CHƯƠNG I: CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN

1. Mạch điện và các đại lượng cơ bản

1.1 Mạch điện

Mạch điện: một hệ gồm các thiết bị điện, điện tử ghép lại trong đó xảy ra quá trình truyền đạt, biến đổi năng lượng hay tín hiệu điện đo bởi các đại lượng dòng điện, điện áp.

Mạch điện được cấu trúc từ các thành phần riêng rẽ đủ nhỏ, thực hiện các chức năng xác định được gọi là các phần tử mạch điện. Hai loại phần tử chính của mạch điện là nguồn và phụ tải.

- Nguồn: các phần tử dùng để cung cấp năng lượng điện hoặc tín hiệu điện cho mạch.

VD: máy phát điện, acquy …

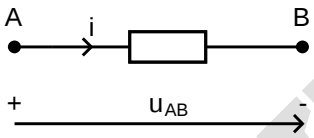
- Phụ tải: các thiết bị nhận năng lượng hay tín hiệu điện.

VD: động cơ điện, bóng điện, bếp điện, bàn là …

Ngoài 2 thành phần chính như trên, mạch điện còn có nhiều loại phần tử khác nhau như: phần tử dùng để nối nguồn với phụ tải (VD: dây nối, dây tải điện…); phần tử làm thay đổi áp và dòng trong các phần khác của mạch (VD: máy biến áp, máy biến dòng …); phần tử làm giảm hoặc tăng cường các thành phần nào đó của tín hiệu (VD: các bộ lọc, bộ khuếch đại…).

Trên mỗi phần tử thường có một đầu nối ra gọi là các cực để nối nó với các phần tử khác. Dòng điện đi vào hoặc đi ra phần tử từ các cực. Phần tử có thể có 2 cực (điện trở, cuộn cảm, tụ điện …), 3 cực (transistor, biến trở …) hay nhiều cực (máy biến áp, khuếch đại thuật toán …).

1.2. Các đại lượng cơ bản



**** Điện áp***

Điện áp giữa 2 điểm A và B là công cần thiết để làm dịch chuyển một đơn vị điện tích (1 Coulomb) từ A đến B.

Đơn vị: V (Volt)

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

$$U_{AB} = - U_{BA}$$

U_{AB} : điện áp giữa A và B.

V_A, V_B: điện thế tại điểm A, B.

**** Dòng điện***

Dòng điện là dòng các điện tích chuyển dịch có hướng. Cường độ dòng điện (còn gọi là dòng điện) là lượng điện tích dịch chuyển qua một bề mặt nào đó (VD: tiết diện ngang của dây dẫn …).

Đơn vị: A (Ampere)

Chiều dòng điện theo định nghĩa là chiều chuyển động của các điện tích dương (hay ngược chiều với chiều chuyển động của các điện tích âm). Để tiện lợi, người ta chọn tuỳ ý một chiều và kí hiệu bằng mũi tên và gọi là chiều dương của dòng điện. Nếu tại một thời điểm t nào đó, chiều dòng điện trùng với chiều dương thì dòng điện mang dấu dương ($i > 0$); còn nếu chiều dòng điện ngược chiều dương thì dòng điện mang dấu âm ($i < 0$).

2. Các phần tử hai cực

2.1 Các phần tử hai cực thụ động

2.1.1 Điện trở

Là phần tử đặc trưng cho hiện tượng tiêu tán năng lượng điện từ .

Ký hiệu: R – Đơn vị: Ohm (Ω)

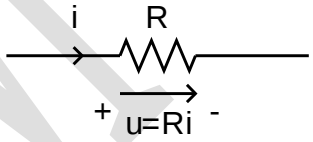
G = $\frac{1}{R}$: điện dẫn – Đơn vị: Ω^{-1} hay Siemen (S)

Ghép nhiều điện trở:

- Nối tiếp: $R = R_1 + R_2 + ..$

- Song song: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ...$

Quan hệ giữa dòng và áp của điện trở tuân theo định luật Ohm.



U(t) = R.I(t)

U(t): Điện áp giữa 2 đầu điện trở (V)

I(t): Dòng điện giữa 2 đầu điện trở (A)

R : Điện trở (Ω)

I(t) = G.U(t)

U(t): Điện áp giữa 2 đầu điện trở (V)

I(t): Dòng điện giữa 2 đầu điện trở (A)

G: Điện dẫn (Ω^{-1}/S)

Khi R = 0 (G = ∞): mô hình ngắn mạch.

Khi R = ∞ (G= 0): mô hình hở mạch.

Công suất tiêu thụ trên điện trở : $P = UI = RI^2$ (W)

**** Các thông số cần quan tâm của điện trở :***

- Trị danh định: giá trị xác định của điện trở.
- Dung sai : sai số của giá trị thực so với trị danh định.
- Công suất tiêu tán : công suất tiêu thụ trên điện trở.
- Điện áp làm việc tối đa.
- Nhiễu nhiệt.

Hình dạng thực tế của điện trở:

* ***<u>Công thức tính điện trở:</u>***

Theo vật liệu chế tạo

Nếu là điện trở của cuộn dây: Trị số điện trở của cuộn dây dẫn phụ thuộc vào vật liệu, tỷ lệ thuận với chiều dài và tỷ lệ nghịch với tiết diện dây.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

ρ : điện trở xuất $\left[\Omega m^2 / m\right]$

l : chiều dài dây dẫn [m]

S : tiết diện dây [m^2]

Thí dụ: Tìm điện trở của 1 dây dẫn dài 6.5m, đường kính dây 0.6mm, có $\rho = 430 n\Omega m$. Dựa vào công thức ta tìm được $R = 9.88\Omega$

Theo lý thuyết mạch:

Định luật Ohm:

$$R = \frac{U}{I}(\Omega)$$

Khi có dòng điện chạy qua 1 vật dẫn điện thì ở hai đầu dây sẽ phát sinh 1 điện áp U tỷ lệ với dòng điện I.

Theo năng lượng:

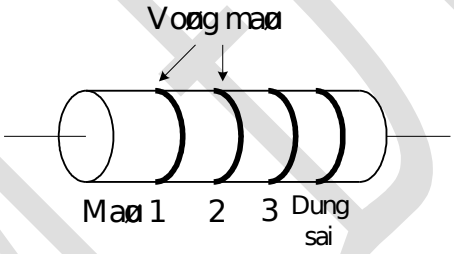
Khi có dòng điện qua R trong 1 thời gian t thì R bị nóng lên, ta nói R đã tiêu thụ 1 năng lượng: W = U.I.t

$$\rightarrow W = R.I^2.t$$ J hoặc W.s

Ta thấy rằng t càng lớn thì điện năng tiêu thụ càng lớn.

**** Cách đọc vòng màu:***

Ngoài cách đo, giá trị của điện trở còn có thể xác định qua các vòng màu trên thân điện trở. Số vòng màu trên điện trở tuỳ thuộc loại vào độ chính xác của điện trở (3 vòng màu, 4 vòng màu hay 5 vòng màu).



Giá trị tương ứng của các màu được liệt kê trong bảng sau:

Màu	Trị số	Dung sai
Đen	0	±20%
Nâu	1	±1%
Đỏ	2	±2%
Cam	3	
Vàng	4	
Lục (Xanh lá)	5	
Lam (Xanh dương)	6	

Tím	7	
Xám	8	
Trắng	9	
Vàng kim		±5%
Bạc		±10%

Ghi chú:

- Vòng màu thứ 3 (đối với điện trở có 3 hay 4 vòng màu) và vòng màu thứ 4 (đối với điện trở có 5 vòng màu) chỉ hệ số mũ.

- Nếu màu vàng kim hoặc màu bạc ở vòng thứ 3 (đối với điện trở 4 vòng màu) hoặc ở vòng thứ 4 (đối với điện trở 5 vòng màu) thì trị số tương ứng là:

Vàng kim: -1

Bạc: -2

Ví dụ: Đỏ - Xám – Nâu: 28.10^1 => Giá trị của điện trở: 28 Ω

Nâu – Đen – Đỏ - Bạc: 10.10^2 ±10% => Giá trị điện trở: 1KΩ , sai số 10%.

Đỏ - Cam – Tím – Đen – Nâu: 237.10^0 ±1% => Giá trị điện trở: 273Ω , sai số 1%.

* *Ứng dụng của điện trở trong thực tế*: bàn ủi, bếp điện, đèn sợi đốt …

2.1.2 Phần tử cuộn cảm

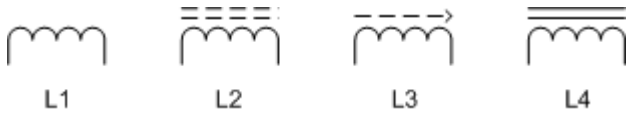
*** Cấu tạo.**

Cuộn cảm gồm nhiều vòng dây quấn sát nhau, ngay cả chồng lên nhau nhưng không chạm nhau do dây đồng có tráng men cách điện.

Cuộn dây lõi không khí

Cuộn dây lõi Ferit

Tùy theo lõi cuộn cảm là không khí, sắt bụi hay sắt lá mà cuộn cảm được ký hiệu như sau:



L1 là cuộn dây lõi không khí, L2 là cuộn dây lõi ferit,

L3 là cuộn dây có lõi chỉnh, L4 là cuộn dây lõi thép kỹ thuật

*** Các tham số cơ bản của cuộn cảm:**

Khi sử dụng cuộn cảm người ta quan tâm đến các số chính sau:

– **Hệ số tự cảm L:**

là khả năng tích trữ năng lượng từ trường của cuộn dây, đơn vị là Henry (H).

1H = 10^3mH = 10^6 μH .

$$V = L\frac{dI}{dt}$$

Hệ số phẩm chất: $Q = \frac{X_L}{X_S}$ phụ thuộc vào f

ộ Tổn hao cuộn cảm.

ả Dòng điện định mức I_{max}.

. Tần số định mức.

– **Cảm kháng**

Cảm kháng của cuộn dây là đại lượng đặc trưng cho sự cản trở dòng điện của cuộn dây đối với dòng điện xoay chiều .

– **Ghép cuộn cảm**

. Ghép nối tiếp:

$$L_{td} = L_1 + L_2 + ...$$

Công thức này chỉ sử dụng cho các cuộn dây không quan hệ về từ, không có hỗ cảm. Nếu các cuộn dây có từ trường tương tác lẫn nhau thì:

Từ trường tăng cường (quấn cùng chiều):

$$L_{td} = L_1 + L_2 + ... + 2M$$

Từ trường đối nhau (quấn ngược chiều)

$$L_{td} = L_1 + L_2 + ... - 2M$$

. Ghép song song:

Khi mắc song song cách biệt về từ thì công thức tính như sau:

$$\frac{1}{L_{td}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + ... + \frac{1}{L_n}$$

- **Năng lượng nạp vào cuộn dây:**

Dòng điện chạy qua cuộn dây tạo ra năng lượng tích trữ dưới dạng từ trường:

$$W = \frac{1}{2} L.I^2$$

W: năng lượng (Joule).

L : Hệ số tự cảm (H).

I : Cường độ dòng điện (A).

*** Đặc tính cuộn cảm với dòng AC**

Điện áp trên phần tử điện cảm bằng tốc độ biến thiên theo từ thông:

$$u(t) = \frac{d\psi(t)}{dt} = -e_L(t)$$

Trong đó $e_L(t)$ là sức điện động cảm ứng do từ thông biến đổi theo thời gian gây nên.

Mặt khác: $\psi(t) = Li(t)$

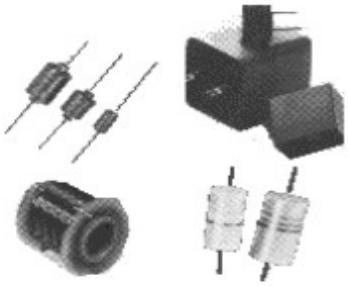
Trong đó: L là hệ số tự cảm của cuộn dây

Như vậy: $u(t) = \frac{d\psi(t)}{dt} = \frac{d(Li(t))}{dt} = L\frac{di(t)}{dt}$

$$=> i(t) = \frac{1}{L}\int_{t_0}^{t} u(t)dt + i(t_0)$$

Trong đó $i(t_0) = \frac{\psi(t_0)}{L}$ là giá trị dòng điện qua phần tử điện cảm tại thời điểm ban đầu t_0.

***Hình dạng thực tế của cuộn cảm:**



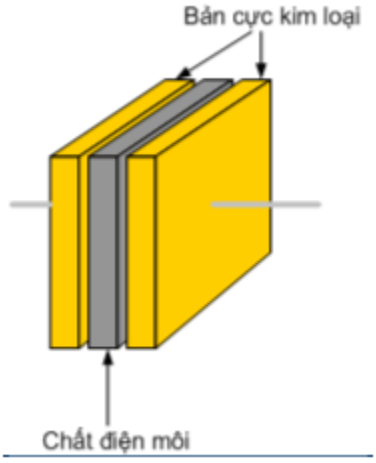
***Ứng dụng thực tế của cuộn cảm:** Relay điện từ, biến áp, anten, nam châm từ …

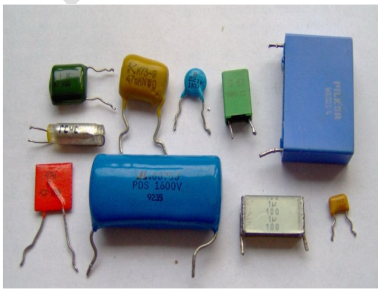
2.1.3 Phần tử tụ điện

*** Cấu tạo của tụ điện:**

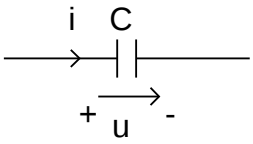
Về cơ bản tụ điện gồm hai bản cực kim loại đối diện nhau và phân cách ở giữa chất cách điện mà còn được gọi là chất điện môi (dielectric).

Chất điện môi có thể là không khí, chất khí, giấy (tẩm), màng hữu cơ, mica, thủy tinh hoặc gốm, mỗi loại có hằng số điện môi khác nhau, khoảng nhiệt độ và độ dày khác nhau.





Kí hiệu: C – Đơn vị Farah (F).



Điện tích giữa hai bản tụ được xác định:

$$q(t) = Cu(t)$$

***Khái niệm chung**

- ***Trị số điện dung C***: khả năng chứa điện của tụ điện được gọi là điện dung (C).

Đơn vị của C: Fara (F), F lớn nên trong thực tế thường dùng đơn vị nhỏ hơn µF, nF, pF $1F = 10^6 \mu F = 10^9 nF = 10^{12} pF$

- Theo quan điểm vật liệu: Điện dung C (Capacitor hay Condenser) của tụ điện tùy thuộc vào cấu tạo và được tính bởi công thức:

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

Với: C: điện dung {F}

S: diện tích của bản cực {m^2}.

D: khoảng cách giữa hai bản cực {m}.

ε: là hằng số điện môi và $\varepsilon = \varepsilon_r.\varepsilon_0$ (ε_r là hằng số điện môi tương đối; ε_0 là hằng số điện môi không khí, $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ (F/m).

- Theo quan điểm lý thuyết mạch: tỷ số giữa điện tích Q và điện áp đặt vào 2 vật dẫn (hay bản cực) U.

$$C = \frac{Q}{U}$$ hay Q = C.U

Với: Q: điện tích có đơn vị là C (colomb).

C: điện dung có đơn vị là F (Fara), μF , nF, pF.

U: sụt áp ở hai bản cực có đơn vị là V (volt).

- Theo quan điểm năng lượng: tụ là kho chứa điện và lượng điện năng chứa trong tụ được xác định:

$$W = \frac{1}{2} C.V^2$$

Năng lượng tĩnh điện J tính theo Ws (Wast giây) hoặc J (Joule) được cho bởi

ở Ghép tụ:

Tụ ghép song song: $C_{td} = C_1 + C_2 + ...$ áp tương đương bằng áp tụ có điện áp nhỏ nhất

Tụ ghép nối tiếp $\frac{1}{C_{td}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots$ áp tương đương bằng tổng các điện áp thành phần

***Chức năng của tụ điện:**

Có hai chức năng chính:

Nạp hay xả điện: chức năng này áp dụng cho các mạch làm bằng phẳng mạch định thì…

Ngăn dòng điện DC: chức năng này được áp dụng vào các mạch lọc để trích ra hay khử đi các tần số đặc biệt.

***Một số tụ điện thông dụng**:

1. ***Tụ hóa***: (có cực tính) được chế tạo với bản cực nhôm và cực dương có bề mặt hình thành lớp Oxit nhôm và lớp bột khí có tính cách điện để làm chất điện môi giá trị: $1\mu F \rightarrow 10.000\mu F$.
2. ***Tụ gốm***: (không cực tính) giá trị $1pF \rightarrow 1\mu F$.
3. ***Tụ giấy*** (không cực tính): Hai bản cực là các băng kim loại dài, ở giữa có lớp cách điện là giấy tẩm dầu và cuộn lại thành ống. Điện áp đánh thủng đến vài trăm Volt.
4. ***Tụ mica*** (không cực tính) pF -> nF. Điện áp làm việc rất cao.

Tụ được sơn chấm màu để chỉ giá trị điện dung.

5. ***Tụ màng mỏng***: $pF \rightarrow \mu F$ (không có cực tính): Chất điện môi là polyester (PE), polyetylen (PS). Điện áp làm việc rất cao.
6. ***Tụ tang***: (có cực tính) $0.1\mu F \rightarrow 100\mu F$
7. **Tụ điện thay đổi được (Variable Capacitor).**

Viết tắt là CV hay VC.

*** Cách đọc trị số tụ**

Loại tham số quan trọng nhất của tụ điện là trị số điện dung (kèm theo dung sai) và điện áp làm việc của nó. Chúng có thể được ghi trực tiếp, ghi bằng qui ước chữ số.

a. Đối với tụ điện có cực (tụ DC).

Các cực được ghi bằng dấu + hoặc dấu -.

Đơn vị điện dung: μF , μF D, MFD, UF.

Điện áp làm việc: VDC (volt DC) được ghi trực tiếp bằng chữ số.

VD: 10 μF /16 VDC, 470 μF /15VDC, 5 μF /6VDC.

b. Các loại tụ màng mỏng:

Nếu không ghi đơn vị thì qui ước đơn vị là pF.

VD: 47/630 có nghĩa là 47pF, điện áp làm việc là 630V.

Nếu số đầu có dấu chấm thì đơn vị là μF

VD: .1 có nghĩa là .1 μF

.47 có nghĩa là .47 μF

Trường hợp ghi bằng chữ số:

VD:123K -> 12 *10^3 pF, K là sai số (hay dung sai).

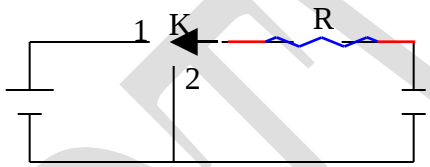
Ký tự chỉ dung sai: $G = \pm 2\%; J = \pm 5\%; K = \pm 10\%; M = \pm 20\%$

VD: 473J -> 47.000pF = 0.47 μF

223 M-> 22.000pF = 0.22 μF

***Đặc Tính Nạp - Xả Của Tụ.**

Xem mạch như hình vẽ:



Tụ nạp

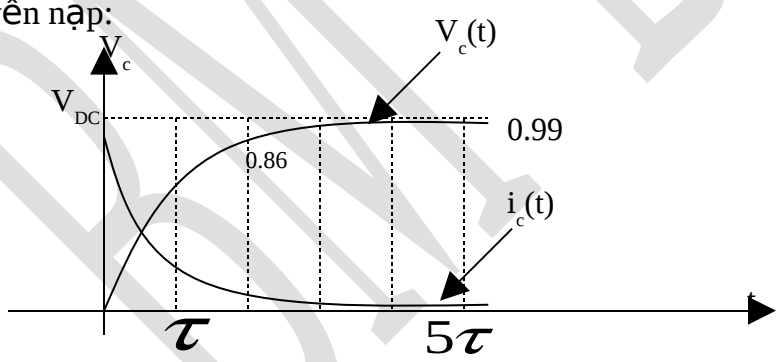
K ở vị trí 1: Tụ nạp từ điện thế 0V tăng dần đến điện thế V_{DC} theo hàm mũ đối với thời gian t. Điện thế tức thời trên hai đầu tụ:

$$V_c(t) = V_{DC}\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$$

với t: thời gian tụ nạp (s), τ = RC hằng số thời gian (s)

V_{DC} C

Đặc tuyến nạp:

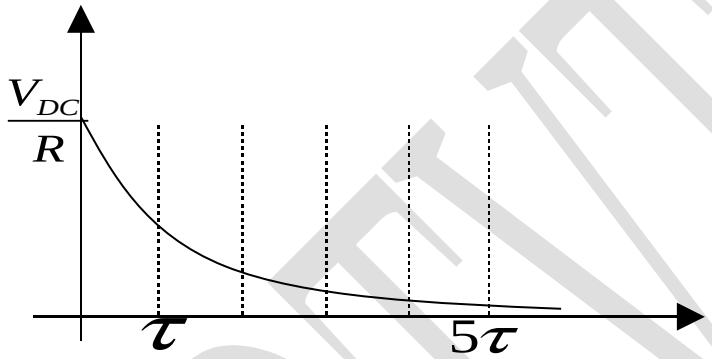


Nhận thấy sau thời gian $t = 5\tau$ tụ nạp điện thế V_c = 0.99 VDC xem như tụ nạp đầy.

Khi điện thế tụ tăng dần thì dòng điện tụ nạp lại giảm từ giá trị cực đại $I = \frac{V_{DC}}{R}$ về 0.

Tụ xả

Khi tụ nạp đầy $V_c \cong V_{DC}$ ta chuyển K sang vị trí 2: tụ xả điện qua R -> điện thế trên tụ giảm dần từ V_{DC} -> 0V theo hàm mũ thời gian theo t. Điện thế 2 đầu tụ xả được tính theo công thức: $V_c(t) = V_{DC}.e^{-t/\tau}$



Sau thời gian $t = 5\tau$ thì điện thế trên tụ chỉ còn $0.01V_{DC}$. xem như tụ xả hết điện. Trường hợp tụ xả, dòng xả cũng giảm dần theo hàm số mũ từ trị số cực đại bắt đầu là $I = \frac{V_{DC}}{R}$ xuống 0.

Dòng xả tức thời được tính theo công thức giống dòng nạp $i_c(t) = \frac{V_{DC}}{R} e^{-t/\tau}$

***Đặc tính của tụ điện đối với AC.**

Ta có: $I = \frac{Q}{t} \Rightarrow Q = I.t$

Đối với tụ điện, điện tích tụ nạp được tính theo công thức: $Q = C.V$

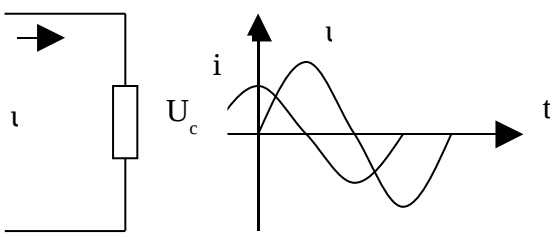
$$\Rightarrow C.V = I.t \Rightarrow V = \frac{1}{C}.I.t$$

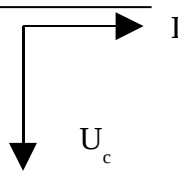
Điện áp nạp được trên tụ là sự tích tụ của dòng điện nạp vào tụ theo thời gian t.

Đối với dòng điện xoay chiều hình sin thì trị số tức thời của dòng điện:

$$i(t) = I_m . \sin \omega t$$

Hệ thức liên hệ giữa điện áp V_c và dòng điện i(t):





$$V_C(t) = \frac{1}{C}\int_0^t i(t).dt$$

$$\Rightarrow V_C(t) = \int_0^t I_m \sin \omega t.dt$$

$$V(t) = \frac{1}{\omega C}.I_m(-\cos \omega t) = \frac{1}{\omega C}.I_m \sin(\omega t - 90^0)$$

Dung kháng X_c của tụ được xác định:

$$X_C = \frac{1}{2\pi} f.C = \frac{1}{\omega C}$$

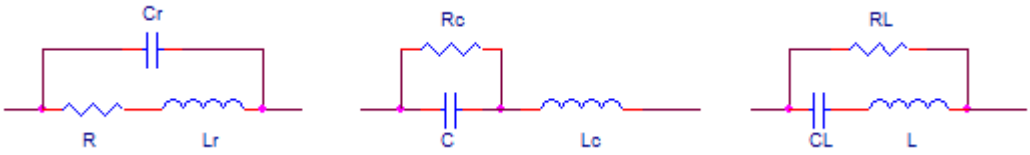
Với $f = \frac{\omega}{2\pi}$ {Hz}.

Như vậy, điện áp V_C trên tụ cũng lá 1 trị số thay đổi theo dòng điện xoay chiều hình sin. Dựa vào kết luận trên, ta thấy ở mạch điện xoay chiều thuần điện dung, dòng điện vượt pha trước điện áp một góc 90^o

2.1.4 Mô hình thực tế của các phần tử điện trở, điện cảm, điện dung

Các mô hình được nêu ở các phần trên là mô hình lý tưởng. Trong thực tế, các phần tử này không chỉ đơn giản là các phần tử thuần mà còn có nhiều các phần tử kí sinh.

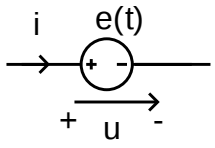
Các mô hình thực tế của các phần tử điện trở, điện dung và điện cảm lần lượt như sau:



Khi thiết kế mạch, người thiết kế cần chú ý đến các phần tử kí sinh này.

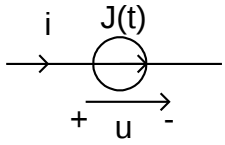
2.2 Các phần tử nguồn

2.2.1 Nguồn áp độc lập



$$u(t) = e(t) \quad \forall i$$

2.2.2 Nguồn dòng độc lập



$i(t) = J(t)$ $\forall u$

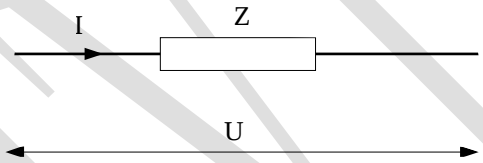
3. Các định luật cơ bản của mạch điện

3.1 Định luật Ohm

U: điện áp giữa 2 đầu mạch

I: dòng điện chạy trong mạch

Z: tổng trở của mạch



$$U = Z.I$$

$$u(t) = Z.i(t)$$

3.2 Định luật Kirchoff

Nhánh: 1 đoạn mạch gồm một hay nhiều phần tử 2 cực nối tiếp với nhau trên đó có cùng một dòng điện đi qua.

Nút (đỉnh): là biên của nhánh hoặc điểm chung của các nhánh.

Vòng: là một tập các nhánh tạo thành một đường khép kín

3.2.1 Định luật Kirchoff 1

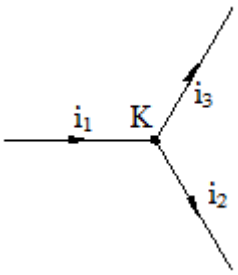
Tổng đại số các dòng điện tại một nút bất kỳ bằng 0.

$$\Sigma \pm i_k = 0$$

Trong đó quy ước: Các dòng điện có chiều dương đi vào nút thì lấy dấu +, còn đi ra khỏi nút thì lấy dấu - ; hoặc ngược lại.

Ví dụ :

$i_1 - i_2 - i_3 = 0$



$-i_1 + i_2 + i_3 = 0$

Định luật Kirchoff 1 còn được phát biểu dưới dạng: Tổng các dòng điện có chiều dương đi vào một nút bất kì thì bằng tổng các dòng điện có chiều dương đi ra khỏi nút đó.

3.2.2 Định luật Kirchoff 2

Tổng đại số các điện áp trên các phần tử dọc theo tất cả các nhánh trong một vòng bằng 0.

$$\Sigma \pm u_k = 0$$

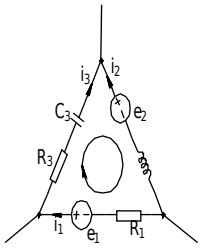
Dấu của điện áp được xác định dựa trên chiều dương của điện áp đã chọn so với chiều của vòng. Chiều của vòng được chọn tuỳ ý. Trong mỗi vòng nếu chiều vòng đi từ cực + sang cực – của một điện áp thì điện áp mang dấu +, còn ngược lại thì điện áp mang dấu - .

Ví dụ:

$$U_{R3} + U_{C3} + e_2 - U_{L2} + U_{R1} - e_1 = 0$$

$$U_{R3} + U_{C3} - U_{L2} + U_{R1} = e_1 - e_2$$

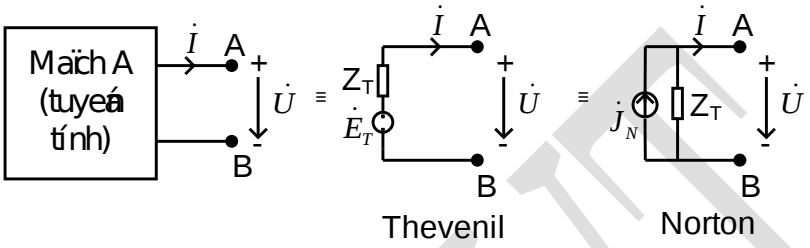
$$R_3 i_3 + \frac{1}{C_3}\int_0^t i_3\,dt - L_2\frac{di_2}{dt} + R_1 i_1 = e_1 - e_2$$



3.3 <u>Định lý Thevenil – Norton</u>

Định lý Thevenil: Có thể thay tương đương mạng một cửa tuyến tính bởi một nguồn áp bằng điện áp đặt trên cửa khi hở mạch mắc nối tiếp với trở kháng Thevenil của mạng một cửa.

Định lý Norton: Có thể thay tương đương một mạng một cửa tuyến tính bởi một nguồn dòng bằng dòng điện trên cửa khi ngắn mạch mắc song song với trở kháng Thevenil của mạng một cửa.



Để tính các giá trị Z_T, $\dot{E}_T$, $\dot{J}_N$ ta tiến hành triệt tiêu các nguồn độc lập (ngắn mạch nguồn dòng và hở mạch nguồn áp):

$$\dot{E}_T = \dot{U}\big|_{\dot{I}=0} = \dot{U}_{hô}$$

$$\dot{J}_N = \dot{I}\big|_{\dot{U}=0} = \dot{I}_{ng}$$

$$Z_T = \frac{\dot{E}_T}{\dot{J}_N}$$

4. Một số hệ thống thông tin điển hình

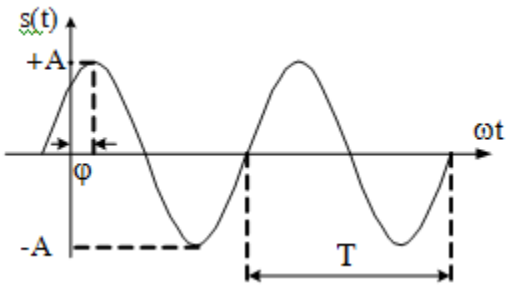
4.1 Khái niệm chung về tín hiệu

Trong đời sống hằng ngày, chúng ta thường phải truyền đi tiếng nói, hình ảnh, âm thanh … gọi chung là tin tức. Để có thể truyền tin tức qua các hệ thống điện tử, người ta biến đổi chúng thành một điện áp hoặc dòng điện, biến thiên tỉ lệ với lượng tin tức nguyên thuỷ, ta gọi đó là tín hiệu.

Một cách tổng quát, tín hiệu có thể là tuần hoàn hoặc không tuần hoàn, là liên tục theo thời gian (tín hiệu analog) hoặc gián đoạn theo thời gian (tín hiệu xung, số hay tín hiệu digital).

Xét tín hiệu hình sin: $s(t) = A\cos(\omega t - \varphi)$

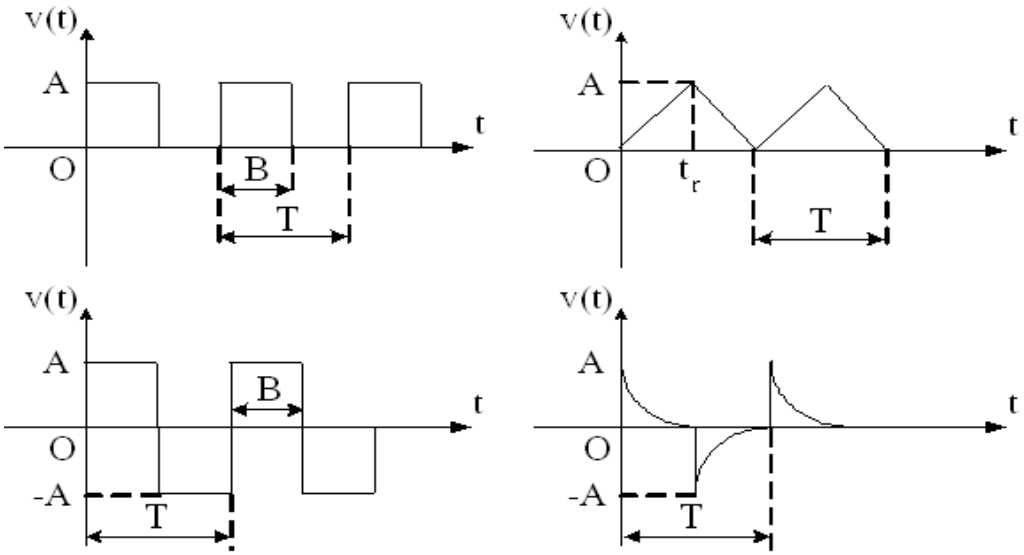
A: biên độ



$\omega = 2\pi f$: tần số góc

φ: pha ban đầu

Ngoài tín hiệu tương tự, ta còn gặp các tín hiệu dạng khác, tín hiệu tồn tại gián đoạn theo thời gian, ví dụ: xung vuông, xung tam giác, xung hình thang. Hình sau cho thấy một số tín hiệu dạng xung:



4.2 Các thông số đặc trưng cho tín hiệu

4.2.1 Độ rộng (độ dài)

Khi biểu diễn trong đồ thị thời gian, khoảng thời gian tồn tại của tín hiệu, kể từ lúc bắt đầu cho đến khi kết thúc, được gọi là độ rộng của tín hiệu. Nếu tín hiệu tuần hoàn, độ rộng được tính tương ứng với thời gian tồn tại tín hiệu trong một chu kỳ.

