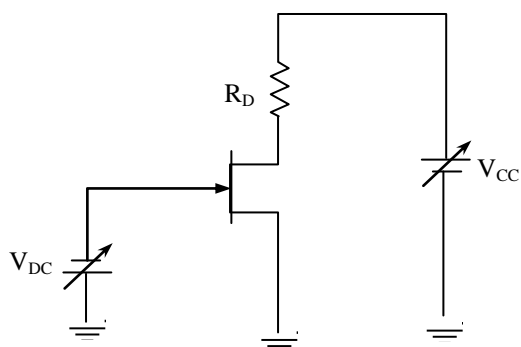
Mạch dùng JFET mắc kiểu cực thoát chung (Common Drain \equiv CD) như hình 5.6.



Hình 5.6. JFET mắc kiểu cực thoát chung.

- ❖ CS: Tín hiệu vào G so với S, tín hiệu ra D so với S.
- ❖ CG: Tín hiệu vào S so với G, tín hiệu ra D so với G.
- ❖ CD: Tín hiệu vào G so với D, tín hiệu ra S so với D.

5.1.4. Đặc tuyến của JFET



Hình 5.7. Mạch khảo sát đặc tuyến của JFET.

Khảo sát sự thay đổi dòng thoát I_D theo hiệu điện thế V_{DS} và V_{GS} , từ đó người ta đưa ra hai dạng đặc tuyến của JFET.

V_{DS} là hiệu điện thế giữa cực D và cực S.

V_{GS} là hiệu điện thế giữa cực G và cực S.

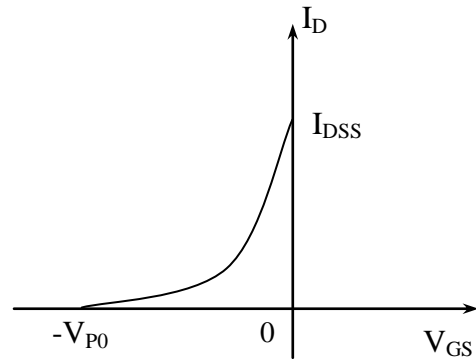
a. Đặc tuyến truyền dẫn $I_D(V_{GS})$ ứng với $V_{DS} = \text{const}$.

Giữ $V_{DS} = \text{const}$, thay đổi V_{GS} bằng cách thay đổi nguồn V_{DC} , khảo sát sự biến thiên của dòng thoát I_D theo V_{GS} . Ta có:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{PO}} \right)^2 \quad (5.1)$$

- Khi $V_{GS} = 0V$, dòng điện I_D lớn nhất và đạt giá trị bão hòa, kí hiệu: I_{DSS} .

- Khi V_{GS} âm thì dòng I_D giảm, V_{GS} càng âm thì dòng I_D càng giảm. Khi $V_{GS} = V_{PO}$ thì dòng $I_D = 0$. V_{PO} lúc này được gọi là điện thế thắt kênh (ngheñ kênh).



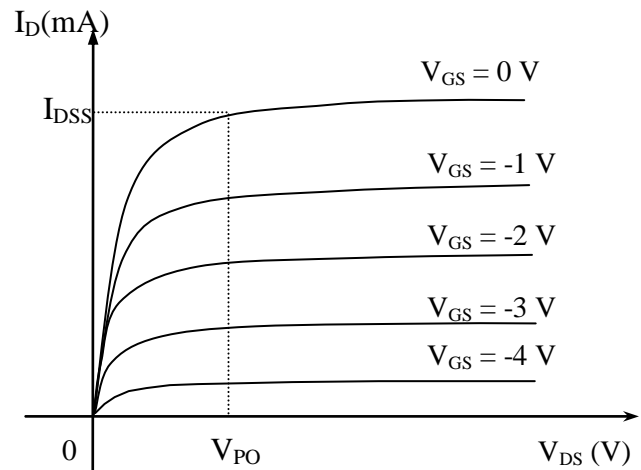
Hình 5.8. Đặc tuyến truyền dẫn của JFET.

b. Đặc tuyến ngõ ra $I_D(V_{DS})$ ứng với $V_{GS} = \text{const}$.

Giữ nguyên V_{GS} ở một trị số không đổi (nhất định). Thay đổi V_{CC} và khảo sát sự biến thiên của dòng thoát I_D theo V_{DS} .

- Giả sử chỉnh nguồn V_{DC} về $0V$, không thay đổi nguồn V_{DC} , ta có $V_{GS} = 0V = \text{const}$. Thay đổi nguồn $V_{CC} \rightarrow V_{DS}$ thay đổi $\rightarrow I_D$ thay đổi. Đo dòng I_D và V_{DS} . Ta thấy lúc đầu I_D tăng nhanh theo V_{DS} , sau đó I_D đạt giá trị bão hòa, I_D không tăng mặc dù V_{DS} cứ tăng.

- Chỉnh nguồn V_{DC} để có $V_{GS} = 1V$. Không thay đổi nguồn V_{DC} , ta có $V_{GS} = 1V = \text{const}$. Thay đổi nguồn $V_{CC} \rightarrow V_{DS}$ thay đổi $\rightarrow I_D$ thay đổi. Đo dòng I_D và V_{DS} tương ứng. Ta thấy lúc đầu I_D tăng nhanh theo V_{DS} , sau đó I_D đạt giá trị bão hòa, I_D không tăng mặc dù V_{DS} cứ tăng.



Hình 5.9. Họ đặc tuyến ngõ ra của JFET.

- Lặp lại tương tự như trên ta vẽ được họ đặc tuyến ngõ ra $I_D(V_{DS})$ ứng với $V_{GS} = \text{const}$.

5.1.5. Phân cực

Tương tự cách tính toán, xác định công thức tính điện thế, dòng điện của mạch phân cực BJT. Nhưng đặc biệt mạch phân cực hình 5.10, hình 5.11 là mạch phân cực JFET dạng tự động. Chọn điện trở R_G lớn cỡ $1M$ trở lên, ta có $I_G = 0$, $V_G = 0$.

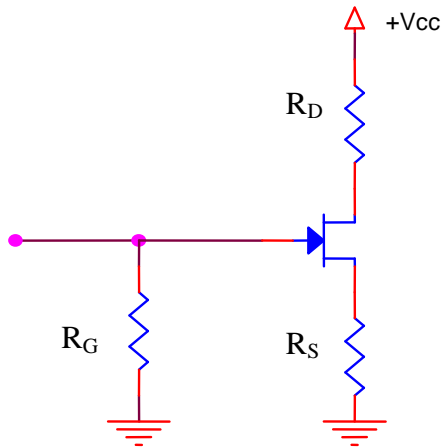
$$V_{GS} = V_G - V_S \text{ hay } V_S = -V_{GS} \quad (5.2)$$

$$V_S = I_S R_S = I_D R_S \quad (5.3)$$

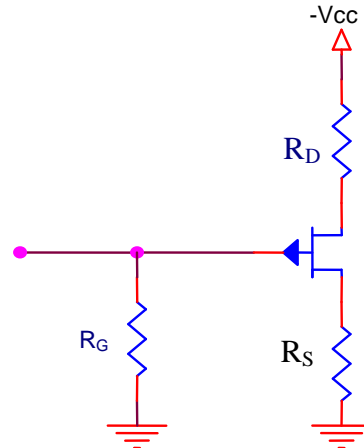
$$V_D = V_{CC} - I_D R_D \quad (5.4)$$

Điểm phân cực của JFET cần xác định các đại lượng V_{GS} , I_D , V_{DS} hay $Q(V_{DS}; I_D)$.

Điểm phân cực $Q(V_{DS}; I_D)$ có thể dịch chuyển trên đường tải tĩnh.



Hình 5.10



Hình 5.11

❖ Tọa độ điểm phân cực Q:

$$Q \begin{cases} V_{GS} \\ I_D \text{ hay } Q(V_{DS}; I_D) \\ V_{DS} \end{cases} \quad (5.5)$$

❖ Phương trình đường tải tĩnh:

$$I_D = \frac{-V_{DS}}{R_D + R_S} + \frac{V_{CC}}{R_D + R_S} \quad (5.6)$$

• Vẽ đường tải tĩnh:

$$\text{Cho } V_{DS} = 0 \Rightarrow I_D = \frac{V_{CC}}{R_D + R_S} \rightarrow A \left(0; \frac{V_{CC}}{R_D + R_S} \right)$$

$$I_D = 0 \Rightarrow V_{DS} = V_{CC} \rightarrow B (V_{CC}; 0)$$

Đường tải tĩnh là đường thẳng nối giữa hai điểm A, B và đi qua điểm Q.

❖ Điện thế tại các cực của JFET:

$$V_G = 0 \quad (5.7a)$$

$$V_S = I_S R_S = I_D R_S \quad (5.7b)$$

$$V_D = V_{CC} - I_D R_D \quad (5.7c)$$

Ví dụ: Cho mạch như hình 5.10.

$$\text{Với } V_{CC} = 12 \text{ V}$$

$$V_{GS} = -2 \text{ V}$$

$$R_G = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_S = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_D = 2 \text{ k}\Omega$$

Mạch này có: $V_G = 0$

$$V_S = -V_{GS} = -(-2) = 2 \text{ V} = I_D R_S$$

$$\Rightarrow I_D = \frac{2}{R_S} = \frac{2}{1\text{k}} = 2 \text{ (mA)}$$

$$V_D = V_{CC} - I_D R_D = 12 - 2 \cdot 2 \text{ k} = 8 \text{ (V)}$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 8 - 2 = 6 \text{ (V)}$$

Vậy tọa độ điểm phân cực:

$$Q \begin{cases} V_{GS} = -2 \text{ V} \\ I_D = 2 \text{ mA} \\ V_{DS} = 6 \text{ V} \end{cases} \quad \text{hay } Q(6 \text{ V}; 2 \text{ mA})$$

❖ **Phương trình đường tải tĩnh có dạng:**

$$I_D = \frac{-V_{DS}}{R_D + R_S} + \frac{V_{CC}}{R_D + R_S} = \frac{-V_{DS}}{2\text{k} + 1\text{k}} + \frac{12}{2\text{k} + 1\text{k}}$$

$$\Leftrightarrow I_D = -0,33V_{DS} + 4 \text{ (mA)}$$

$$\text{Hay } I_D = -0,33 \cdot 10^{-3} V_{DS} + 4 \cdot 10^{-3} \text{ (A)}$$

Điện thế tại các cực của JFET:

$$V_G = 0$$

$$V_S = 2 \text{ V}$$

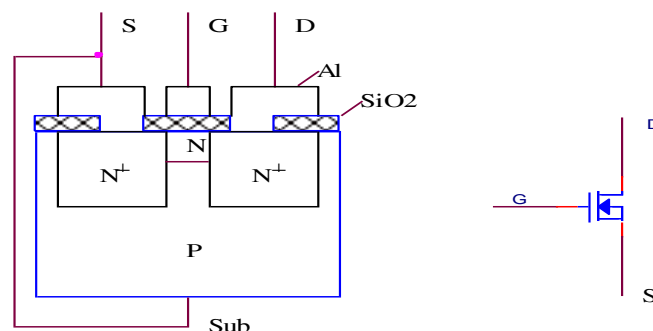
$$V_D = 8 \text{ V}$$

5.2. MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET)

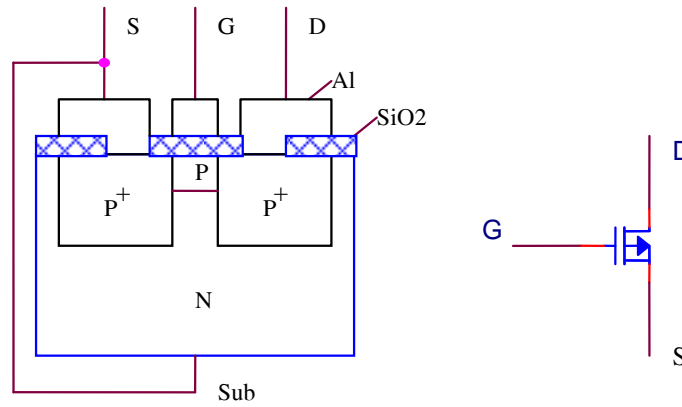
MOSFET hay còn được gọi IGFET (Insulated Gate FET) là FET có cực cổng cách li. MOSFET chia làm hai loại: MOSFET kênh liên tục (MOSFET loại hiếm) và MOSFET kênh gián đoạn (MOSFET loại tăng). Mỗi loại có phân biệt theo chất bán dẫn: kênh N hoặc kênh P.