4.2.2 Giá trị trung bình

Nếu tín hiệu s(t), xuất hiện tại s(t) thời điểm t_0, có độ dài τ thì giá trị trung bình trong khoảng thời gian τ của nó được xác định bởi:

$$s(t) = \frac{1}{\tau}\int_{t_0}^{t_0+\tau} s(t)dt$$

4.2.3 Năng lượng của tín hiệu

Thông thường s(t) đại diện cho một điện áp hay một dòng điện. Năng lượng tín hiệu trong thời gian tồn tại của nó xác định như sau:

$$E_s = \int_{t_0}^{t_0+\tau} s^2(t)dt$$

Năng lượng trung bình trong một đơn vị thời gian (thường được gọi là công suất trung bình của tín hiệu) được tính:

$$\overline{s^2(t)} = \frac{E}{\tau} = \frac{1}{\tau}\int_{t_0}^{t_0+\tau} s^2(t)dt$$

Căn bậc hai của năng lượng trung bình được gọi là giá trị hiệu dụng của tín hiệu:

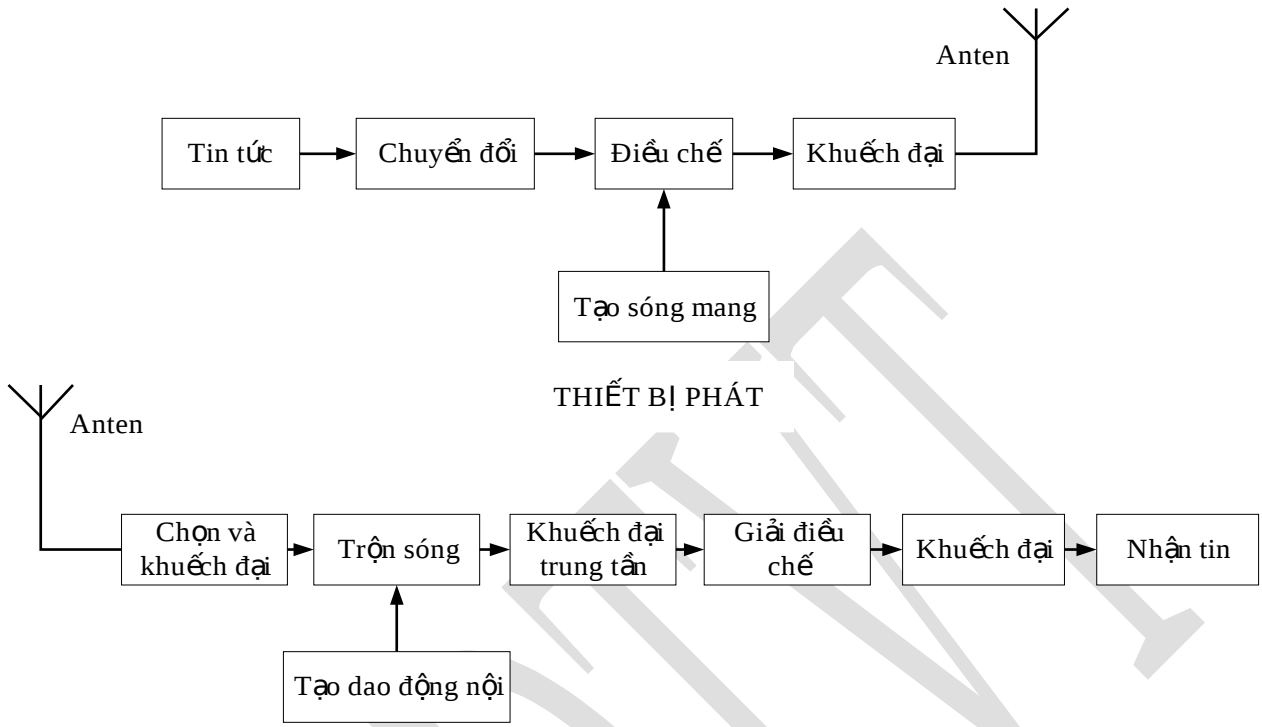
$$S = \sqrt{\overline{s^2(t)}} = \sqrt{\frac{1}{\tau}\int_{t_0}^{t_0+\tau} s^2(t)dt}$$

4.3 Các hệ thống điện tử điển hình

Để thực hiện việc các truyền các tin tức đi xa hoặc thu thập, xử lý tín hiệu từ nơi xa tới người ta cần trang bị các thiết bị chức năng và tập hợp chúng thành một hệ thống điện tử nhất định. Trong các hệ đó, tin tức có thể được truyền theo một chiều nhất định (gọi là hệ thống hở), cũng có thể truyền theo cả 2 chiều (gọi là hệ thống kín). Ba hệ thống điện tử thường gặp là hệ thống thông tin quảng bá, hệ đo lường và hệ tự động điều khiển.

4.3.1 Hệ thống thông tin quảng bá

Đây là hệ thường dùng để truyền tiếng nói, hình ảnh từ các đài phát thanh, phát hình tới máy thu.



Hệ thống thông tin quảng bá

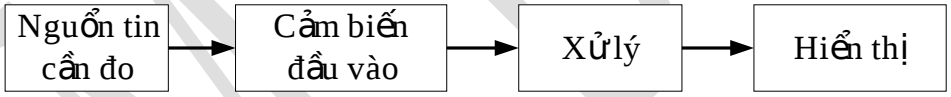
Tại đài phát, tin tức (tiếng nói hay hình ảnh) được truyền qua bộ chuyển đổi, biến thành các đại lượng điện tần số thấp. Tín hiệu loại này có năng lượng nhỏ, tần số thấp không thể bức xạ đi xa. Vì vậy người ta phải dùng một sóng cao tần (gọi là sóng mang) để mang tín hiệu đi xa. Quá trình gọi là điều chế tín hiệu. Qua bộ phận này, một trong những tham số của sóng cao tần (biên độ, tần số hoặc góc pha) bị thay đổi tuỳ theo quy luật của tín hiệu tần số thấp. Sau đó các tín hiệu này được khuếch đại và đưa đến anten để bức xạ qua môi trường truyền sóng.

Tại bộ phận thu, sóng cao tần đã được điều chế tiếp nhận từ anten sẽ được chọn lọc, khuếch đại và đưa đến bộ trộn sóng (đem tín hiệu cao tần mang tin tức trộn với sóng tạo ra tại chỗ - gọi là dao động nội) để tạo nên sóng có tần số thấp hơn gọi là trung tần. Sau đó sóng trung tần này được khuếch đại, giải điều chế (nghĩa là tách tín hiệu tần số thấp phản ánh tin tức nguyên thuỷ ra khỏi sóng mang – còn được gọi là quá trình tách sóng), tiếp tục khuếch đại và đưa tới bộ nhận tin (ví dụ là loa trong máy thu thanh).

Hệ thống trên là hệ thống hở: tín hiệu chỉ truyền theo một chiều (từ đài phát tới máy thu) mà không truyền theo chiều ngược lại. Chất lượng và hiệu quả của việc thông tin phụ thuộc vào chất lượng của thiết bị phát, thiết bị thu và môi trường truyền sóng. Thông thường khi truyền tín hiệu đi, ngoài các tín hiệu cần truyền (gọi là tín hiệu hữu ích) còn lẫn lộn các tín hiệu ký sinh không mong muốn (do linh kiện và môi trường truyền gây nên) gọi là nhiễu. Để có hiệu quả thông tin tốt, mỗi bộ phận trong hệ thống thông tin quảng bá nói trên cần có tỉ số tín hiệu trên nhiều (SNR – Signal to Noise Ratio) càng lớn càng tốt.

4.3.2 Hệ đo lường điện tử

Trong thực tế, nhiều khi ta cần đo đạc các thông số hoặc thu thập tin tức về một đối tượng nào đó, ví dụ: nhiệt độ, tốc độ … Thông số cần đo có thể là một đại lượng điện hoặc phi điện, đối tượng cần đo có thể là một đại lượng điện hoặc phi điện , đối tượng đo có thể là một cá thể hay tập thể, khoảng cách từ đối tượng cần đo đến bộ phận hiển thị kết quả có thể rất gần hoặc rất xa. Một hệ thống như vậy được gọi chùng là hệ đo lường điện tử.

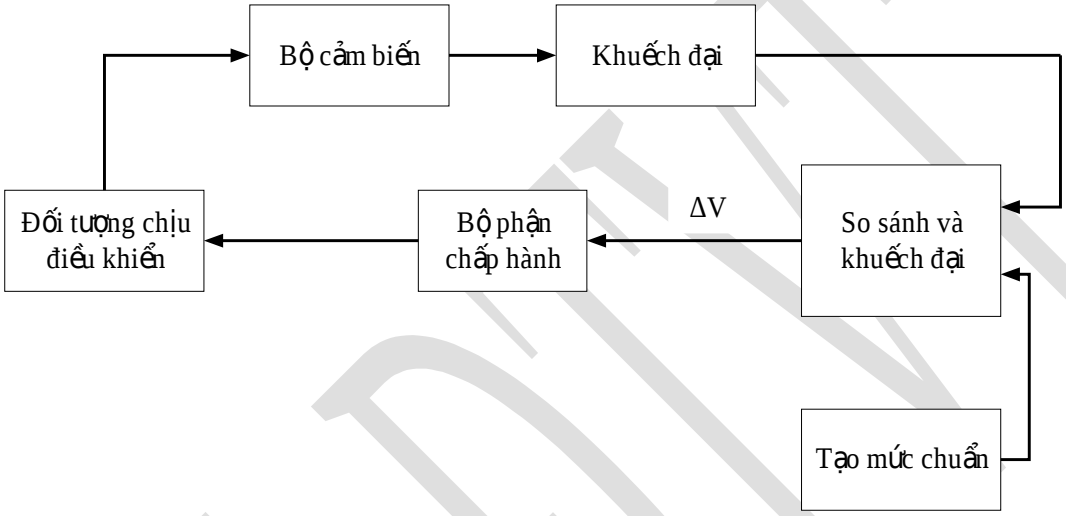


Hệ thống đo lường điện tử

Bộ cảm biến đầu vào biến đổi đại lượng cần đo thành một tín hiệu điện tỉ lệ với nó. Sau đó tín hiệu này được xử lý (biến đổi thành dạng thích hợp, khuếch đại …) và đưa đến bộ phận hiển thị. Trong các khối trên, bộ cảm biến đóng vai trò quan trọng nhất. Nó quyết định độ nhậy và độ chính xác của phép đo. Thiết bị đo dựa trên nguyên tắc số thường có độ chính xác cao, khả năng chống nhiễu cao, dễ phối hợp với các hệ thống truyền và xử lý số liệu khác. Nó cũng cho phép thực hiện đo đồng thời nhiều đại lượng hoặc nhiều tham số của một quá trình, hoặc đo lường từ xa.

4.3.3 Hệ thống tự động điều khiển

Hệ thống tự điều khiển thuộc loại hệ thống kín: ngoài đường truyền tín hiệu theo chiều thuận, còn có đường truyền ngược (gọi là đường hồi tiếp) để theo dõi, đo đạc hoặc so sánh 1 hay nhiều thông số của quá trình, từ đó sản sinh ra tín hiệu điều khiển, nhằm đưa hệ thống trở về một trạng thái ổn định nào đó. Ví dụ: hệ thống tự động điều khiển nhiệt độ.



Hệ tự động điều khiển

Đối tượng chịu sự điều khiển ở đây là 1 lò sấy nào đó. Nhiệt độ của nó (thông số điều khiển T_x) được bộ cảm biến chuyển thành 1 điện áp (tỷ lệ với nhiệt độ). Qua khuếch đại, điện áp V_x này được đem so sánh với 1 điện áp mẫu V_{ch} (do bộ tạo mức chuẩn gây ra). Giá trị của V_{ch} được lựa chọn tương ứng với 1 nhiệt độ T_0 cho trước (T_0 là nhiệt độ cần duy trì của lò điện hoặc buồng sấy). Tuỳ theo giá trị của V_x là nhỏ hơn hay lớn hơn V_{ch} mà điện áp ra của bộ so sánh ΔV của giá trị dương hoặc âm. Thông qua hoạt động của bộ phận chấp hành, ΔV tác động lên đối tượng chịu sự điều khiển để làm tăng hoặc làm giảm nhiệt độ T_x. Quá trình cứ thế tiếp tục cho đến khi nào T_x đúng bằng T_0 (tức là $V_x = V_{ch}$) thì $\Delta V = 0$ và đối tượng chịu điều khiển mới duy trì trạng thái cân bằng, tương ứng với nhiệt độ T_0.

Hệ thống trên đây rõ ràng là 1 hệ kín. Tín hiệu V_x được liên tục so sánh với mức chuẩn V_{ch} để tạo ra tín hiệu hồi tiếp ΔV, khống chế đối tượng chịu điều khiển theo

hướng tiến tới trạng thái cân bằng. Mức độ chính xác của giá trị V_{ch}, khả năng phân giải của bộ so sánh, ngoài ra còn phụ thuộc vào độ chính xác của bộ cảm biến ở ngõ vào.

Hệ thống điều khiển tự động có thể hoạt động theo nguyên tắc tương tự (như ví dụ trên), cũng có thể theo nguyên tắc số (tín hiệu điều khiển tác động rời rạc theo thời gian).

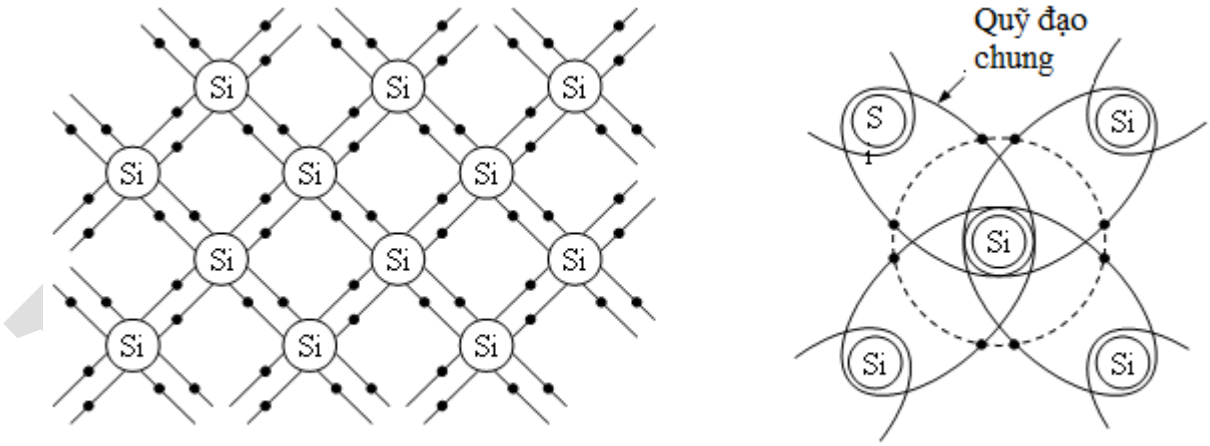
BM ĐTVT

CHƯƠNG II: CÁC LINH KIỆN BÁN DẪN

1. Chất bán dẫn và cơ chế dẫn điện

1.1 Mạng tinh thể và liên kết hoá trị

Các chất bán dẫn điển hình như Ge và Si thuộc nhóm 4 bảng tuần hoàn các nguyên tố hoá học. Chúng cấu tạo từ những tinh thể có hình dạng xác định, trong đó các nguyên tử được sắp xếp theo một trật tự chặt chẽ, tuần hoàn tạo nên một mạng lưới gọi là mạng tinh thể. Xung quanh mỗi nguyên tử bán dẫn luôn có 4 nguyên tử khác kế cận, liên kết chặt chẽ với nguyên tử đó. Mỗi nguyên tử này đều có 4 điện từ hoá trị ở lớp vỏ ngoài cùng. Do khoảng cách giữa các nguyên tử rất gần, các điện tử này chịu ảnh hưởng của các nguyên tử xung quanh. Vì vậy điện tử hoá trị của hai nguyên tử cạnh nhau thì có những quỹ đạo chung. Quỹ đạo chung đó ràng buộc nguyên tử này với nguyên tử khác.



Hình 2.1: Cấu trúc tinh thể và liên kết hoá trị

Do liên kết với 4 nguyên tử xung quanh, lớp vỏ ngoài cùng của mỗi nguyên tử được bổ sung thêm 4 điện tử, nghĩa là đủ số điện tử tối đa của lớp vỏ (8 điện tử), do đó lớp này trở thành bền vững (ít có khả năng nhận thêm hoặc mất bớt điện tử). Trong trạng thái như vậy, chất bán dẫn không có điện tích tự do và không dẫn điện.

1.2 Điện tử tự do và lỗ trống – bán dẫn loại i

Tình trạng trên đây xảy ra trong một chất bán dẫn thuần khiết (không lẫn tạp chất) có cấu trúc tinh thể hoàn chỉnh và ở nhiệt độ rất thấp ($T = 0^0K$).

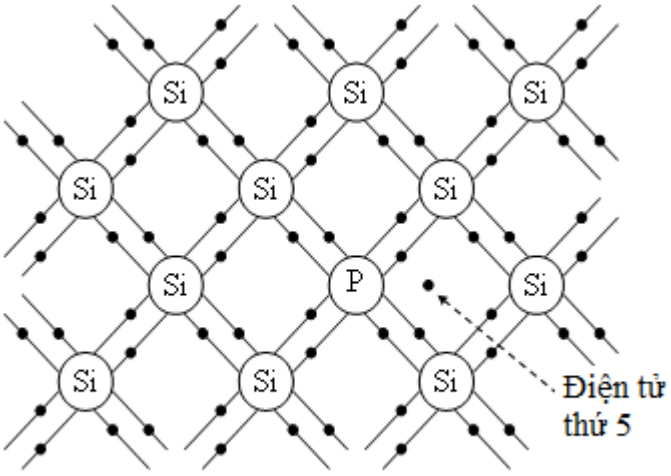
Khi chất bán dẫn có nhiệt độ cao hơn (hoặc được cung cấp năng lượng dưới dạng khác: chiếu ánh sáng, bị bắn phá bởi các chùm tia…), một số điện tử hoá trị nhận thêm năng lượng sẽ thoát ra khỏi mối liên kết với các nguyên tử, trở thành điện tử tự do. Các điện tử này mang điện âm ($q = 1,6.10^{-19}C$) và sẵn sàng chuyển động có hướng khi có tác dụng của điện trường. Khi một điện tử tự do xuất hiện, tại mối liên kết mà điện tử vừa thoát khỏi thiếu mất một điện tích âm –q; nghĩa là dư ra một điện tích dương +q. Ta gọi đó là lỗ trống.

Như vậy, trong chất bán dẫn thuần khiết vừa xét (gọi là bán dẫn loại i) có 2 loại điện tích tự do cùng xuất hiện khi được cung cấp năng lượng là điện tử và lỗ trống. Mật độ của chúng (nồng độ trong một đơn vụ thể tích) là bằng nhau: $n_i = p_i$.

Điện tử và lỗ trống là hai loại hạt mang điện, khi chuyển động có hướng sẽ tạo nên dòng điện, vì vậy chúng được gọi là hạt dẫn.

1.3 Bán dẫn loại N và bán dẫn loại P

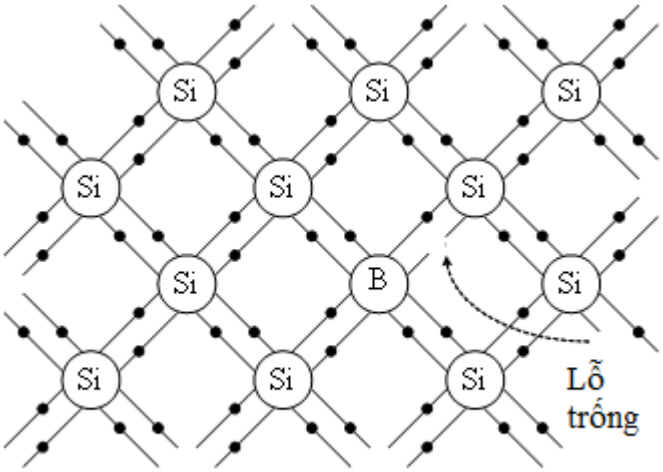
Chất bán dẫn thuần khiết trên (Si hoặc Ge) nếu được pha thêm tạp chất thuộc nhóm 5 (As đối với Ge hoặc P đối với Si) với hàm lượng thích hợp sao cho các nguyên tử tạp chất này chiếm chỗ một trong những nút của mạng tinh thể thì cơ chế dẫn điện sẽ thay đổi. Khác với chất cơ bản (Si hoặc Ge), As hoặc P vỏ ngoài cùng có 5 điện tử, trong đó 4 điện tử tham gia liên kết hoá trị với các nguyên tử lân cận, điện tử thứ 5 liên kết yếu hơn với hạt nhân và các nguyên tử xung quanh, cho nên chỉ cần cung cấp một năng lượng nhỏ (nhờ nhiệt độ, ánh sáng …), điện tử này sẽ thoát khỏi tình trạng ràng buộc, trở thành hạt dẫn tự do. Nguyên tử tạp chất khi đó bị ion hoá và trở thành một ion dương. Nếu có điện trường đặt vào, các hạt dẫn tự do nói trên sẽ chuyển động có hướng, tạo nên dòng điện. Như vậy tạp chất nhóm 5 cung cấp điện tử cho chất bán dẫn ban đầu nên được gọi là tạp chất cho. Chất bán dẫn loại này gọi là bán dẫn loại N.



Hình 2.2: Mạng tinh thể của chất bán dẫn loại N

Trong chất bán dẫn loại N, $n_n > p_n$. Ta gọi điện tử là hạt dẫn đa số, lỗ trống là hạt dẫn thiểu số.

Trường hợp tạp chất pha vào thuộc nhóm 3 của bảng tuần hoàn nguyên tố (Bore đối với Si, Indium đối với Ge) do lớp vỏ ngoài cùng của nguyên tử tạp chất chỉ có 3 điện tử, khi tham gia vào mạng tinh thể của chất cơ bản chỉ tạo nên 3 mối liên kết hoàn chỉnh, còn mối liên kết thứ 4 bị bỏ hở. Chỉ cần một kích thích nhỏ (nhiệt độ, ánh sáng …) là một trong những điện tử của các mối liên kết hoàn chỉnh bên cạnh sẽ đến thế chỗ vào liên kết bỏ dở nói trên. Nguyên tử tạp chất lúc đó sẽ trở thành ion âm. Tại mối liên kết mà điện tử vừa đi khỏi sẽ dư ra một điện tích dương, nghĩa là xuất hiện một lỗ trống. Nếu có điện trường đặt vào, các lỗ trống này sẽ tham gia dẫn điện. Như vậy tạp chất nhóm 3 tiếp nhận điện tử từ chất cơ bản để làm sản sinh các lỗ trống nên được gọi là tạp chất nhận. Chất bán dẫn có pha tạp chất nhóm 3 gọi là bán dẫn loại P (hoặc bán dẫn lỗ trống).



Hình 2.3: Mạng tinh thể của bán dẫn loại P

Trong bán dẫn loại P, lỗ trống là hạt dẫn đa số, điện tử là hạt dẫn thiểu số ($p_p > n_p$).

Như vậy tuỳ theo tạp chất pha vào thuộc nhóm 3 hay nhóm 5 mà chất bán dẫn thuần i trở thành bán dẫn loại P hay loại N. Hạt dẫn đa số tương ứng là lỗ trống hoặc điện tử. Các nguyên tử tạp chất khi được kích thích trở thành ion âm hoặc ion dương.

Ở trạng thái cân bằng, mỗi chất bán dẫn đều trung hoà về điện, nghĩa là tổng điện tích dương bằng tổng điện tích âm.

1.4 Chuyển động trôi và khuếch tán của hạt dẫn

1.4.1 Chuyển động trôi

Nếu đặt hạt dẫn (điện tử hoặc lỗ trống) vào môi trường chân không khi có điện trường tác động, các hạt dẫn này sẽ chuyển động có gia tốc (nhanh dần hoặc chậm dần đều). Nhưng trong mạng tinh thể của chất rắn chứa rất nhiều nguyên tử (kể cả các tạp chất), chúng luôn luôn dao động vì nhiệt. Vì vậy khi chịu tác dụng của điện trường, các hạt dẫn trên đường chuyển động có gia tốc sẽ va chạm với các nguyên tử của mạng tinh thể. Mỗi lần va chạm sẽ làm thay đổi trị số và chiều của vận tốc tức là làm tán xạ chúng. Chuyển động của hạt dẫn trong mạng tinh thể chất rắn dưới tác dụng của điện trường như vậy được gọi là chuyển động trôi. Dòng điện do chuyển động trôi của hạt dẫn gây ra gọi là dòng điện trôi.

1.4.2 Chuyển động khuếch tán

Dạng chuyển động khuếch tán xảy ra khi có sự phân bố không đồng đều trong thể tích. Đối với chất bán dẫn, khi nồng độ điện tử hoặc lỗ trống phân bố không đồng đều, chúng sẽ khuếch tán từ nơi có nồng độ cao về nơi có nồng độ thấp. Dòng điện do chuyển động có hướng này gây ra gọi là dòng điện khuếch tán.

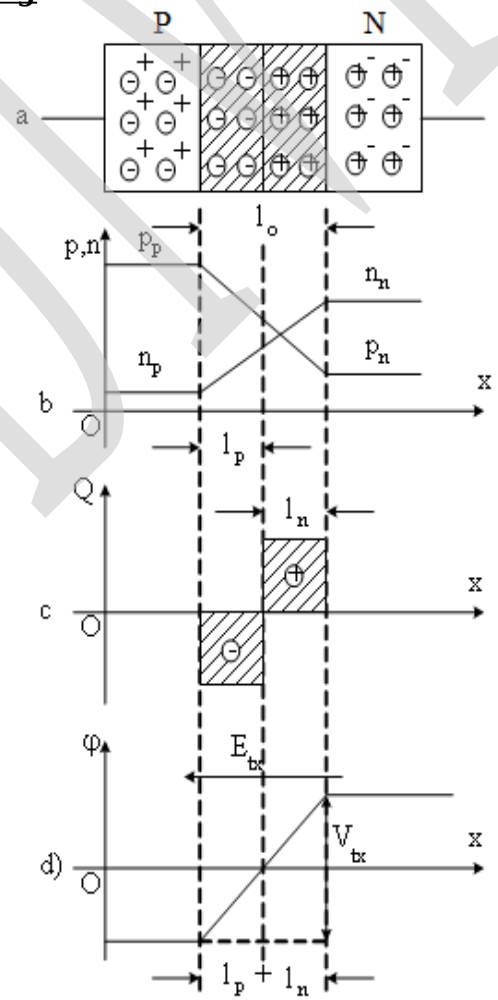
2. Chuyển tiếp P – N và đặc tính chỉnh lưu

2.1 Chuyển tiếp P – N ở trạng thái cân bằng

Giả sử có 2 khối bán dẫn loại P và loại N tiếp xúc nhau theo tiết diện phẳng như hình vẽ.

Trước khi tiếp xúc, mỗi khối bán dẫn đều cân bằng về điện tích (tổng điện tích dương bằng tổng điện tích âm) đồng thời giả thiết rằng nồng độ hạt dẫn cũng như nồng độ tạp chất phân bố đều. Khi tiếp xúc nhau, do chênh lệch nồng độ ($p_p > p_n$; $n_n > p_n$) sẽ xảy ra hiện tượng khuếch tán của các hạt dẫn đa số: lỗ trống khuếch tán từ P sang N, điện tử khuếch tán từ N sang P. Chúng tạo nên dòng điện khuếch tán có chiều từ P sang N.

Trên đường khuếch tán, các điện tích trái dấu sẽ tái hợp với nhau làm cho trong một vùng hẹp ở hai bên mặt ranh giới, nồng độ hạt dẫn giảm xuống rất thấp. Tại vùng



Hình 2.4: Sự hình thành chuyển tiếp P - N
(a): phân bố nồng độ hạt dẫn
(b): mật độ điện tích
(c): phân bố điện thế
(d): Etx và Vtx theo phương x

đó (vùng có bề dày l_0), bên bán dẫn P hầu như chỉ còn lại các ion âm, còn bên bán dẫn N chỉ còn lại các ion dương, nghĩa là hình thành hai lớp điện tích không gian trái dấu đối diện nhau. Giữa 2 lớp điện tích này sẽ có chênh lệch điện thế (V_N>V_P) gọi là hiệu điện thế tiếp xúc. Như vậy trong mặt ranh giới xuất hiện một điện trường hướng từ N sang P gọi là điện trường tiếp xúc E_{tx}.

Vùng hẹp nói trên gọi là vùng nghèo hay chuyển tiếp P – N. Nồng độ hạt dẫn trong vùng này chỉ còn rất thấp nên điện trở suất rất cao so với các vùng còn lại. Do tồn tại điện trường tiếp xúc, các hạt dẫn thiểu số của 2 chất bán dẫn bị cuốn về phía đối diện: lỗ trống từ bán dẫn N chạy về phía cực âm của điện trường; điện tử từ bán dẫn P chạy về phía cực dương của điện trường. Chúng tạo nên dòng điện trôi, ngược chiều với dòng khuếch tán của hạt dẫn đa số.

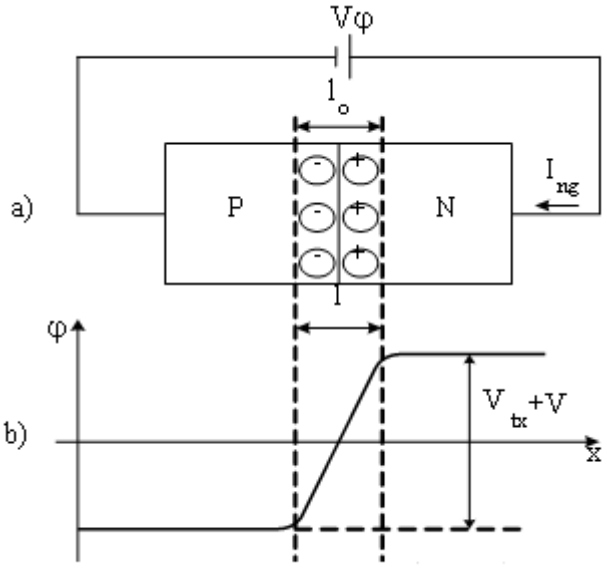
Nồng độ hạt dẫn đa số trong 2 khối bán dẫn càng chênh lệch thì hiện tượng khuếch tán càng mãnh liệt và hiện tượng tái hợp càng nhiều, do đó điện trường tiếp xúc ngày càng tăng và dòng điện trôi của hạt dẫn thiểu số ngày càng tăng. Vì vậy chỉ sau một thời gian ngắn, dòng trôi và dòng khuếch tán trở nên cân bằng nhau, triệt tiêu nhau và dòng tổng hợp qua mặt ranh giới sẽ bằng 0. Khi đó chuyển tiếp P – N đạt tới trạng thái cân bằng. Ứng với trạng thái đó, hiệu điện thế tiếp xúc giữa bán dẫn N và P có một giá trị nhất định. Thông thường hiệu điện thế tiếp xúc vào khoảng 0.35V (đối với Ge) hoặc 0.7V (đối với Si). Hiệu điện thế này ngăn cản không cho hạt dẫn tiếp tục chuyển động qua mặt ranh giới, duy trì trạng thái cân bằng nên được gọi là "hàng rào điện thế".

2.2 Chuyển tiếp P – N khi có điện áp ngoài – Đặc tính chỉnh lưu

2.2.1 Phân cực nghịch

Khi điện áp V được nối như hình 2.5 (P nối với cực âm, N nối với cực dương gọi là phân cực ngược). Giả thiết điện trở của chất bán dẫn ở ngoài vùng nghèo (gọi là vùng trung hoà) là không đáng kể. Khi đó điện áp V gần như đặt lên toàn bộ vùng nghèo, chồng lên hiệu điện thế tiếp xúc V_{tx}. Tình trạng cân bằng trước đây không còn nữa. Điện trường E do điệp áp V gây ra cùng chiều với E_{tx} sẽ làm hạt dẫn đa số của hai bán dẫn rời

xa khỏi mặt ranh giới đi về 2 phía. Do đó cùng nghèo bị mở rộng ($l>l_0$) điên trở vùng nghèo tăng. Hàng rào điện thế trở thành V_{tx} + V khiến dòng khuếch tán của hạt dẫn đa số giảm xuống rất nhỏ, còn dòng trôi của hạt dẫn thiểu số thì tăng theo V. Nhưng nồng độ hạt dẫn thiểu số rất nhỏ nên trị số dòng này rất nhỏ. Nó nhanh chóng đạt đến giá trị bão hoà I_s khi V còn rất thấp. Dòng tổng hợp qua chuyển tiếp P – N (chiều dương quy ước là chiều từ P sang N) ở trạng thái này là: $I = - I_s$. Nghĩa là khi bị phân cực ngược, dòng điện qua qua chuyển tiếp P – N có giá trị rất bé và chạy theo chiều âm. I_s còn được gọi là dòng ngược bão hoà.



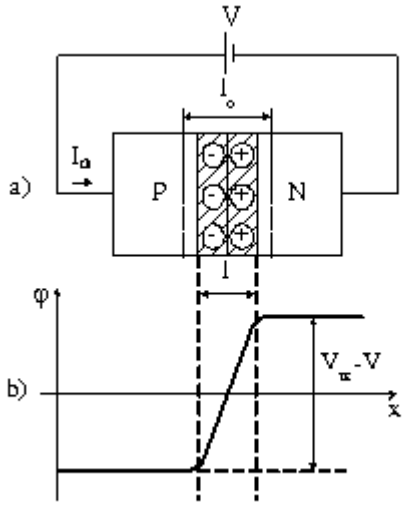
Hình 2.5: Phân cực nghịch chuyển tiếp P - N

2.2.2 Phân cực thuận

Khi điện áp V được mắc như hình 2.6 (P nối cực dương, N nối cực âm gọi là phân cực thuận) thì tình hình sẽ ngược lại. Hàng rào điện thế giảm, chỉ còn V_{tx} – V, cho nên hạt dẫn đa số của hai bán dẫn sẽ tràn qua hàng rào sang miền đối diện. Tình trạng thiếu hạt dẫn trong vùng nghèo sẽ được giảm bớt, khiến bề dày vùng nghèo bị thu hẹp ($l < l_0$) và điện trở của vùng này giảm. Dòng điện hạt dẫn đa số tăng nhanh theo điệp áp V, còn dòng điện trôi của hạt dẫn thiểu số sẽ giảm theo V. Tuy vậy dòng hạt dẫn thiểu số này vốn rất bé nên có thể coi như không đổi. Như vậy dòng tổng hợp qua chuyển tiếp P – N

lúc này được gọi là dòng điện thuận. Trị số của nó lớn hơn dòng điện ngược rất nhiều và tăng nhanh theo điện áp thuận V.

Cần chú ý rằng điện áp thuận càng tăng, bề dày vùng nghèo càng giảm và điện áp hàng rào thế V_{tx} – V càng giảm. Khi V_{tx} = V, hàng rào thế biến mất, dòng qua chuyển tiếp P – N theo chiều thuận sẽ vô cùng lớn, phá hỏng miền tiếp xúc. Đây là trạng thái cần tránh khi sử dụng chuyển tiếp P – N phân cực thuận sau này.

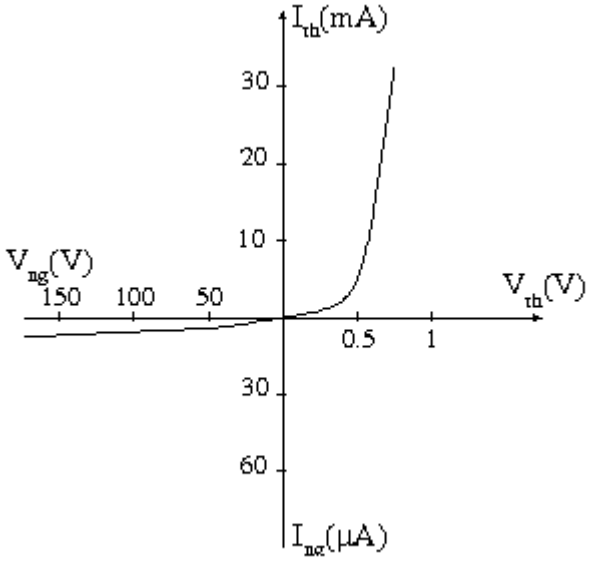


Hình 2.6: Phân cực thuận chuyển tiếp P - N

2.2.3 Đặc tính chỉnh lưu

Chuyển tiếp P – N (còn gọi là mối nối P – N hay vùng nghèo) là bộ phận quan trọng nhất của tiếp xúc giữa hai bán dẫn khác loại. Tuỳ theo điện áp đặt vào theo chiều thuận hay nghịch mà nó có đặc tính khác nau. Khi phân cực thuận, vùng nghèo hẹp, điện trở nhỏ, dòng điện lớn và tăng nhanh theo điện áp; khi phân cực nghịch, vùng nghèo mở rộng, điện trở rất lớn, dòng điện chạy qua rất nhỏ và ít thay đổi theo điện áp. Như vậy chuyển tiếp P – N dẫn điện theo hai chiều không giống nhau. Nếu có điện áp xoay chiều đặt vào thì nó chỉ dẫn điện chủ yếu theo một chiều. Ta gọi đó là tính chất van hay đặc tính chỉnh lưu.

Hình 2.7 là đồ thị nêu lên mối quan hệ giữa dòng điện và điện áp của chuyển tiếp P – N: về phía thuận, dòng điện tăng nhanh theo điện áp, còn về phía ngược, dòng điện rất nhỏ gần như không đổi.



Hình 2.7: Đặc tính Volt - Ampere của chuyển tiếp P - N

2.3 Hiện tượng đánh thủng chuyển tiếp P - N

Khi chuyển tiếp P - N bị phân cực nghịch, nếu điện áp ngược tăng đến một giá trị khá lớn nào đó thì dòng điện ngược trở nên tăng vọt, nghĩa là chuyển tiếp P - N dẫn điện mạnh cả theo chiều nghịch, phá hỏng đặc tính van vốn có của nó. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng đánh thủng. Giá trị điện áp ngược khi xảy ra quá trình này thường ký hiệu là V_B (điện áp đánh thủng).

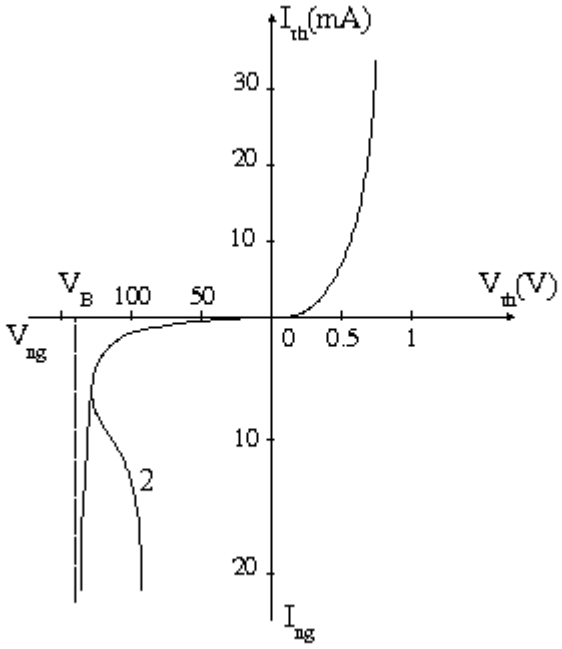
Nguyên nhân dẫn đến đánh thủng có thể do điện hoặc do nhiệt, vì vậy người ta thường phân biệt hai dạng: đánh thủng về điện và đánh thủng về nhiệt. Có khi cả hai nguyên nhân đó kết hợp lại với nhau và tăng cường lẫn nhau, gây ra một dạng đánh thủng thứ ba là đánh thủng điện - nhiệt.

Đánh thủng về điện phân làm hai loại: đánh thủng thác lũ (avalanche) và đánh thủng xuyên hầm (tunnel).

Đánh thủng thác lũ thường xảy ra trong các chuyển tiếp P - N có bề dày lớn, điện trường trong vùng nghèo có trị số khá lớn. Điện trường này gia tốc cho các hạt dẫn, gây

ra gây ra hiện tượng ion hóa vì va chạm làm sản sinh những đôi điện tử - lỗ trống. Các hạt dẫn vừa sinh ra này lại tiếp tục được gia tốc và ion hóa các nguyên tử khác …, cứ như thế số lượng hạt dần tăng lên gấp bội, khiến dòng điện tăng vọt.

Đánh thủng xuyên hầm xảy ra ở những vùng nghèo tương đối hẹp, tức là chuyển tiếp của những bán dẫn có nồng độ tạp chất rất lớn. Điện trường trong vùng nghèo rất lớn, có khả năng gây ra hiệu ứng "xuyên hầm", tức là điện tử trong vùng hoá trị của bán dẫn P có khả năng "chui qua" hàng rào thế để chạy sang vùng dẫn N, làm cho dòng điện tăng vọt .



Hình 2.8: Đặc tính Volt - Ampere của hiện tượng đánh thủng chuyển tiếp P - N

Đặc tuyến Volt - Ampere của hai dạng đánh thủng nói trên gần như song song với trục tung. Khi nhiệt độ môi trường tăng, giá trị điện áp đánh thủng theo cơ thể xuyên hầm bị giảm (tức hệ số nhiệt của V_B âm), còn điện áp đánh thủng theo cơ chế thác lũ, lại tăng (hệ số nhiệt của V_B dương).

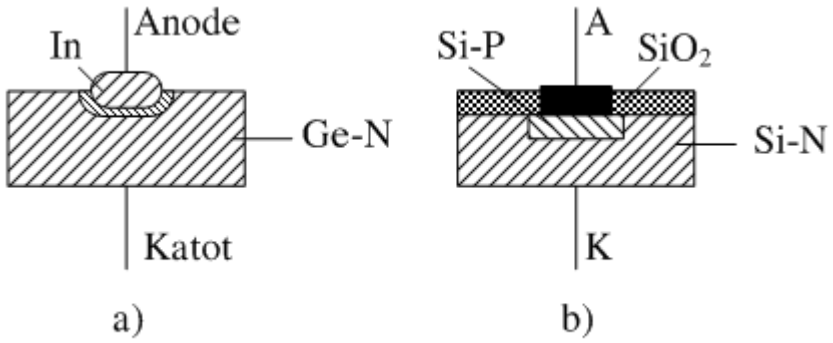
Đánh thủng về nhiệt xảy ra do sự tích lũy nhiệt trong vùng nghèo. Khi có điện áp ngược lớn, dòng điện ngược tăng làm nóng chất bán dẫn, khiến nồng độ hạt dẫn thiểu số tăng và do đó lại làm dòng điện ngược tăng nhanh. Quá trình cứ thế tiến triển khiến cho nhiệt độ vùng nghèo và dòng điện ngược liên tục tăng nhanh, dẫn tới đánh thủng. Trị

số của điện áp đánh thủng về nhiệt phụ thuộc vào dòng điện ngược ban đầu, vào nhiệt độ môi trường và điều kiện tỏa nhiệt của chuyển tiếp P - N. Đặc tuyến vôn-ampe có đoạn điện trở âm, nghĩa là dòng điện ngược tăng vọt trong khi điện áp trên hai đầu chuyển tiếp P - N giảm xuống. Đánh thủng về nhiệt thường gây ra những hậu quả tai hại, phá hỏng vĩnh viễn đặc tính chỉnh lưu của chuyển tiếp P - N. Còn đánh thủng về điện, nếu có biện pháp hạn chế dòng điện ngược sao cho công suất tiêu tán chưa vượt quá giá trị cực đại cho phép thì chuyển tiếp P - N vẫn có thể hồi phục lại đặc tính chỉnh lưu của mình.

3. Diode bán dẫn

3.1 Diode chỉnh lưu

Hình 2.9 là cấu tạo điển hình của loại diode chỉnh lưu, chế tạo theo phương pháp hợp kim.

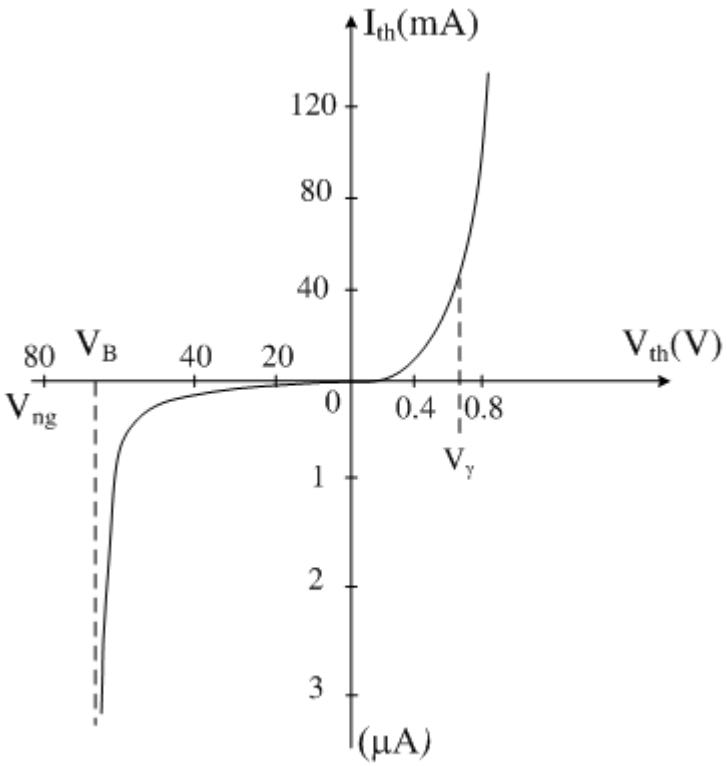


Hình 2.9: Cấu tạo diode chỉnh lưu

Bộ phận cơ bản của diode là chuyển tiếp P – N, có đặc tính chỉ dẫn điện chủ yếu theo một chiều và thường được ứng dụng để biến điện xoay chiều thành điện một chiều (do đó có tên là diode chỉnh lưu). Hình 2.10 là ký hiệu của diode bán dẫn.

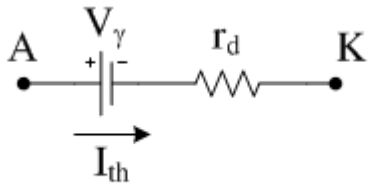
Hình 2.10: Ký hiệu diode bán dẫn

Đặc tuyến của diode chỉnh lưu trong thực tế (loại chế tạo bằng Silic, nhóm dòng điện nhỏ) như hình 2.11.



Hình 2.11: Đặc tính V-A của diode Silic trong thực tế

Khi điện áp thuận có giá trị nhỏ hơn $V_\gamma \approx$ 0,6V (đối với diode Ge là $V_\gamma \approx$ 0,2V) thì dòng điện thuận còn bé, chưa đáng kể. Chỉ khi điện áp thuận vượt quá điện áp mở V_γ thì dòng điện mới tăng nhanh theo điện áp, hơn nữa đoạn đặc tuyến này gần như một đường thẳng với độ dốc không đổi. Vì vậy có thể biểu thị diode phân cực thuận bằng sơ đồ tương đương như hình 2.12.



Hình 2.12: Sơ đồ tương đương của diode phân cực thuận

Dòng điện ngược có giá trị rất nhỏ. Khi điệp áp ngược tăng, dòng điện ngược thực tế tăng dần và khi đạt đến điện áp đánh thủng V_B thì dòng điện ngược tăng vọt. Nếu không có biện pháp hạn chế dòng điện để ngăn ngừa sự vượt quá công suất cho phép thì quá trình đánh thủng này sẽ làm hỏng diode. Nhưng vậy phân cực ngược thì sơ đồ tương đương của diode là hở mạch.

**** Các thông số cần quan tâm của diode như sau:***

- Điện áp ngược cực đại cho phép $V_{ng\ max}$ (để không bị đánh thủng).

- Dòng điện thuận cực đại cho phép I_{max}.

- Công suất tiêu hao cực đại cho phép P_{max}.

- Tần số cực đại cho phép của tín hiệu xoay chiều f_{max}.

- Điện dung mặt ghép: Lớp điện tích l_0 tương đương với một tụ điện gọi là điện dung mặt ghép N-P. Ở tần số cao lớp điện dung này quyết định tốc độ đóng mở của diode khi nó làm việc như một khoá điện, tức là điện dung mặt ghép N-P quyết định f_{max}.

- Điện trở 1 chiều (điện trở đối với dòng 1 chiều)

$R_{th} = V_{th}/I_{th}$: có giá trị rất bé (mấy Ω đến mấy chục Ω).

$R_{ng} = V_{ng}/I_{ng}$: có giá trị rất lớn (hàng trăm kΩ)

- Điện trở xoay chiều (còn gọi điện trở vi phân)

$r_d = dV/dI$

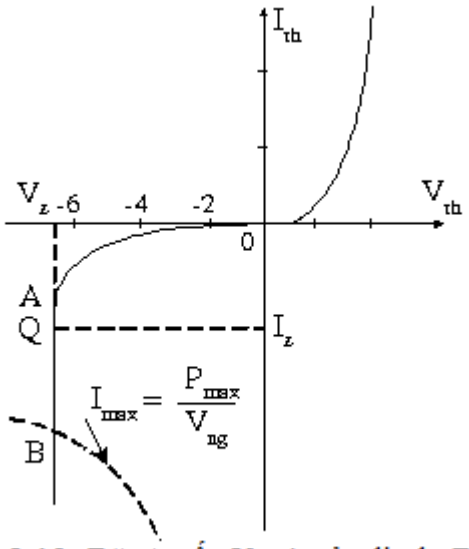
Tham số này chính là nghịch đảo độ dốc đặc tuyến V-A của diode.

Về phía thuận, đặc tuyến có dạng dốc đứng, r_d tương đối nhỏ. Về phía ngược, miền đặc tuyến gần như nằm ngang, dòng điện ngược rất nhỏ, giá trị r_d tương ứng sẽ rất lớn.

3.2 <u>Diode cao tần</u>

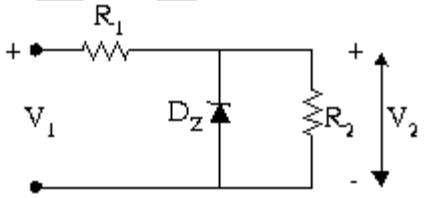
3.2.1 Diode zener

Về cấu tạo: vẫn là chuyển tiếp P-N, nhưng chế tạo bằng vật liệu chịu nhiệt và tỏa nhiệt tốt, do đó khi điện áp ngược đủ lớn sẽ xảy ra quá trình đánh thủng về điện (đánh thủng thác lũ hoặc đánh thủng tunnel) mà ít khi đánh thủng về nhiệt, nghĩa là không phá hỏng diode. Đặc tuyến vôn-ampe trong quá trình đánh thủng gần như song song với trục dòng điện, nghĩa là điện áp giữa katôt và anôt hầu như không đổi. Người ta lợi dụng ưu điểm này để dùng diode Zenner làm phần tử ổn định điện áp.



Hình 2.13: Đặc tuyến V - A của diode Zener

Giới hạn trên của phạm vi làm việc chính và trị số dòng điện ngược tối đa cho phép, xác định bởi công suất tiêu hao cực đại của diode P_{max} (điểm B trên hình). Ký hiệu quy ước của diode Zener và mạch ổn áp tương ứng giới thiệu trên hình 2.14 (lưu ý: diode Zener làm việc ở trạng thái phân cực ngược).



Hình 2.14: Mạch ổn áp dùng diode zener

V_1: điện áp một chiều chưa ổn định

V_2: điện áp lấy ra trên tải (đã ổn định)

R_1 : điện trở hạn chế dòng điện qua diode, sao cho điểm làm việc nằm trong phạm vi AB cho phép.

Khi V_1 biến động, dòng qua R_1 và D_Z thay đổi, nhưng điện áp V_2 trên hai đầu D_Z vẫn gần như không đổi.

**** Để đặc trưng cho diode Zener, người ta dùng các tham số sau đây:***

- Điện áp ổn định V_Z

- Điện trở tương đương (còn gọi điện trở động) tại điểm làm việc (nằm trong miền đánh thủng)

$$r_d = \frac{dV_Z}{dI}$$

Trị số r_d càng bé chứng tỏ đặc tuyến đánh thủng càng dốc đứng, nghĩa là chất lượng ổn định điện áp càng cao.

- Điện trở tĩnh xác định bằng tỷ lệ số giữa điểm áp trên diode và dòng điện qua nó

$$R_t = \frac{V_Z}{I_Z}$$

- Hệ số ổn định phản ánh tỷ số giữa lượng biến thiên tương đối của dòng điện và lượng biến thiên tương đối của điện áp phát sinh trong quá trình đó:

$$S = \frac{dI_Z / I_Z}{dV_Z / V_Z} = \frac{dI_Z}{dV_Z} \cdot \frac{V_Z}{I_Z} = \frac{R_t}{r_d}$$

Rõ ràng là điện trở động r_d càng nhỏ so với điện trở tĩnh R_t thì độ ổn định đạt được càng cao.

Đôi khi người ta định nghĩa hệ số ổn định bằng tỷ lệ số giữa lượng biến thiên của điện áp vào và lượng biến thiên tương ứng của điện áp ra.

- Hệ số nhiệt của điện áp ổn định: Hệ số này biểu thị lượng biến thiên tương đối của điện áp ổn định theo nhiệt độ:

$$\theta_T = \frac{1}{V_Z} \cdot \frac{dV_Z}{dT}\bigg|_{I_Z = const}$$

Tuỳ theo cơ chế đánh thủng thuộc loại thác lũ hay loại tunnel mà θ_T có giá trị dương hoặc âm. Thông thường trị số θ_T vào khoảng (2 -> 4)10^{-3}/ºC.

3.2.2 Diode biến dung (Varicap)

Diode biến dung là loại linh kiện bán dẫn hai cực, trong đó chuyển tiếp P – N được chế tạo một cách đặc biệt sao cho điện dung của nó thay đổi nhiều theo điện áp ngược đặt vào. Chúng thường được dùng trong các mạch tạo sóng điều tần, mạch tự động điều chỉnh tần số cộng hưởng, trong các bộ khuếch đại tham số hoặc nhân tần. Diode biến dung được biểu diễn như hình 2.15.

Hình 2.15: Ký hiệu của diode biến dung

**** Để đặc trưng cho diode biến dung, người ta dùng các tham số:***

- Giá trị danh định của điện dung: thông thường giá trị này được đo trong một điều kiện xác định (giá trị điện áp ngược, tần số đo, nhiệt độ môi trường …).

- Hệ số thay đổi của điện dung: là tỷ số giữa giá trị điện dung đo được ở hai điện áp ngược khác nhau.

$$K_c = \frac{C_1}{C_2}$$

Đôi khi để tổng quát hơn, người ta dùng độ dốc của đặc tuyến $C(V) = \frac{dC}{dV}$ biểu thị tốc độ biến thiên của điện dung C theo điện áp ngược V.

- Hệ số phẩm chất Q: đặc trưng cho tỷ số giữa công suất tín hiệu hữu ích lấy ra từ varicap và công suất tiêu hao trên nó.

3.2.3 Diode tunnel

Diode tunnel là một loại dụng cụ 2 cực có chuyển tiếp P – N nhưng khác với các loại diode trên, nồng độ tạp chất trong bán dẫn P và bán dẫn N ở diode tunnel có giá trị rất lớn (khoảng 10^{19} nguyên tử trong một cm^3) do đó vùng nghèo rất hẹp (khoảng 10^{-6} cm) và điện trường tiếp xúc trong vùng này đạt được khá lớn (gần 10^6V/cm).

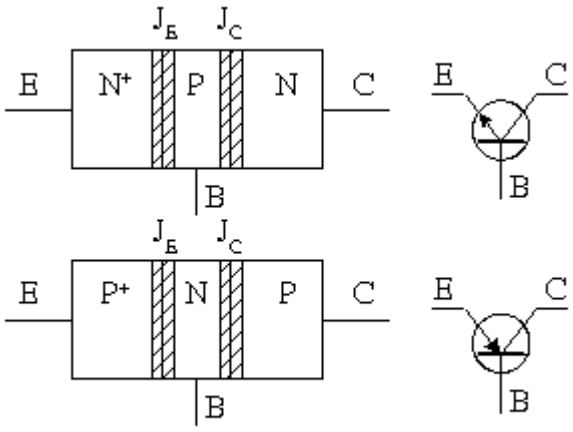
Hình 2.16: Ký hiệu của diode tunnel

Diode tunnel thường được ứng dụng để khuếch đại và tạo dao động siêu cao tần.

4. Transistor hai cực tính (BJT)

4.1 Cấu tạo

BJT được tạo thành bởi 2 chuyển tiếp P – N nằm rất gần nhau trong cùng một phiến bán dẫn đơn tinh thể. Về mặt cấu tạo, có thể xem như BJT do ba lớp bán dẫn tiếp xúc nhau tạo nên, trong đó lớp ở giữa có bề dày rất bé (khoảng 10^{-4} cm) và khác kiểu dẫn điện với 2 lớp bên cạnh. Nếu lớp ở giữa là bán dẫn loại P thì hai lớp bên cạnh là loại N, tạo nên loại transistor kiểu N – P – N. Còn nếu lớp ở giữa là bán dẫn loại N thì hai lớp bên cạnh là loại P, tạo nên loại transistor kiểu P – N – P.



Hình 2.17: Cấu tạo và kí hiệu của BJT

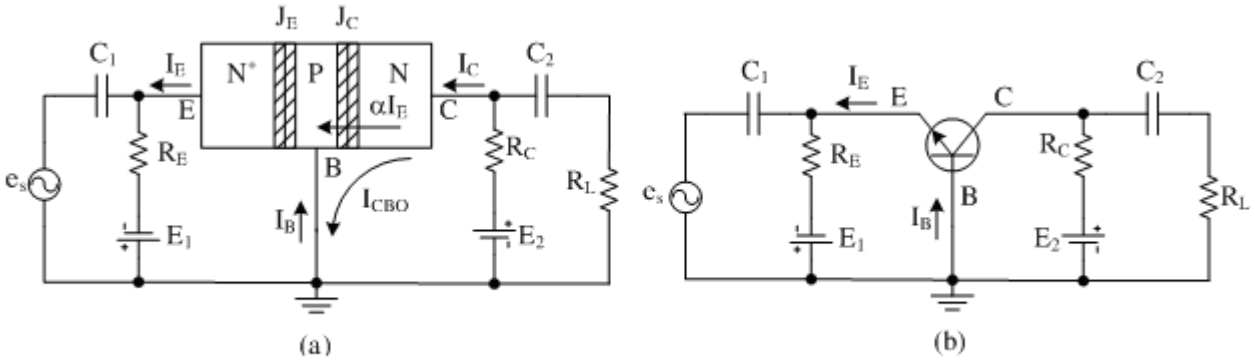
Nồng độ tạp chất trong 3 lớp bán dẫn cũng không giống nhau. Lớp có nồng độ tạp chất cao nhất (kí hiệu N^+ hoặc P^+), nghĩa là nồng độ hạt dẫn đa số của nó lớn nhất, gọi là miền phát (miền emitter). Lớp đối diện (kí hiệu N hoặc P) có nồng độ tạp chất thấp hơn gọi là miền thu (miền collector). Lớp ở giữa có nồng độ tạp chất rất thấp (do nồng độ hạt dẫn đa số của lớp này tương đối nhỏ) gọi là miền nền (miền base). Ba sợi kim loại được gắn với 3 lớp nói trên dùng làm điện cực của transistor. Ký hiệu cực collector là C, cực base là B và cực emitter là E.

Các lớp bán dẫn được đặt trong một vỏ kín bằng nhựa hoặc kim loại, chí có 3 điện cực thò ra ngoài. Kí hiệu quy ước của 2 loại transistor N – P – N và P – N – P như hình 2.17. Mũi tên vẽ trên trên cực E trùng với chiều dòng điện chạy qua cực đó.

Do cấu tạo như trên sẽ hình thành 2 chuyển tiếp P – N rất gần nhau. Chuyển tiếp thứ nhất ở ranh giới miền phát và miền nền, gọi là chuyển tiếp emitter, kí hiệu J_E. Chuyển tiếp thứ hai, ở ranh giới miền nền và miền thu, gọi là chuyển tiếp collector, kí hiệu J_C. Hoạt động của BJT chủ yếu dựa trên sự tương tác giữa hai chuyển tiếp rất gần nhau này.

4.2 Nguyên lý hoạt động và khả năng khuếch đại của BJT

Xét nguyên tắc hoạt động của loai N – P – N. Sơ đồ mạch điện như hình 2.18.



Hình 2.17: Mạch khuếch đại dùng BJT loại N - P - N

Nguồn E_1 (có sức điện động vài volt) làm chuyển tiếp J_E phân cực thuận. Nguồn E_2 (thường có giá trị từ 5V đến 12V) làm cho chuyển tiếp J_C phân cực nghịch. R_E, R_C là các điện trở phân cực.

Để đơn giản, giả thiết ban đầu nồng độ tạp chất phân bố đều trong các lớp bán dẫn, đồng thời ta chỉ chú ý đến điện trở của các vùng nghèo J_E, J_C.

Khi chưa có nguồn E_1, E_2 tác dụng, cũng giống như quá trình xảy ra ở diode, trong mỗi vùng nghèo J_E, J_C sẽ tồn tại một điện trường tiếp xúc (hướng từ N sang P) tương ứng với một hiệu điện thế tiếp xúc. Hiệu điện thế này đóng vai trò như một hàng rào điện thế, duy trì trạng thái cân bằng của chuyển tiếp (cân bằng giữa dòng trôi của hạt dẫn thiểu số và dòng khuếch tán của hạt dẫn đa số, khiến cho dòng điện tổng hợp qua mối chuyển tiếp bằng 0).

Khi có nguồn E_2, chuyển tiếp J_C bị phân cực nghịch, hàng rào điện thế và điện trường tiếp xúc trong vùng nghèo này tăng. Tương tự như diode phân cực nghịch, qua vùng nghèo J_C sẽ có một dòng điện rất nhỏ (do hạt dẫn thiểu số của miền base và miền collector tạo nên), kí hiệu là I_{CBO}, đó là dòng điện ngược collector.

Nếu có thêm nguồn E_1, chuyển tiếp J_E sẽ phân cực thuận. Hàng rào điện thế trong J_E hạ thấp (so với trạng thái cân bằng) khiến điện tử từ miền N^+ tràn qua miền P, lỗ trống từ miền P tràn qua miền N^+. Sau đó các hạt dẫn không cân bằng này tiếp tục khuếch tán. Trên đường khuếch tán, chúng sẽ tái hợp với nhau. Nhưng do nồng độ hạt dẫn 2 miền chênh lệch nhau xa ($n_n > p_p$) cho nên các điện tử phun từ miền N^+ vào miền P, chỉ một bộ

phận rất nhỏ bị tái hợp, còn tuyệt đại đa số vẫn có thể khuếch tán qua miền base tới vùng nghèo J_C (khả năng bị tái hợp trên đường đi chỉ rất ít vì miền base rất mỏng, nồng độ lỗ trống ở miền này không cao lắm). Khi tới vùng nghèo J_C, các điện tử nói trên lập tức bị điện trường trong J_C hút về phía collector tạo nên dòng điện trong mạch collector.

Nếu gọi I_E là dòng điện chạy qua cực emitter (tương ứng với chuyển động của điện tử miền N^+ sang miền P thì dòng điện tạo nên bởi số điện tử chạy tới collector vừa nói sẽ là αI_E, trong đó α là tỉ số giữa số lượng điện tử tới được collector và tổng số điện tử phát đi từ emitter, tức là:

$$\alpha =$$

Thông thường $\alpha = 0{,}95 \div 0.99$ (nghĩa là tỉ lệ hao hụt hạt dẫn dọc đường đi từ cực E tới cực C chỉ rất nhỏ).

Với $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$: hệ số khuếch đại dòng điện

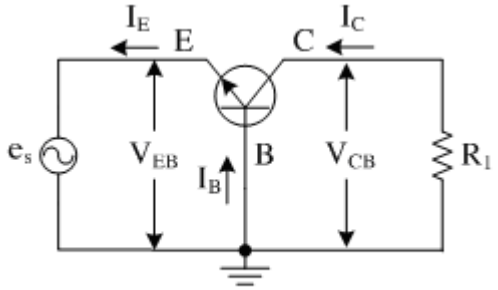
4.3 Ba sơ đồ cơ bản của BJT

BJT có 3 cực: E, B và C. Tuỳ theo cách chọn điện cực nào làm nhánh chung cho mạch vào và mạch ra mà có 3 sơ đồ cơ bản sau đây:

4.3.1 Mạch base chung (BC: Base Common)

Tín hiệu cần khuếch đại đưa vào giữa cực E và cực B, tín hiệu sau khi đã khuếch đại lấy ra giữa cực C và cực B. Cực B là cực chung của mạch vào và mạch ra. Như vậy dòng điện vào là dòng emitter I_E, dòng điện ra là dòng collector I_C. Điện áp vào là V_{EB}, điện áp ra là V_{CB}.

Sơ đồ mạch base chung như hình 2.18.



Hình 2.18: Sơ đồ mạch base chung

$I_E = I_C + I_B$

$I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$

$\Rightarrow I_E = \alpha I_E + I_{CBO} + I_B$

$I_B = I_E(1-\alpha) - I_{CBO} = \frac{1-\alpha}{\alpha}(I_C - I_{CBO}) - I_{CBO}$

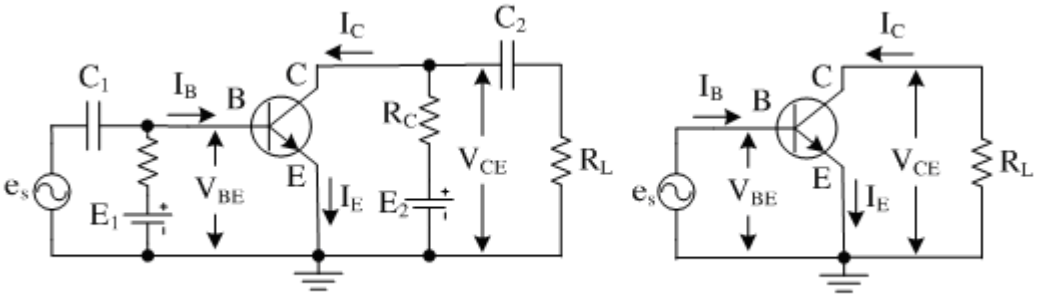
$I_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B + \frac{1}{1-\alpha} I_{CBO}$

Vì dòng I_{CBO} rất nhỏ nên $I_C \approx \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B$

$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$: hệ số khuếch đại dòng điện

4.3.2 Mạch emitter chung (EC: Emitter Common)

Cực E là cực chung giữa mạch vào và mạch ra. Dòng điện vào: I_B, dòng điện ra I_C, điện áp vào V_{BE}, điện áp ra V_{CE}. Sơ đồ mạch mắc E chung như hình 2.19.



Hình 2.19: Mạch emitter chung

$I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$

$I_E = I_B + I_C$

$=> I_C = \alpha (I_B + I_C) + I_{CBO}$

$(1 - \alpha) I_C = \alpha I_B + I_{CBO}$

$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CBO} = \beta I_B + I_{CEO}$

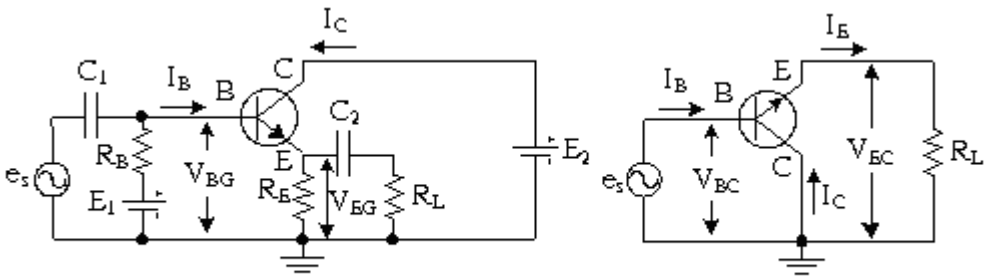
I_{CEO}: dòng điện ngược collector của mạch EC.

Thông thường, BJT có $\alpha = 0,95 \div 0,99$. Tương ứng $\beta = 19 \div 99$; $I_{CBO} = (0,01 \div 0,1)\ \mu A$; $I_{CEO} = (1 \div 10)\ \mu A$.

Lưu ý rằng ở mạch BC, hệ số α xấp xỉ bằng 1, dòng I_{CBO} rất nhỏ. Còn ở mạch EC, hệ số β rất lớn hơn 1, dòng I_{CEO} tuy lớn hơn I_{CBO} nhiều, nhưng so với giá trị βI_B thì vẫn không đáng kể.

4.3.3 Mạch collector chung (CC: Collector Common)

Nguồn E_2 có nội trở rất bé mắc giữa cực C và đất, vì vậy đối với tín hiệu xoay chiều thì cực C coi như đẳng thế với đất (điểm G). Chỉnh vì vậy, ở mạch này, tín hiệu cần khuếch đại đưa vào giữa cực B và G, tương đương như đưa vào giữa B và C. Tín hiệu sau khi đã khuếch đại, lấy ra giữa E và G, tương đương như lấy ra giữa E và C. Nhưng vậy cực C là nhánh chung của mạch vào và mạch ra.



Hình 2.20: Mạch collector chung

4.4 <u>Đặc tuyến Volt – Ampere của BJT</u>

Đồ thị diễn tả các mối tương quan giữa dòng điện và điện áp trên BJT được gọi là đặc tuyến volt – ampere (hay đặc tuyến tĩnh). Người ta thường phân biệt thành 4 loại đặc tuyến: đặc tuyến vào (nêu quan hệ giữa dòng điện và điện áp ở ngõ vào), đặc tuyến ra (nêu quan hệ giữa dòng điện và điện áp ở ngõ ra), đặc tuyến truyền đạt dòng điện (nêu sự phụ thuộc của dòng điện ra theo dòng điện vào) và đặc tuyến hồi tiếp điện áp

(nêu sự biến đổi của điện áp giữa hai ngõ vào khi điện áp ra thay đổi). Dưới đây chỉ giới thiệu 3 loại đặc tuyến thường dùng nhất cho từng kiểu mạch cơ bản.

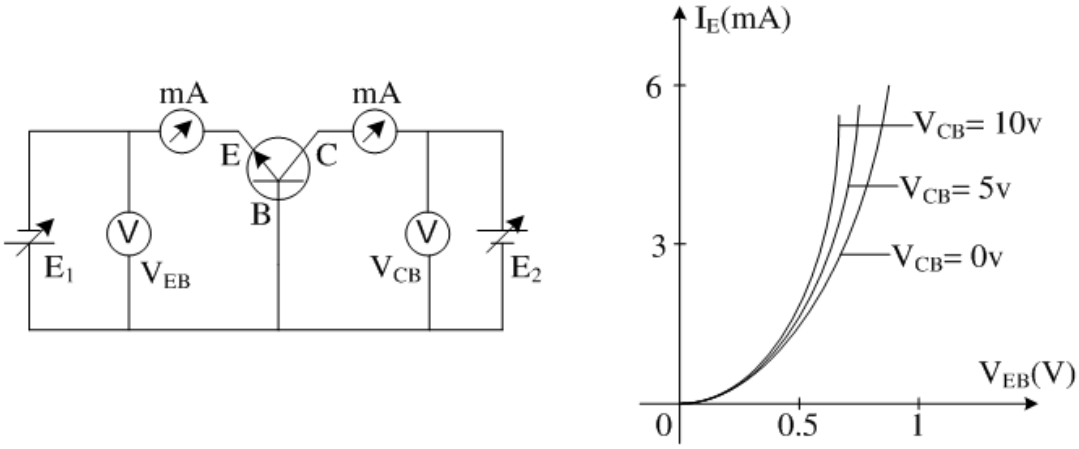
4.4.1 Mạch base chung

* *Họ đặc tuyến vào*

Mắc BJT theo sơ đồ BC ở trạng thái tĩnh (tức là chỉ có điện áp một chiều phân cực). E_1, E_2 là các nguồn điện áp một chiều có thể thay đổi giá trị. Các đồng hồ mA kế dùng để đo dòng điện, còn các volt kế đo điện áp giữa hai cực. Giữ điện áp V_{CB} = const, lần lượt hay đổi giá trị E_1 rồi đọc các cặp giá trị tương ứng của I_E và V_{EB}, kết quả vẽ được đồ thị

$I_E = f(V_{EB})\Big|_{V_{CB}=\text{const}}$ như hình 2.21.

Đó là đặc tuyến vào của BJT mắc BC. Tập hợp nhiều đặc tuyến vào (mỗi đường ứng với một giá trị không đổi của V_{CB}) tạo nên họ đặc tuyến vào.



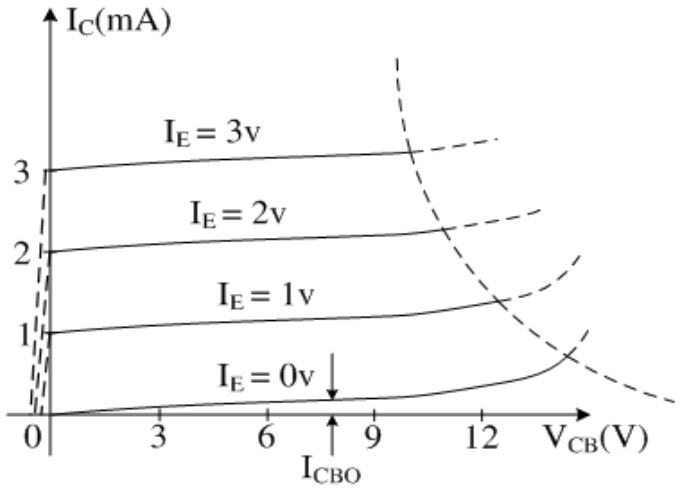
Hình 2.21: Mạch lấy đặc tuyến tĩnh của BJT mắc BC và họ đặc tuyến tĩnh

Có thể thấy rằng dạng đặc tuyến này tương tự như đặc tuyến thuận của diode, bởi vì giữa cực E và cực B của BJT có chuyển tiếp I_E phân cực thuận. Điện áp ngõ ra V_{CB} ảnh hưởng rất ít đến dòng điện ngõ vào.