5.2.1. MOSFET kênh liên tục

a. *Cấu tạo – kí hiệu*



Hình 5.12. Cấu tạo – kí hiệu MOSFET kênh liên tục loại N.



Hình 5.13. Cấu tạo – kí hiệu MOSFET kênh liên tục loại P.

Gate (G): cực cửa (cực cổng)

Drain (D): cực thoát (cực máng)

Source (S): cực nguồn

Substrate (Sub): đế (nền)

Cấu tạo MOSFET kênh liên tục loại N

Trên nền chất bán dẫn loại P, người ta pha hai vùng bán dẫn loại N với nồng độ cao (N^+) được nối liền với nhau bằng một vùng bán dẫn loại N pha nồng độ thấp (N). Trên đó phủ một lớp mỏng SiO_2 là chất cách điện.

Hai vùng bán dẫn N^+ tiếp xúc kim loại (Al) đưa ra cực thoát (D) và cực nguồn (S).

Cực G có tiếp xúc kim loại bên ngoài lớp oxit nhưng vẫn cách điện với kênh N có nghĩa là tổng trở vào cực là lớn.

Để phân biệt kênh (thông lộ) N hay P nhà sản xuất cho thêm chân thứ tư gọi là chân Sub, chân này hợp với thông lộ tạo thành mối nối P-N. Thực tế, chân Sub của MOSFET được nhà sản xuất nối với cực S ở bên trong MOSFET.

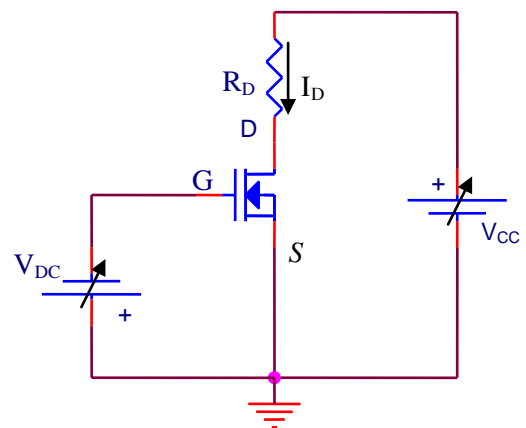
b. Đặc tuyến

V_{DS} là hiệu điện thế giữa cực D và cực S.

V_{GS} là hiệu điện thế giữa cực G và cực S.

Xét mạch như hình 5.14.

Khi $V_{GS} = 0V$: điện tử di chuyển tạo dòng điện I_D , khi tăng điện thế V_{DS} thì dòng I_D tăng, I_D sẽ tăng đến một trị số giới hạn là I_{Dsat} (dòng I_D bão hòa). Điện thế V_{DS} ở trị số I_{Dsat} được gọi là điện thế nghẽn V_{P0} giống như JFET.



Hình 5.14. Mạch khảo sát đặc tuyến của MOSFET kênh liên tục loại N.

Khi $V_{GS} < 0$: cực G có điện thế âm nên đẩy điện tử ở kênh N vào vùng P làm thu hẹp tiết diện kênh dẫn điện N và dòng I_D sẽ giảm xuống do điện trở kênh dẫn điện tăng.

Khi điện thế cực G càng âm thì dòng I_D càng nhỏ, và đến một trị số giới hạn dòng điện I_D gần như không còn. Điện thế này ở cực G gọi là điện thế nghẽn $-V_{P0}$. Đặc tuyến chuyển này tương tự đặc tuyến chuyển của JFET kênh N.

Khi $V_{GS} > 0$, cực G có điện thế dương thì điện tử thiểu số ở vùng nền P bị hút vào kênh N nên làm tăng tiết diện kênh, điện trở kênh bị giảm xuống và dòng I_D tăng cao hơn trị số bão hòa I_{Dsat} . Trường hợp này I_D lớn dễ làm hư MOSFET nên ít được dùng.

Tương tự JFET, ta khảo sát hai dạng đặc tuyến của MOSFET kênh liên tục:

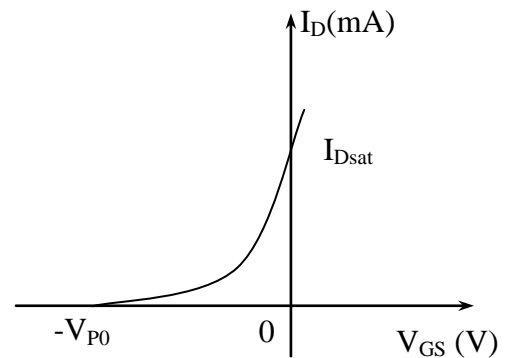
- Đặc tuyến truyền dẫn $I_D(V_{GS})$ ứng với

$$V_{DS} = \text{const.}$$

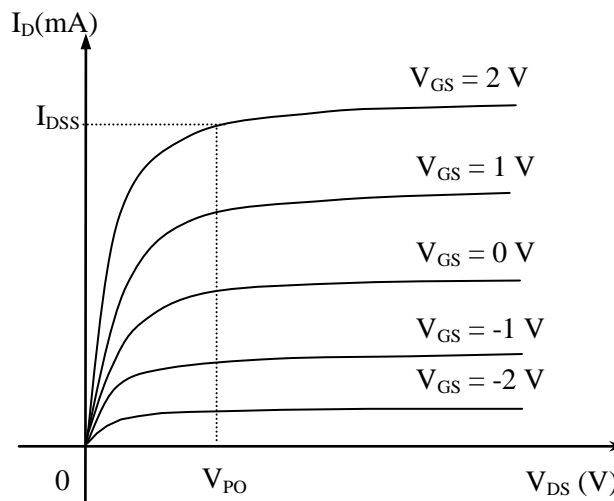
- Đặc tuyến ngõ ra $I_D(V_{DS})$ ứng với

$$V_{GS} = \text{const.}$$

Cách khảo sát tương tự như khảo sát JFET nhưng đến khi cần $V_{GS} > 0$, ta đổi cực của nguồn V_{DC} nhưng lưu ý chỉ cần nguồn dương nhỏ thì I_D đã tăng cao. Ta có hai dạng đặc tuyến như hình 5.15 và hình 5.16:



Hình 5.15. Đặc tuyến truyền dẫn $I_D(V_{GS})$ của MOSFET kênh liên tục loại N.



Hình 5.16. Họ đặc tuyến ngõ ra $I_D(V_{DS})$ của MOSFET kênh liên tục loại N.

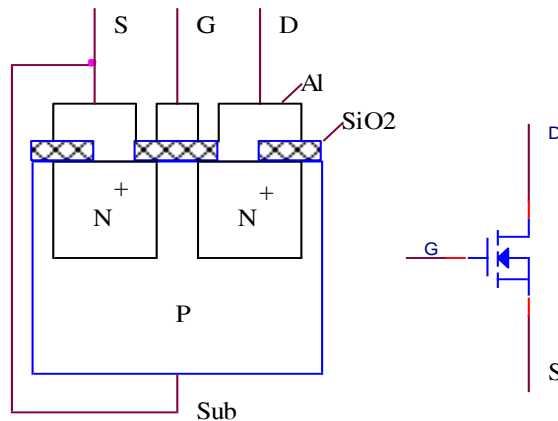
c. Phân cực

MOSFET kênh liên tục loại N thường sử dụng ở trường hợp $V_{GS} < 0$, MOSFET kênh liên tục loại P thường sử dụng ở trường hợp $V_{GS} > 0$ nên cách phân cực tương tự như phân cực JFET.

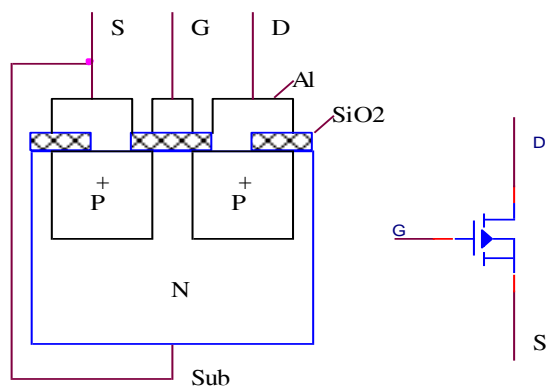
Cách tính các trị số V_D , V_S , V_{GS} , V_{DS} và dòng I_D , xác định đường tải tĩnh tương tự như mạch JFET.

5.2.2. MOSFET kênh gián đoạn

a. Cấu tạo – kí hiệu:



Hình 5.17. Cấu tạo - kí hiệu MOSFET kênh gián đoạn loại N.



Hình 5.18. Cấu tạo- kí hiệu MOSFET kênh gián đoạn loại P.

Cực cửa: Gate (G)

Cực thoát: Drain (D)

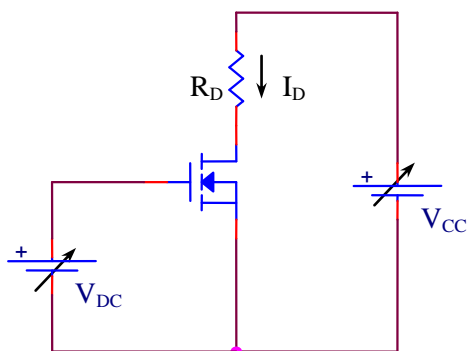
Cực nguồn: Source (S)

Nền (đế): Substrate (Sub)

Cấu tạo MOSFET kênh gián đoạn loại N tương tự như cấu tạo MOSFET kênh liên tục loại N nhưng không có sẵn kênh N. Có nghĩa là hai vùng bán dẫn loại N pha nồng độ cao (N^+) không dính liền nhau nên còn gọi là MOSFET kênh gián đoạn. Mặt trên kênh dẫn điện cũng được phủ một lớp oxit cách điện SiO_2 . Hai dây dẫn xuyên qua lớp cách điện nối vào vùng bán dẫn N^+ gọi là cực S và D. Cực G được lấy ra từ kim loại tiếp xúc bên ngoài lớp oxit SiO_2 nhưng cách điện với bên trong. Cực Sub được nối với cực S ở bên trong MOSFET.

b. Đặc tuyến

Xét mạch như hình 5.19.



Hình 5.19. Mạch khảo sát đặc tuyến của MOSFET kênh gián đoạn loại N.

V_{DS} là hiệu điện thế giữa cực D và cực S.

V_{GS} là hiệu điện thế giữa cực G và cực S.

Khi $V_{GS} = 0V$, điện tử không di chuyển được nên $I_D = 0$, điện trở giữa D và S rất lớn.

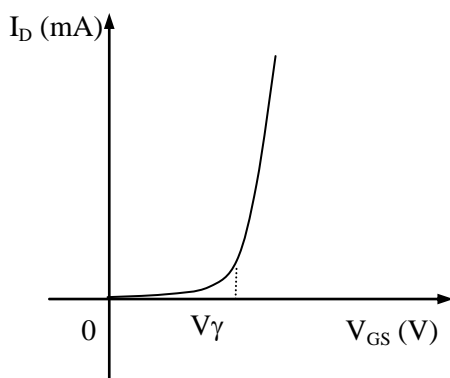
Khi $V_{GS} > 0V$ thì điện tích dương ở cực G sẽ hút điện tử của nền P về phía giữa hai vùng bán dẫn N^+ và khi lực hút đủ lớn thì số điện tử bị hút nhiều hơn, đủ để nối liền hai vùng bán dẫn N^+ và kênh N nối liền hai vùng bán dẫn N^+ đã hình thành nên có dòng I_D chạy từ D sang S. Điện thế cực G càng tăng thì I_D càng lớn.