** Họ đặc tuyến ra*

Nếu lần lượt giữ dòng I_E bằng các giá trị nhất định, thay đổi nguồn E_2 rồi xác định các cặp giá trị tương ứng của I_C và V_{CB}, ta có đặc tuyến ra của mạch BC.

$$I_C = f(V_{CB})\Big|_{I_E = const}$$



Hình 2.22: Họ đặc tuyến ra tĩnh của BJT mắc BC

- Đặc tuyến gần như song song với trục hoành, chứng tỏ rằng ngay cả khi $V_{CB} = 0$, dòng I_C vẫn có một giá trị khác 0 nào đó và việc tăng V_{CB} ảnh hưởng rất ít đến trị số của I_C.

- Đường thấp nhất ứng với $I_E = 0$ chỉ cách trục hoành một khoảng rất hẹp. Tung độ này chính là giá trị dòng điện ngược collector.

- Phạm vi rất hẹp. phía dưới đặc tuyến này là miền tắt, tương ứng với trạng thái tắt của BJT (cả 2 chuyển tiếp J_E và J_C đều phân cực nghịch).

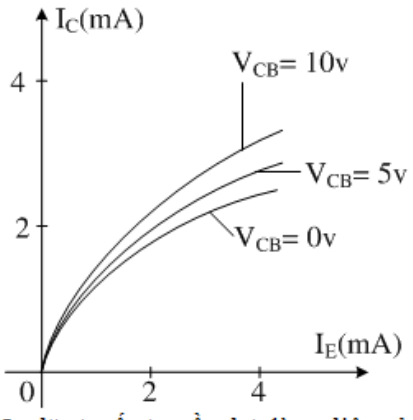
- I_E càng tăng thì I_C cũng càng tăng. Đó là vì số hạt dẫn đa số của miền emitter phun vào miền base càng lớn thì số tới được cực collector cũng sẽ càng nhiều.

- Đặc tuyến bao gồm 3 đoạn. Đoạn gần như song song với trục hoành ứng với trạng thái khuếch đại thông thường của BJT (J_E phân cực thuận, J_C phân cực nghịch). Đoạn chếch xiên ở bên trái trục tung (vẽ nét đứt) tương ứng với trạng thái dẫn bão hoà

của BJT (cả hai chuyển tiếp J_E, J_C đều phân cực thuận). Đoạn thứ ba bên phải (vẽ chấm chấm) chính là quá trình đánh thủng chuyển tiếp J_C, xảy ra khi V_{CB} quá lớn làm dòng I_C tăng vọt. Đây là miền cấm sử dụng để khỏi phá hỏng BJT.

* *Đặc tuyến truyền đạt dòng điện*

$$I_C = f(I_E)\Big|_{V_{CB}=\text{const}}$$



Hình 2.23: Họ đặc tuyến truyền đạt dòng điện của BJT mắc BC

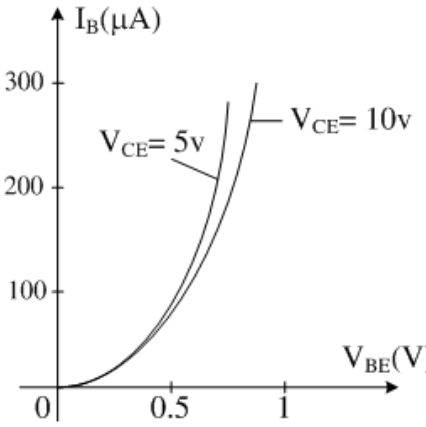
Nó có dạng gần tuyến tính, phù hợp với hệ thức lý thuyết (coi α là không đổi). Trên thực tế, hệ số α chỉ là hằng số khi dòng điện I_E tương đối nhỏ. Còn khi I_E khá lớn, nghĩa là dòng hạt dẫn khuếch tán qua miền base có mật độ lớn thì tỷ lệ phần trăm số hạt dẫn bị tái hợp trên đường đi sẽ tăng lên, khiến α giảm. Điều này làm cho đặc tuyến ở vùng dòng điện lớn ngày càng lệch khỏi quy luật tuyến tính.

4.4.2 Mạch emitter chung

* *Đặc tuyến vào*

$$I_B = f(V_{BE})\Big|_{V_{CE}=\text{const}}$$

Đặc tuyến vào phản ánh mối quan hệ giữa dòng và áp của chuyển tiếp J_E ở ngõ vào. Thực chất đây vẫn là nhánh thuận của đặc tuyến diode.

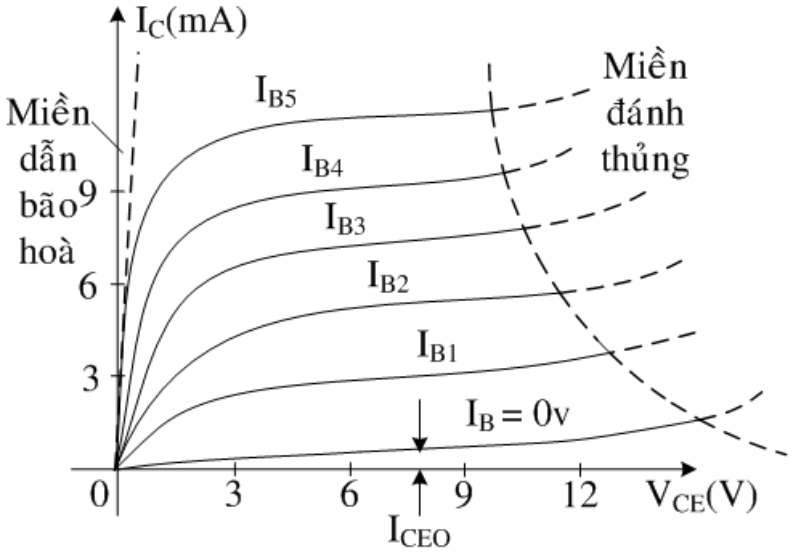


Hình 2.24: Họ đặc tuyến vào tĩnh của BJT mắc EC

* *<u>Đặc tuyến ra</u>*

$$I_C = f(V_{CE})\Big|_{I_B = const}$$

Đặc tuyến ra của mạch BJT mắc EC được thể hiện như hình 2.25.



Hình 2.25: Họ đặc tuyến ra tĩnh của BJT mắc EC

So với đặc tuyến ra của mạch BC, họ đặc tuyến của mạch EC có một vài khác biệt:

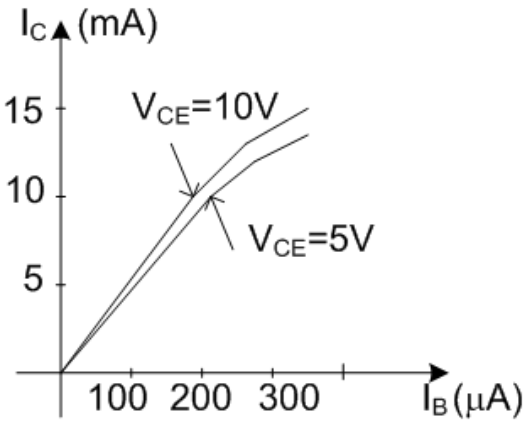
- Đường thấp nhất (ứng với $I_B = 0$) phản ánh giá trị dòng điện ngược collector của mạch EC (I_{CEO}). Dòng này lớn hơn dòng I_{CBO} của mạch BC. Phạm vi dưới đặc tuyến này vẫn gọi là miền tắt, ứng với trạng thái cả J_E và J_C đều phân cực nghịch.

- Các đặc tính phía trên ứng với $I_B \neq 0$ vẫn bao gồm 3 đoạn: đoạn chếch xiên ứng với trạng thái dẫn bão hoà của BJT, đoạn nằm ngang ứng với trạng thái khuếch đại của BJT có độ dốc lớn hơn so với đặc tuyến mạch BC, còn đoạn dốc đứng ứng với quá trình đánh thủng.

* *Đặc tuyến truyền đạt dòng điện*

$$I_C = f(I_B)\Big|_{V_{CE} = \text{const}}$$

Độ dốc của đặc tuyến chính là hệ số khuếch đại dòng điện β. Trong phạm vi dòng điện dòng lớn, giá trị β giảm nên đặc tuyến không còn tuyến tính nữa.



Hình 2.26: Họ đặc tuyến truyền đạt của BJT mắc EC

4.4.3 Mạch collector chung (CC)

* *Đặc tuyến vào*

$$I_B = f(V_{BC})\Big|_{V_{CE} = \text{const}}$$

Họ đặc tuyến vào có tính chất lý thuyết trên thực tế ít dùng.

* *Đặc tuyến ra và đặc tính truyền đạt dòng điện*

$$I_E = f(V_{EC})\Big|_{I_B = const} \; ; \; I_E = f(I_B)\Big|_{V_{EC} = const}$$

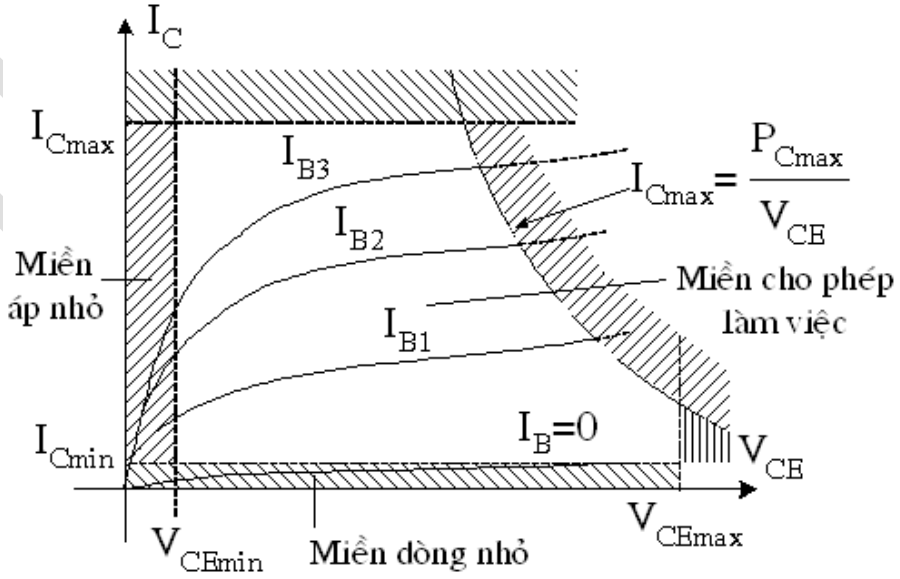
2 đặc tuyến của mạch CC gần giống với mạch EC vì $I_E \approx I_C$.

4.5 Các tham số giới hạn của BJT

Dòng điện cực đại cho phép: Tùy theo diện tích mặt tiếp xúc, vật liệu và công nghệ chế tạo, điều kiện tỏa nhiệt v.v… mỗi BJT chỉ có một dòng điện tối đa trên mỗi điện cực. Ta thường ký hiệu các giới hạn này là I_{Emax}, I_{Bmax}, I_{Cmax}

Điện áp cực đại cho phép: V_{CBmax}, V_{CEmax}, V_{BEmax}. Đó là các điện áp không được vượt quá để không gây đánh thủng chuyển tiếp P – N tương ứng.

Công suất tiêu tán cực đại cho phép: Tùy theo kết cấu và công nghệ chế tạo, đặc biệt là tùy theo điều kiện tỏa nhiệt của chuyển tiếp collector mà mỗi transistor có một công suất tiêu tán cực đại cho phép, ký hiệu là P_{Cmax}. Giá trị này thường cho trong các cẩm nang, kèm theo điều kiện cụ thể về nhiệt độ môi trường và chế độ tỏa nhiệt. Khi làm việc trong một tầng khuếch đại nào đó, để không phá hỏng BJT, công suất tức thời tiêu tán trên transistor nhất thiết không được vượt quá giá trị $P_{C.max}$.



Hình 2.27: Miền làm việc cho phép trên họ đặc tuyến ra của BJT

Tần số giới hạn: Thông thường BJT chỉ làm việc một cách hiệu quả đến một tần số nhất định. Khi tần số tín hiệu tăng cao, vai trò điện dung của chuyển tiếp P-N dần dần trở nên đáng kể. Mặt khác, chuyển động của hạt dẫn qua bề dày miền base không thể coi là tức thời và chiếm một thời gian đáng kể so với chu kỳ tín hiệu. Vì vậy, các hệ số truyền đạt dòng điện β sẽ bị giảm theo tần số; dòng điện ra và dòng điện vào (hoặc điện áp vào) sẽ bị lệch pha nhau v.v…, gây nên cái gọi là "méo tần số", "méo pha" v.v…

5. Transistor trường (FET)

Transistor trường (FET – Field Effect Transistor) hoạt động dựa trên sự điều khiển độ dẫn điện của phiến bán dẫn bởi một điện trường ngoài, đồng thời chỉ dùng một loạt hạt dẫn (hạt đa số) do đó thuộc loại đơn cực tính. Tuy ra đời muộn hơn BJT, nhưng tính năng có nhiều ưu việt hơn (điện trở vào lớn, hệ số khuếch đại cao, tiêu thụ năng lượng bé, thuận tiện phát triển theo xu hướng vi điện tử hoá …) vì vậy ngày càng được ứng dụng rộng rãi.

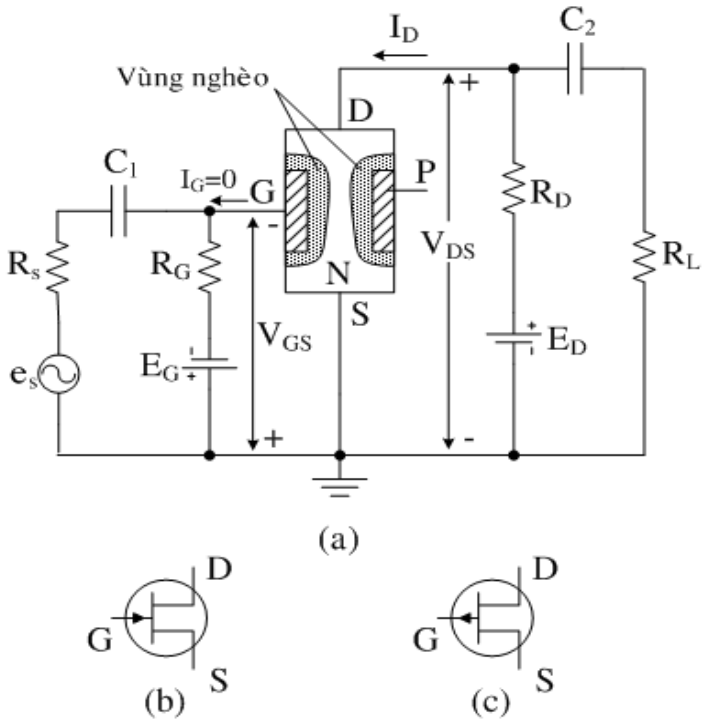
Transistor trường bao gồm 2 nhóm: transistor trường dùng chuyển tiếp P – N gọi tắt là JFET (Junction Field Effect Transistor) và transistor trường có cực cửa cách ly gọi tắt là IGFET (Isolated Gate Field Effect Transistor) hoặc MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor).

Nhóm IGFET chia thành 2 loại: loại kênh có sẵn và loại kênh cảm ứng.

5.1 Transistor trường dùng chuyển tiếp P – N (JFET)

5.1.1 Cấu tạo

Cấu tạo đơn giản hoá của JFET cùng mạch hoạt động như hình 2.28.



Hình 2.28: Mạch khuếch đại dùng JFET loại N (a)
Ký hiệu của JFET loại N (b) và ký hiệu của JFET loại P (c)

Thỏi bán dẫn Si loại N hình trụ có điện trở suất khá lớn (tức là nồng độ tạp tương đối thấp), được gắn với hai sợi dây kim loại ở đáy trên và đáy dưới (tiếp xúc không chỉnh lưu). Đáy trên gọi là cực máng – D (drain), đáy dưới gọi là cực nguồn – S (source). Vòng theo chu vi của thỏi bán dẫn loại N người ta tạo ra một lớp loại P, và do đó tại ranh giới giữa hai bán dẫn sẽ hình thành một chuyển tiếp P – N (vùng nghèo) có điện trở suất khá lớn. Phần thể tích còn lại của thỏi Si (không bị vùng nghèo choán chỗ) gọi là kênh dẫn. Lớp bán dẫn loại P cũng được tạo tiếp xúc không chỉnh lưu với một sợi kim loại, dùng làm cực cửa – G (gate), còn gọi là cực điều khiển. Toàn bộ hệ thống trên được đặt trong một vỏ kim loại hoặc bằng nhựa gắn kín, chỉ có 3 điện cực G, D, S thò ra ngoài. Đó là JFET loại N.

Một cấu trúc tương tự nhưng dùng thỏi bán dẫn ban đầu loại P và lớp bao quanh là loại N tạo nên JFET loại P.

5.1.2 Nguyên tắc hoạt động

Xét nguyên tắc hoat động của JFET kênh N làm ví dụ. Nối JFET với các nguồn điện áp phân cực E_G, E_D như hình 2.28. Nguồn E_D, thông qua điện trở R_D đặt điện áp V_{DS} giữa cực máng và cực nguồn, gây ra dòng chuyển động qua kênh dẫn của điện tử (hạt đa số của thỏi bán dẫn N), tạo nên dòng điện máng I_D.

Mặt khác, nguồn E_G tạo điện áo giữa cực cửa và cực nguồn, làm cho chuyển tiếp P – N (hình thành giữa cực cửa và kênh dẫn) bị phân cực nghịch, nghĩa là bề dày vùng nghèo tăng lên và do đó thu hẹp tiết diện của kênh dẫn.

Nếu giữ nguyên E_D không đổi, tăng dần giá trị E_G, tình trạng phân cực nghịch của chuyển tiếp P – N sẽ càng tăng: vùng nghèo ngày càng mở rộng, kênh dẫn càng thu hẹp. Do đó điện trở kênh dẫn càng tăng và dòng máng I_D càng giảm. Còn dòng giữa cực G và cực S chỉ là dòng ngược của chuyển tiếp P – N, thường rất nhỏ không đáng kể.

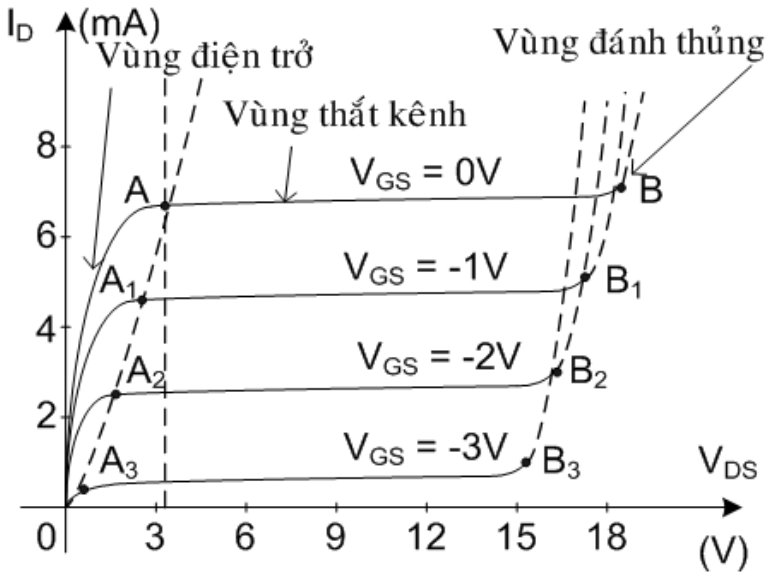
Nếu bây giờ ngoài điện áp phân cực E_G có thêm tính hiệu xoay chiều e_s đặt vào giữa cực G và cực S thì tuỳ theo trị số và dấu của e_s mà tình trạng phân cực nghịch của chuyển tiếp P – N sẽ thay đổi. Điện trở kênh dẫn bị biến đổi và dòng máng cũng biến đổi theo. Nếu e_s tăng giảm theo quy luật hình sin thì I_D sẽ tăng giảm theo hình sin. Dòng này hạ trên R_D thành một điện áp, biến thiên cùng dạng với e_s nhưng biên độ lớn hơn, nghĩa là JFET đã khuếch đại tín hiệu.

Nguyên lý hoạt động của JFET kênh P hoàn toàn tương tự, chỉ lưu ý rằng các điện áp E_G, E_D có cực tính ngược lại. Các lỗ trống, hạt dẫn đa số của kênh P, tạo nên dòng máng.

5.1.3 Đặc tuyến Volt – Ampere

* *Đặc tuyến ra (đặc tuyến máng)*

$$I_D = f(V_{DS})\Big|_{V_{GS} = \text{const}}.$$



Hình 2.29: Họ đặc tuyến ra của JFET kênh N

Xét V_{GS} = 0 (ngắn mạch G – S). Tăng dần V_{DS} từ giá trị 0 trở đi, quan hệ I_D theo V_{DS} có dạng như hình 2.29.

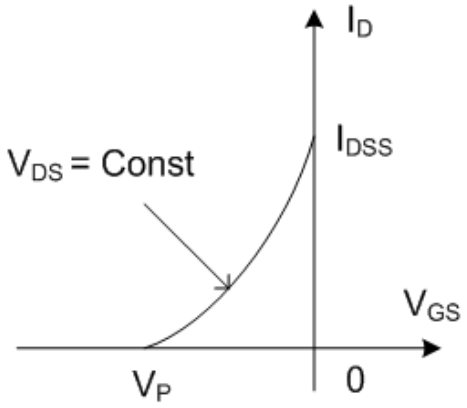
Đặc tuyến gồm 3 đoạn: đoạn bên trái gần như tuyến tính với độ dốc khá lớn. Khi đạt tới giá trị $V_{DS} = V_p$, vùng nghèo mở rộng tới mức choán hết tiết diện của kênh của vùng gần cực máng, nghĩa là kênh dẫn bị thắt lại ở phía cực máng. V_p được gọi là điểm thắt. Điểm A là điểm bắt đầu thắt kênh hay điểm bắt đầu bão hoà. Vùng đặc tuyến nằm ở bên trái điểm A gọi là vùng điện trở. Nếu tiếp tục tăng V_{DS} lớn hơn V_p, đặc tuyến chuyển sang đoạn thứ 2, gần như nằm ngang. Lúc này, vùng nghèo tiếp tục mở rộng, miền kênh bị thắt trải dài về phía cực nguồn, làm cho điện trở kênh dẫn càng tăng. Vì vậy tuy V_{DS} tăng nhưng dòng I_D hầu như ít thay đổi. Vùng đặc tuyến này gọi là vùng thắt kênh (hoặc vùng bão hoà). Nếu JFET được sử dụng như một phần tử khuếch đại thì sẽ làm việc trong vùng này. Đoạn đặc tuyến thứ 3 tương ứng với hiện tượng đánh thủng chuyển tiếp P – N, xày ra khi V_{DS} quá lớn. Vùng đặc tuyến này gọi là vùng đánh thủng.

Trường hợp $V_{GS} \neq 0$, mỗi đặc tuyến vẫn bao gồm 3 đoạn như trên, chỉ khác là do có thêm tác dụng của V_{GS}, chuyển tiếp P – N bị phân cực nghịch nhiều hơn, điện trở kênh dẫn tăng hơn và do đó giá trị dòng I_D nhỏ hơn. Trị số tuyệt đối của V_{GS} càng tăng, dòng I_D càng giảm, đặc tuyến càng dịch về phía dưới. Mặt khác, điểm bắt đầu thắt kênh của

mỗi đặc tuyến xê dịch về phía trái. Điểm bắt đầu xảy ra đánh thủng của từng đặc tuyến cũng dịch dần về bên trái.

* *Đặc tuyến truyền đạt*

$$I_D = f(V_{GS})\Big|_{V_{DS} = \text{const}}$$



Hình 2.30: Đặc tuyến truyền đạt của JFET kênh N

Dạng của đặc tuyến này phản ánh quá trình điện trường điều khiển dòng điện máng: trị số tuyệt đối của V_{GS} càng tăng, vùng nghèo càng mở rộng, điện trở kênh dẫn càng tăng và do đó dòng máng càng giảm. Khi V_{GS} đạt tối giá trị điện áp thắt V_p thì dòng máng giảm xuống bằng 0.

5.1.4 Tham số đặc trưng cho JFET

* *Điện trở vi phân ngõ ra*

$$r_D = \frac{\partial V_{DS}}{\partial I_D}\Big|_{V_{GS} = const}$$

Đây cũng là nghịch đảo độ dốc đặc tuyến ra. Khi làm việc trong vùng bão hoà (vùng thắt kênh), giá trị r_D thường khá lớn (khoảng 500kΩ).

* *Hỗ dẫn (Độ dốc đặc tuyến truyền đạt)*

$$g_m = \left.\frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}}\right|_{V_{DS}=\text{const}}$$

Trị số g_m phản ánh mức độ ảnh hưởng của điện áp điều khiển V_{GS} tới dòng máng. Các JFET thường có g_m = (7 ÷ 10) mA/V.

* *Điện trở vi phân ngõ vào*

$$r_i = \left.\frac{\partial V_{GS}}{\partial I_G}\right|_{V_{DS}=\text{const}}$$

Ngõ vào của JFET là chuyển tiếp P-N phân cực nghịch, dòng I_G chỉ rất bé (thường cỡ 0,1 µA ở 25°C) vì vậy điện trở r_i thường rất lớn (cỡ 10 ÷ 100 MΩ ở 25^0C)

* *Hệ số khuếch đại tĩnh*

$$\mu = \left.\frac{\partial V_{GS}}{\partial V_{DS}}\right|_{I_D=\text{const}}$$

$$\Rightarrow \quad \mu = g_m r_d$$

Hệ số này so sánh mức độ ảnh hưởng đối với dòng máng của điện áp V_{GS} và V_{DS}. µ càng lớn thể hiện tác dụng điều khiển của V_{GS} đối với dòng I_D càng nhạy (so với V_{DS}).

* *Điện dung liên cực C_{GS}, C_{DS} và C_{GD}*

Đây là các điện dung ký sinh, hình thành giữa các điện cực với nhau. Thường cỡ (3 ÷ 10) pF. Khi JFET làm việc ở số thấp, các điện dung này có thể bỏ qua.

Ngoài các tham số trên, người ta còn quan tâm đến một số tham số giới hạn như: dòng máng cực đại cho phép I_{Dmax}, điện áp cực đại cho phép V_{DSmax}, V_{GSmax}, công suất tiêu tán cực đại P_{Dmax}, điện áp thắt kênh V_P, dòng máng bão hoà I_{DSS} v.v…

5.1.5 Sơ đồ tương đương

Dựa vào nguyên tắc hoạt động và các tham số đặc trưng cho JFET, ta có sơ đồ tương đương đối với tín hiệu xoay chiều biên độ nhỏ, tần số thấp của JFET như hình 2.31.

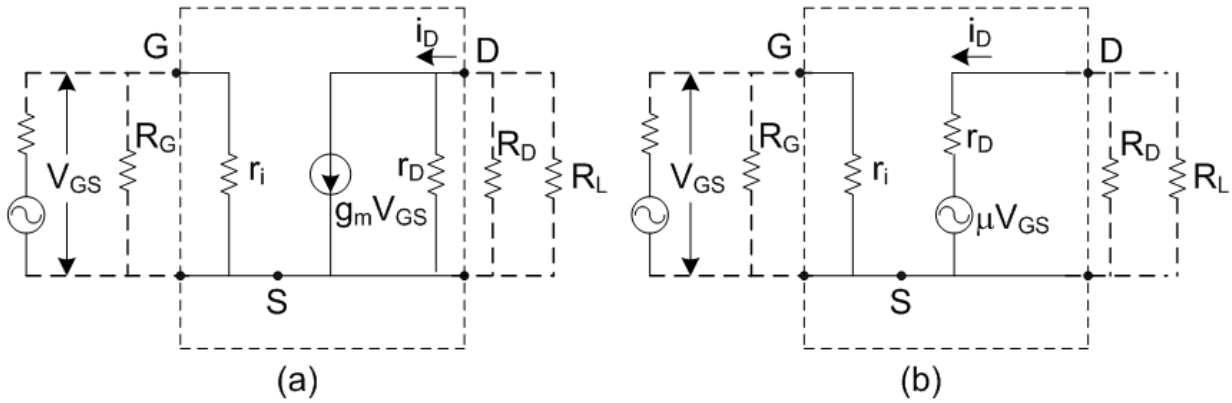
Giữa hai cực vào G-S có điện trở rào r_i, giữa hai cực ra D-S có điện trở kênh dẫn r_d và nguồn dòng $g_m v_{GS}$ (đại diện cho khả năng điều khiển dòng điện máng bởi điện áp vào v_{GS}).

Như vậy nếu có tải mắc vào giữa hai cực ra D-S thì dòng điện tải (cũng là dòng điện máng) là:

$$i_D = g_m v_{GS} + \frac{v_{DS}}{r_D}$$

$$=> V_{DS} = - \mu V_{DS} + i_D r_D$$

Hệ thức này tương ứng với sơ đồ tương đương hình 2.31b, trong đó μV_{DS} là nguồn điện áp, tương đương cho khả năng khuếch đại tín hiệu của JFET.



Hình 2.31: Sơ đồ tương đương đương của JFET dùng nguồn dòng (a) và nguồn áp (b).

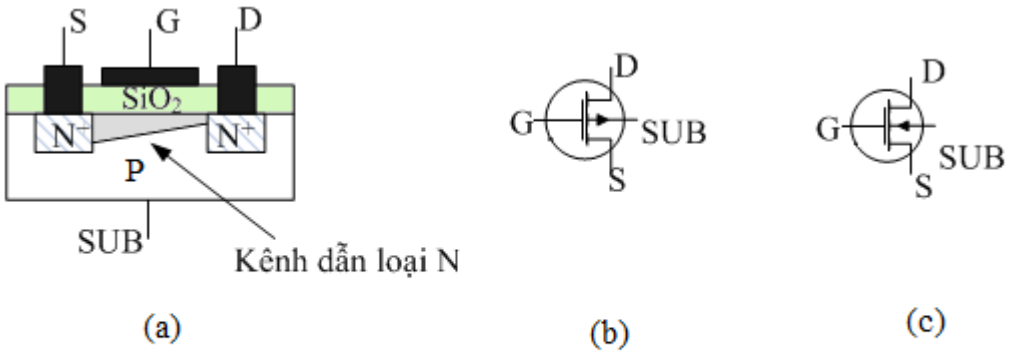
5.2 Transistor trường có cực cửa cách ly

5.2.1 Cấu tạo và hoạt động của MOSFET kênh có sẵn

Từ phiến Si loại P, người ta tạo ra trên bề mặt một lớp loại N dùng làm kênh dẫn. Ở hai đầu khuếch tán 2 miền N^+ dùng làm cực nguồn (S) và cực máng (D). Trên mặt phiến Si được phủ màng SiO_2 bảo vệ. Phía trên màng này, đối diện kênh dẫn, gắn một

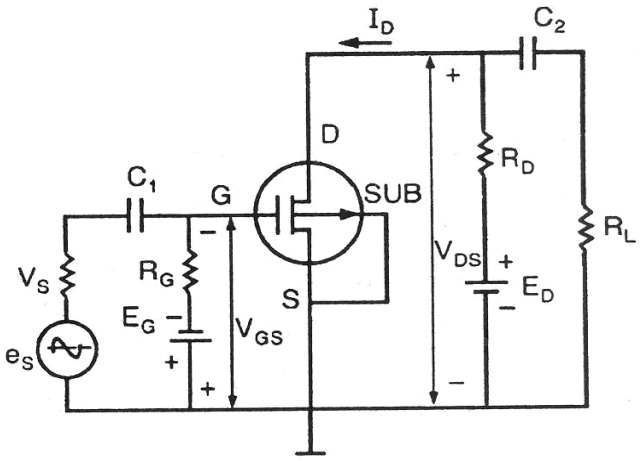
băng kim loại, dùng làm cực cửa (G). Thông qua "cửa sổ" khoét xuyên qua màng SiO_2 ở vùng thích hợp, người ta phun kim loại, tạo tiếp xúc tuyến tính với 2 vùng N^+, dùng làm đầu dẫn ra cho cực S và cực D. Đáy của phiến Si đôi khi cũng được gắn với sợi kim loại, dùng làm cực đế SUB. Thông thường cực đế được nối với cực nguồn. Ký hiệu của MOSFET kênh dẫn có sẵn loại N như hình 2.32 (b).

Nếu phiến Si ban đầu loại P thì ta có MOSFET kênh P như hình 2.32 (c).



Hình 2.32: MOSFET kênh có sẵn loại N: cấu tạo (a) và ký hiệu (b)
Ký hiệu MOSFET kênh có sẵn loại P (c)

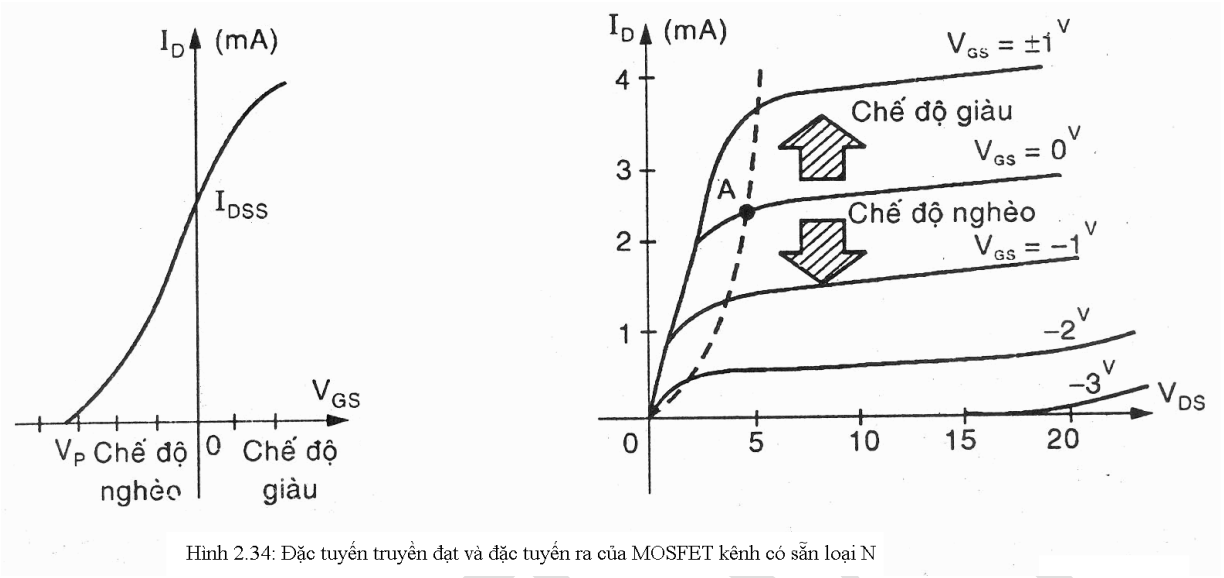
Xét hoạt động của MOSFET loại N trong mạch như hình 2.33. Ban đầu dưới tác dụng của điện áp V_{DS} (do nguồn E_D tạo ra), qua kênh dẫn và cực máng có dòng điện I_D, tạo bởi hạt dẫn đa số của kênh. Nếu có thêm điện áp V_{GS} (do E_G tạo nên) với cực tính như hình vẽ thì cũng giống như 1 tụ điện, các điện tích âm sẽ tích tụ trên cực G, các điện tích dương sẽ tích tụ ở cực đối diện, tức là trong kênh dẫn (lớp SiO_2 đóng vai trò điện môi của tụ. Các điện tích dương này sẽ tái hợp với điện tử, làm giảm nồng độ hạt dẫn vốn có trong kênh, khiến điện trở của kênh tăng và dòng máng I_D giảm. Càng tăng trị số V_{GS}; I_D càng giảm. Chế độ làm việc này được gọi là chế độ làm nghèo hạt dẫn. Nếu đổi cực tính nguồn E_G (V_{GS} trở thành điện áp dương) thì tình hình diễn ra trái lại: càng tăng trị số V_{GS}, nồng độ hạt dẫn trong kênh càng tăng, Chế độ làm việc với cực tính V_{GS} như thế gọi là chế độ giàu.



Hình 2.33: Tầng khuếch đại dùng MOSFET loại N

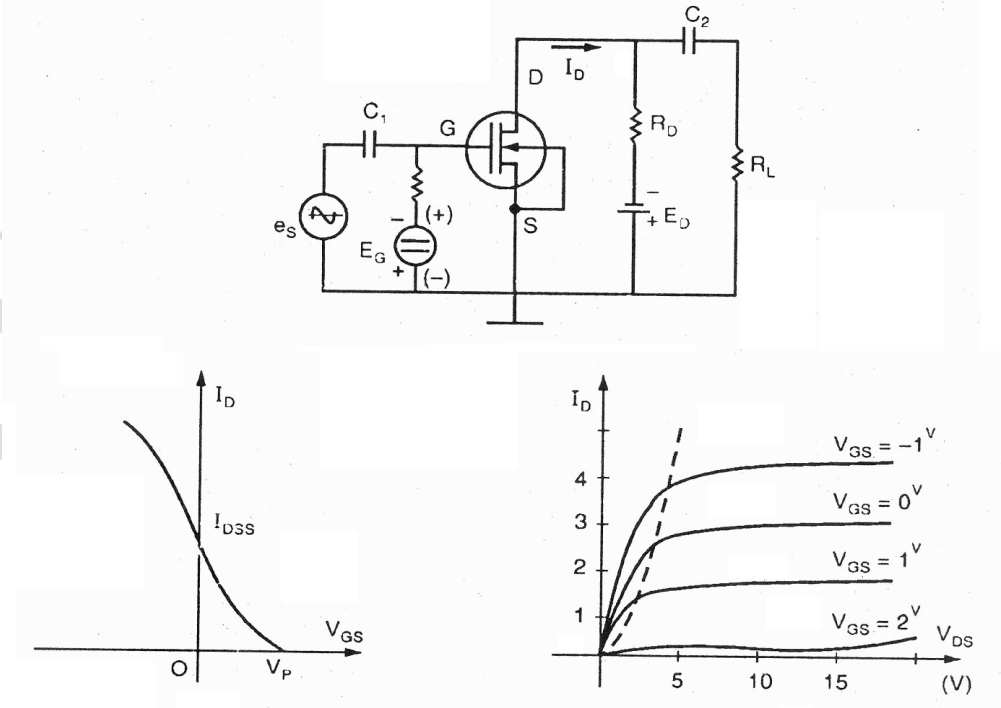
Như vậy ngay khi $V_{GS} = 0$, MOSFET kênh có sẵn đã có dòng máng ban đầu $I_D \neq 0$. Tuỳ cực tính của V_{GS} mà MOSFET này hoạt động ở chế độ giàu hay chế độ nghèo, dùng giá trị V_{GS} để điều khiển dòng I_D tăng hay giảm. Trên cơ sở đó, nếu có tín hiệu xoay chiều e_s đưa đến ngõ vào thì hiển nhiên dòng I_D sẽ biến đổi theo e_s và trên tải ngõ ra sẽ nhận được tín hiệu khuếch đại.

Đặc tuyến truyền đạt và đặc tuyến ra của MOSFET kênh có sẵn loại N hoàn toàn phản ánh quá trình trên đây. Mỗi đặc tuyến ra vẫn bao gồm 3 phần, tương tự như của JFET: đoạn I_D tuyến tính theo V_{DS}, đoạn I_D bão hoà (trạng thái thắt kênh) và đoạn đánh thủng. Ở đây chuyển tiếp P – N hình thành giữa kênh dẫn và phiến Si ban đầu. Do V_{DS} gây ra phân bố điện thế dọc theo chiều dài kênh dẫn, tình trạng phân cực nghịch của P – N không đồng đều, dẫn tới hậu quả tiết diện kênh dẫn giảm dần về phía cực máng. Điểm uốn trên đặc tuyến ra tương ứng với trạng thái bắt đầu thắt kênh. Vùng thắt kênh là miền làm việc chủ yếu của MOSFET khi khuếch đại tín hiệu.



Hình 2.34: Đặc tuyến truyền đạt và đặc tuyến ra của MOSFET kênh có sẵn loại N

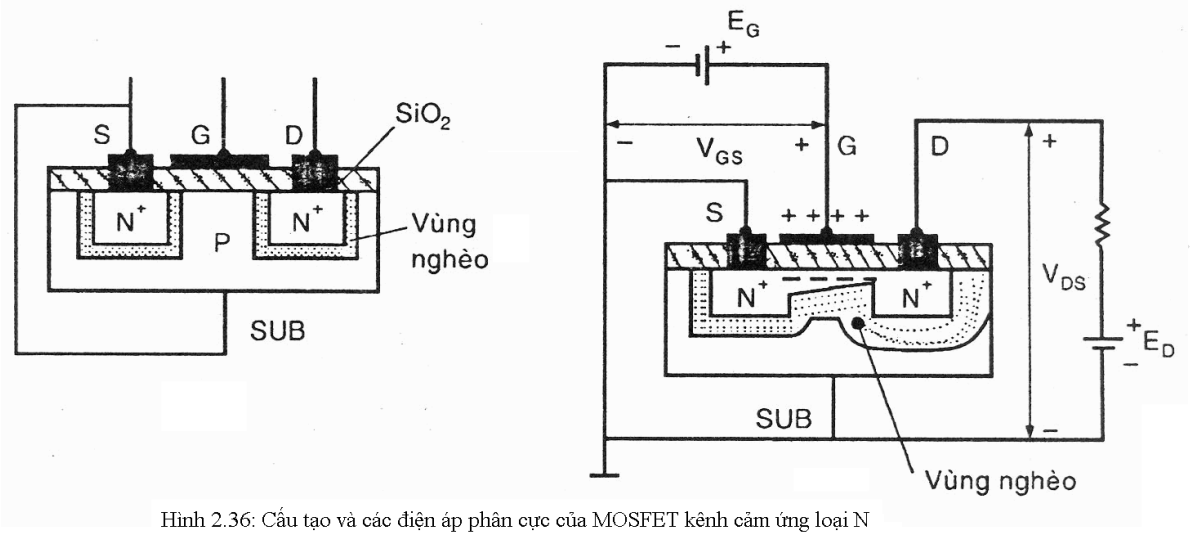
Mạch hoạt động và đặc tuyến của MOSFET kênh có sẵn loại P giới thiệu như hình 2.35.



Hình 2.35: Tầng khuếch đại và đặc tuyến của MOSFET kênh có sẵn loại P

5.2.2 Cấu tạo và hoạt động của MOSFET kênh cảm ứng

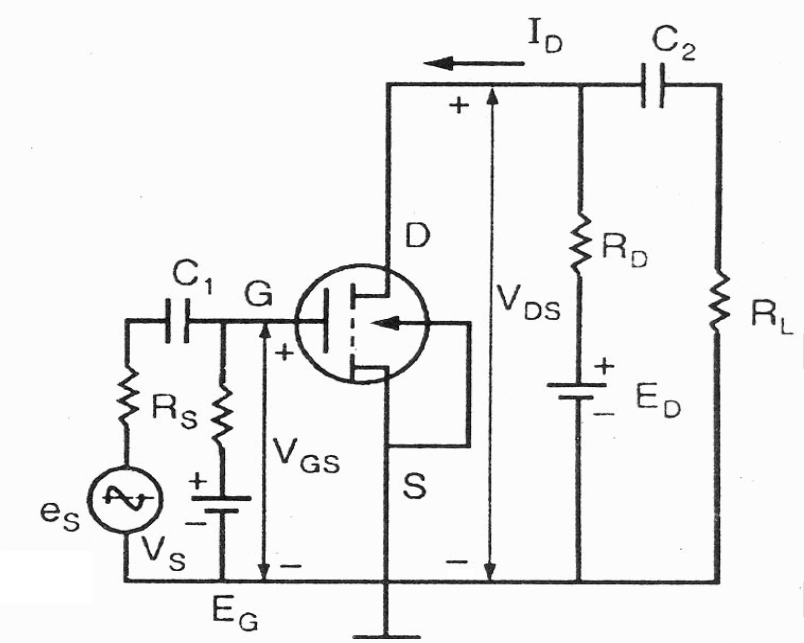
Cấu tạo MOSFET kênh cảm ứng loại N cũng tương tự như MOSFET kênh có sẵn loại N nhưng chưa có kênh dẫn ban đầu. Giữa miền máng (loại N) và phiến Si loại P hình thành chuyển tiếp P – N (cực đế thường nối với cực nguồn nên chuyển tiếp giữa nguồn và đế bị nối tắt). Vì vậy khi có điện áp V_{DS} đặt vào, trong mạch máng chỉ có một điện trở rất nhỏ chạy giữa chuyển tiếp P – N phân cực ngược. Điện trở tương đương giữa S và D xem như vô cùng lớn.



Hình 2.36: Cấu tạo và các điện áp phân cực của MOSFET kênh cảm ứng loại N

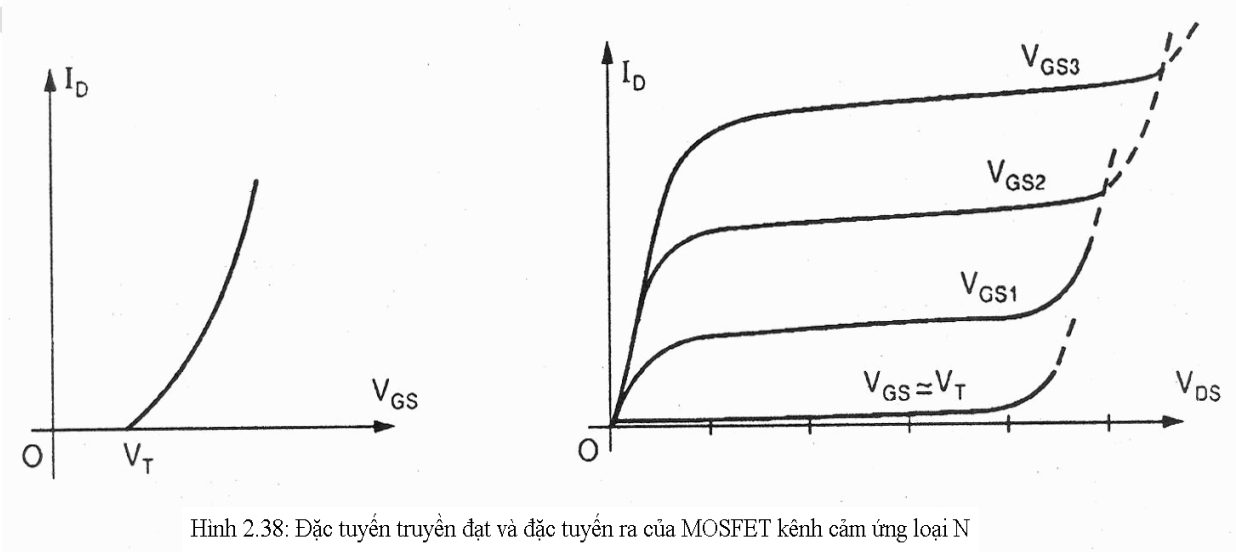
Khi có thêm điện áp dương V_{GS}, điện tích dương sẽ tích tụ trên cực G, còn điện tích âm tích tụ ở vùng đối diện, phía bên kia của màng SiO_2 (vùng nằm giữa hai miền N_+). Tuy vậy khi V_{GS} còn nhỏ, lượng điện tích cảm ứng này không lớn, chúng bị lỗ trống của phiến loại P tái hợp mất. Chỉ khi V_{GS} vượt quá một điện áp ngưỡng V_T nào đó, lượng điện tích âm cảm ứng nói trên mới trở nên đáng kể. Chúng tạo thành một lớp bán dẫn loại N ở trên bề mặt phiến Si loại P, đóng vai trò như một kênh dẫn nối liền hai miền N^+ của cực nguồn và cực máng. Do xuất hiện kênh dẫn nối liền hai miền N^+ của cực nguồn và cực máng. Do xuất hiện kênh dẫn, điện trở tương đương giữa S và D giảm xuống và do đó dòng máng I_D tăng lên. Trị số V_{GS} càng lớn, nồng độ điện tích âm trong kênh dẫn càng nhiều, dòng I_D sẽ càng lớn. Chế độ làm việc khi $V_{GS} > V_T$ như vậy gọi là chế độ làm giàu điện tích. Sơ đồ khuếch đại của MOSFET kênh cảm ứng loại N như hình 2.37. Khi điện áp tín hiệu xoay chiều e_s (xếp chồng lên điện áp một chiều V_{GS} do nguồn E_G tạo

ra) điều khiển nồng độ điện tích âm cảm ứng trong kênh dẫn và do đó điều khiển dòng I_D tăng giảm. Trên điện trở R_D và trên tải R_L sẽ có điện áp đã khuếch đại của e_s.



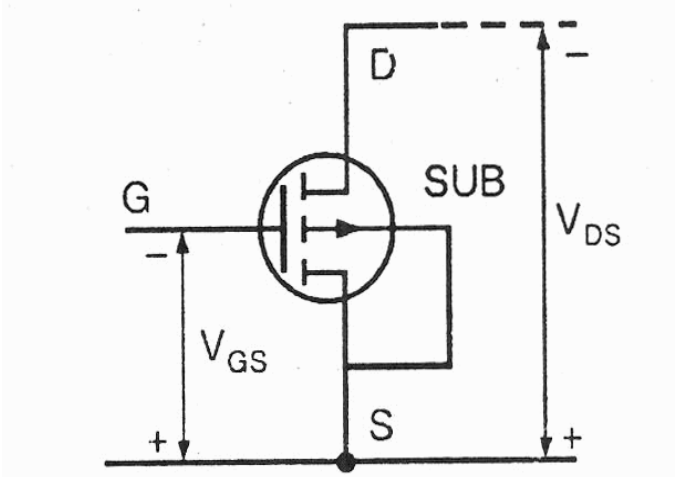
Hình 2.37: Tầng khuếch đại dùng MOSFET kênh cảm ứng loại N

Đặc tuyến truyền đạt và đặc tuyến ra của MOSFET kênh cảm ứng loại N như hình 2.38. Ta thấy rằng chỉ khi $V_{GS} > V_T$ mới có dòng máng I_D. MOSFET kênh cảm ứng chỉ làm việc ở chế độ giàu.



Hình 2.38: Đặc tuyến truyền đạt và đặc tuyến ra của MOSFET kênh cảm ứng loại N

Nếu phiến Si ban đầu thuộc loại N, các miền nguồn và máng thuộc loại P^+, thì sẽ có MOSFET kênh cảm ứng loại P như hình 2.39. Nguyên lý làm việc tương tự nhưng điện áp V_{GS} và V_{DS} có cực tính ngược lại.



Hình 2.39: Ký hiệu của MOSFET kênh cảm ứng loại P

Tham số đặc trưng cho MOSFET cũng gần giống JFET: điện trở vi phân ngõ ra r_D, điện trở vi phân ngõ vào r_i, hỗ dẫn g_m, các điện dung liên cực, các tham số giới hạn … Đáng chú ý là do lớp cách điện SiO_2, điện trở ngõ vào của MOSFET vô cùng lớn. Lớp SiO_2 rất mỏng nên g_m rất lớn nhưng điện áp đánh thủng giữa G – S hoặc giữa G – D thường tương đối thấp.

5.2.3 Nhận xét chung về JFET và MOSFET

- JFET và MOSFET hoạt động dựa trên sự điều khiển điện trở kênh dẫn bởi điện trường (điện trường này do điện áp trên hai ngõ vào sinh ra, còn dòng điện vào luôn luôn xấp xỉ bằng 0. Từ đó khống chế dòng điện ra. Do đặc điểm này, người ta xếp transistor trường vào loại linh kiện điều khiển bằng điện áp, trong khi BJT thuộc loại điều khiển bằng dòng điện (BJT có ngõ vào là chuyển tiếp P – N phân cực thuận, dòng điện vào biến đổi nhiều theo tín hiệu còn điện áp vào thay đổi rất ít).

- Dòng điện máng I_D tạo nên bởi chỉ một loại hạt dẫn (hạt đa số của kênh), do đó transistor trường thuộc loại đơn cực tính. Do không có vai trò của hạt dẫn thiểu số,

không có quá trình sản sinh và tái hợp của hai loại hạt dẫn cho nên tham số của FET ít chịu ảnh hưởng của nhiệt độ. Tạp âm nội bộ của bé hơn ở BJT.

- Ngõ vào của FET có điện trở rất lớn, dòng điện vào gần như bằng 0 nên mạch vào hầu như không tiêu thụ năng lượng. Điều này đặc biệt thích hợp cho việc khuếch đại các nguồn tín hiệu yếu, hoặc nguồn có nội trở lớn.

- Vai trò cực nguồn và cực máng có thể đổi lẫn cho nhau mà tham số của FET không thay đổi đáng kể.

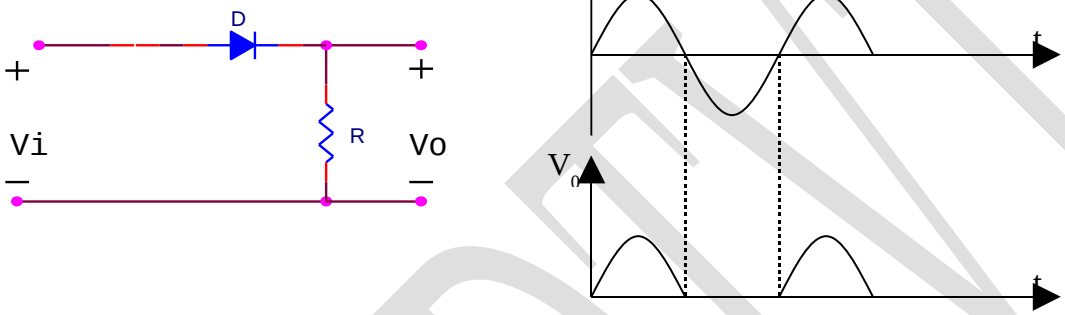
- Kích thước các điện cực S, G, D có thể giảm xuống rất bé (dựa trên công nghệ MOS), thu nhỏ thể tích của transistor một cách đáng kể và nhờ đó transistor trường rất thông dụng trong các vi mạch có mật độ tích hợp cao.

- Cũng như BJT, FET có thể mắc theo 3 sơ đồ cơ bản: mạch nguồn chung (SC – Source Common), cửa chung (GC – Gate Common), máng chung (DC – Drain Common). Các mạch giới thiệu ở trên thuộc lại SC. Mạng DC có sơ đồ và đặc điểm tương tự nhưng mạch CC của BJT: điện trở vào rất lớn, điện trở ra rất nhỏ, điện áp ra đồng pha và xấp xỉ trị số với điện áp vào. Còn mạch GC trên thực tế ít dùng.

CHƯƠNG III: CÁC ỨNG DỤNG CƠ BẢN

i. Mạch chỉnh lưu bán kỳ (half ware rectifier)

Từ tín hiệu xoay chiều của khu vực (220V – 50Hz) hay thấp hơn (qua biến thế), dùng diode với tín chất chỉ dẫn điện theo một chiều (P-N) để đổi điện thành DC.



Bán kỳ +: D phân cực thuận nên dẫn, nên dòng điện IL qua tải RL cũng có giá trị số biến thiên theo bán kỳ + của nguồn. Nên điện thế ra trên tải VL cũng có dạng bán kỳ + của V2.

Bán kỳ -: D phân cực nghịch nên không dẫn, do đó không có dòng qua tải IL, nên VL = 0.

Kết quả: là dòng chạy qua tải IL, và điện thế trên tải VL chỉ còn lại bán kỳ +, nên được gọi là mạch chỉnh lưu bán kỳ.

Điện áp trên tải:

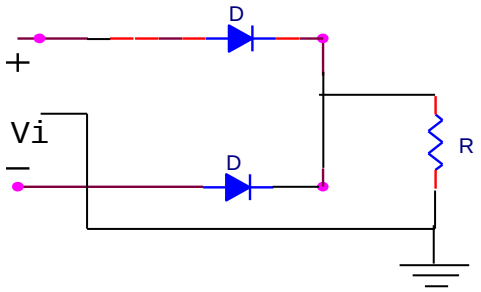
$$V_{DC} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} V_m \sin\omega t d\omega t = -\left|\cos\omega t\right|_0^{\pi} = \frac{V_m}{\pi} = 0.45V_{hd}$$

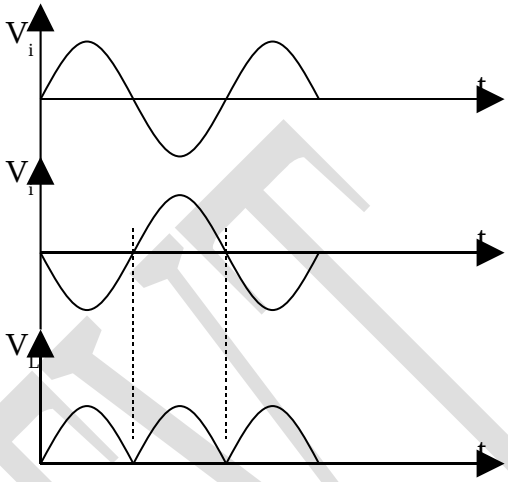
Tương tự cho dòng trên tải:

$$I_{DC} = \frac{I_m}{\pi} = \frac{V_m}{\pi R_L} = 0.45\frac{V_{RMS}}{R_L}$$

ii. Chỉnh lưu toàn kỳ (Full ware rectifier)

Biến thế ở đây là biến thế có chấu giữa làm điểm chung, điện áp ở 2 đầu ngược pha nhau so với điểm giữa.





- Bán kỳ + tại A: D1 dẫn, D2 ngưng => dòng I_A chạy qua D1 qua R trở về điểm giữa biến áp.
- Bán kỳ – tại A (chính là bán kỳ + tại B): D1 ngưng, D2 dẫn => dòng I_B chạy qua D2 qua R về điểm giữa của biến áp.

Do đó dòng qua tải chính là tổng của 2 dòng I_A và I_B.

Điện áp trung bình trên tải:

$$V_{DC} = 2\frac{V_m}{\pi} = 0.636V_m = 0.9V_{RMS}$$

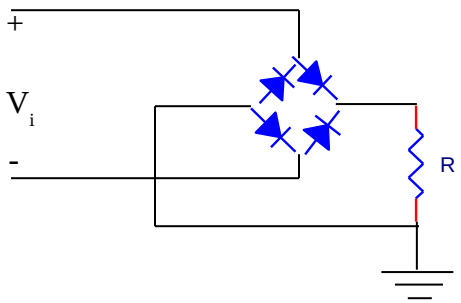
Tương tự cho dòng trên tải:

$$I_{DC} = \frac{2I_m}{\pi} = \frac{2V_m}{\pi R_L} = 0.9\frac{V_{RMS}}{R_L}$$

Nhận xét: Độ gợn sóng của mạch chỉnh lưu toàn sóng giảm so với chỉnh lưu bán kỳ.

iii. Chỉnh lưu cầu.

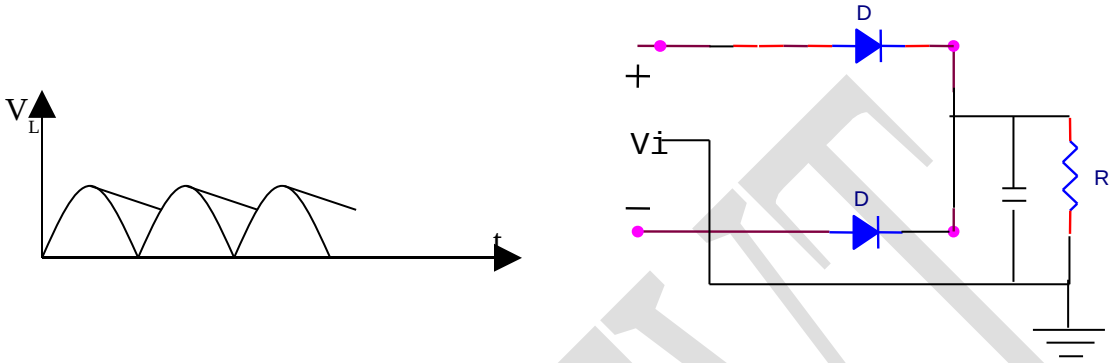
Thay vì phải sử dụng biến áp có chấu giữa, ta không cần mà chỉ cần sắp xếp các diode để có thể dẫn điện ở cả 2 bán kỳ.



- Bán kỳ đầu $V_A > V_c$: D1D3 dẫn, D2 D4 tắt => dòng chạy A->D1->R->D3->C.
- Bán kỳ sau $V_A < V_c$: D1 D3 tắt, D2 D4 dẫn => dòng từ C->D2->R->D4->A.

Công thức tính dòng và áp như 2 diode

iv. Mạch lọc



hiệu ra trong các mạch chỉnh lưu có độ gợn sóng khá lớn và VDC thấp (toàn kỳ VDC = 0.636 Vm). Do đó để cải thiện độ gợn sóng người ta mắc thêm các mạch lọc.

Ở ngõ ra, khi D1 dẫn, dòng qua tải R và nạp cho tụ C. Ở đỉnh A, điện thế giảm, tụ lập tức xả điện qua tải với thời gian T = RL.C. Khi tụ xả đến B, D2 dẫn và lại nạp cho tụ lên đỉnh A, cứ thế tiếp tục. Kết quả là dạng sóng ra như hình vẽ có VDC tăng và độ gợn sóng giảm so với lúc chưa có tụ lọc.

v. Mạch xén

Mạch xén còn gọi là mạch giới hạn biên độ tín hiệu, trong đó tín hiệu V_0 luôn tỉ lệ với tín hiệu vào V_i nếu V_i chưa vượt quá một giá trị ngưỡng cho trước V_R, còn khi V_i vượt quá mức ngưỡng thì tín hiệu ra V_0 luôn giữ một giá trị không đổi.

Các linh kiện tích cực được sử dụng trong mạch xén thường là diode, transistor, đèn điện tử cũng như các vi mạch tuyến tính. Tuy nhiên mạch xén dùng diode được sử dụng rộng rãi hơn vì mạch cấu tạo đơn giản, độ tin cậy cao.

Các mạch xén dùng diode:

- *Mạch nối tiếp:* tải nối tiếp diode.
- *Mạch song song:* tải song song với diode.

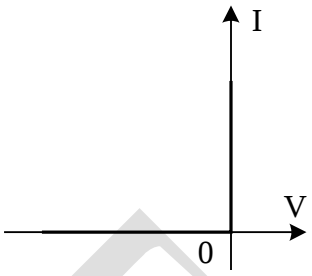
Giả thiết diode lý tưởng.

$V_\gamma = 0$

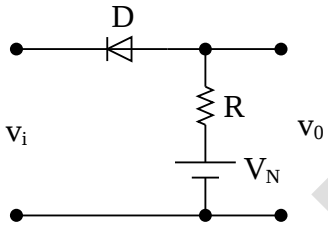
$r_f = 0$ (điện trở thuận)

$I_S = 0$ (dòng rò, dòng ngược)

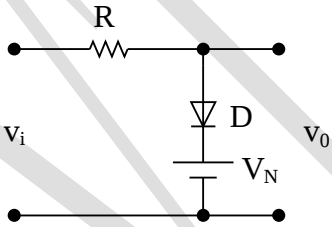
$r_r = \infty$ (điện trở ngược)



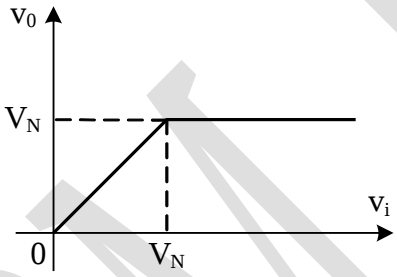
❖ **Mạch xén trên:**



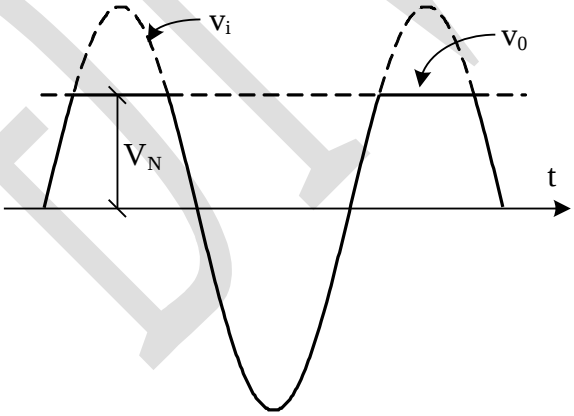
Mạch nối tiếp



Mạch song song



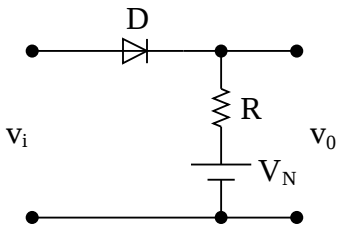
Hàm truyền đạt



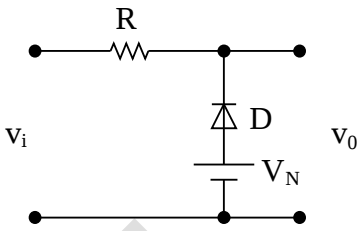
Dạng tín hiệu ra khi tín hiệu vào hình sin

Mạch nối tiếp	**Mạch song song**
• Nếu $v_i > V_N$ →Diode tắt →$v_0 = V_N$ • Nếu $v_i \le V_N$ →Diode dẫn →$v_0 = v_i$	• Nếu $v_i \ge V_N$ →Diode dẫn →$v_0 = V_N$ • Nếu $v_i < V_N$ →Diode tắt →$v_0 = v_i$

❖ **Mạch xén dưới:**

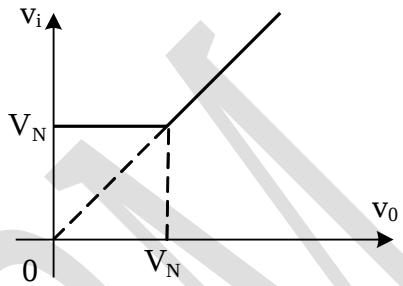


Mạch nối tiếp

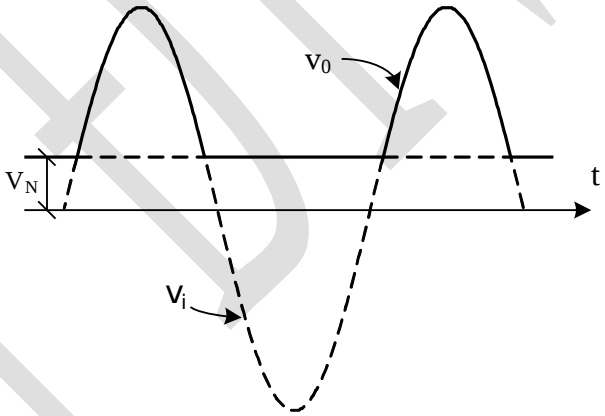


Mạch song song

Mạch nối tiếp	**Mạch song song**
• Nếu $v_i < V_N$ →Diode tắt →$v_0 = V_N$ • Nếu $v_i \geq V_N$ →Diode dẫn →$v_0 = v_i$	• Nếu $v_i \leq V_N$ →Diode dẫn →$v_0 = V_N$ • Nếu $v_i > V_N$ →Diode tắt →$v_0 = v_i$



Hàm truyền đạt



Dạng tín hiệu ra khi tín hiệu vào hình sin

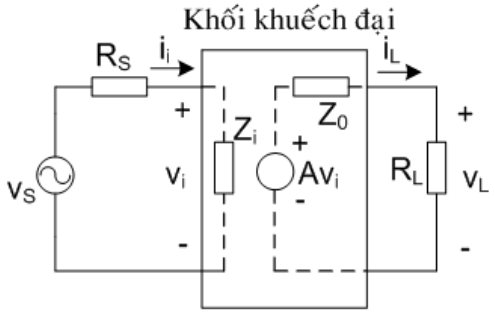
CHƯƠNG IV: MẠCH KHUẾCH ĐẠI

1. Khái niệm về mạch khuếch đại

1.1 Khái niệm mạch khuếch đại

Khuếch đại là quá trình biến đổi một đại lượng (dòng điện hoặc điện áp) từ biên độ nhỏ thành biên độ lớn mà không làm thay đổi dạng của nó.

Tuỳ theo dạng của tín hiệu cần khuếch đại mà người ta phân ra: bộ khuếch đại tín hiệu một chiều (tổng quát hơn: tín hiệu biến thiên chậm) và bộ khuếch đại tín hiệu xoay chiều. Bộ khuếch đại thứ 2 lại được chia làm 2 loại: tần số thấp (âm tần) và bộ khuếch đại tần số cao.



Hình 3.1: Sơ đồ khối tổng quát của mạch khuếch đại

1.2 Các thông số đặc trưng của mạch khuếch đại

- Hệ số khuếch đại điện áp: $A_v = \frac{v_L}{v_S}$ là tỉ số giữa điện áp ra VL và điện áp vào VS.

- Hệ số khuếch đại dòng điện: $A_i = \frac{i_L}{i_i}$.

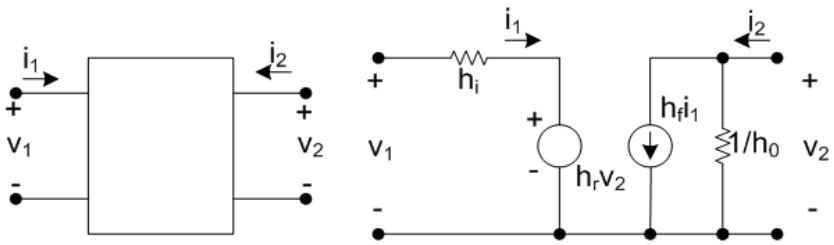
- Hệ số khuếch đại công suất (độ lợi công suất): $A_p = \frac{P_0}{P_i} = \frac{V_L I_L}{V_i I_i}$

- Tổng trở ngõ vào: $Z_i = \frac{v_i}{i_i}$

- Tổng trở ngõ ra: Z_o.

Chất lượng bộ khuếch đại càng tốt khi Z_i càng lớn và Z_o càng nhỏ.

.1.3 *Các thông số Hybrid*



Hình 3.2: Sơ đồ tương đương mạch khuếch đại 4 cực 2 cửa

Phương trình mạng 4 cực viết theo thông số Hybrid :

$$v_1 = h_{11}i_1 + h_{12}v_2$$

$$i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}v_2$$

Thay các thông số mạng 2 cửa bằng các thông số h của transistor :

$$v_1 = h_i i_1 + h_r v_2$$

$$i_2 = h_f i_1 + h_0 v_2$$

Trong đó các thông số h của transistor được định nghĩa như sau :

$h_i = \left.\frac{v_1}{i_1}\right|_{v_2=0}$: trở kháng vào ngắn mạch

$h_r = \left.\frac{v_1}{v_2}\right|_{i_1=0}$: độ lợi điện áp ngược khi hở mạch

$h_f = \left.\frac{i_2}{i_1}\right|_{v_2=0}$: độ lợi dòng thuận ngắn mạch

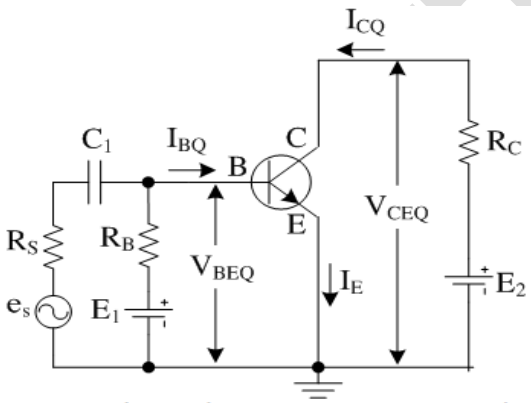
$h_o = \left.\frac{i_2}{v_2}\right|_{i_1=0}$: tổng dẫn ngõ ra hở mạch

Ứng dụng với cách mắc khác nhau (EC, BC, CC) mà chữ thứ 2 được chỉ định. Ví dụ : h_{oe}, h_{ie},…

2. Các khái niệm cơ bản của mạch khuếch đại một tầng

2.1 Điểm làm việc tĩnh và đường tải một chiều

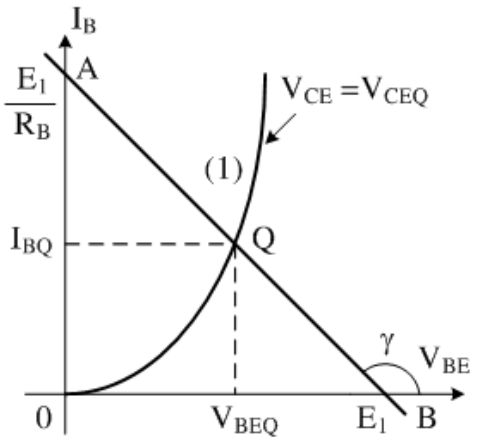
Xét một tầng khuếch đại dùng BJT mắc EC như hình 3.3.