Điện thế ngưỡng V_γ là điện thế V_{GS} đủ lớn để hình thành kênh, thông thường V_γ vài volt.

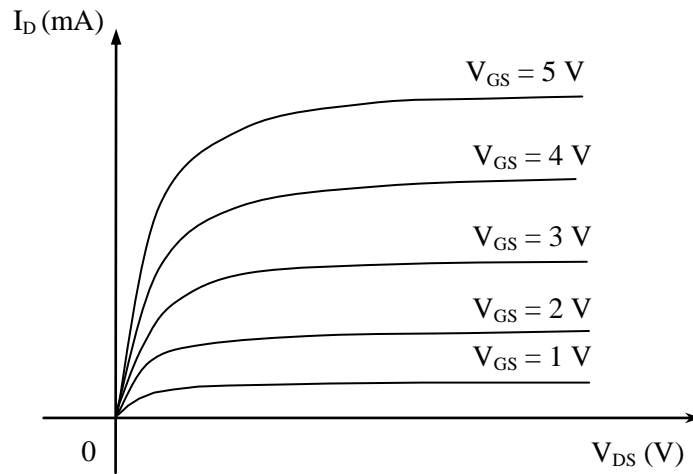
Tương tự JFET và MOSFET kênh liên tục ta khảo sát hai dạng đặc tuyến của MOSFET kênh gián đoạn:

- Đặc tuyến truyền dẫn $I_D(V_{GS})$ ứng với $V_{DS} = \text{const}$.
- Đặc tuyến ngõ ra $I_D(V_{DS})$ ứng với $V_{GS} = \text{const}$.

Cách khảo sát tương tự như khảo sát JFET và MOSFET kênh liên tục nhưng khác với hai trường hợp trên là cần $V_{GS} > 0$, cụ thể nguồn V_{DC} phải dương đủ để V_{GS} bằng điện thế ngưỡng V_γ thì I_D có giá trị khác 0. Ta có hai dạng đặc tuyến như hình 5.20 và hình 5.21:

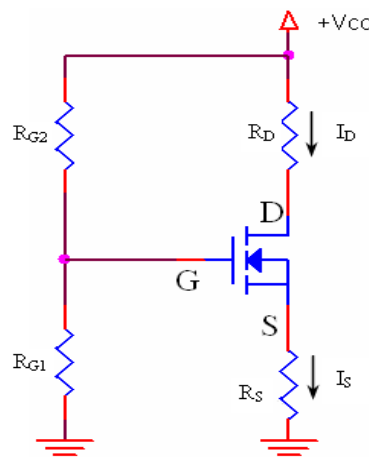


Hình 5.20. Đặc tuyến truyền dẫn $I_D(V_{GS})$ của MOSFET kênh gián đoạn loại N.



Hình 5.21. Họ đặc tuyến ngõ ra $I_D(V_{DS})$ của MOSFET kênh gián đoạn loại N.

b. Phân cực



Hình 5.22. Mạch phân cực MOSFET kênh gián đoạn loại N.

Đối với MOSFET, cực G cách điện với kênh và nền P nên không có dòng I_G đi từ cực G vào MOSFET.

$$V_D = V_{CC} - I_D R_D \quad (5.8)$$

$$V_S = I_D \cdot R_S \quad (5.9)$$

$$V_G = \frac{R_{G1}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{CC} \quad (5.10)$$

$$V_{DS} = V_{CC} - I_D (R_D + R_S) \quad (5.11)$$

$$V_{GS} = V_G - V_S \quad (5.12)$$

Điểm phân cực của MOSFET cần xác định các đại lượng V_{GS} , I_D , V_{DS} hay $Q(V_{DS}; I_D)$.

Điểm phân cực $Q(V_{DS}; I_D)$ có thể dịch chuyển trên đường tải tĩnh.

❖ Tọa độ điểm phân cực Q:

$$Q \begin{cases} V_{GS} \\ I_D \text{ hay } Q(V_{DS}; I_D) \\ V_{DS} \end{cases} \quad (5.13)$$

❖ Phương trình đường tải tĩnh:

$$I_D = \frac{-V_{DS}}{R_D + R_S} + \frac{V_{CC}}{R_D + R_S} \quad (5.14)$$

• Vẽ đường tải tĩnh:

$$\text{Cho } V_{DS} = 0 \Rightarrow I_D = \frac{V_{CC}}{R_D + R_S} \rightarrow A \left(0; \frac{V_{CC}}{R_D + R_S} \right)$$

$$I_D = 0 \Rightarrow V_{DS} = V_{CC} \rightarrow B (V_{CC}; 0)$$

Đường tải tĩnh là đường thẳng nối giữa hai điểm A, B và đi qua điểm Q.

❖ Điện thế tại các cực của MOSFET kênh gián đoạn:

$$V_G = \frac{R_{G1}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{CC} \quad (5.15a)$$

$$V_S = I_S R_S = I_D R_S \quad (5.15b)$$

$$V_D = V_{CC} - I_D R_D \quad (5.15c)$$

5.2.3. Các cách mắc cơ bản của MOSFET

Tương tự JFET, MOSFET cũng có ba kiểu mắc cơ bản:

- Cực nguồn chung (Common Source \equiv CS)

CS: Tín hiệu vào G so với S, tín hiệu ra D so với S.

- Cực cổng chung (Common Gate \equiv CG)

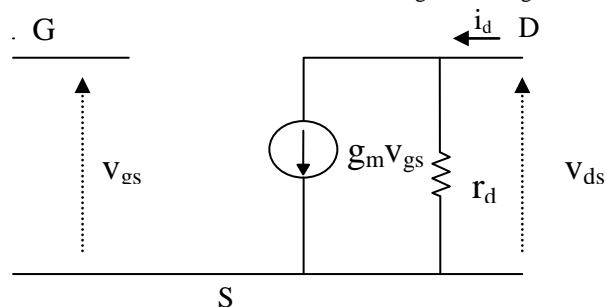
CG: Tín hiệu vào S so với G, tín hiệu ra D so với G.

- Cực thoát chung (Common Drain \equiv CD)

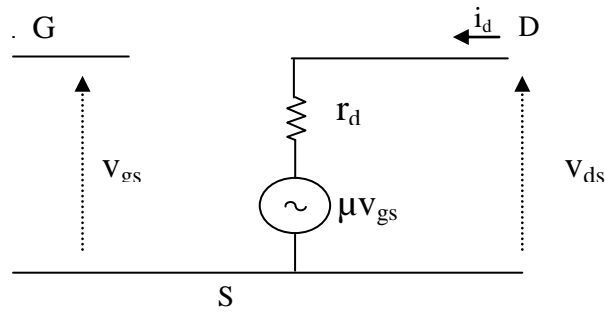
CD: Tín hiệu vào G so với D, tín hiệu ra S so với D.

5.3. Mô hình tương đương của FET đối với tín hiệu nhỏ - tần số thấp

Mô hình tương đương của FET đối với tín hiệu xoay chiều biên độ nhỏ, tần số thấp như hình 5.23 dạng dùng nguồn dòng, hình 5.24 dạng dùng nguồn áp. Đối với tín hiệu có tần số cao ta phải xét ảnh hưởng của các tụ liên cực c_{gs} , c_{ds} , c_{gd} .



Hình 5.23. Mô hình tương đương của FET dạng nguồn dòng.



Hình 5.24. Mô hình tương đương của FET dạng nguồn áp.

Với:

v_{ds} là hiệu điện thế giữa cực D và cực S.

v_{gs} là hiệu điện thế giữa cực G và cực S.

g_m : hồ dẫn (độ xuyên dẫn).

$$g_m = \left. \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \right|_{V_{DS}=\text{const}} \quad (5.16)$$

r_d : điện trở kênh dẫn (điện trở vi phân ngõ ra).

$$r_d = \left. \frac{\partial V_{DS}}{\partial I_D} \right|_{V_{GS}=\text{const}} \quad (5.17)$$

r_i : điện trở vào (điện trở vi phân ngõ vào), r_i rất lớn coi như đề hở giữa G và S.

$$r_i = \left. \frac{\partial V_{GS}}{\partial I_D} \right|_{V_{DS}=\text{const}} \quad (5.18)$$

μ : hệ số khuếch đại áp. Hệ số này so sánh mức độ ảnh hưởng của điện áp V_{GS} và V_{DS} đối với dòng thoát.

$$\mu = \left. \frac{\partial V_{DS}}{\partial V_{GS}} \right|_{I_D=\text{const}} \quad (5.19)$$

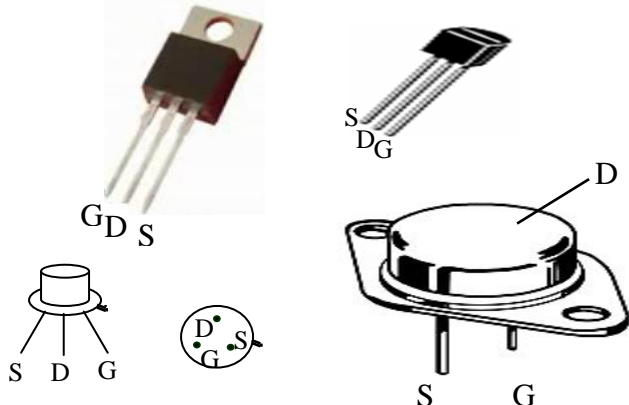
μ và g_m liên hệ với nhau bởi biểu thức:

$$\mu = g_m r_d \quad (5.20)$$

5.4. Ứng dụng

Như đã trình bày ở trên, FET có hai loại JFET và MOSFET đều hoạt động dựa trên sự điều khiển độ dẫn điện của mẫu bán dẫn bởi một điện trường ngoài, chỉ dùng một loại hạt dẫn (hạt tải đa số), nó thuộc loại đơn cực tính (unipolar), không có quá trình phát sinh và tái hợp của hai loại hạt dẫn nên các tham số của FET ít bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ. Những ưu điểm nổi bật của FET: tổng trở vào lớn, hệ số khuếch đại cao, tiêu thụ năng lượng bé, kích thước các điện cực D, G, S có thể giảm xuống rất bé, thu nhỏ thể tích của FET một cách đáng kể và nó được ứng dụng nhiều trong chế tạo IC mà đặc biệt là loại IC có mật độ tích hợp cao. Cũng như BJT, FET được ứng dụng nhiều trong cả hai dạng

mạch số và tương tự. Nó làm một phần tử trong nhiều dạng mạch khuếch đại, làm chuyển mạch điện tử...Ngoài ra, họ FET còn có các dạng sau: CMOS, V-MOS, D-MOS, FeFET,...đây là những dạng được cải tiến từ MOSFET để có thêm ưu điểm trong ứng dụng.



Hình 5.25. Hình dạng của một số loại FET.

CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

1. FET là gì? Có mấy loại? Kể tên và vẽ kí hiệu tương ứng của FET.
2. Điều kiện để FET dẫn điện là gì? Nêu nguyên lí hoạt động của FET.
3. FET có mấy cách mắc cơ bản? Nêu cách nhận dạng kiểu mắc của FET.
4. Nêu cách khảo sát đặc tuyến của FET, vẽ dạng đặc tuyến của FET.
5. Vẽ mạch phân cực JFET dạng tự động? Ứng với mỗi mạch hãy thiết lập công thức xác định tọa độ điểm phân cực Q, điện thế tại các cực của FET. Đường tải tĩnh là gì? Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
6. Vẽ mạch phân cực MOSFET kênh gián đoạn dạng dùng cầu phân thế? Ứng với mỗi mạch hãy thiết lập công thức xác định tọa độ điểm phân cực Q, điện thế tại các cực của MOSFET kênh gián đoạn. Đường tải tĩnh là gì? Viết phương trình đường tải tĩnh. Vẽ đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
7. Vẽ mô hình tương đương của FET đối với tín hiệu xoay chiều biên độ nhỏ, tần số thấp. Nêu ý nghĩa của các tham số trong mô hình tương đương.
8. Cho mạch như hình 5.10.