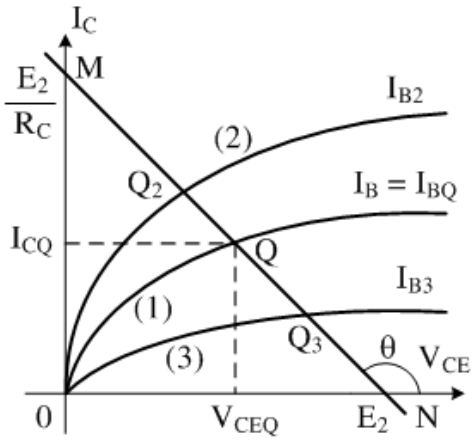
Hình 3.3: Tầng khuếch đại đơn giản dùng BJT mắc EC

Để BJT có khả năng khuếch đại tín hiệu, chuyển tiếp J_E phân cực thuận còn chuyển tiếp J_C phân cực nghịch. Ở mạch này, nguồn E_1 cùng điện trở R_B tạo ra điện áp một chiều làm cho chuyển tiếp J_E phân cực thuận ở một mức nhất định, nghĩa là làm cho dòng I_B và điện áp V_{BE} trong mạch vào có những giá trị I_{BQ}, V_{BEQ} nào đó. Trên đặc tuyến vào của BJT, cặp giá trị I_{BQ} và V_{BEQ} là toạ độ điểm Q, gọi là điểm làm việc tĩnh ngõ vào của BJT. Nguồn E_2 cùng điện trở R_C tạo ra điện áp một chiều làm phân cực nghịch chuyển tiếp J_C, khiến cho dòng I_C và điện áp V_{CE} ở ngõ ra có những giá trị xác định: I_{CQ} và V_{CEQ}. Cặp giá trị I_{CQ} và V_{CEQ} sẽ xác định nên một điểm Q, gọi là điểm làm việc tĩnh ngõ ra.

Như vậy với một BJT đã cho, nguồn E_1, E_2 cùng các điện trở phân cực R_B, R_E sẽ quyết định giá trị tức thời của dòng điện và điện áp trên BJT, nói cách khác chúng sẽ quyết định điểm làm việc tĩnh của mạch.



Hình 3.4: Đặc tuyến vào và đường tải mạch vào



Hình 3.5: Đặc tuyến ra và đường tải mạch ra

Dòng I_B và áp V_{BE} liên hệ với nhau theo đặc tuyến tĩnh của BJT (đường số 1 – hình 3.4). Mặt khác theo định luật Kirchoff II:

$$E_1 = I_B R_B + V_B$$

$$\Rightarrow I_B = -\frac{V_{BE}}{R_B} + \frac{E_1}{R_B}$$

Giao điểm của 2 đồ thị nói trên xác định điểm làm việc tĩnh Q của đường tải mạch vào.

Tương tự, trong mạch ra, dòng I_C và áp V_{CE} có quan hệ với nhau theo đặc tuyến ra của BJT (đường số 1 – hình 3.5 ứng với dòng $I_B = I_{BQ}$). Theo định luật Kirchoff II:

$$E_2 = I_C R_C + V_{CE}$$

$$\Rightarrow I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{E_2}{R_C}$$

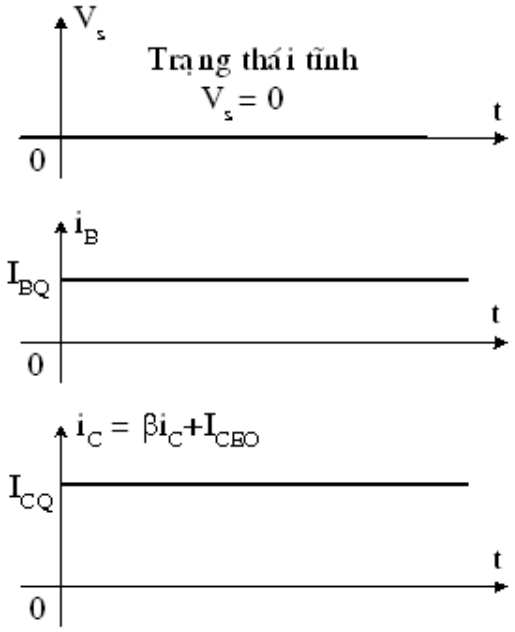
Giao điểm của 2 đồ thị trên xác định điểm làm việc tĩnh Q của đường tải mạch ra.

Như vậy điểm Q trên đặc tuyến vào và ra là một và là duy nhất. Với tầng khuếch đại đang xét, các cặp giá trị (I_B, V_{BE}) hoặc (I_C và V_{CE}) thoả mãn định luật Kirchoff II trong mạch vào hoặc ra sẽ xác định nên đường tại một chiều của mạch vào hoặc ra. Giao điểm của đường tải một chiều với đặc tuyến tĩnh tương ứng của BJT chính là điểm làm việc tĩnh mà toạ độ của nó là giá trị dòng và áp tức thời trong mạch.

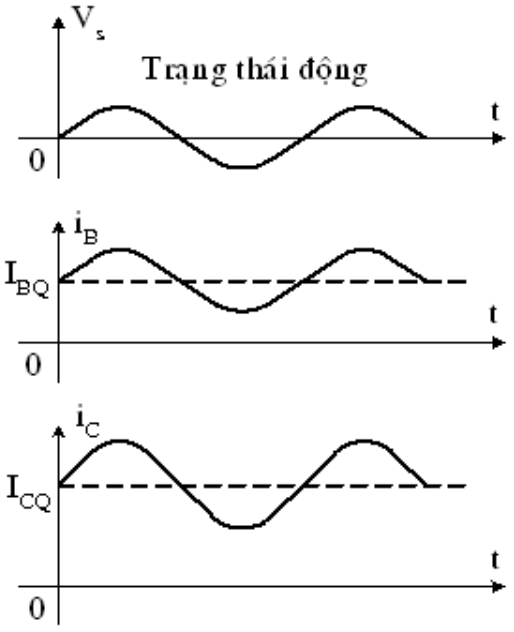
Độ dốc của đường tải AB là $tg\gamma = -\frac{1}{R_B}$; của đường tải MN là $tg\theta = -\frac{1}{R_C}$. Như vậy, một cách tổng quát, độ dốc của đường tải một chiều có giá trị tuyệt đối bằng nghịch đảo của điện trở tương ứng.

2.2 Trạng thái động – Đồ thị thời gian

Trạng thái làm việc của BJT hoặc FET khi có tín hiệu xoay chiều đưa đến ngõ vào (do đó xuất hiện điện áp xoay chiều hoặc dòng điện xoay chiều ở ngõ ra) gọi là trạng thái động. Lúc này tín hiệu xoay chiều V_s xếp chồng lên điện áp phân cực vốn có ở trạng thái tĩnh. Trên hình 3.6 và 3.7 minh hoạ đồ thị thời gian của các dòng ở trạng thái tĩnh và các dòng tương ứng ở trạng thái động khi V_s hình sin.

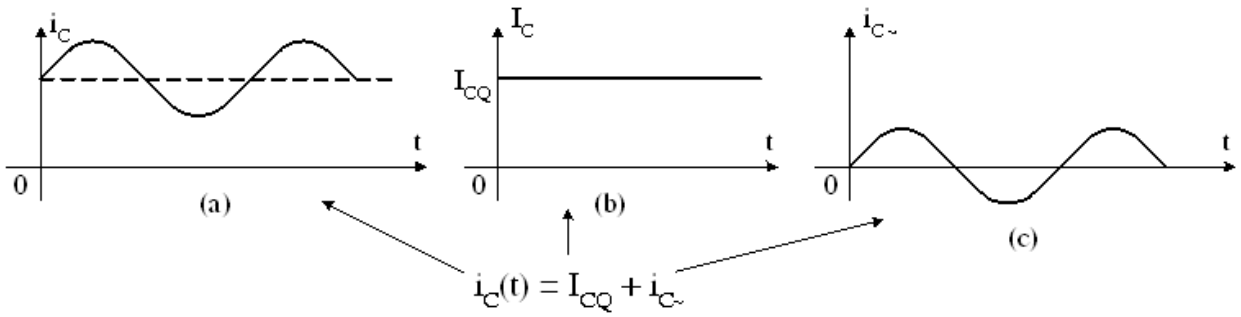


Hình 3.6: Các dòng điện ở trạng thái tĩnh



Hình 3.7: Các dòng điện ở trạng thái động

Ta thấy dòng điện tức thời ở trạng thái động là tổng đại số của 2 thành phần: thành phần một chiều (ứng với trạng thái tĩnh) và thành phần xoay chiều do tín hiệu V_s gây ra.



Hình 3.8: Các thành phần của dòng điện tức thời

2.3 Đường tải xoay chiều

Đường tải MN ở hình 3.5 là tập hợp tất cả các vị trí có thể có của điểm làm việc tĩnh. Nói cách khác mỗi điểm trên đường tải MN xác định một cặp giá trị tương ứng của dòng I_C và điện áp V_{CE}.

Đối với trạng thái động, khi có nguồn tín hiệu xoay chiều Vs tác động, mỗi cặp giá trị tương ứng của dòng vào áp tức thời $i_C(t)$, $v_{CE}(t)$ trên ngõ ra sẽ xác định nên trên đặc tuyến ra một điểm làm việc động. Khi biên độ V_s thay đổi, điểm làm việc động bày xê dịch trên một quỹ đạo nào đó được gọi là đường tải xoay chiều.

Điện trở tải đối với tín hiệu xoay chiều của mạch ra: $R_\sim = \frac{v_{CE\sim}}{i_{C\sim}}$. Vậy độ dốc của đường tải xoay chiều là: $tg\delta = -\frac{1}{R_\sim}$; trong đó δ là góc giữa đường tải xoay chiều và trục hoành.

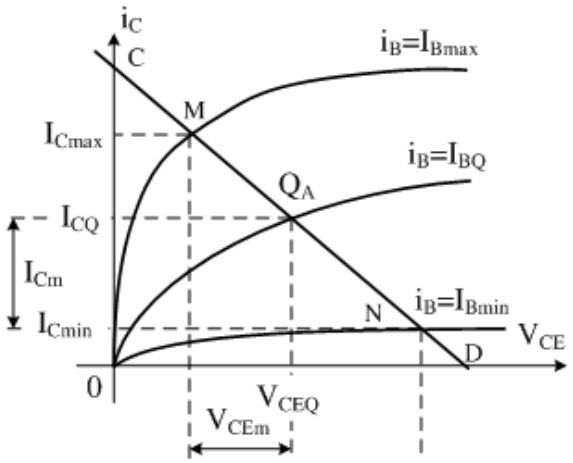
Mặt khác, có thể coi trạng thái tĩnh như là một trường hợp riêng (ứng với biên độ $V_s = 0$) của trạng thái động. Khi biên độ V_s thay đổi, điểm làm việc động di động trên đường tải xoay chiều. Khi biên độ $V_s = 0$, điểm làm việc động trở về trùng với điểm làm tĩnh. Điều này chứng tỏ điểm làm việc tĩnh cũng chỉ là một điểm làm việc đặc biệt của đường tải xoay chiều. Như vậy cả đường tải một chiều lẫn xoay chiều đều chứa điểm làm việc tĩnh, hay nói cách khác, điểm làm việc tĩnh Q là giao điểm của 2 đường tải này.

2.4 Các chế độ làm việc của phần tử khuếch đại

Tuỳ theo vị trí điểm làm việc tĩnh trên đường tải xoay chiều, người ta phân biệt các chế độ làm việc sau đây:

2.4.1 Chế độ A

Khi chọn điện áp phân cực sao cho điểm làm việc tĩnh Q nằm ở khoảng giữa đoạn MN trên đường tại xoay chiều (trong đó M và N là giao điểm của đường tải xoay chiều với đặc tuyến ra ứng với dòng cực đại I_{Bmax} và dòng cực tiểu I_{Bmin}) thì ta nói phần tử khuếch đại làm việc ở chế độ A.



Hình 3.9: Điểm làm việc ở chế độ A

Đặc điểm của chế độ A:

- Khuếch đại trung thực, ít méo phi tuyến.

- Dòng tĩnh và áp tĩnh luôn khác 0, nghĩa là ngay ở trong trạng thái tĩnh, tầng khếuch đại đã tiêu hao một năng lượng đáng kể. Biên độ dòng và áp xoay chiều lấy ra (I_{Cm}, V_{CEm}) tối đa chỉ bằng dòng và áp tĩnh. Vì vậy chế độ A có hiệu suất thấp, thông thường hiệu suất tối đa của lớp A là 25%.

- Chế độ A thường dùng trong các tầng khuếch đại tín hiệu nhỏ.

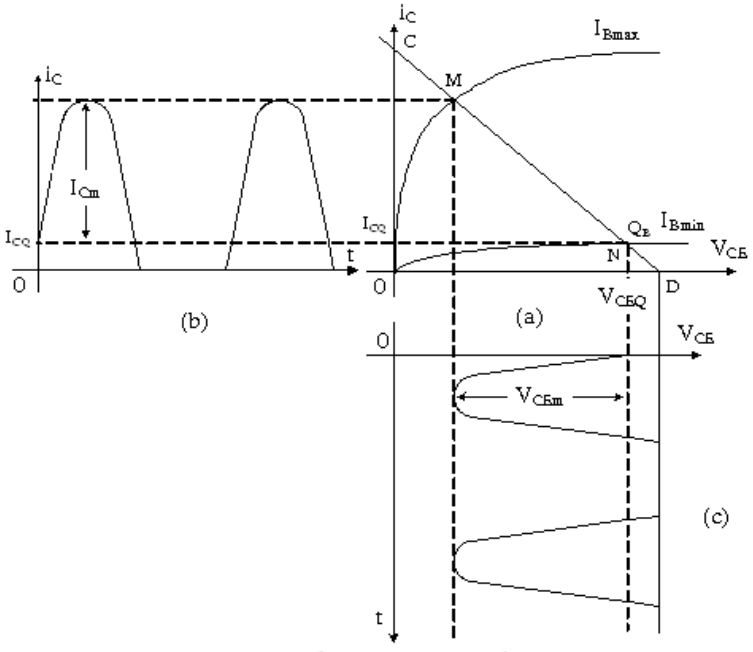
2.4.2 Chế độ B

Nếu chọn điện áp phân cực sao cho vị trí điểm tĩnh Q trùng với điểm D hoặc điểm N thì phần tử khuếch đại làm việc ở chế độ B lý tưởng. Đặc điểm của chế độ này như sau:

- Khi dòng điện vào (hoặc điện áp vào) là hình sin, thì dòng điện ra và điện áp ra chỉ còn nửa (hoặc già nửa) hình sin, nói cách khác: méo phi tuyến trầm trọng.

- Ở trạng thái tĩnh, dòng $I_{CQ} \approx 0$, do đó năng lượng tiêu thụ bởi tầng khuếch đại rất nhỏ. Chỉ ở trạng thái động, dòng điện trung bình I_C mới tăng dần theo biên độ tín hiệu vào. Do đó năng lượng tiêu thụ cũng tỉ lệ với biên độ xoay chiều tín hiệu xoay chiều lấy ra. Như vậy chế độ B có hiệu suất cao (khoảng 78.5%).

- Chế độ thường dùng trong các tầng khuếch đại công suất (các tầng cuối của thiết bị khuếch đại). Để khắc phục méo phi tuyến, nó đòi hỏi mạch phải có 2 vế đối xứng, thay phiên nhau làm việc trong 2 nửa chu kỳ.



Hình 3.10: Điểm làm việc ở chế độ B

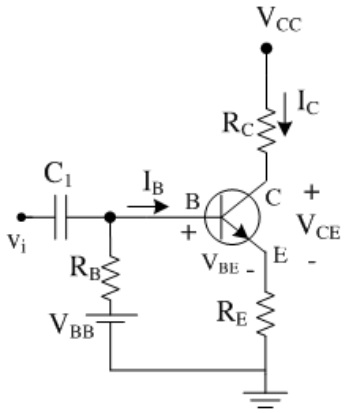
Trên thực tế, người ta còn dùng chế độ AB (trung gian giữa chế độ A và chế độ B): điểm Q chọn ở phía trên điểm N và gần điểm này. Lúc đó phát huy được ưu điểm của mỗi chế độ, giảm bớt méo phi tuyến nhưng hiệu suất kém hơn chế độ B.

2.4.3 Chế độ D

Chế độ này còn được gọi là chế độ khoá hay chế độ đóng mở. Ngoài chế độ khuếch đại, BJT hoặc FET còn có thể làm việc như một cái đóng ngắt điện (chế độ khoá). Lúc này, tuỳ theo xung dòng điện vào (hoặc điện áp vào) mà BJT làm việc ở 1 trong 2 chế độ đối lập: trạng thái khoá (trạng thái tắt) khi Q nằm ở phía dưới điểm N, trạng thái dẫn bão hoà (trạng thái mở) khi Q nằm phía trên điểm M, gần điểm C. Đây là chế độ BJT làm việc với tín hiệu xung.

3. Các mạch phân cực cho BJT

3.1 Dùng nguồn 1 chiều V_{BB}



Hình 3.11: Mạch phân cực dùng nguồn 1 chiều

Định luật Kirchoff II cho vòng có chứa V_{BB}:

$$-V_{BB} + R_B I_B + V_{BE} + R_E I_{EQ} = 0$$

Mà $I_{CQ} \approx I_{EQ}$, $I_{CQ} = \beta I_{BQ}$

$$\Rightarrow -V_{BB} + R_B \frac{I_{CQ}}{\beta} + V_{BE} + R_E I_{CQ} = 0$$

$$\Rightarrow I_{CQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{\beta}}$$

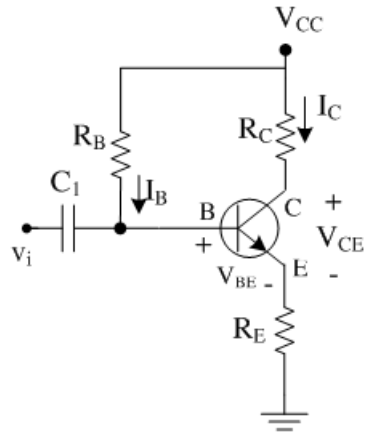
Định luật Kirchoff II cho vòng từ V_{CC} đến mass:

$$-V_{CC} + R_C I_{CQ} + V_{CEQ} + R_E I_{CQ} = 0$$

$$\Rightarrow I_{CQ} = -\frac{1}{R_C + R_E} V_{CEQ} + \frac{1}{R_C + R_E} V_{CC}$$

Đây chính là phương trình đường tải 1 chiều (DCLL). Để I_{CQ} ổn định, phải chọn $R_E >> R_B/\beta$. Thường chọn $R_B = \frac{1}{10}(\beta + 1)R_E$ để I_{CQ} ổn định.

3.2 Dùng điện trở R_B



Hình 3.12: Mạch phân cực dùng điện trở

Định luật Kirchoff II từ V_{CC} -> R_B -> mass:

$$-V_{CC} + R_B \frac{I_{CQ}}{\beta} + V_{BE} + R_E I_{CQ} = 0$$

$$\Rightarrow I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_E + R_B/\beta}$$

Định luật Kirchoff II từ V_{CC} -> R_C -> mass:

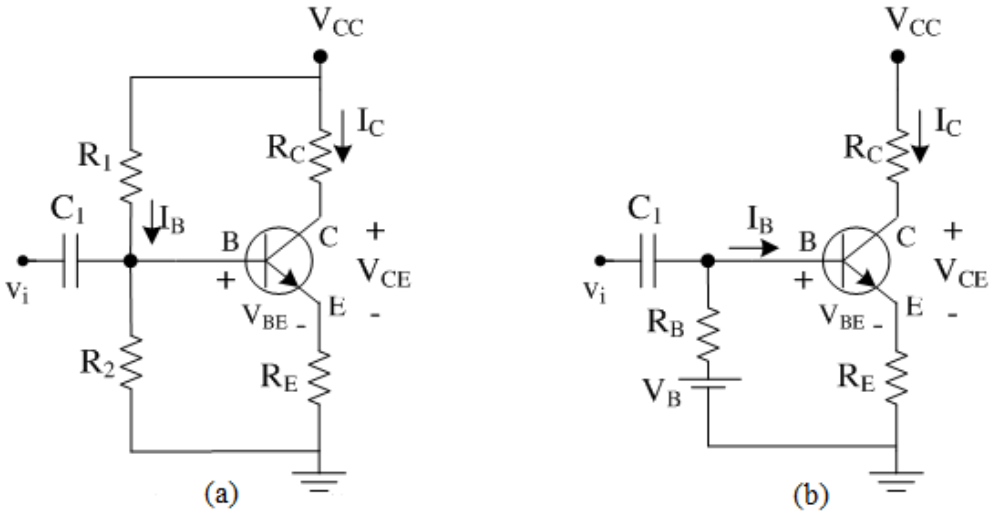
$$-V_{CC} + R_C I_{CQ} + V_{CEQ} + R_E I_{CQ} = 0$$

$$=> V_{CEQ} = V_{CC} - (R_C + R_E)I_{CQ}$$

$$=> I_{CQ} = -\frac{1}{R_C + R_E}V_{CEQ} + \frac{1}{R_C + R_E}V_{CC}$$

Đây là phương trình đường tải 1 chiều (DCLL) của mạch.

3.3 Dùng điện trở phân áp



Hình 3.13: (a) Mạch phân cực dùng điện trở phân áp
(b) Mạch Thevenil tương ứng

Theo định lý Thevenil:

$$R_{BB} = R_T = R_1//R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

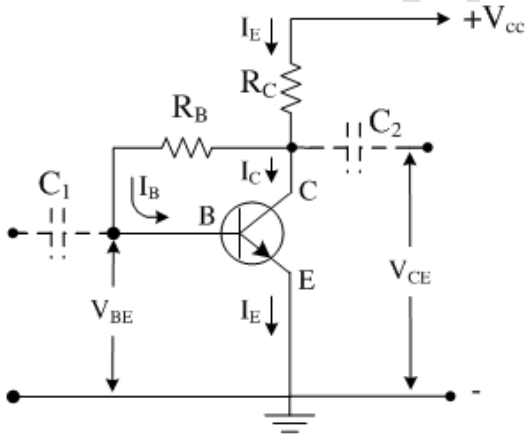
$$V_{BB} = V_T = U_{hở} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}V_{CC}$$

Theo cách tính toán tương tự như mạch phân cực dùng điện áp V_{BB}, ta có:

$$I_{CQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{\beta}}$$

$$I_{CQ} = -\frac{1}{R_C + R_E}V_{CEQ} + \frac{1}{R_C + R_E}V_{CC}$$

3.4 Phân cực nhờ hồi tiếp từ Collector



Hình 3.14: Mạch hồi tiếp dùng kiểu hồi tiếp từ Collector

Ở mạch này, điện trở R_B dẫn điện áp từ ngõ ra (cực collector) và đưa ngược về ngõ vào (cực base):

$$V_{BE} = V_{CE} - I_B R_B = V_{CC} - (I_C + I_B) R_C - I_B R_B$$

Vì vậy khi nhiệt độ làm dòng ra I_C tăng lên thì ảnh hương đó sẽ tác động ngược về ngõ vào, làm V_{BE} giảm và làm I_C, nghĩa là bù trừ lại sự biến động điểm làm việc do nhiệt độ.

Định luật Kirchoff II cho vòng từ V_{CC} -> R_C -> R_B -> mass:

$$-V_{CC} + R_C (I_C + I_B) + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

$$=> -V_{CC} + I_C(R_C + \frac{R_C}{\beta} + \frac{R_B}{\beta}) = 0$$

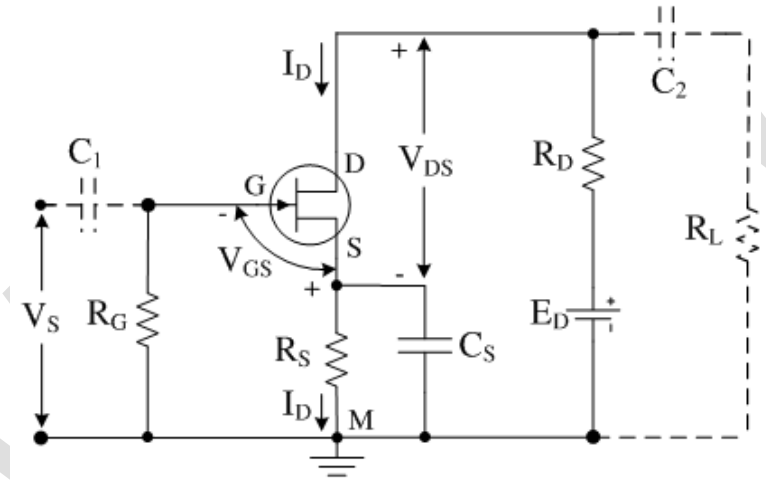
$$=> I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + \frac{R_B + R_C}{\beta}}$$

$V_{CE} = V_{CC} - I_E R_C$

Hoặc $V_{CE} = I_B R_B + V_{BE} \approx I_B R_B$

4. Các mạch phân cực cho JFET

4.1 Phân cực cho JFET kiểu tự cấp



Hình 3.15: Mạch phân cực cho JFET kiểu tự cấp

Các JFET thường được tự phân cực nhờ điện trở R_s mắc giữa nguồn và đất. Dòng máng ID sẽ hạ trên điện trở đó một điện áp $V_{SM} = I_D.R_S$. Chính điện áp này phân cực nghịch cho chuyển tiếp P – N giữa cực cửa và kênh dẫn, bởi vì dòng qua RG xấp xỉ bằng 0 nên điểm G gần như đẳng thế với đất.

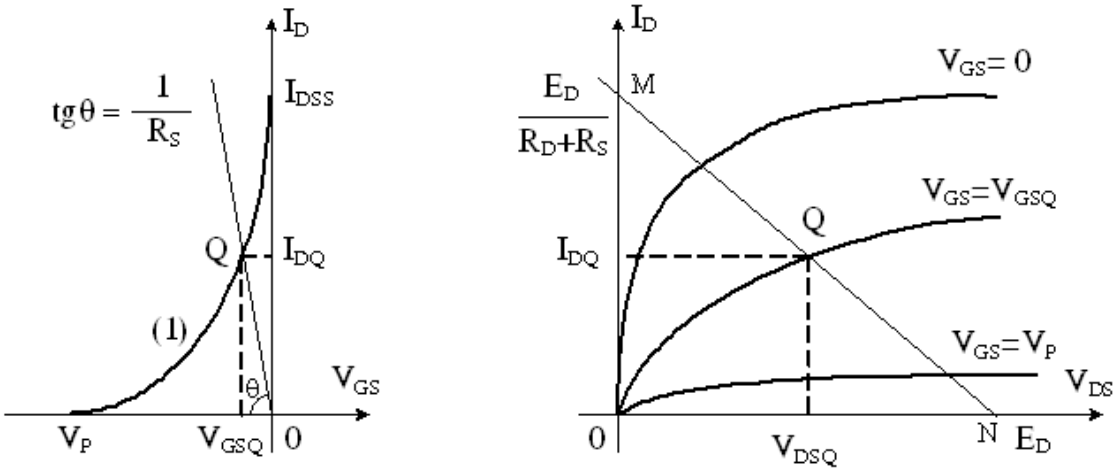
$V_{GS} = - I_D R_S$

$V_{DS} = E_D – I_D(R_D + R_S)$

Ta có thể xác định điểm làm việc tĩnh Q bằng đồ thị. Giả sử đặc tuyến truyền đạt $I_D = f(V_{GS})$ của JFET được mô phỏng bằng biểu thức:

$$I_D = I_{DSS}\left(1-\frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$$

$$\Rightarrow I_D = -\frac{1}{R_S}V_{GS}$$



Hình 3.16: Điểm Q trên 2 đồ thị

Giao điểm Q của đồ thị nói trên xác định cặp giá trị cần tìm: V_{GSQ} và I_{DQ}.

Ở ngõ ra, giả sử đã có họ đặc tuyến máng của JFET như hình 3.16. Mặt khác:

$$I_D = -\frac{1}{R_D+R_S}V_{DS} + \frac{E_D}{R_D+R_S}$$

Đường tải 1 chiều này thể hiện bằng đường MN. Giao điểm của đường này với đặc tuyến tĩnh ứng với $V_{GS} = V_{GSQ}$ sẽ xác định trị số dòng và áp tĩnh trong mạch ra.

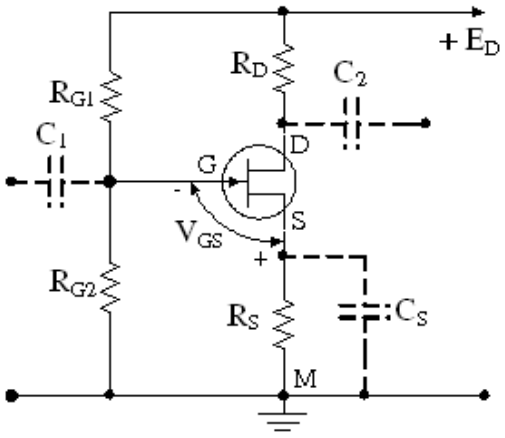
Người ta cũng có thể xác định điểm tĩnh Q theo phương pháp giải tích, khi đã biết các tham số V_p, I_{DSS}, R_D, R_S …

Qua 1 số phép biến đổi ta được:

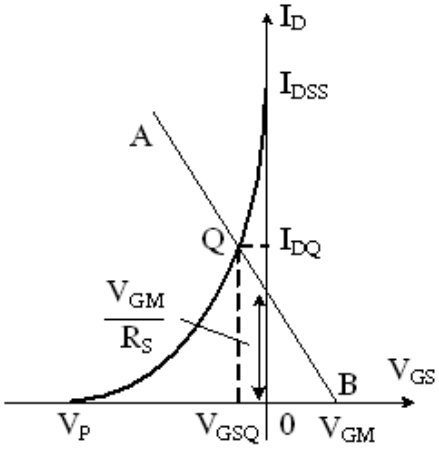
$$\left(\frac{R_S}{V_P}\right)^2 I_{DSS} I_D^2 - \left(2.\frac{R_S.I_{DSS}}{|V_P|}+1\right)I_D + I_{DSS} = 0$$

Đây là phương trình bậc 2 đối với I_D. Nghiệm của nó chính là I_{DQ}. Từ đó xác định được V_{GSQ} và V_{DSQ}.

4.2 Phân cực cho JFET kiểu phân áp



Hình 3.17: Mạch phân cực cho JFET kiểu phân áp



Hình 3.18: Xác định điểm tĩnh bằng đồ thị

2 điện trở R_{G1} và R_{G2} tạo nên bộ phân áp. Do $I_G \approx 0$ nên:

$$V_{GM} = E_D \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} = \text{const}$$

Mặt khác: $V_{SM} = I_D . R_S$.

Vì vậy điện áp phân cực ở ngõ vào xác định bởi: $V_{GS} = V_{GM} – I_D R_S$

Và ở ngõ ra: $V_{DS} = E_D – I_D (R_D + R_S)$

Dòng máng I_D xác định như sau:

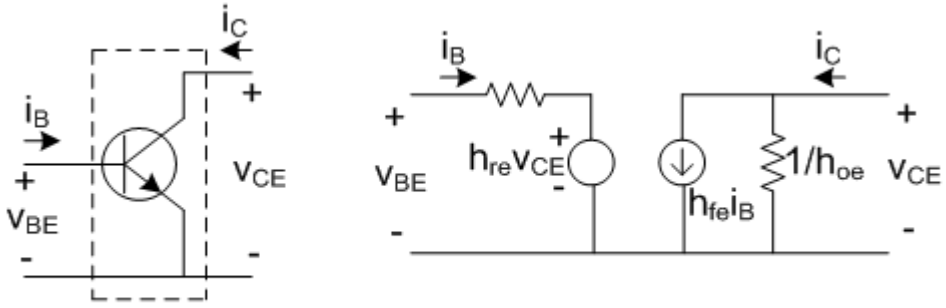
$$I_D = -\frac{1}{R_S} V_{GS} + \frac{V_{GM}}{R_S}$$

Quan hệ này (thể hiện bằng đường thẳng AB) cắt trục hoành tại hoành độ V_{GM}, cắt trục tung tại tung độ $\frac{V_{GM}}{R_S}$). Giao điểm của đường này với đặc tuyến truyền đạt $I_D = f(V_{GS})$ là điểm tĩnh Q.

5. Các mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ dùng BJT hoặc FET

Một thiết bị khuếch đại thường bao gồm nhiều tầng kế tiếp nhau. Các tầng ở phía đầu làm nhiệm vụ khuếch đại điện áp với biên độ tín hiệu còn chưa lớn nên được gọi chung nên được gọi chung là tầng khuếch đại tín hiệu nhỏ. Chúng làm việc ở chế độ A. Các tầng phía cuối có nhiệm vụ đưa ra trên tải một tín hiệu công suất lớn, ít méo dạng và hiệu suất cao, thường gọi là tầng khuếch đại công suất. Dưới đây, chúng ta khảo sát một tầng khuếch đại tín hiệu nhỏ theo phương pháp thông dụng và phương pháp giải tích: thay thế mạch cụ thể bằng sơ đồ tương đương xoay chiều, rồi tiến hành đơn giản hoá, sau đó tính ra các thông số đặc trưng của mạch. Đó là các thông số: độ lợi áp, độ lợi dòng, điện trở vào, điện trở ra đối với tín hiệu xoay chiều.