Với $V_{CC} = 12 \text{ V}$

$$V_{GS} = -2 \text{ V}$$

$$R_G = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_S = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_D = 2,5 \text{ k}\Omega$$

- a. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.
 - b. Viết phương trình đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
 - c. Cho biết điện thế tại các cực của JFET.
9. Cho mạch như hình 5.22.

Với $V_{CC} = 12 \text{ V}$

$$R_{G1} = 5 \text{ k}\Omega$$

$$R_{G2} = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_S = 0 \Omega$$

$$R_D = 1,5 \text{ k}\Omega$$

$$I_D = 4 \text{ mA}$$

- a. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.
- b. Viết phương trình đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
- c. Cho biết điện thế tại các cực của MOSFET.

10. Cho mạch phân cực JFET kênh N dạng tự động.

Với $V_{CC} = 12 \text{ V}$

$$V_{GS} = -2 \text{ V}$$

$$R_G = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_S = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_D = 2,5 \text{ k}\Omega$$

- a. Hãy vẽ dạng mạch.
- b. Xác định tọa độ điểm phân cực Q.
- c. Viết phương trình đường tải tĩnh. Xác định điểm Q trên đường tải tĩnh.
- d. Cho biết điện thế tại các cực của JFET.

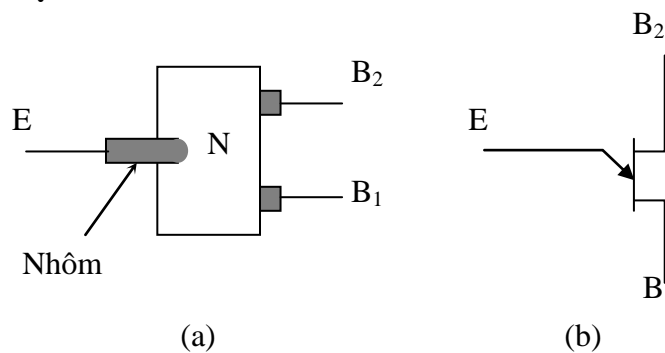
Chương 6

LINH KIỆN CÓ VÙNG ĐIỆN TRỞ ÂM

Trong chương trước đã giới thiệu các linh kiện điện tử bán dẫn như diode, transistor mỗi nối lưỡng cực, transistor hiệu ứng trường, chương này cũng giới thiệu về linh kiện điện tử bán dẫn nhưng trong đặc tuyến của nó có **vùng I tăng trong khi V giảm**, đó chính là **vùng điện trở âm**.

6.1. UJT

6.1.1. Cấu tạo – kí hiệu



Hình 6.1. Cấu tạo (a), kí hiệu (b) của UJT.

Transistor đơn nối gồm một nền là thanh bán dẫn loại N pha nồng độ rất thấp. Hai cực kim loại nối vào hai đầu thanh bán dẫn loại N gọi là cực nền B_1 và B_2 . Một dây nhôm nhỏ có đường kính nhỏ cỡ 0,1 mm được khuếch tán vào thanh N tạo thành một vùng chất P có mật độ rất cao, hình thành mối nối P-N giữa dây nhôm và thanh bán dẫn, dây nhôm nối chân ra gọi là cực phát E.

UJT \equiv Uni Junction Transistor là transistor đơn nối.

B_1 : Base 1: cực nền 1.

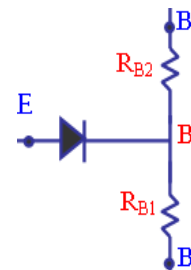
B_2 : Base 2: cực nền 2.

E: Emitter: cực phát.

Transistor đơn nối có thể vẽ mạch tương đương gồm 2 điện trở R_{B1} và R_{B2} nối từ cực B_1 đến cực B_2 gọi chung là điện trở liên nền R_{BB} và một diode nối từ cực E vào thanh bán dẫn ở điểm B.

Ta có :

$$R_{BB} = R_{B1} + R_{B2} \quad (6.1)$$



Hình 6.2. Mạch tương đương với cấu tạo của UJT.

Điểm B thường ở gần cực B₂ hơn nên $R_{B1} > R_{B2}$. Mỗi transistor đơn nối có tỉ số điện trở khác nhau gọi là η .

$$\eta = \frac{R_{B1}}{R_{BB}}; (\eta = 0,5 \div 0,8) \quad (6.2)$$

6.1.2. Đặc tuyến

Xét mạch như hình 6.3.

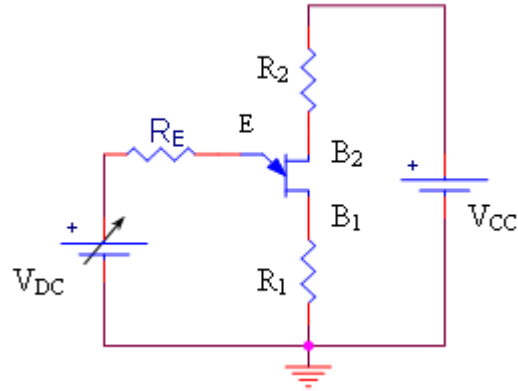
R_{BB} có trị số từ vài k Ω đến 10 k Ω , ta có:

$$V_B \approx \frac{R_{B1}}{R_{BB}} \cdot V_{CC} \quad (6.3)$$

$$\Leftrightarrow V_B = \eta \cdot V_{CC} > 0$$

($\forall R_1, R_2 \ll R_{CC}$)

$$\text{Dòng } I_B: I_B = \frac{V_{CC}}{R_{BB} + R_1 + R_2} \approx \frac{V_{CC}}{R_{BB}} \quad (6.4)$$



Hình 6.3. Mạch khảo sát đặc tuyến của UJT.

I_B khoảng vài mA vì R_{BB} lớn.

Khi chỉnh nguồn V_{DC} về 0, ta có $V_E = 0$, $V_E < V_B$ nên diode EB bị phân cực nghịch và có dòng điện rỉ đi từ B \rightarrow E, dòng điện rỉ có trị số rất nhỏ.

Khi chỉnh nguồn V_{DC} tăng sao cho điện thế $0 < V_E < V_B$ thì dòng điện rỉ giảm dần và khi $V_E = V_B$ thì dòng $I_E = 0$.

Tiếp tục tăng V_{DC} sao cho $V_B < V_E < V_B + V_\gamma$ thì diode EB được phân cực thuận nhưng dòng không đáng kể. Đến khi $V_E = V_P = V_B + V_\gamma$ thì diode EB được phân cực thuận nên dẫn điện và dòng I_E tăng lên cao, chiều I_E từ E \rightarrow B. $V_P = V_B + V_\gamma$: được gọi là điện thế đỉnh.

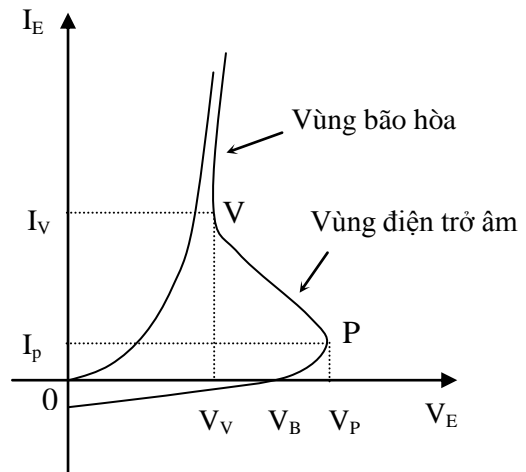
Do vùng bán dẫn P của diode EB có mật độ rất cao, khi diode EB được phân cực thuận, lỗ trống từ P đổ dồn sang thanh bán dẫn N, kéo điện tử từ cực âm của nguồn V_{BB} vào cực nền B₁ tái hợp với lỗ trống. Lúc đó hạt tải trong thanh bán dẫn N tăng cao đột ngột làm cho điện trở R_{B1} giảm xuống và V_B cũng bị giảm xuống kéo theo V_E giảm xuống trong khi dòng I_E cứ tăng cao.

Trên đặc tuyến $I_E(V_E)$ có khoảng điện thế V_E bị giảm trong khi dòng điện I_E lại tăng nên người ta gọi đây là vùng điện trở âm.

Khi R_{B1} giảm thì điện trở liên nền R_{BB} cũng bị giảm và dòng I_B tăng lên gần bằng hai lần trị số ban đầu vì bây giờ điện trở liên nền xem như $R_{BB} \approx R_{B2}$ và $I_B = \frac{V_{CC}}{R_{B2}}$.

Dòng điện I_E tiếp tục tăng và điện thế V_E giảm đến một trị số thấp nhất là điện thế thung lũng V_V (valley) thì dòng điện I_E và V_E sẽ tăng lên như đặc tuyến của một diode thông thường. Vùng này gọi là vùng bão hòa.

Trên hình 6.4 có điểm $P(V_P; I_P)$ là điểm đỉnh; điểm $V(V_V; I_V)$ là điểm trũng (thung lũng); đoạn PV là vùng điện trở âm, xảy ra rất nhanh.



Hình 6.4. Đặc tuyến của UJT.

6.1.3. Các thông số

Transistor đơn nối có các thông số kỹ thuật quan trọng cần biết khi sử dụng và tính toán là:

a. Điện trở liên nền R_{BB}

Là trị số điện trở giữa hai cực nền B_1 và B_2 khi cực E để hở. Trị số R_{BB} khoảng vài $k\Omega$ đến $10 k\Omega$.

$$R_{BB} = R_{B1} + R_{B2} \quad (6.5)$$

b. Tỷ số η

Theo định nghĩa $\eta = \frac{R_{B1}}{R_{BB}}$, thông thường $\eta = (0,5 \div 0,8)$. Từ giá trị của η có thể tính được điện thế tại điểm B giữa hai điện trở R_{B1} và R_{B2} theo công thức:

$$V_B \approx \frac{R_{B1}}{R_{BB}} \cdot V_{CC} = \eta V_{CC} \quad (6.6)$$

c. Điện thế đỉnh V_P

Điện thế đỉnh V_P là điện thế tối thiểu để phân cực thuận diode EB khi hai cực nền B_1, B_2 nối vào nguồn V_{CC}

$$V_P = V_B + V_\gamma = \eta V_{CC} + V_\gamma \quad (6.7)$$

d. Dòng điện đỉnh I_P

Dòng điện đỉnh I_P là dòng điện I_E ứng với V_E là điện thế đỉnh V_P . Dòng I_P thường có trị số nhỏ khoảng vài chục μA .

e. Điện thế thung lũng V_V

Là điện thế cực phát V_E giảm xuống thấp nhất sau khi phân cực thuận diode EB. Điện thế V_V có trị số khoảng vài volt.

f. Dòng điện thung lũng I_V :

Dòng điện thung lũng I_V là dòng điện I_E ứng với V_E là điện thế thung lũng V_V . Thường dòng điện I_V có trị số rất lớn so với I_P . (I_V khoảng vài mA trở lên).