5.1 Mạch khuếch đại dùng BJT mắc EC



Hình 3.19: Mô hình tương đương BJT mắc EC

Cùng khảo sát các thông số xoay chiều của mạch:

Hệ phương trình thông số h:

$$\begin{cases} v_{be} = h_{ie} i_B + h_{re} v_{ce} \\ i_C = h_{fe} i_B + h_{oe} v_{ce} \end{cases}$$

$$h_{ie} = \left.\frac{v_{be}}{i_B}\right|_{v_{ce}=0} = \left.\frac{mV_T}{I_{BQ}}\right|_Q = \frac{mV_T \beta}{I_{CQ}} = \frac{mh_{fe} V_T}{I_{CQ}}$$

Ở nhiệt độ phòng, V_T = 25mV. Chọn m = 1

Vậy: $h_{ie} = h_{fe} \dfrac{25(mV)}{I_{CQ}(mA)}$

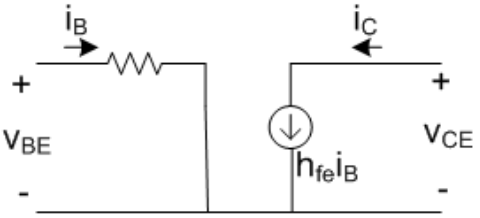
$$h_{fe} = \left.\frac{i_C}{i_B}\right|_{v_{ce}=0}$$ (thông số của BJT)

$$h_{re} = \left.\frac{v_{be}}{v_{ce}}\right|_{i_B=0}$$

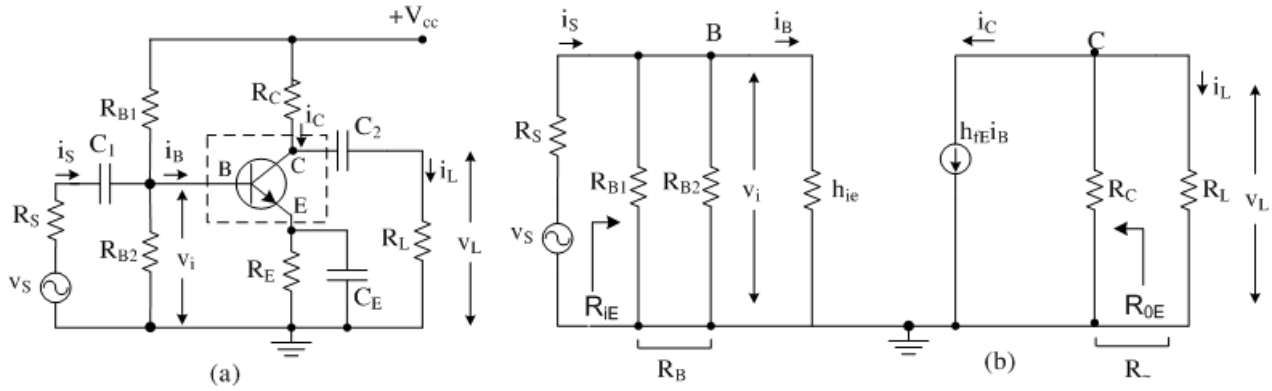
$$h_{oe} = \left.\frac{i_C}{v_{ce}}\right|_{i_B=0}$$ (Ω^{-1})

Thông thường h_{re} và h_{oe} có giá trị rất nhỏ ($\leq 10^{-4}$)

Như vậy sơ đồ tương đương của transistor sau khi đã loại bỏ những thông số ảnh hưởng không đáng kể vào mạch :



Hình 3.20: Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ của BJT mắc EC



Hình 3.21: Mạch khuếch đại mắc EC (a) và sơ đồ tương đương của nó (b)

*** Điện trở vào :**

$$R_{iE} = (R_B // h_{ie})$$

Thông thường tầng khuếch đại E.C có điện trở vào cỡ 600Ω →2kΩ

*** Điện trở ra :**

$$R_{0E} = R_C$$

*** Độ lợi dòng :**

$$A_{iE} = \frac{i_L}{i_S} = \frac{i_L}{i_C} \cdot \frac{i_C}{i_B} \cdot \frac{i_B}{i_S} = -\frac{R_C}{R_C + R_L} \cdot h_{fe} \cdot \frac{R_B}{R_B + h_{ie}} = -h_{fe} \cdot \frac{R_{iE}}{h_{iE}} \cdot \frac{R_\sim}{R_L}$$

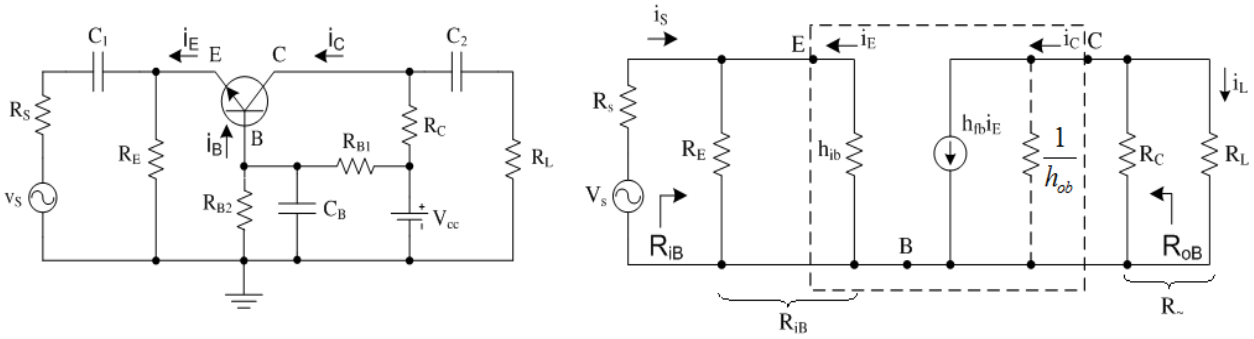
*** Độ lợi áp :**

$$A_{vE} = \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{i_L} \cdot \frac{i_L}{i_C} \cdot \frac{i_C}{i_B} \cdot \frac{i_B}{v_i} = R_L \cdot (-\frac{R_C}{R_C + R_L}) \cdot h_{fe} \cdot \frac{1}{h_{ie}} = -h_{fe} \cdot \frac{R_\sim}{h_{ie}}$$

*** Độ lợi áp toàn phần :**

$$A_{tp} = \frac{v_L}{v_S} = \frac{v_L}{v_i} \cdot \frac{v_i}{v_S} = -h_{fe} \cdot \frac{R_\sim}{h_{ie}} \cdot \frac{R_{iE}}{R_S + R_{iE}}$$

5.2 Mạch khuếch đại dùng BJT mắc BC



Hình 3.22: Mạch khuếch đại BC và mạch tương đương tín hiệu nhỏ, tần số thấp

Sơ đồ tương đương tín hiệu nhỏ, với thành phần $1/h_{ob}$ có thể bỏ qua.

$$h_{ib} = \frac{mV_T}{I_{EQ}} = \frac{h_{ie}}{h_{fe}}$$

$$h_{fb} = \frac{i_C}{i_E} = \frac{i_C}{i_B(1+h_{fe})} = \frac{h_{fe}}{1+h_{fe}} \approx 1$$

*** Điện trở vào :**

$$R_{iB} = (R_E // h_{ib})$$

*** Điện trở ra :**

$$R_{0B} = R_C$$

*** Độ lợi dòng :**

$$A_{iB} = \frac{i_L}{i_S} = \frac{i_L}{i_C}\cdot\frac{i_C}{i_E}\cdot\frac{i_E}{i_S} = -\frac{R_C}{R_C+R_L}\cdot h_{fb}\cdot\left(-\frac{R_E}{R_E+h_{ib}}\right) = h_{fb}\cdot\frac{R_{iB}}{h_{ib}}\cdot\frac{R_\sim}{R_L}$$

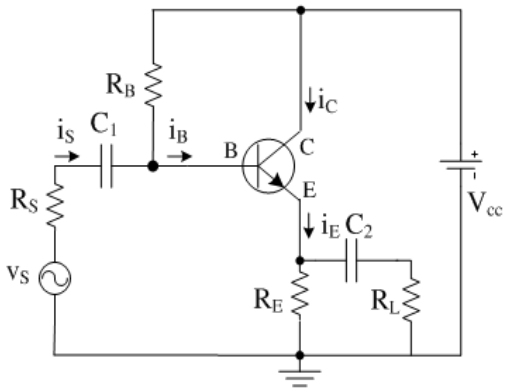
*** Độ lợi áp :**

$$A_{vB} = \frac{v_L}{v_{EB}} = \frac{v_L}{i_L}\cdot\frac{i_L}{i_C}\cdot\frac{i_C}{i_E}\cdot\frac{i_E}{v_{EB}} = R_L\cdot\left(-\frac{R_C}{R_C+R_L}\right)\cdot h_{fb}\cdot\left(-\frac{1}{h_{ib}}\right) = h_{fb}\cdot\frac{R_\sim}{h_{ib}}$$

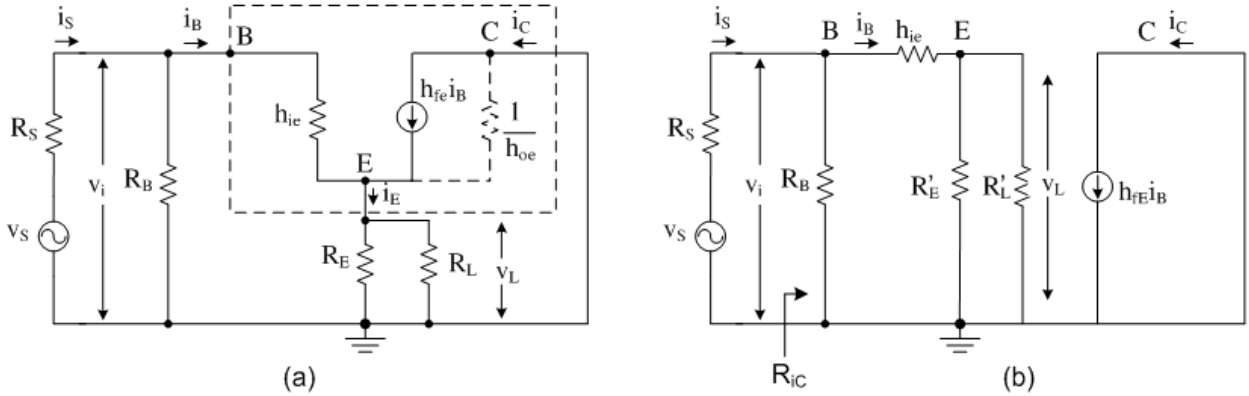
*** Độ lợi áp toàn phần :**

$$A_{tp} = \frac{v_L}{v_S} = \frac{v_L}{v_{EB}} \cdot \frac{v_{EB}}{v_S} = h_{fb} \cdot \frac{R_{\sim}}{h_{ib}} \cdot \frac{R_{iB}}{R_{iB} + R_S}$$

5.3 Mạch khuếch đại dùng BJT mắc CC



Hình 2.23: Mạch khuếch đại dùng BJT mắc CC



Hình 2.24: Mạch tương đương tín hiệu nhỏ tần số thấp của BJT mắc CC

Việc xác định điểm làm việc tĩnh tương tự mắc EC: dùng phương pháp đồ thị hoặc giải tích.

$$v_L = v_E = (R_E // R_L)\, i_E = (R'_E // R'_L)\, i_B$$

$$i_E = (1+h_{fe})\, i_B$$

$$=> R'_E = (1+h_{fe}) R_E$$

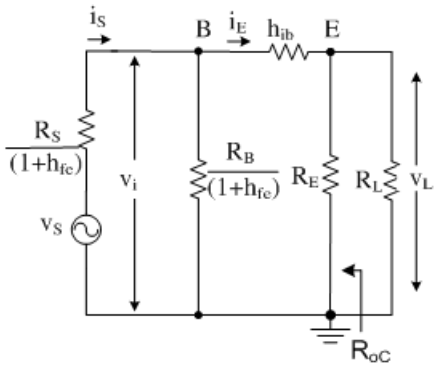
$$R_L^{'} = (1+h_{fe})R_L$$

*** Điện trở vào :**

$$R_{iC} = R_B//(h_{ie} + R^{'}_E//R^{'}_L)$$

*** Điện trở ra :**

Để tính tổng trở ra của tầng khuếch đại, vẽ lại mạch tương đương của hình 2.24a.



Hình 2.24c: Mạch tương đương hình 2.24a

$$R_{oC} = R_E//(h_{ib} + (\frac{R_B}{1+h_{fe}} // \frac{R_S}{1+h_{fe}}))$$

*** Độ lợi dòng điện :**

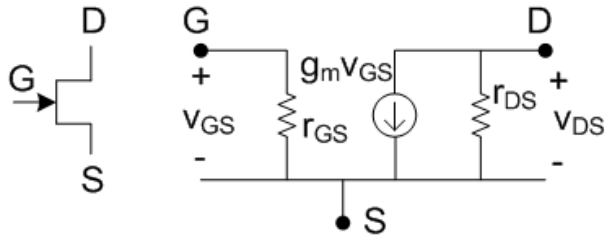
$$A_{iC} = \frac{i_L}{i_S} = \frac{i_L}{v_L}\cdot\frac{v_L}{i_B}\cdot\frac{i_B}{i_S} = \frac{1}{R_L}\cdot(R_E^{'} // R_L^{'})\cdot\frac{R_B}{R_B + h_{ie} + (R_E^{'} // R_L^{'})}$$

*** Độ lợi áp :**

$$A_{vC} = \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{i_B}\cdot\frac{i_B}{i_S}\cdot\frac{i_S}{v_i} = (R_E^{'} // R_L^{'})\cdot\frac{R_B}{R_B + h_{ie} + (R_E^{'} // R_L^{'})}\cdot\frac{1}{R_S + R_{iC}}$$

5.3 Mạch khuếch đại dùng JFET mắc SC

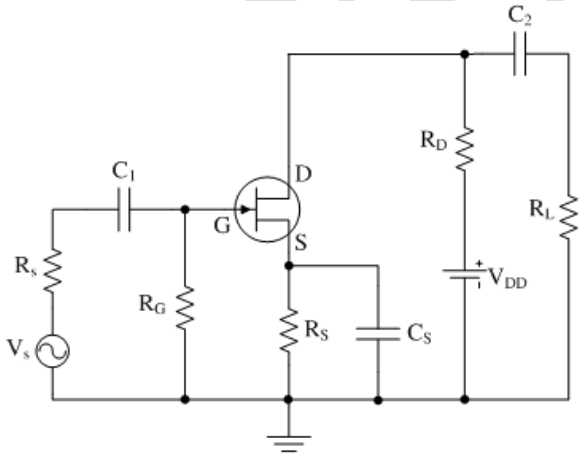
Sơ đồ tương đương của mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ tần số thấp của JFET



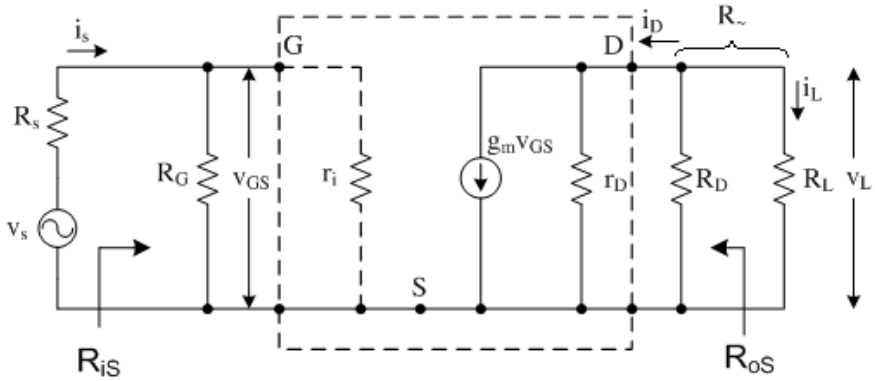
Hình 3.25: Mạch tương đương tín hiệu nhỏ tần số thấp của JFET

Với $r_{GS} = \infty$, r_{DS} (xác định trước).

$$g_m = -2\frac{I_{DSS}}{V_P}\cdot\left(1-\frac{V_{GSQ}}{V_P}\right)$$



Hình 2.26: Mạch khuếch đại dùng JFET mắc SC



Hình 2.27: Mạch tương đương tín hiệu nhỏ tần số thấp của JFET mắc SC

*** Điện trở vào :**

$$R_{iS} = (R_G \,//\, r_i) \approx R_G$$

Với r_i là điện trở vào của JFET (điện trở của chuyển tiếp P-N giữa cửa và nguồn) thường rất lớn vì chuyển tiếp này phân cực nghịch ($I_G \approx 0$).

Trên thực tế, R_{iS} thường cỡ một vài MΩ.

*** Điện trở ra :**

$$R_{oS} = (R_D // r_D) \approx R_D$$

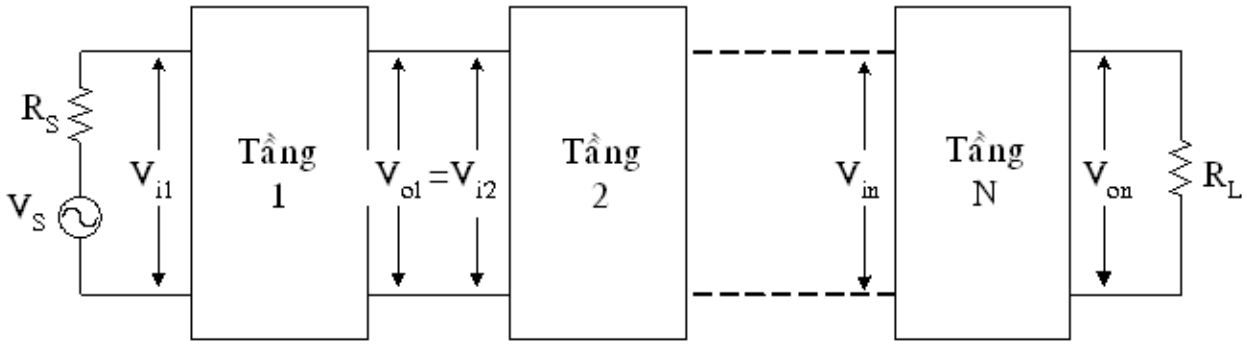
Với r_D là điện trở vi phân ngõ ra của JFET, thường có giá trị cỡ (0.5 ÷ 1) MΩ

* **Độ lợi áp :**

$$A_{vS} = \frac{v_L}{v_{GS}} = \frac{v_L}{i_L} \cdot \frac{i_L}{i_D} \cdot \frac{i_D}{v_{GS}} = R_L \cdot \left(-\frac{R_D}{R_D + R_L} \right) \cdot \left(g_m \cdot \frac{r_D}{r_D + R_D // R_L} \right) = -g_m \cdot (R_D // R_L // r_D)$$

Nếu JFET mắc theo sơ đồ máng chung (D.C) hoặc cửa chung (G.C) ta vẫn phân tích theo phương pháp tương tự. Tầng D.C vẫn có đặc điểm và ứng dụng gần như mạch C.C của BJT: điện trở vào lớn, điện trở ra nhỏ độ lợi áp xấp xỉ bằng 1 và tín hiệu ra đồng pha với tín hiệu vào.

6. Các dạng ghép liên tầng



Hình 2.28: Khuếch đại ghép liên tầng

Ở phần trên, chúng ta đã làm quen với một số tầng khuếch đại. Hình thức mạch điện của các tầng này có thể không giống nhau, sử dụng linh kiện khác nhau, …, nhưng một cách tổng quát, ta luôn luôn coi chúng như những mạng 4 cực (hai cực vào và hai cực

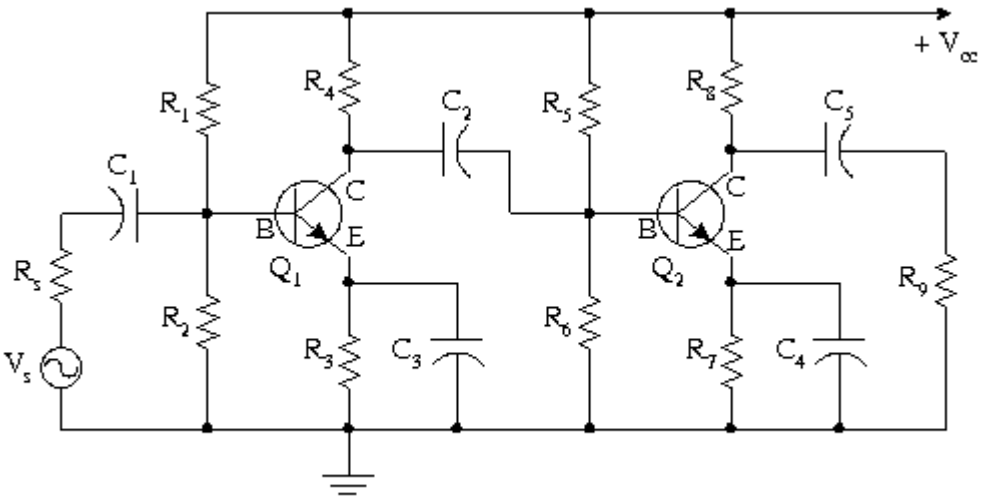
ra). Mỗi mạng được đặc trưng bởi các thông số cơ bản: trở kháng vào, trở kháng ra, độ lợi dòng, độ lợi áp,… và thông thường, các thông số này thay đổi theo điểm làm việc và theo tần số tín hiệu.

Như vậy tín hiệu ra của tầng trước đóng vai trò tín hiệu vào của tầng sau, điện trở vào của tầng sau làm nhiệm vụ tải của tầng trước. Độ lợi chung toàn thiết bị sẽ là tích của độ lợi từng tầng :

$$Av = \frac{V_{ON}}{V_{i1}} = \frac{V_{O1}}{V_{I1}} \cdot \frac{V_{02}}{V_{01}} \cdot \frac{V_{03}}{V_{02}} \cdot \cdots \frac{V_{on}}{V_{on-1}} = A_{V1} \cdot A_{V2} \cdots A_{Vn}$$

Linh kiện thực hiện sự ghép tầng có thể là tụ điện, điện cảm, biến áp, … Dưới dây sẽ khảo sát từng dạng ghép.

6.1 Ghép điện trở - điện dung



Hình 2.29: Mạch khuếch đại ghép 2 tầng dùng cách ghép RC

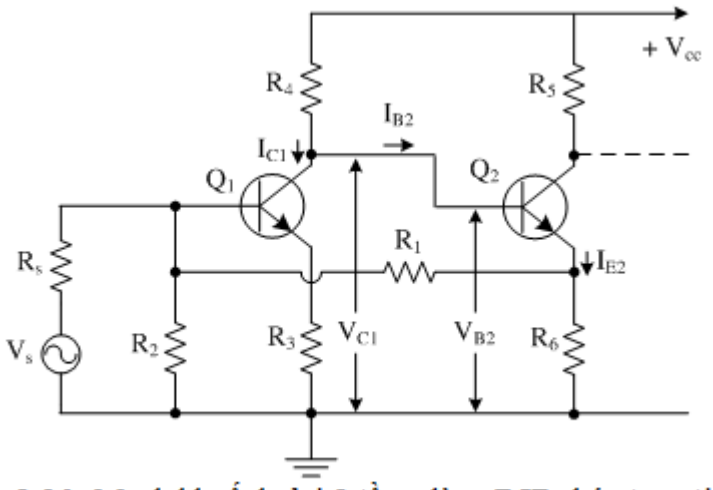
Kiểu ghép này có chế độ tĩnh của các tầng độc lập với nhau.

Việc khảo sát bộ khuếch đại nhiều tầng (xác định điểm tĩnh, tính các thông số cơ bản…) sẽ tiến hành lần lượt cho từng tầng, theo tứ tự từ sau ra trước. Để tính toán thông số xoay chiều của các tầng khuếch đại tín hiệu nhỏ, ta vẫn dùng phương pháp quen thuộc: đầu tiên, xét ở phạm vi tần số trung bình, lập sơ đồ tương đương đơn giản hoá (coi các tụ nối tầng như ngắn mạch, bỏ qua các điện dung ký sinh…) rồi tính ra các

thông số cần thiết. Sau đó xét cho phạm vi tần số thấp (trở kháng các tụ không còn lớn) và phạm vi tần số cao (xét với vai trò các tụ ký sinh và sự thay đổi theo tần số của các tham số transistor như α, β…).

6.2 Ghép trực tiếp

Để khuếch đại các tín hiệu một chiều hoặc tần số rất thấp (tín hiệu biến thiên chậm) không thể ghép tầng bằng tụ điện hoặc biến áp mà người ta nối trực tiếp ngõ ra tầng trước với ngõ vào tầng sau. Trên hình 2.30 là một ví dụ về kiểu ghép này.



Hình 2.30: Mạch khuếch đại 2 tầng dùng BJT ghép trực tiếp

Chế độ tĩnh của các tầng liên quan với nhau. Hiện tượng không ổn định điểm làm việc của tầng này sẽ gây ra sự xê dịch điểm làm việc của tầng kia và do đó làm thay đổi điện áp ra. Vì vậy người ta thường thực hiện hồi tiếp để hạn chế "sự trôi điểm tĩnh" vừa nêu.

Trên mạch ở hình 2.30, R_3 R_6 là các điện trở ổn định dòng tĩnh của từng transistor (hồi tiếp âm dòng điện nối tiếp). Dòng emitter của Q_2 gây nên điện áp một chiều trên R_6. Chính điện áp này phân cực cho Q_1 (thông qua bộ phận áp $R_1 – R_2$).

Cách phân cực nhờ hồi tiếp từ Q_2 về Q_1 như vậy sẽ tự động ổn định dòng tĩnh của các transistor. Thật vậy, do bản chất của transistor, khi nhiệt độ môi trường tăng thì các tham số I_{CEO}, I_{CBO}, α, β, … sẽ tăng khiến dòng I_C, I_E tăng và điểm làm việc mất ổn định. Đối với hình 2.30, nếu nhiệt độ làm việc I_{E2} tăng thì điện áp trên R_6 tăng, do đó (thông

qua nhân áp R_1 - R_2) điện áp phân cực cho Q_1 sẽ tăng và dòng I_{C1} tăng. Nhưng do ghép trực tiếp:

$$V_{B2} = V_{C1} = V_{CC} - (I_{C1} + I_{B2}) R_4$$

Cho nên khi I_{C1} tăng thì V_{B2} giảm. Điện áp phân cực này giảm sẽ làm I_{E2} và I_{C2} giảm, nghĩa là hạn chế sự tăng dòng tĩnh của Q_2 do nhiệt độ gây ra.

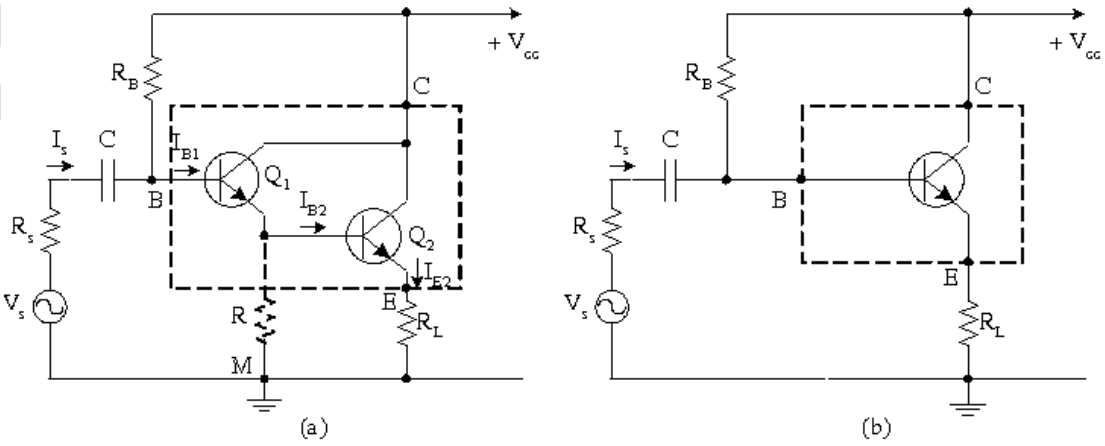
Như vậy mạch ghép trực tiếp có hồi tiếp trên đây có điểm làm việc khá ổn định. Đồ lợi áp của mạch cũng khá cao. Dễ dàng chứng minh được rằng:

Khi $R_4 >> R_{i2}$ thì: $A_V \approx h_{fE1}\, h_{fE2} \dfrac{R_{L2}}{R_{i1}}$

Trong đó R_{L2} là tải của tầng Q_2, R_{i1} là điện trở vào của tầng Q_1.

6.3 Ghép Darlington

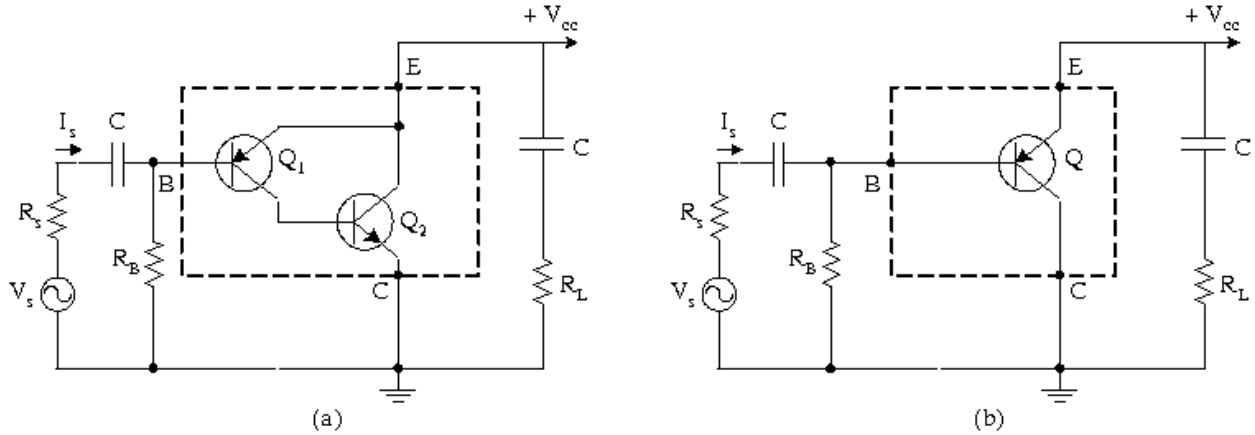
Để nâng cao hệ khuếch đại và điện trở vào, nhiều khi người ta ghép hai (hoặc ba) transistor như hình 2.31a. Tổ hợp này đóng vai trò như một transistor N-P-N (hình 2.31b), gọi là transistor phức hợp hoặc transistor ghép Darlington. Tải R_L thường mắc ở cực E và do đó, trên hình 2.31, transistor phức hợp hoạt động như một tầng khuếch đại mắc C.C.



Hình 2.31: Mạch khuếch đại dùng BJT ghép Darlington

Người ta cũng có thể ghép trên transistor P-N-P với một transistor N-P-N như hình 2.32a. Tổ hợp này đóng vai trò như một transistor loại P-N-P (hình 2.32b). Như vậy, trong

cách ghép phức hợp, transistor Q_1 đóng vai trò quyết định loại dẫn điện (N-P-N hay P-N-P) của transistor phức hợp, còn Q_2 chỉ làm nhiệm vụ khuếch đại dòng ra.



Hình 2.32: Ghép Darlington để tạo transistor P - N - P

Hãy xét mạch hình 2.31a làm ví dụ. Tầng Q_2, mắc C.C, có điện trở vào khá lớn:

$$R_{i2} = h_{iE2} + (1+h_{fE2})\, R_L \approx h_{fE2}\, R_L$$

Độ lợi dòng :

$$A_{i2} = \frac{I_{E2}}{I_{B2}} = 1 + h_{fE2} \approx h_{fE2}$$

Áp dụng mạch tương đương của BJT mắc C.C, ta vẽ được một sơ đồ tương đương xoay chiều của tầng Q_1. Điện trở vào của transistor phức hợp (nhìn từ cực B_1), xác định theo:

$$r_i = h_{iE1} + (h_{fE1}+1)\left(\frac{1}{h_{OE1}} // R_{i2}\right) \approx h_{fE1}\left(\frac{1}{h_{OE1}} // R_{i2}\right) = h_{fE1}\frac{R_{i2}}{1+R_{i2}h_{OE1}}$$

Ở đây do R_{i2} khá lớn nên không thể bỏ qua vai trò mắc song song của $\frac{1}{h_{OE1}}$ thay giá trị gần đúng của của R_{i2} ta có:

$$r_i \approx h_{fE1} \cdot h_{fE2} \frac{R_L}{1+h_{fE2} \cdot h_{OE1} R_L}$$

Khi $h_{fE2} . h_{OE1} \quad R_L << 1$ thì:

$$R_i \approx h_{fE1} . h_{fE2} . R_L$$

Điện trở vào của mạch hình 2.31, kể đến cả vai trò R_B:

$$R_i = (R_B // r_i)$$

Do r_i rất lớn nên trị số R_B đóng vai trò quyết định.

Độ lợi dòng của tầng Q_1

$$A_{i1} = \frac{I_{E1}}{I_S}$$

Trong đó:

$$I_{E1} = (1+h_{fE1})I_{B1}$$

Còn I_S xác định từ điện áp vào:

$$V_i = I_S (R_B // r_i) = I_{B1}R_i$$

Cho nên: $$I_S = \frac{I_{B1}r_i}{(R_B \| r_i)} = I_{B1} \cdot \frac{R_B + r_i}{R_B}$$

$$\Rightarrow A_{i1} = \frac{(1+h_{fE1})R_B}{R_B + r_i}$$

Do đó độ lợi dòng cả toàn mạch:

$$A_i = A_{i1} . A_{i2} = (1+h_{fE2}) \frac{R_B}{R_B + r_i} \approx h_{fE1}.h_{fE2} \frac{R_B}{R_B + r_i}$$

Nếu bỏ qua tác dụng phân dòng của R_B thì độ lợi dòng của transistor phức hợp sẽ là:

$$A_i \approx h_{fE1} h_{fE2}$$

Độ lợi áp xác định tương tự như BJT mắc C.C:

$$A_V \approx 1$$

BM ĐTVT

CHƯƠNG V: KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

1. Khái niệm về khuếch đại tín hiệu biến thiên chậm

Các dạng mạch khuếch đại ghép RC mà ta đã khảo sát ở chương 3 được ứng dụng trong các mạch khuếch đại tín hiệu xoay chiều, tần số thấp nhất cũng trên 1Hz. Trong thực tế còn có những tín hiệu tần số dưới 1Hz, gọi là tín hiệu biến thiên chậm, như: tín hiệu cảm biến từ sự biến thiên nhiệt độ, biến thiên độ ẩm, biến thiên mực chất lỏng, biến thiên cường độ ánh sáng, phản ứng hoá điện, dòng điện sinh học … Các tín hiệu biến thiên chậm có thể xem như tín hiệu một chiều (DC).

Bộ khuếch đại tín hiệu biến thiên chậm nói chung có những đặc điểm sau:

- Tín hiệu có tần số thấp nhất, xem như tín hiệu DC.

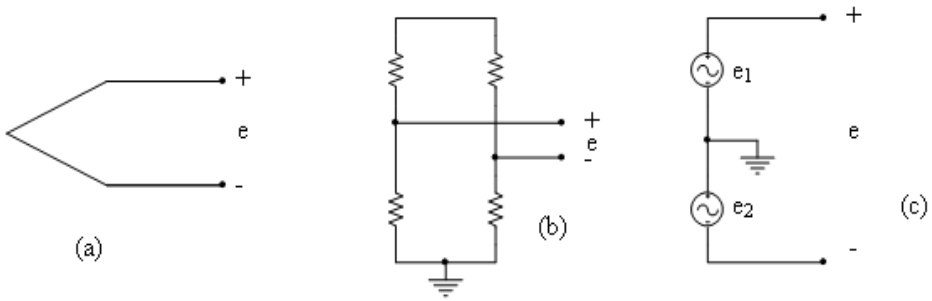
- Có ngõ vào đối xứng (các nguồn phát tín hiệu biến thiên chiên chậm thường có dạng đối xứng – Hình 4.1)

- Hệ số khuếch đại rất cao (nguồn phát tín hiệu biến thiên chậm thường có biên độ rất bé, từ vài µV đến vài chục µV)

- Khả năng chống nhiễu tốt.

- Áp phân cực ngõ vào và ngõ ra bằng không để dễ chuẩn hóa (khi chưa có tín hiệu, điện áp tĩnh bằng zero).

- Phân cực phải rất ổn định, không bị trôi theo nhiệt độ (nếu không sẽ gây sai số ở ngõ ra). Đây là điều kiện rất quan trọng của mạch khuếch đại DC.



Hình 4.1: a,b: Các cảm biến nhiệt tạo tín hiệu đối xứng
c: Mô hình mạch điện nguồn tín hiệu đối xứng

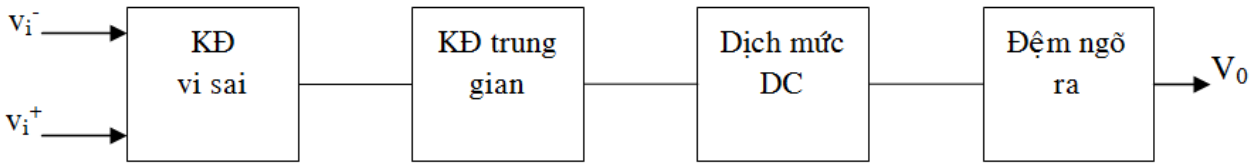
2. Giới thiệu về bộ khuếch đại thuật toán

2.1 Giới thiệu chung về bộ khuếch đại thuật toán

Khuếch đại thuật toán (KĐTT), còn gọi là OPAMP (viết tắt từ Operational Amplifier), là một khuếch đại DC có hệ số khuếch đại A_V rất cao và thường được chế tạo dưới dạng tích hợp (IC: Integrated Circuit).