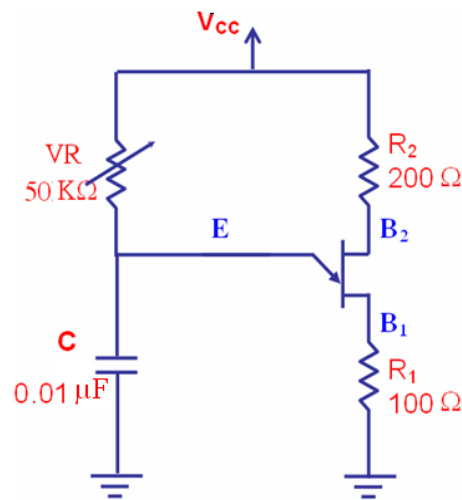
g. Công suất tiêu tán P_{pmax} :

là công suất nhiệt lớn nhất mà UJT có thể chịu được khi có dòng điện đi qua, lớn hơn trị số này UJT sẽ bị hư.

6.1. 4. Ứng dụng

Do UJT có tính chất đặc biệt là khi $V_E < V_P$ thì dòng $I_E = 0$ và dòng I_B rất nhỏ, nhưng khi $V_E = V_P$ thì dòng I_E tăng cao đột ngột và dòng I_B cũng tăng lên khoảng gấp đôi nên UJT thường được dùng trong các mạch tạo xung.

Mạch như hình 6.5 dùng UJT có điện trở $R_{BB} = 10\text{ k}$; $\eta = 0,6$; R_1, R_2 để nhận tín hiệu xung ra (R_2 còn có tác dụng ổn định nhiệt cho điện thế đỉnh V_P), tụ điện C và biến trở VR là mạch nạp để tạo điện thế tăng dần cho cực E. Khi thay đổi trị số điện trở VR là thay đổi hằng số thời gian nạp - xả của tụ.



Hình 6.5. Mạch dao động tích thoát dùng UJT.

Ta có :

$$R_{B1} = \eta R_{BB} \quad (6.8)$$

$$R_{B1} = 0,6 \cdot 10\text{ k} = 6\text{ k}$$

$$R_{B2} = R_{BB} - R_{B1} \quad (6.9)$$

$$R_{B2} = 10\text{ k} - 6\text{ k} = 4\text{ k}$$

Khi mới cấp điện thì tụ C coi như nối tắt nên $V_E = 0\text{ V}$. Lúc đó diode EB bị phân cực ngược nên chỉ có dòng I_B đi từ nguồn V_{CC} xuống mass.

$$\text{Dòng } I_B = \frac{V_{CC}}{R_p + R_{B1} + R_{B2} + R_2} \quad (6.10)$$

$$I_B = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_{BB} + R_2} = \frac{10}{100 + 10\text{k} + 200} \approx 1\text{ (mA)}$$

Điện thế ở các cực nền:

$$V_{B1} = I_B \cdot R_1 \quad (6.11)$$

$$V_{B1} = 1 \cdot 100 = 0,1\text{ (V)} (\approx 0\text{ V})$$

$$V_{B2} = V_{CC} - I_B R_2 \quad (6.12)$$

$$V_{B2} = 10 \text{ V} - 1.200 \approx 9,8 \text{ V} (\approx V_{CC})$$

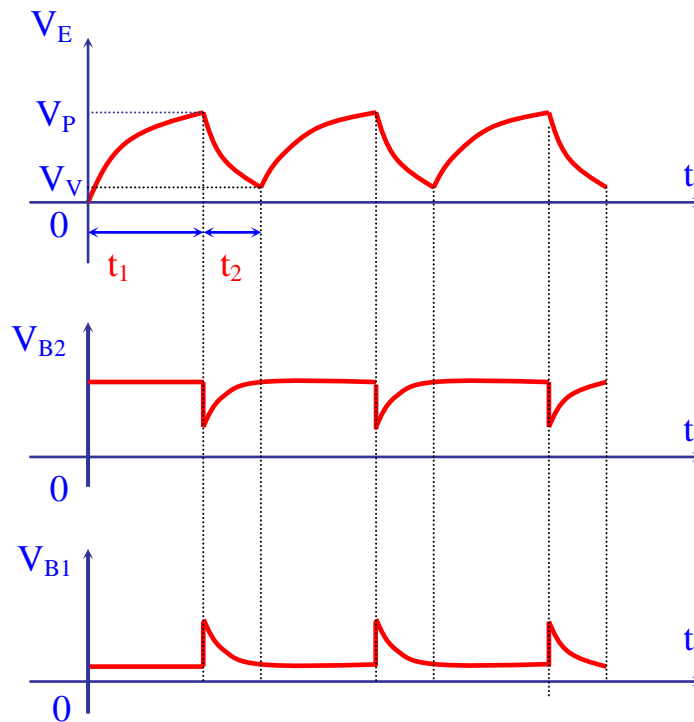
Điện thế tại điểm B trong thanh bán dẫn:

$$V_B = V_{CC} \frac{R_1 + R_{B1}}{R_1 + R_{BB} + R_2} = 10 \cdot \frac{100 + 6k}{100 + 10k + 200} \approx 6 \text{ (V)} \quad (6.13a)$$

Khi tụ điện C nạp điện qua VR làm điện thế tăng lên đến trị số đỉnh V_P thì diode EB sẽ dẫn điện.

$$V_P = V_B + V_\gamma = 6 + 0,6 = 6,6 \text{ (V)} \quad (6.13b)$$

Khi diode EB dẫn điện, lỗ trống từ cực E đổ sang thanh bán dẫn làm R_{B1} giảm trị số nên V_B giảm kéo theo V_E giảm làm tụ xả điện qua diode EB và điện trở R_{B1} xuống mass.



Hình 6.6. Dạng sóng của V_E , V_{B1} , V_{B2} .

Khi R_{B1} giảm $\rightarrow I_B$ tăng gần gấp đôi ($\approx 2 \text{ mA}$) nên điện thế:

$$V_{B2} = V_{CC} - I_B \cdot R_2 = 10 - 2.200 \approx 9,6 \text{ (V)}$$

Ở cực B_2 có xung âm ra với biên độ là $9,6 - 9,8 = -0,2 \text{ (V)}$. Đồng thời lúc đó dòng điện qua R_{B1} và R_1 là I_B và I_E do tụ xả ra nên điện thế V_{B1} tăng cao. Cực B_1 có xung dương ra nhưng biên độ lớn hơn xung âm ở cực B_2 nhiều lần vì I_E có trị số lớn hơn I_B .

Khi tụ C xả điện từ điện thế V_P xuống trị số V_V thì diode EB ngưng dẫn và ở hai cực B_1 , B_2 không còn xung ra.

Xung ra ở hai cực B_1 , B_2 có dạng xung nhọn dương và âm.

Sau khi tụ xả xong thì điện thế các chân trở lại bình thường và tụ C lại nạp điện qua VR, hiện tượng trên được tiếp tục.

Tần số dao động của mạch:

Khi vừa mới đóng điện thì tụ sẽ nạp điện từ 0 V lên đến V_P rồi sau đó tụ xả điện đến V_V . Những lần sau tụ nạp từ V_V đến V_P rồi lại xả từ điện thế V_P xuống V_V . Thời gian nạp và xả của tụ được tính giữa hai điện thế này.

Tụ C nạp điện theo công thức:

$$V_C = V_V + (V_{CC} - V_V) (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (6.14a)$$

$$V_C = V_{CC} + (V_{CC} - V_V) e^{-\frac{t}{RC}} \quad (6.14b)$$

t_1 là thời gian để tụ nạp từ V_V lên V_P . Khi đó $V_C = V_P$:

$$\Rightarrow V_P = V_{CC} - (V_{CC} - V_V) e^{-\frac{t_1}{RC}} \quad (6.15)$$

$$\Leftrightarrow (V_{CC} - V_V) e^{-\frac{t_1}{RC}} = V_{CC} - V_P$$

$$\Leftrightarrow e^{-\frac{t_1}{RC}} = \frac{V_{CC} - V_P}{V_{CC} - V_V}$$

$$\Leftrightarrow e^{\frac{t_1}{RC}} = \frac{V_{CC} - V_V}{V_{CC} - V_P}$$

$$\Rightarrow t_1 = RC \cdot \ln \frac{V_{CC} - V_V}{V_{CC} - V_P} \quad (6.16)$$

Tụ C xả điện theo công thức:

$$V_C = V_P \cdot e^{-\frac{t}{(R_{B1} + R_1)C}} \quad (6.17)$$

t_2 : thời gian để tụ xả từ $V_P \rightarrow V_V$, khi đó $V_C = V_V$

$$\Rightarrow V_V = V_P \cdot e^{-\frac{t_2}{(R_{B1} + R_1)C}} \quad (6.18)$$

$$\Leftrightarrow t_2 = (R_{B1} + R_1)C \cdot \ln \frac{V_P}{V_V} \quad (6.19)$$

$$\text{Chu kỳ dao động là: } T = t_{\text{nạp}} + t_{\text{xả}} = t_1 + t_2 \quad (6.20)$$

Trường hợp $(R_{B1} + R_1)C$ có trị số nhỏ thì có thể coi như $T \approx t_1$, đồng thời do $V_V \ll V_C$ và $V_P = \eta V_{CC}$ nên $T \approx RC \cdot \ln \frac{1}{1 - \eta}$ (6.21)

$$\Rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{RC \ln \frac{1}{1-\eta}} \quad (6.22)$$

6.2. SCR

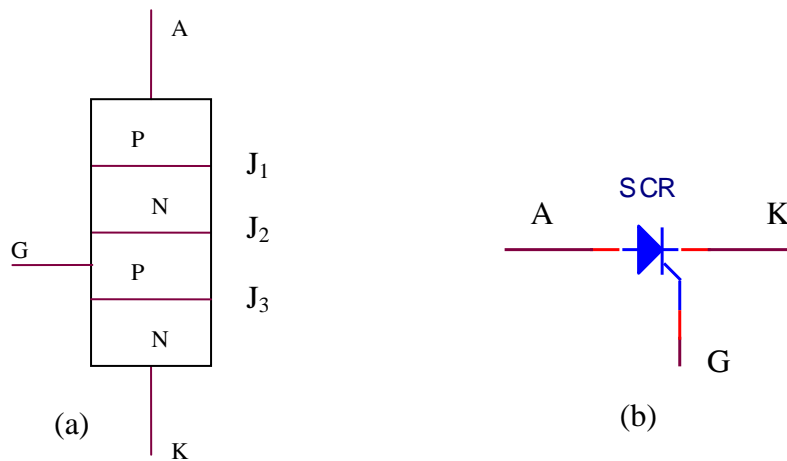
6.2.1. Cấu tạo – kí hiệu

SCR (Silicon Controlled Rectifier) có cấu tạo gồm bốn lớp bán dẫn P, N ghép xen kẽ tạo ba mối nối P – N hay gọi là ba lớp tiếp xúc J_1, J_2, J_3 và được nối ra ba chân:

A: Anode: cực dương

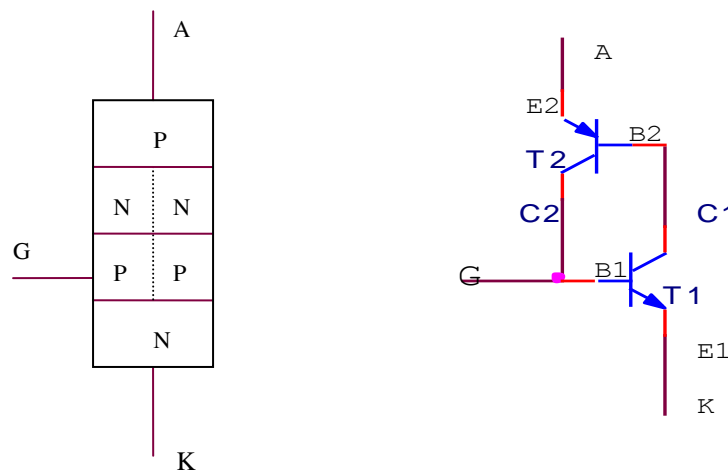
K: Cathode: cực âm

G: Gate: cực khiển (cực cổng)



Hình 6.7. Cấu tạo (a), kí hiệu (b) của SCR.

SCR có thể xem như tương đương hai BJT gồm một BJT loại NPN và một BJT loại PNP ghép lại như hình vẽ sau:



Hình 6.8. Mạch tương đương với cấu tạo của SCR.

6.2.2. Đặc tuyến

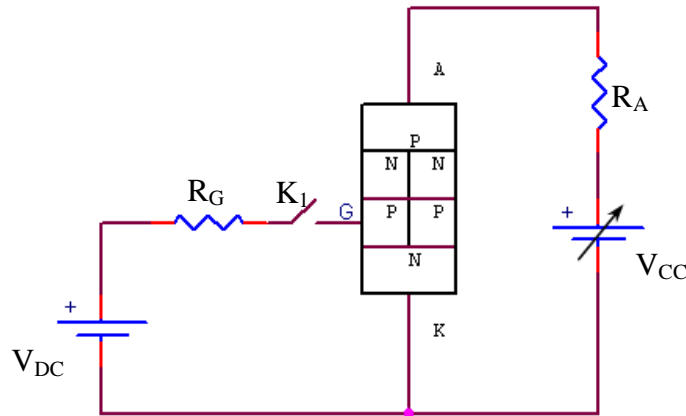
V_{AK} : là hiệu điện thế giữa cực A và K.

$V_{AK} > 0$: SCR được phân cực thuận.

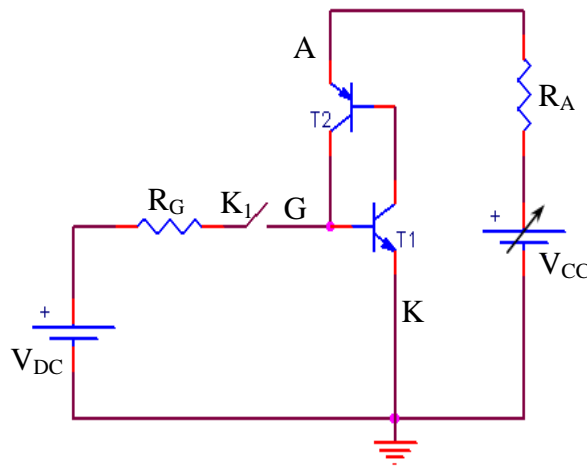
$V_{AK} = 0$: SCR không được phân cực.

$V_{AK} < 0$: SCR được phân cực nghịch.

Cực G nhận xung kích vào SCR.



Hình 6.9. Mạch khảo sát đặc tuyến của SCR.



Hình 6.10. Mạch tương đương hình 6.9.

Xét mạch như hình 6.9.

Chỉnh nguồn V_{CC} về 0, SCR không được phân cực, có xung kích vào hay không thì SCR vẫn không có dòng chạy qua.

Chỉnh tăng nguồn V_{CC} thì SCR được phân cực thuận:

Trường hợp khóa K_1 để hở (cực G để hở) không có xung kích, SCR không dẫn điện (SCR ở trạng thái tắt). Tuy nhiên, khi tăng điện áp nguồn V_{CC} lên mức đủ lớn là điện áp V_{AK} tăng theo đến điện thế ngấp V_{BO} (Break Over) thì điện áp V_{AK} giảm xuống như

diode và dòng điện I_A tăng nhanh. Lúc này SCR chuyển sang trạng thái dẫn điện, dòng điện ứng với lúc điện áp V_{AK} giảm nhanh gọi là dòng điện duy trì I_H (Holding). Sau đó đặc tính của SCR giống như một diode nắn điện. Hiện tượng này có thể giải thích: khi $V_{AK} > 0$ thì lớp tiếp xúc (mối nối P – N) J_1, J_3 được phân cực thuận, J_2 được phân cực nghịch. Dòng qua SCR là dòng ri rất nhỏ, xem như SCR ở trạng thái tắt. Khi tăng điện áp nguồn V_{CC} lên mức đủ lớn là điện áp V_{AK} tăng theo đến điện thế ngập V_{BO} thì lớp tiếp xúc (mối nối P – N) J_2 bị đánh thủng, có dòng thuận I_A rất lớn chạy qua SCR theo chiều từ A \rightarrow K, lúc này V_{AK} giảm xuống rất thấp. SCR chuyển sang trạng thái dẫn điện, dòng I_A tăng theo V_{AK} giống đặc tuyến V – A của diode và tự duy trì ở trạng thái này.

Trường hợp khóa K_1 đóng: có xung kích, $V_G = V_{DC} - I_G R_G$, SCR dễ chuyển sang trạng thái dẫn điện khi $V_{AK} < V_{BO}$. Thực nghiệm cho thấy khi dòng điện cung cấp cho cực G càng lớn thì chỉ cần V_{AK} nhỏ là SCR đã dẫn điện. SCR sẽ tự duy trì trạng thái dẫn mà không cần có dòng I_G liên tục. Cụ thể khi có $V_G > 0$ kích vào SCR, mối nối J_3 có điện tử từ N dịch chuyển sang P. Một ít điện tử chạy về cực dương của nguồn V_{DC} , hình thành dòng điều khiển I_G . Phần lớn điện tử còn lại dịch chuyển về phía J_2 , chúng được tăng tốc, động năng lớn, phá vỡ một số liên kết của nguyên tử Si tạo thêm những điện tử tự do mới. Số điện tử mới được giải phóng tham gia bắn phá các nguyên tử Si trong vùng chuyển tiếp. Kết quả của phản ứng dây chuyền làm xuất hiện ngày càng nhiều điện tử chạy qua J_1 , đến cực dương của nguồn $V_{CC} \rightarrow$ hiện tượng dẫn điện của SCR.

Đổi cực của nguồn V_{CC} để SCR được phân cực nghịch

Phân cực nghịch SCR là nối A vào cực âm, K vào cực dương của nguồn V_{CC} . Trường hợp này giống như diode bị phân cực nghịch. SCR sẽ không dẫn điện mà chỉ có dòng ri rất nhỏ đi qua. Khi tăng điện áp ngược lên đủ lớn thì SCR sẽ bị đánh thủng và dòng điện qua theo chiều ngược. Điện áp ngược đủ để đánh thủng SCR là V_{BR} . Thông thường trị số V_{BR} và V_{BO} bằng nhau và ngược dấu.

Xét mạch như hình 6.10 ta có:

$$I_{C1} = \alpha_1 I_{E1} + I_{CBO1} = \alpha_1 I_K + I_{CBO1} \quad (6.23)$$

$$I_{C2} = \alpha_2 I_{E2} + I_{CBO2} = \alpha_1 I_A + I_{CBO2} \quad (6.24)$$

$$I_{C1} = I_{B2} \quad ; \quad I_{C2} = I_{B1} \quad (6.25)$$

$$I_{E1} = I_K = I_A + I_G \quad (6.26)$$

$$I_{E2} = I_A = I_{C1} + I_{B1} = I_{C1} + I_{C2} \quad (6.27)$$

$$I_A = I_{C1} + I_{C2} = \alpha_1 I_K + I_{CBO1} + \alpha_1 I_A + I_{CBO2} \quad (6.28a)$$

$$I_A = \alpha_1 I_A + \alpha_1 I_G + I_{CBO1} + \alpha_1 I_A + I_{CBO2} \quad (6.28b)$$

$$I_A = \frac{\alpha_1 I_G + I_{CBO1} + I_{CBO2}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (6.28c)$$

Khi $(\alpha_1 + \alpha_2) \ll 1$, dòng I_A chủ yếu là dòng rỉ rất nhỏ nên SCR tắt. Với kích thích bên ngoài sao cho I_G hay dòng rỉ tăng, α_1 và α_2 tăng dần đến $(\alpha_1 + \alpha_2) \rightarrow 1$, I_A tăng rất cao, tương ứng SCR chuyển từ trạng thái tắt sang trạng thái dẫn. Khi SCR dẫn, hồi tiếp dương tạo bởi vòng kín $I_{C1} = I_{B2}$; $I_{C2} = I_{B1}$ sẽ duy trì SCR dẫn điện đến khi có tác động làm cho SCR tắt.

Theo nguyên lý này dòng điện qua hai BJT sẽ được khuếch đại lớn dần và hai BJT dẫn ở trạng thái bão hòa. Khi đó điện áp V_{AK} giảm rất nhỏ ($\approx 0,7V$) và dòng điện qua SCR là:

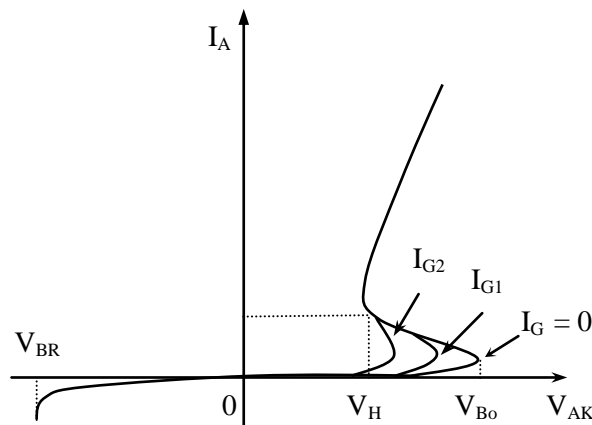
$$I_A = \frac{V_{CC} - V_{AK}}{R_A} \approx \frac{V_{CC}}{R_A} \quad (6.29)$$

Cũng từ biểu thức (6.1) ta suy ra các kích thích có thể làm SCR dẫn:

- Kích một xung dòng I_G vào cực G tương ứng I_{B1} tăng làm T_1 dẫn, α_1 tăng $\rightarrow I_{C1} = I_{B2}$ tăng, α_2 tăng. Kết quả $(\alpha_1 + \alpha_2) \rightarrow 1$.
- Tăng điện áp thuận V_{AK} đến giá trị V_{VO} , mỗi nối P – N (J_2) bị đánh thủng nên dòng rỉ tại mỗi nối J_2 tăng làm $(\alpha_1 + \alpha_2) \rightarrow 1$.
- Tác động ánh sáng bên ngoài vào làm dòng rỉ tăng.

Nhiệt độ tăng ảnh hưởng dòng rỉ tăng.

Dạng đặc tuyến $I_A(V_{AK})$ của SCR như hình 6.11.



Hình 6.11. Đặc tuyến của SCR.

$$I_G = 0 \quad ; \quad I_{G2} > I_{G1} > I_G$$

6.2.3. Các thông số của SCR

a. Dòng điện thuận cực đại:

Đây là trị số lớn nhất dòng điện qua SCR mà SCR có thể chịu đựng liên tục, quá trị số này SCR bị hư. Khi SCR đã dẫn điện V_{AK} khoảng 0,7 V nên dòng điện thuận qua SCR có thể tính theo công thức:

$$I_A = \frac{V_{CC} - 0,7}{R_A} \quad (6.30)$$

b. Điện áp ngược cực đại

Đây là điện áp ngược lớn nhất có thể đặt giữa A và K mà SCR chưa bị đánh thủng, nếu vượt qua trị số này SCR sẽ bị đánh thủng. Điện áp ngược cực đại của SCR thường khoảng 100 V đến 1000 V.

c. Dòng điện kích cực tiểu: I_{Gmin}

Để SCR có thể dẫn điện trong trường hợp điện áp V_{AK} thấp thì phải có dòng điện kích vào cực G của SCR. Dòng I_{Gmin} là trị số dòng kích nhỏ nhất đủ để điều khiển SCR dẫn điện và dòng I_{Gmin} có trị số lớn hay nhỏ tùy thuộc công suất của SCR, nếu SCR có công suất càng lớn thì I_{Gmin} phải càng lớn. Thông thường I_{Gmin} từ 1mA đến vài chục mA.

d. Thời gian mở SCR

Là thời gian cần thiết hay độ rộng của xung kích để SCR có thể chuyển từ trạng thái tắt sang trạng thái dẫn, thời gian mở khoảng vài micro giây.

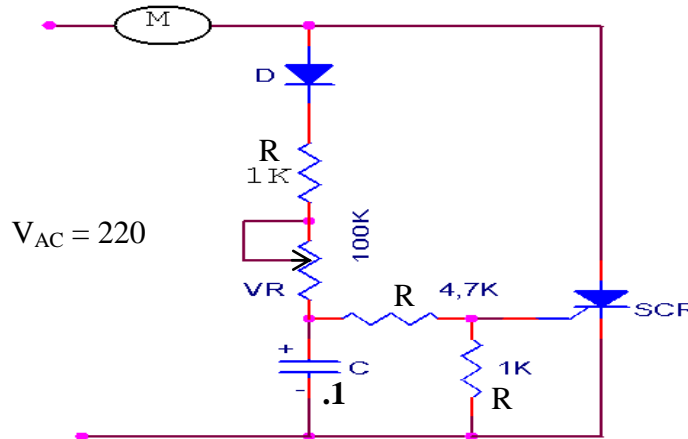
e. Thời gian tắt

Là thời gian cần thiết phải đủ dài để SCR có thể chuyển từ trạng thái dẫn sang trạng thái tắt, nếu không thì SCR sẽ dẫn điện trở lại. Thời gian tắt của SCR khoảng vài chục micro giây.

6.3.5. Ứng dụng của SCR

SCR có rất nhiều chủng loại (có tài liệu đã giới thiệu 42652 loại): SCR thường dùng, SCR có tốc độ cao, SCR hai chiều, Loại và các thông số của SCR nhận biết được khi tra cứu. Khi dùng ta có thể tra cứu, thay thế những loại tương đương với nhau. SCR được ứng dụng nhiều trong những mạch điện tử: mạch báo động, mạch bảo vệ quá áp, bảo vệ quá dòng, làm chuyển mạch không tiếp điểm, mạch điều khiển tốc độ quay của động cơ, mạch chỉnh lưu có điều khiển, điều khiển tự động trong công nghiệp,...

Ví dụ 1:



Hình 6.12. Mạch điều khiển tốc độ động cơ.

Trong mạch điện động cơ M là động cơ vạn năng, loại động cơ có thể dùng điện AC hay DC.

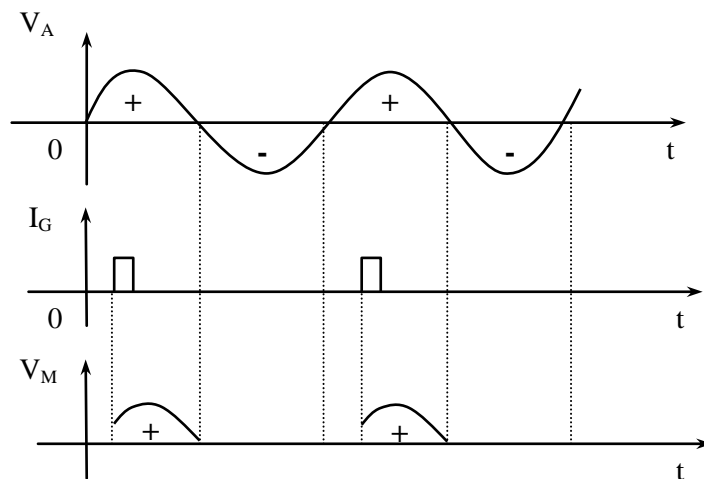
Dòng điện qua động cơ là dòng điện ở bán kì dương và được thay đổi trị số bằng cách thay đổi góc kích của dòng I_G .

Khi SCR chưa dẫn thì chưa có dòng qua động cơ, bán kì dương dòng qua diode D, điện trở R_1 và biến trở VR nạp vào tụ C. Điện áp cấp cho cực G lấy trên tụ C và qua cầu phân áp $R_2 - R_3$.

Giả sử điện áp đủ để kích cho cực G là $V_G = 1\text{ V}$ và dòng điện kích $I_{G\min} = 1\text{ mA}$ thì điện áp trên tụ C phải khoảng 10 V. Tụ C nạp điện qua R_1 và qua VR với hằng số thời gian là: $T = (R_1 + VR)C$

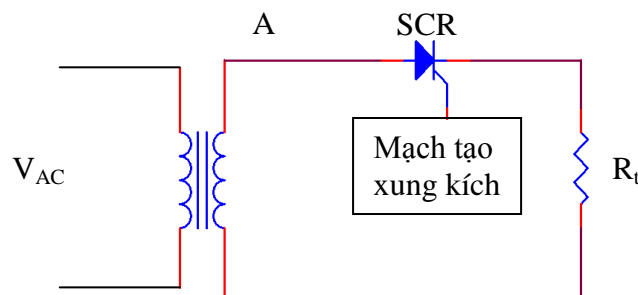
Khi thay đổi trị số VR sẽ làm thay đổi thời gian nạp của tụ tức là thay đổi thời điểm có dòng xung kích I_G sẽ làm thay đổi thời điểm dẫn điện của SCR tức là thay đổi dòng điện qua động cơ và làm cho tốc độ của động cơ thay đổi.

Khi dòng AC có bán kì âm thì diode D và SCR đều bị phân cực nghịch nên diode ngưng dẫn và SCR cũng chuyển sang trạng thái ngưng dẫn.



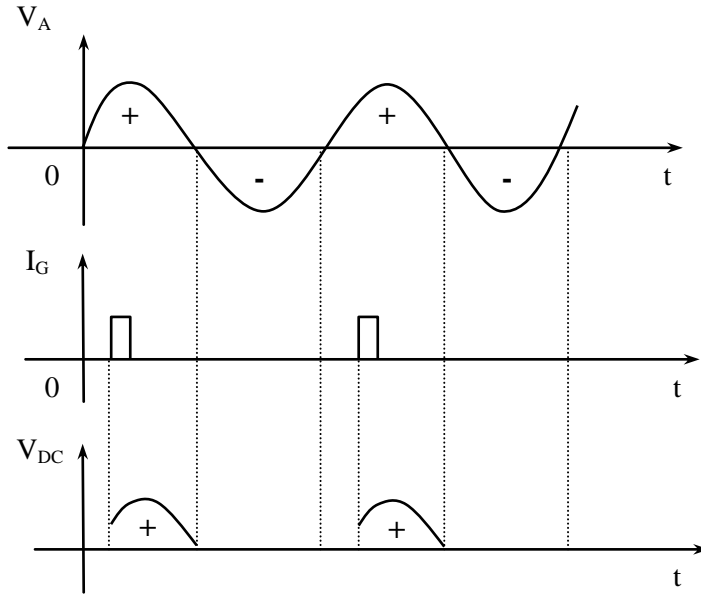
Hình 6.13. Dạng sóng V_M theo V_A và xung kích.

Ví dụ 2:



Hình 6.14. Mạch chỉnh lưu bán kì có điều khiển.

Xét mạch như hình 6.14. Điện áp vào là điện xoay chiều V_{AC} , qua biến thế giảm áp, tại A cũng là điện xoay chiều V_A có cùng tần số với V_{AC} . Giả sử bán kì đầu tại A là bán kì dương, SCR được phân cực thuận, đang ở trạng thái sẵn sàng chờ đến khi có xung kích vào cực G thì SCR bắt đầu dẫn điện, có dòng I_A cấp cho tải R_t . Bán kì kế tiếp là bán kì âm, SCR phân cực nghịch, SCR ngưng dẫn, không có dòng cấp qua tải. Quá trình được lặp lại ứng với các bán kì sau.



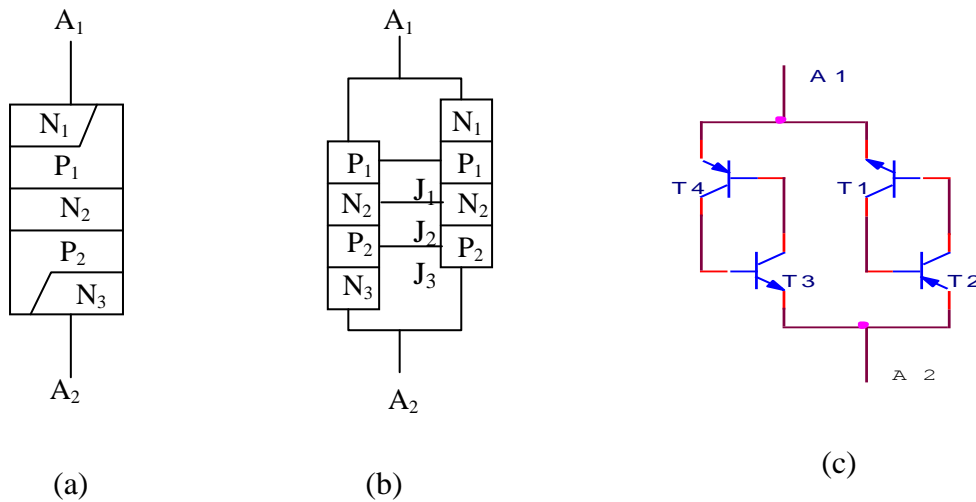
Hình 6.15. Dạng sóng điện áp ở ngõ ra V_{DC} .

Dạng sóng điện áp ở ngõ ra V_{DC} ứng với điện áp vào và xung kích như hình 6.15. Giá trị trung bình của điện áp ra:

$$\bar{V}_O = \frac{V_m}{2\pi}(1 + \cos\alpha) \quad (6.31)$$

6.3. DIAC

6.3.1. Cấu tạo – kí hiệu

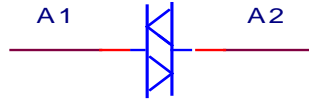


Hình 6.16. Cấu tạo (a), mạch tương đương với cấu tạo (b), (c).

DIAC (Diode Alternative Current) có cấu tạo gồm 4 lớp PNP, hai cực A_1 và A_2 , cho dòng chảy qua theo hai chiều dưới tác động của điện áp đặt giữa hai cực A_1 và A_2 .

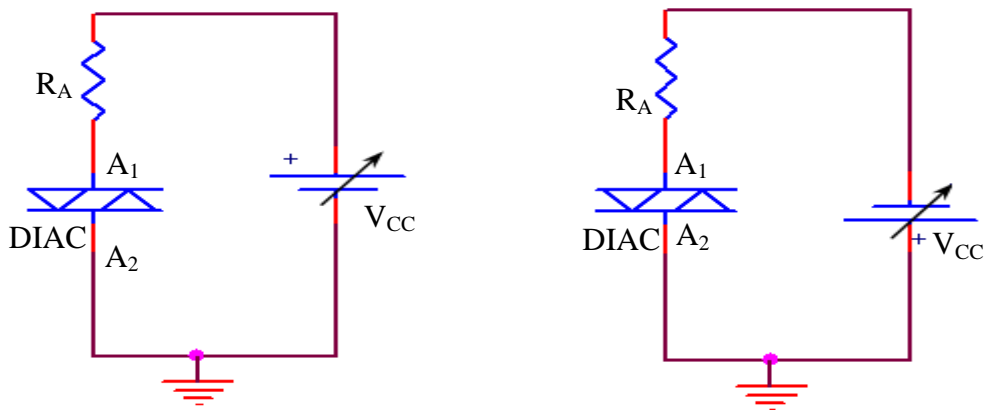
DIAC được gọi là công tắc bán dẫn xoay chiều hai cực (Diode AC Semiconductor Switch).

Cấu tạo của DIAC tương đương bốn BJT mắc như hình 6.16c.



Hình 6.17. Kí hiệu của DIAC.

6.3.2. Đặc tuyến

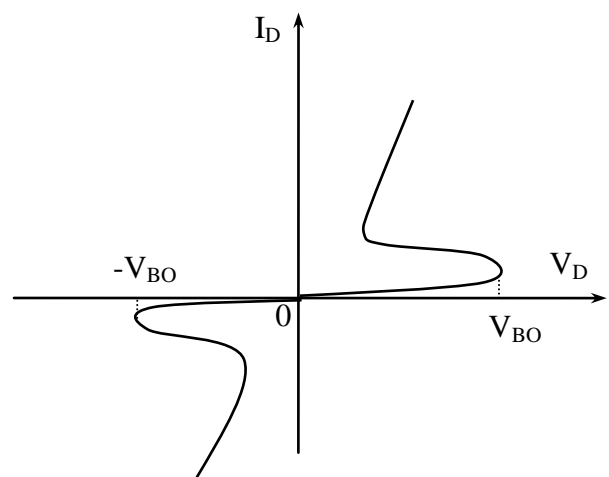


Hình 6.18. Mạch khảo sát đặc tuyến của DIAC.

Khi A_1 có điện thế dương thì J_1 và J_3 phân cực thuận J_2 phân cực ngược V_{CC} có giá trị nhỏ thì DIAC ở trạng thái ngưng dẫn (khóa). Nếu tăng V_{CC} đủ lớn để $V_D = V_{BO}$ thì DIAC chuyển sang trạng thái mở, dòng qua DIAC tăng nhanh, có đặc tuyến như hình 6.19. Khi A_1 có điện thế âm thì hiện tượng tương tự nhưng xuất hiện dòng điện có chiều ngược lại, đặc tuyến như hình 6.19.

V_{BO} (Break over): điện thế ngấp, dòng điện qua DIAC ở điểm V_{BO} là dòng điện ngấp I_{BO} .

Điện áp V_{BO} có trị số trong khoảng từ 20 V đến 40 V. Dòng tương ứng I_{BO} có trị trong khoảng từ vài chục microampe đến vài trăm microampe.



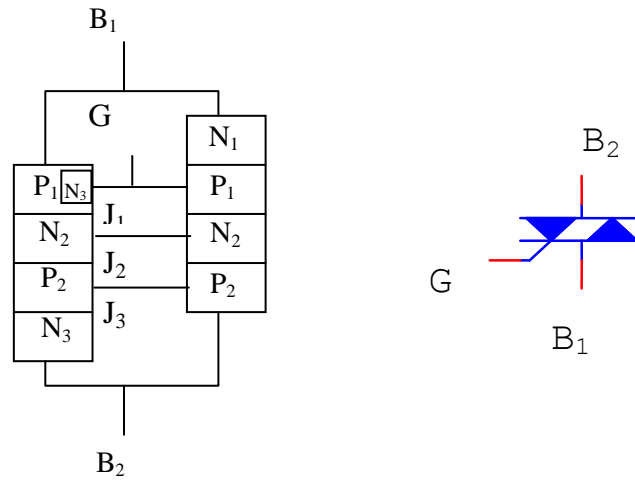
Hình 6.19. Đặc tuyến của DIAC.

Ta thường dùng DIAC trong mạch tạo xung kích công TRIAC.

6.4. TRIAC

6.4.1. Cấu tạo – kí hiệu

TRIAC (Triode Alternative Current) là một linh kiện bán dẫn có ba cực, bốn lớp, làm việc như 2 SCR mắc song song ngược chiều, có thể dẫn điện theo hai chiều.

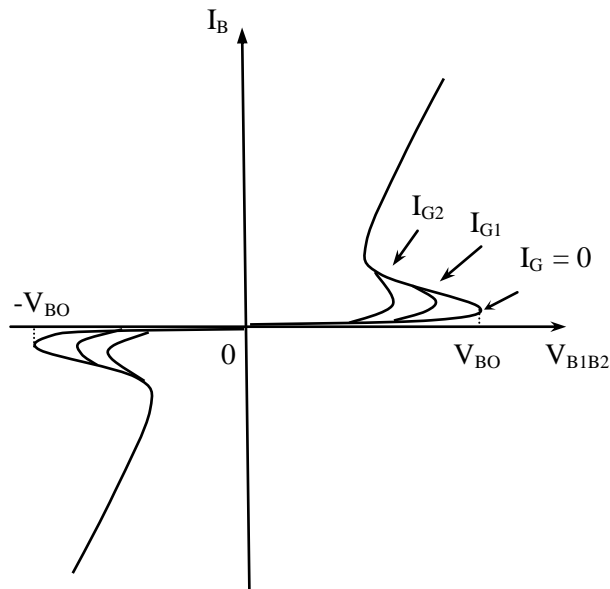


Hình 6.20. Cấu tạo – kí hiệu của TRIAC.

TRIAC được gọi là công tắc bán dẫn xoay chiều ba cực (Triode AC Semiconductor Switch).

6.4.2. Đặc tuyến

Đặc tuyến của TRIAC có dạng như hình 6.21.



Hình 6.21. Đặc tuyến của TRIAC.

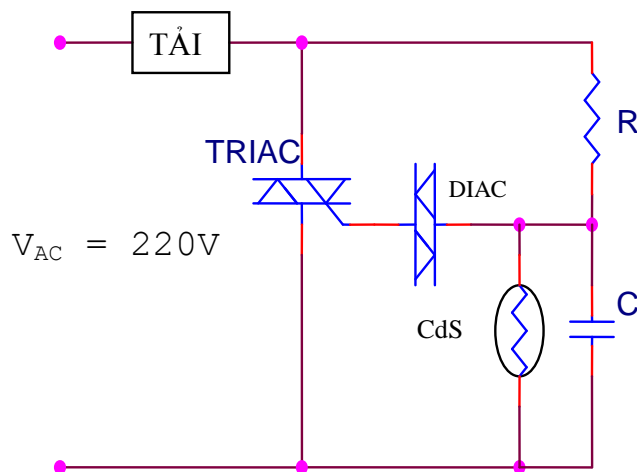
$$I_G = 0; I_{G2} > I_{G1} > I_G$$

Bốn tổ hợp điện thế có thể mở TRIAC cho dòng chảy qua:

B_2	G	}	dòng điện chạy từ B_2 sang B_1
+ Xung +			
+ Xung -			dòng điện chạy từ B_1 sang B_2
- Xung -			
- Xung +			

TRIAC có đặc tuyến Volt - Ampe gồm hai phần đối xứng nhau qua góc 0, mỗi phần tương tự đặc tuyến thuận của SCR.

6.4.3. Ứng dụng

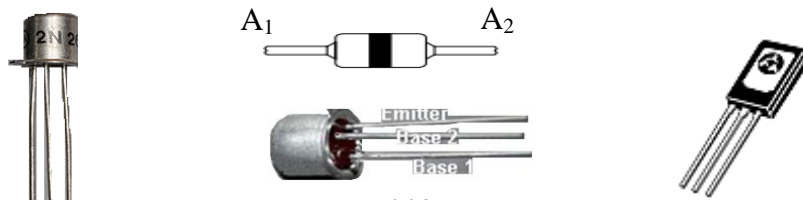


Hình 6.22. Mạch điều khiển dòng qua tải.

Đây là mạch điều khiển dòng điện qua tải dùng TRIAC, DIAC kết hợp với quang trở Cds để tác động theo ánh sáng. Khi CdS được chiếu sáng sẽ có trị số điện trở nhỏ làm điện thế nạp được trên tụ C thấp và DIAC không dẫn điện, TRIAC không được kích nên không có dòng qua tải. Khi CdS bị che tối sẽ có trị số điện trở lớn làm điện thế trên tụ C tăng đến mức đủ để DIAC dẫn điện và TRIAC được kích dẫn điện cho dòng điện qua tải. Tải ở đây có thể là các loại đèn chiếu sáng lõi đi hay chiếu sáng bảo vệ, khi trời tối thì đèn tự động sáng, khi trời sáng đèn tự động tắt.

Ta có thể dùng TRIAC để điều chỉnh ánh sáng, nhiệt độ lò, chiều quay và tốc độ của động cơ,....

6.5. Hình dạng một số linh kiện





Hình 6.23. Hình dạng của UJT, SCR, DIAC, TRIAC.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. UJT là gì? Có mấy loại? Kể tên và vẽ kí hiệu tương ứng của UJT.
2. Nêu nguyên lí hoạt động của UJT.
3. Nêu cách khảo sát đặc tuyến của UJT, vẽ dạng đặc tuyến của UJT.
4. Hãy vẽ dạng mạch dao động tích thoát dùng UJT. Giải thích nguyên lí hoạt động của mạch này.
5. SCR là gì? Vẽ kí hiệu và mạch tương đương dùng hai BJT của nó.
6. Nêu nguyên lí hoạt động của SCR.
7. Nêu cách khảo sát đặc tuyến của SCR, vẽ dạng đặc tuyến của SCR.
8. DIAC là gì? Vẽ kí hiệu và mạch tương đương dùng bốn BJT của nó.
9. Nêu nguyên lí hoạt động của DIAC.
10. Nêu cách khảo sát đặc tuyến của DIAC, vẽ dạng đặc tuyến của DIAC.
11. TRIAC là gì? Vẽ kí hiệu và mạch tương đương dùng bốn BJT, mạch tương đương dùng hai SCR của nó.
12. Nêu nguyên lí hoạt động của TRIAC.
13. Nêu cách khảo sát đặc tuyến của TRIAC, vẽ dạng đặc tuyến của TRIAC.
14. Hãy vẽ và giải thích nguyên lí hoạt động của vài mạch ứng dụng SCR, DIAC, TRIAC.
15. Hãy so sánh dạng đặc tuyến của các linh kiện sau: DIODE, DIAC, SCR, TRIAC.

MỤC LỤC

NỘI DUNG	TRANG
Lời nói đầu.....	1
Chương 1: Cơ sở điện học.....	3
1.1. Nguồn gốc của dòng điện.....	3
1.2. Dòng điện một chiều.....	7
1.3. Dòng điện xoay chiều.....	10
Câu hỏi và bài tập.....	13
Chương 2: Linh kiện thụ động.....	14
2.1. Điện trở.....	14
2.2. Tụ điện.....	26
2.3. Cuộn cảm.....	35
2.4. Biến thế.....	40
Câu hỏi ôn tập.....	43
Chương 3: Chất bán dẫn – diode.....	44
3.1. Chất bán dẫn.....	44
3.2. Diode bán dẫn.....	47
Câu hỏi ôn tập.....	62
Chương 4: Transistor môi nối lưỡng cực.....	63
4.1. Cấu tạo – kí hiệu.....	63
4.2. Nguyên lí hoạt động.....	64
4.3. Hệ thức liên hệ giữa các dòng điện.....	65
4.4. Các cách mắc cơ bản của BJT.....	66
4.5. Đặc tuyến của BJT.....	67
4.6. Phân cực BJT.....	69
4.7. Mạch tương đương dùng tham số h của BJT.....	74
4.8. Phân loại - ứng dụng.....	79
Câu hỏi và bài tập.....	81
Chương 5: Transistor hiệu ứng trường.....	88
5.1. JFET.....	88
5.2. MOSFET.....	93
5.3. Mô hình tương đương của FET đối với tín hiệu nhỏ - tần số thấp.....	99
5.4. Ứng dụng.....	100
Câu hỏi và bài tập.....	102
Chương 6: Linh kiện có vùng điện trở âm.....	104
6.1. UJT.....	104
6.2. SCR.....	110
6.3. DIAC.....	116

6.4. TRIAC.....	118
6.5. Hình dạng một số linh kiện.....	119
Câu hỏi ôn tập.....	121
Phụ lục Câu hỏi trắc nghiệm.....	122
Chương 1: Cơ sở điện học.....	123
Chương 2: Linh kiện thụ động.....	126
Chương 3: Chất bán dẫn – diode	134
Chương 4: Transistor môi nối lưỡng cực.....	142
Chương 5: Transistor hiệu ứng trường.....	153
Chương 6: Linh kiện có vùng điện trở âm.....	157
Tài liệu tham khảo.....	161
Mục lục.....	162