KĐTT vốn được dùng để thực hiện các thuật toán trong máy tính tương tự cho nên có tên gọi như vậy. Ngày nay, KĐTT được ứng dụng trong rất nhiều lĩnh vực khác nhau, với tầm tần số rất rộng, từ DC đến hàng GHz .

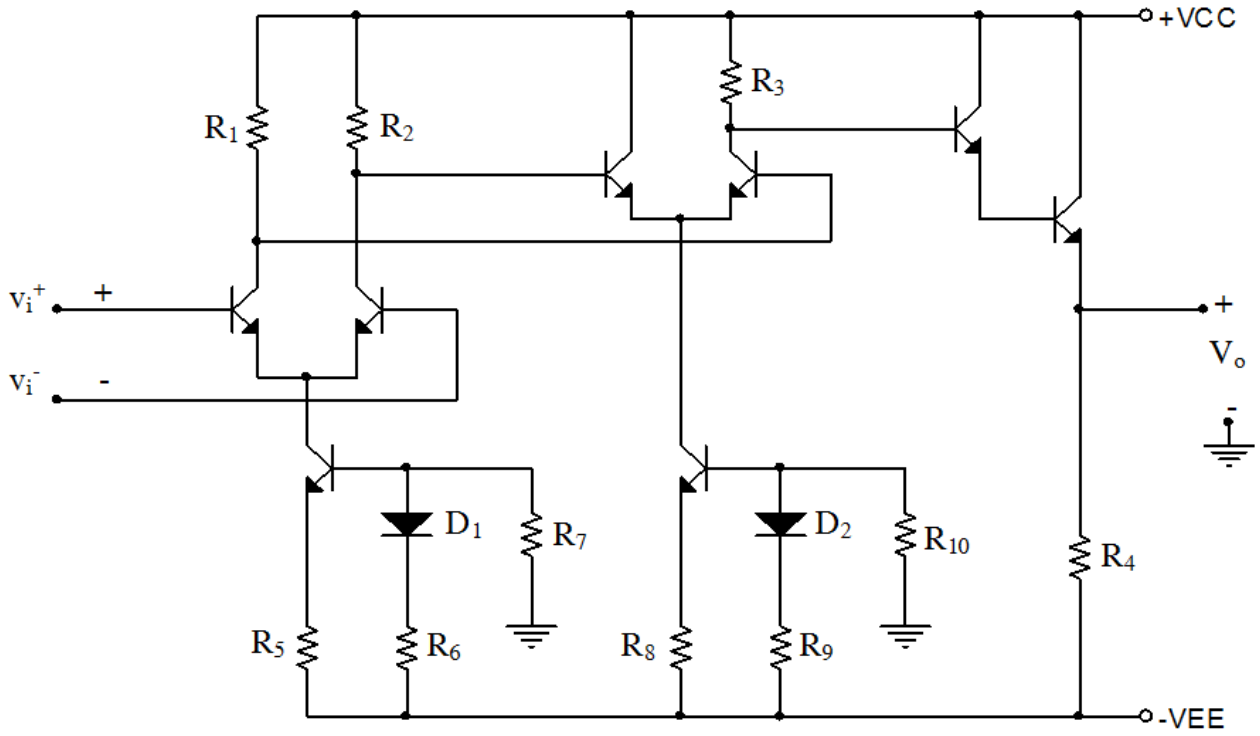
Cấu trúc cơ bản của một bộ KĐTT như hình 4.2. Ngõ vào là tầng khuếch đại vi sai; tiếp theo là tầng khuếch đại trung gian (có thể là tầng đệm hoặc khuếch đại vi sai), tầng dịch mức DC để đặt mức phân cực DC ở ngõ ra; cuối cùng là tầng đệm để khuếch đại dòng và có trở kháng ra thấp, tạo tín hiệu bất đối xứng ở ngõ ra. Các tầng khuếch đại đều ghép trực tiếp với nhau.



Hình 4.2: Sơ đồ khối của một bộ khuếch đại thuật toán

Hình 4.3 giới thiệu về chi tiết của một bộ khuếch đại thuật toán. Cặp transistor Q_1 và Q_2 tạo thành một khuếch đại vi sai ở ngõ vào. Tín hiệu ra từ cực C của Q_1 và Q_2 được đưa đến cực B của Q_3 và Q_4. Cặp transistor này tạo thành mạch khuếch đại vi sai thứ hai.

Tín hiệu ra lấy từ trên cực C Q_4, đưa vào cực B Q_5. Q_5 và Q_6 tạo thành mạch ghép Darlington để dịch mức DC, tăng hệ số khuếch đại dòng và với kiểu mắc C chung để có trở kháng ra thấp. Tín hiệu ra lấy trên R_4, điện trở phân cực E của Q_6 Q_7 là nguồn dòng cho cặp vi sai Q_1 và Q_2. R_7, R_6, D_1 và R_5 tạo thành mạch phân cực và ổn định nhiệt cao Q_7. Tương tự, mạch phân cực và ổn định nhiệt cho Q_8 gồm R_{10}, R_9, D_2 và R_8.

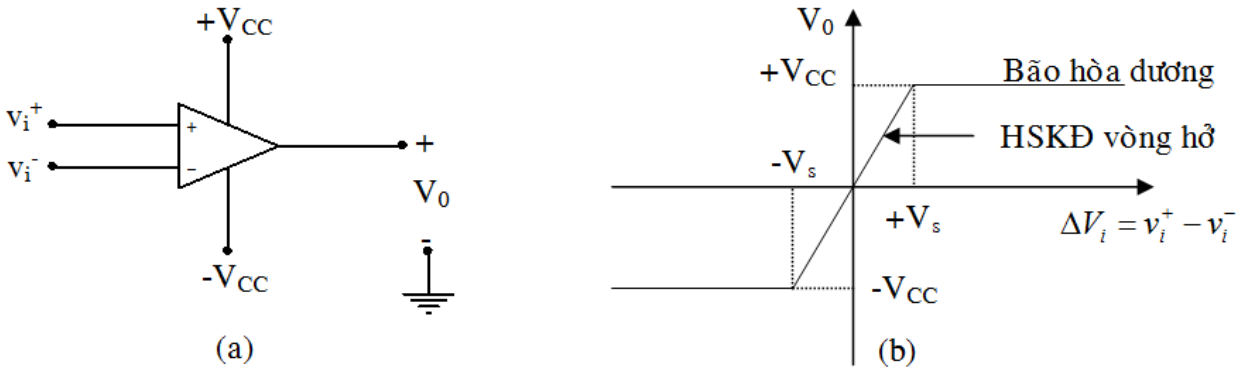


Hình 4.3: Mạch cụ thể của một bộ KĐTT

Điện áp ra V_o cùng dấu (hoặc cùng pha) với điện áp vào trên điện cực B Q_2. Vì vậy hai ngõ vào này theo thứ tự gọi là ngõ vào không đào (hoặc ngõ vào thuận, ký hiệu :dấu +) và ngõ vào đảo (ký hiệu: dấu -)

2.2 Đặc tính và các thông số của một bộ khuếch đại lý tưởng

Hình 4.4a minh họa ký hiệu của một bộ KĐTT thông dụng. Ta thấy có hai ngõ vào (ngõ vào đảo có điện áp V_i^-, ngõ vào không đảo có điện áp V_i^+) một ngõ ra (có điện áp V_o), và nguồn cấp điện $\pm V_{CC}$. Trạng thái ngõ ra không có mạch hối tiếp về ngõ vào như ở h. 4.4a gọi là trạng thái vòng hở. Hệ số khuếch đại điện áp của KĐTT trong trạng thái đó, ký hiệu A_{vo}, được gọi là hệ số khuếch đại vòng hở (Opened – loop gain).



Hình 4.4: Ký hiệu và đặc tính truyền đạt điện áp vòng hở của một bộ KĐTT

Ta có đáp ứng tín hiệu ra V_o theo các cách đưa tín hiệu vào như sau:

- Đưa tín hiệu vào ngõ vào đảo: $V_o = - A_{vo}\ V_i^-$

- Đưa tín hiệu vào ngõ vào không đảo: $V_o = A_{vo}\ V_i^+$

- Đưa tín hiệu vào đồng thời cả hai ngõ (gọi là tín hiệu vào vi sai)

$V_o = A_{vo}\left(V_i^+ - V_i^-\right) = A_{vo}\Delta V_i$. Ở trạng thái tĩnh, $V_i^+ = V_i^- = 0$, suy ra $V_o = 0$.

Hình 4.4b minh họa đặc tuyến truyền đạt điện áp vòng hở của KĐTT. Theo đặc tuyến này, có 3 vùng làm việc:

- Vùng khuếch đại: $V_o = A_{vo}\ \Delta_{I,}$

$\Delta V_i = V_i^+ - V_i^-$ nằm trong khoảng $\pm V_S$

- Vùng bão hòa dương: $V_o = + V_{CC}$, $\Delta V_i > V_S$

- Vùng bão hòa âm: $V_o = - V_{CC}$, $\Delta V_i < - V_S$

$\pm V_S$ là các mức ngưỡng của điện áp vào, giới hạn phạm vi mà quan hệ $V_o\ (\Delta V_i)$ còn là tuyến tính. Các KĐTT thường có V_S khoảng từ vài chục μV đến vài trăm μV.

** Một bộ KĐTT lý tưởng có các thông số cơ bản như sau*:

- Hệ số khuếch đại vòng hở: $A_{VO} \to \infty$ (thực tế $A_{VO} > 10.000$)

- Tổng trở vào $R_i \to \infty$ (loại BJT $R_i > 1\ M\Omega$, loại FET $R_i > 10^9\ \Omega$)

- Tổng trở ra $R_O \approx 0$ (thường $R_O < 1\Omega$)

- Dòng phân cực ngõ vào: $I_{ib} = 0$ (thực tế I_{ib} từ vài chục nA đến hàng trăm nA)

Để đơn giản trong việc lập các công thức tính toán ở phần sau, ta xem bộ KĐTT là lý tưởng.

Các công thức tính chỉ là gần đúng nhưng kết quả khá chính xác, thường được áp dụng trong thực tế.

3. Các mạch ứng dụng cơ bản của khuếch đại thuật toán

3.1 Mạch khuếch đại đảo pha

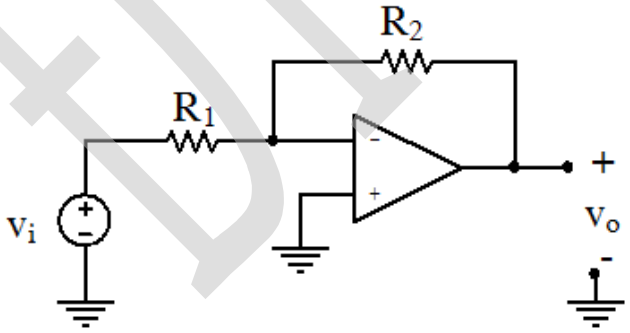
Tín hiệu ra đảo pha với tín hiệu vào. Do $R_i \to \infty$, $I_i \approx 0$ nên $V_i^+ = V_i^- \approx 0$.

Từ đó, dòng qua R_1:

$$I = \frac{V_i}{R_1} = -\frac{V_O}{R_2}$$

- Hệ số khuếch đại:

$$Av = \frac{V_O}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$



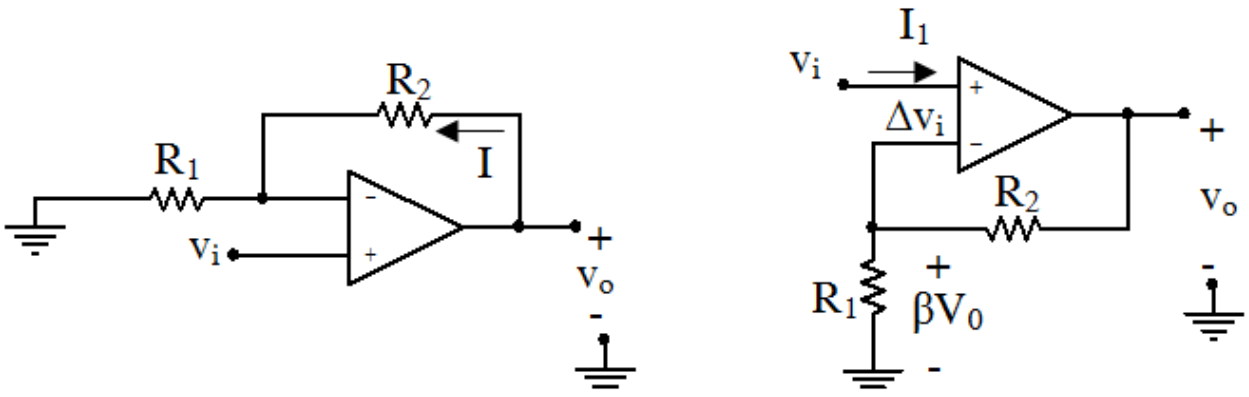
Hình 4.5: Mạch khuếch đại đảo pha

- Tổng trở vào:

$$Zi = \frac{V_i}{I} \approx R_1$$

3.2 Mạch khuếch đại không đảo

Tín hiệu ra đồng pha với tín hiệu vào.



Hình 4.6: Mạch khuếch đại không đảo (a) và mạch tương đương để tính tổng trở vào (b)

- Hệ số khuếch đại:

Do nội trở $R_i \to \infty$, $I_i \approx 0$ nên dòng qua R_1, R_2 là bằng nhau

$$I = \frac{V_i}{R_1} = \frac{V_O}{R_1 + R_2}$$

Mặt khác, coi $V_i^- \approx V_i^+ = V_i$. Từ đó rút ra:

$$Av = \frac{V_O}{V_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

- Tổng trở vào: Để tính Z_i vẽ lại mạch như hình 4.6b

$V_i = \Delta V_i + \beta V_o$,

Với $\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{A_V}$

$V_o = A_{Vo}\ \Delta V_i$

$\Delta V_i = I_i R_i$.

R_i: Tổng trở bộ KĐTT

Thay vào biểu thức V_i

$$V_i = I_i R_i + \frac{A_{VO}}{A_V} I_i R_i$$

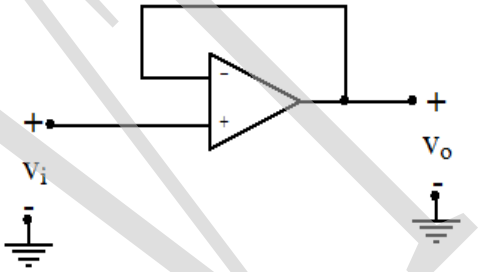
$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} = R_i\left(1+\frac{A_{VO}}{A_V}\right)$$

Vậy mạch này có tổng trở vào rất lớn.

3.3 Mạch đệm

- Hệ số khuếch đại: Với mạch điện áp, ta có hồi tiếp âm điện áp 100%:$V_o = V_i$. Do đó:

$$A_V = \frac{V_O}{V_i} = 1$$



Hình 4.7: Mạch đệm

- Tổng trở vào: $Z_i = R_i (1+A_{VO})$

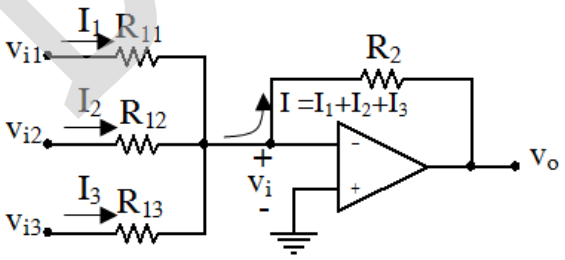
3.4 Mạch cộng đảo dấu

Dùng phương pháp xếp chồng, lần lượt tính V_{o1}, V_{o2}, V_{o3} theo các kích thích ngõ vào độc lập I_1, I_2, I_3 do V_{o1}, V_{o2}, V_{o3} tạo ra như khuếch đại đảo dấu.

$$V_{o1} = -\frac{R_2}{R_{11}} V_{i1}$$

$$V_{o2} = -\frac{R_2}{R_{12}} V_{i2}$$

$$V_{o3} = -\frac{R_2}{R_{13}} V_{i3}$$



Hình 4.8: Mạch cộng đảo dấu

Từ đó:

$$V_o = V_{o1} + V_{o2} + V_{o3} = -\left(\frac{R_2}{R_{11}} V_{i1} + \frac{R_2}{R_{12}} V_{i2} + \frac{R_2}{R_{13}}\right)$$

Nếu chọn $R_{11} = R_{12} = R_{13} = R_1$ thì:

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1}(V_{i1} + V_{i2} + V_{i3})$$

Các công thức trên có thể được mở rộng đến n ngõ vào tùy ý.

3.5 Mạch cộng không đảo dấu

Tương tự như mạch khuếch đại không đảo, V_i là xếp chồng hai tín hiệu V_{i1} và V_{i2}.

Giả sử $V_{i2} = 0$, ta tìm được điện áp ra V_{o1} tương ứng với V_{i1}:

$$V_{o1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times \left(\frac{R_{12}}{R_{11} + R_{12}}\right) V_{i1}$$

Tương tự, khi $V_{i1} = 0$ ta tìm được V_{o2} tương ứng với V_{i2}:

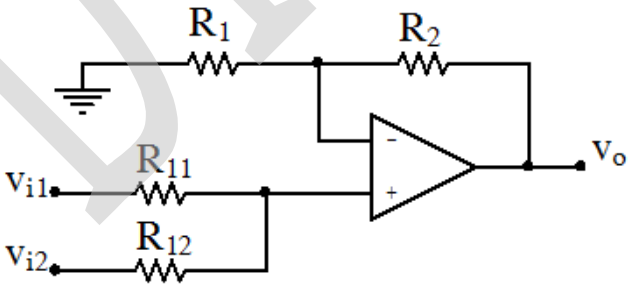
$$V_{o2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) x \left(\frac{R_{11}}{R_{11} + R_{12}}\right) V_{V2}$$

Vậy khi có cả V_{i1}, V_{i2} và giả thiết $R_{11} = R_{12}$ thì:

$$V_o = V_{o1} + V_{o2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\left(\frac{V_{i1} + V_{i2}}{2}\right)$$

Nếu có $R_{11} = R_{12} = R_1 = R_2$ thì:

$$V_o = V_{o1} + V_{o2} = V_{i1} + V_{i2}$$



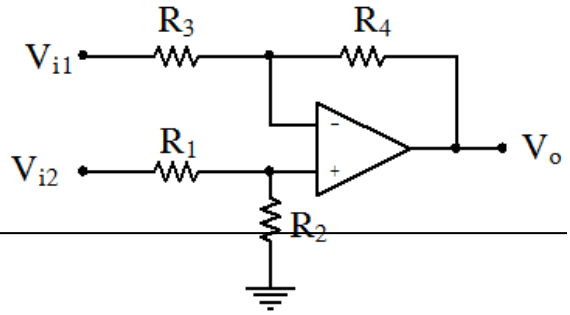
Hình 4.9: Mạch cộng không đảo dấu

Công thức trên có thể được mở rộng đến n ngõ vào tùy ý.

3.6 Mạch khuếch đại vi sai (mạch trừ)

Theo hình 4.10, V_{i1} áp ngõ vào đảo, V_{i2} áp vào ngõ vào không đảo. Áp dụng phương pháp xếp chồng cho từng kích thích ngõ vào, ngắn mạch ngõ vào còn lại, ta được:

$$V_{o1} = -\frac{R_4}{R_3} V_{i1}$$



Hình 4.10: Mạch khuếch đại vi sai (mạch trừ)

$$V_{o2} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)\left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)V_{i2}$$

$$V_o = V_{o2} + V_{o1} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)\left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)V_{i2} - \frac{R_4}{R_3}V_{i1}$$

Nếu ta chọn $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ thì:

$$V_o = V_{i2} - V_{i1}$$

4. Các ứng dụng tạo hàm của khuếch đại thuật toán

4.1 Mạch tích phân

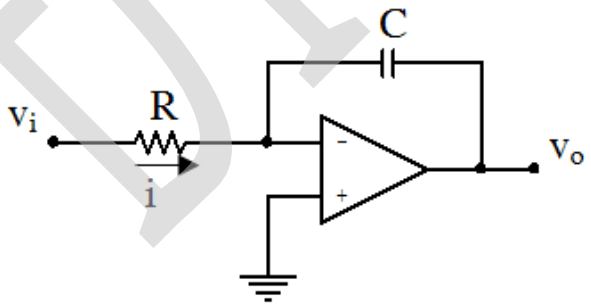
Coi điện thế tại điểm A xấp xỉ bằng không. Do đó điện áp đặt lên hai đầu tụ C là $-V_o$. Từ đó:

$$i = -C\frac{dV_O}{dt}$$

Mặt khác: $i = \frac{V_i}{R}$

Suy ra: $V_o = -\frac{1}{C}\int i dt$

Hay $V_o = -\frac{1}{RC}\int V_i dt$



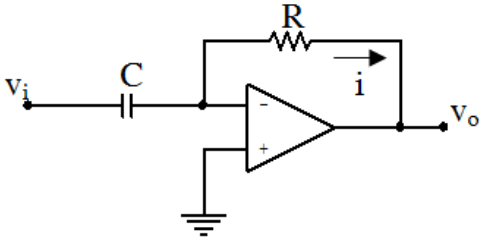
Hình 4.11: Mạch tích phân

4.2 Mạch vi phân

Do điện thế điểm A xấp xỉ bằng không nên

$$i = C\frac{dV_i}{dt}$$

Mặt khác: $i = -\frac{V_O}{R}$



Hình 4.12: Mạch vi phân

Suy ra: $V_O = - RC \frac{dV_i}{dt}$

BM ĐTVT

CHƯƠNG VI: CÁC MẠCH SỐ CƠ BẢN

1.1.1. Các hệ thống số

1.2. Khái niệm

Hệ thống tương tự: bao gồm các thiết bị được thiết kế để điều khiển một thông tin hay một thông số vật lý và được biểu diễn dưới dạng tương tự.

Hệ thống số: là một tập hợp các thiết bị được thiết kế để điều khiển một thông tin hay một thông số vật lý và được biểu diễn dưới dạng số.

1.3. Ưu điểm của hệ thống số

- Dễ dàng thiết kế
- Dễ dàng lưu trữ thông tin
- Độ chính xác cao
- Dễ dàng lập trình
- Ít bị ảnh hưởng của nhiễu
- Có thể được tích hợp với mật độ cao trong các chip tích hợp có kích thước nhỏ

1.4. Nhược điểm của hệ thống số

Vì thế giới thực xung quanh ta là thế giới tương tự nên muốn có được các ưu điểm của kỹ thuật số khi phải làm việc với các tín hiệu vào và tín hiệu ra tương tự, cần phải chuyển đổi tín hiệu từ tương tự-sang-số và ngược lại theo các bước sau:

- Chuyển đổi các tín hiệu vào tương tự thành dạng số.
- Xử lý trên các thông tin số.
- Chuyển đổi tín hiệu số ngõ ra thành dạng tương tự.

Điều này làm tăng tính phức tạp của hệ thống, tăng thời gian truyền tín hiệu và tăng giá thành của hệ thống,…

1.5. Các hệ thống đếm

Một số trong hệ thống số được tạo ra từ một hoặc nhiều ký số (digit), cụ thể bao gồm 2 phần: phần nguyên và phần lẻ, được cách nhau bằng một dấu chấm cơ số (radix).

- Trọng số (*weight*) của mỗi ký số phụ thuộc vào vị trí của ký số đó.

$$\text{Trọng số} = \text{Cơ số}^{\text{Vị trí}}$$

- Vị trí của ký số được đánh thứ tự từ 0 cho số hàng đơn vị, thứ tự này được tăng thêm 1 cho ký số bên trái và giảm đi 1 cho ký số bên phải.
- Giá trị của số được tính bằng tổng của các tích trọng số với ký số.

$$\text{Giá trị} = \sum(\text{Ký số} \times \text{Trọng số})$$

1.5.1. *Hệ thập phân (decimal)*

Có cơ số là 10, sử dụng 10 ký số: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Ký số ở tận cùng bên trái được gọi là ký số có trọng số lớn nhất – MSD (Most Significant Digit), ký số ở tận cùng bên phải được gọi là ký số có trọng số nhỏ nhất – LSD (Least Significant Digit).

Ví dụ: $123,4 = 1.10^2 + 2.10^1 + 3.10^0 + 4.10^{-1} = 1.100 + 2.10 + 3.1 + 4.0,1 = 123,4$

Ta thường thêm ký hiệu D (Decimal) hoặc 10 ở dạng chỉ số dưới vào đằng sau để phân biệt số thập phân với các hệ thống số đếm khác.

Ví dụ: $123,4D$ hoặc $123,4_{10}$

1.5.2. Hệ nhị phân (binary)

Có cơ số là 2, sử dụng 2 ký số: 0, 1

Ký số của hệ nhị phân được gọi là bit (= binary digit).

Bit ở tận cùng bên trái được gọi là bit có trọng số lớn nhất – MSB (Most Significant Bit), bit ở tận cùng bên phải được gọi là bit có trọng số nhỏ nhất – LSB (Least Significant Bit).

Số nhị phân được ký hiệu bởi ký tự B hoặc số 2 dưới dạng chỉ số dưới.

Ví dụ: 1101,01B hoặc $1101,01_2$

- ***Chuyển đổi giữa hệ nhị phân và hệ thập phân***

+ *Hệ nhị phân →Hệ thập phân*

Tính giá trị của số nhị phân cần chuyển.

Ví dụ: $1101,01B= 1.2^3 + 1.2^2 + 0.2^1 + 1.2^0 + 0.2^{-1} + 1.2^{-2} = 8 + 4 + 0 + 1 + 0 + 0,25 = 13,25$

+ *Hệ thập phân →Hệ nhị phân*

~ Phần nguyên: chia liên tục cho 2 cho đến khi thương số bằng 0, lấy dư số của các phép chia sắp xếp theo thứ tự ngược lại ta được số nhị phân tương ứng.

Ví dụ: đổi 1910 sang hệ nhị phân

```
19  (2
 1   9  (2
        1   4  (2
               0   2  (2
                      0   1  (2
                             1   0
```

$19_{10} = 10011_2$

~ Phần lẻ: nhân liên tục với 2, sau mỗi lần nhân lấy đi số phần nguyên, tiếp tục cho đến khi kết quả bằng 0 hoặc đạt được độ chính xác yêu cầu.

Ví dụ: đổi $0,25_{10}$ sang hệ nhị phân

0,25 x 2 = 0,5 →lấy bit 0

0,5 x 2 = 1,0 →lấy bit 1

$\rightarrow 0,25_{10} = 0,01_2$

Ví dụ: đổi 0,69D sang hệ nhị phân

0,69 x 2 = 1,38 →

0,38 x 2 = 0,76

0,76 x 2 = 1,52

0,52 x 2 = 1,04

0,04 x 2 = 0,08

…

→0,69D = 0,10110B

- Một số tính chất của số nhị phân:

+ Số nhị phân N bit có tầm giá trị từ 0 ÷ (2N - 1)

+ Số nhị phân chẵn (chia hết cho 2) có LSB = 0

+ Số nhị phân lẻ (không chia hết cho 2) có LSB = 1

+ Bit còn được dùng để làm đơn vị đo lường thông tin

- ***Các bội số của bit là:***

1 byte = 8 bit

1 KB (kilobyte) = 2^{10} byte = 1024 byte

1 MB (megabyte) = 2^{10} KB

1 GB (gigabyte) = 2^{10} MB

1.5.3. Hệ bát phân (octal)

Có cơ số là 8, sử dụng 8 ký số: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Hệ bát phân được ký hiệu bởi ký tự O hoặc số 8 dưới dạng chỉ số dưới.

Ví dụ: 367O hoặc 367_8

- Chuyển đổi giữa hệ bát phân và hệ thập phân

+ Hệ bát phân →Hệ thập phân

Tính giá trị của số bát phân cần chuyển.

Ví dụ: $2738 = 2.8^2 + 7.8^1 + 3.8^0 = 2 \times 64 + 7 \times 8 + 3 \times 1 = 18710$

+ Hệ thập phân →Hệ bát phân

Chia liên tục cho 8 cho đến khi thương số bằng 0, lấy dư số của các phép chia sắp xếp theo thứ tự ngược lại ta được số bát phân tương ứng.

Ví dụ: đổi 57210 sang hệ bát phân

572 (8
4 71 (8
7 8 (8
0 1 (8
1 0

$572_{10} = 1074_8$

- Chuyển đổi giữa hệ bát phân và hệ nhị phân

+ *Hệ bát phân →Hệ nhị phân*

Một ký số trong hệ bát phân tương đương với 3 bit trong hệ nhị phân

Ví dụ: đổi 723_8 sang hệ nhị phân

723_8 = 111 010 011 B

+ Hệ nhị phân →Hệ bát phân

Nhóm các bit của số nhị phân thành từng nhóm 3 bit kể từ bit hàng đơn vị, rồi chuyển sang ký số bát phân tương ứng.

Ví dụ: đổi 10010111000110B sang hệ bát phân

10010111000110B = 10 010 111 000 110 B = 2 2 7 0 6 O = 22706_8

Chú ý: Hệ bát phân thường được dùng để biểu diễn "ngắn gọn" các số nhị phân.

1.5.4. Hệ thập lục phân (hecxadecimal)

Có cơ số là 16, sử dụng 16 ký số: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F

Hệ thập lục phân được ký hiệu bởi ký tự H hoặc số 16 dưới dạng chỉ số dưới.

Ví dụ: 16EH hoặc $16E_{16}$

- Chuyển đổi giữa hệ thập lục phân và hệ thập phân

+ Hệ thập lục phân →Hệ thập phân

Tính giá trị của số thập lục phân cần chuyển.

Ví dụ: 2A9H = 2.162 + 10.161 + 9.160 = 2 x 256 + 10 x 16 + 9 x 1 = 68110

+ Hệ thập phân →Hệ thập lục phân

Chia liên tục cho 16 cho đến khi thương số bằng 0, lấy dư số của các phép chia, sắp xếp theo thứ tự ngược lại ta được số thập lục phân tương ứng.

Ví dụ: đổi 11512_{10} sang hệ thập lục phân

```
11512  (16
    8   719  (16
          15   44  (16
               12   2  (16
                    2   0
```

$11512_{10} = 2CF8_{16}$

- Chuyển đổi giữa hệ thập lục phân và hệ nhị phân

+ Hệ thập lục phân →Hệ nhị phân

Một ký số trong hệ thập lục phân tương đương với 4 bit trong hệ nhị phân

Ví dụ: đổi 4B7DH sang hệ nhị phân

4B7DH = 0100 1011 0111 1101 B

HEX	Nhị phân
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001
A	1010
B	1011
C	1100
D	1101
E	1110
F	1111

+ Hệ nhị phân →Hệ thập lục phân

Nhóm các bit của số nhị phân thành từng nhóm 4 bit kể từ bit hàng đơn vị, rồi chuyển sang ký số thập lục phân tương ứng.

Ví dụ: đổi 10010111000110B sang hệ thập lục phân

10010111000110B = 10 0101 1100 0110 B = 2 5 C 6 H = $25C6_{16}$

Chú ý: Hệ thập lục phân thường được dùng để biểu diễn "ngắn gọn" các số nhị phân.

1.5.5. Cơ sở đại số BOOLE

Biến và hằng trong đại số Boole chỉ nhận một trong hai giá trị là 0 hoặc 1.

Các biến Boole (hay biến logic) thường được sử dụng để biểu diễn mức điện áp trên một dây dẫn hay tại các cực vào/ra của mạch.

Các giá trị 0 và 1 không phải là các con số thực mà chỉ biểu diễn một mức điện áp, và chúng được gọi là mức logic.

Một số kí hiệu khác cũng được sử dụng để biểu diễn hai mức logic thay cho các con số 0 và 1.

Logic 0	Logic 1
False	True
Off	On
Low	High
No	Yes
Open switch	Closed switch

*** Các phép toán cơ bản trong đại số Boole:**

a. Phép cộng logic: kí hiệu là OR, (+)

b. Phép nhân logic: kí hiệu là AND, (.)

c. Phép bù/đảo logic: kí hiệu là NOT, ($\bar{}$), (')

*** Các định lý cơ bản của đại số BOOLE**

Quan hệ giữa các hằng số

1a	0 . 0 = 0	1b	0 + 0 = 0
2a	1 . 1 = 1	2b	1 + 1 = 1
3a	0 . 1 = 1 . 0 = 1	3b	0 + 1 = 1 + 0 = 1
4a	0’ = 1	4b	1’ = 0

Các định lý của hàm 1 biến

5a	A . 0 = 0	5b	A + 1 = 1	Phần tử trung hoà
6a	A . 1 = 1 . A = A	6b	A + 0 = 0 + A = A	Đồng nhất
7a	A . A = A	7b	A + A = A	Giá trị không đổi
8a	(A’)’ = A			Lấy bù hai lần
9a	A . A’ = 0	9b	A + A’ = 1	Phần tử bù (đảo)

Các định lý của hàm nhiều biến

10a	A . B = B . A	10b	A + B = B + A	Giao hoán
11a	(A . B) . C = A . (B . C)	11b	(A + B) + C = A + (B + C)	Kết hợp

12a	A . (B + C) = (A.B) + (A.C)	12b	A + (B . C) = (A+B) . (A+C)	Phân phối
13a	A . (A + B) = A	13b	A + (A . B) = A	Hấp thu
14a	A . (A' + B) = A . B	14b	A + A' . B = A + B	Dán
15a	(A . B) + (A . B') = A	15b	(A + B) . (A + B') = A	Tổ hợp
16a	(A . B)' = A' + B'	16b	(A + B)' = A' . B'	DeMorgan

1.5.6. Các phần tử cơ bản

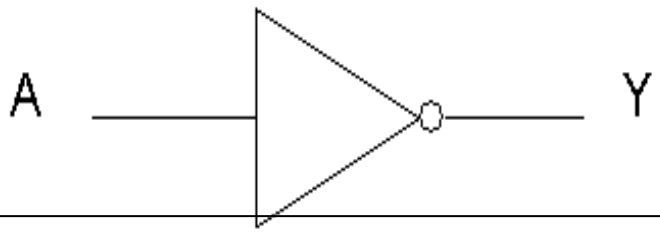
1.6. Cổng đảo – NOT

Biểu diễn: Y = NOT A hay Y = $\overline{A}$ hay Y =A'

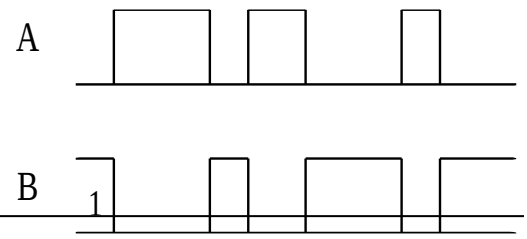
Bảng sự thật với hàm 2 biến:

A	Y= $\overline{A}$
0	1
1	0

Cổng NOT logic (cổng đảo, cổng bù):



Giản đồ xung:



1.7. Cổng và AND

Biểu diễn: Y = A AND B hay Y = A . B

Bảng sự thật với hàm 2 biến:

A	B	Y=A.B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

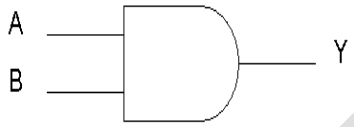
Nhận xét:

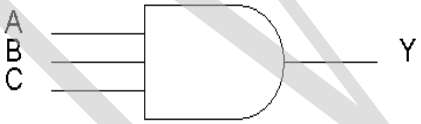
Y = 0 : khi có ít nhất một biến vào bằng 0

Y = 1: khi tất cả các biến vào đều bằng 1

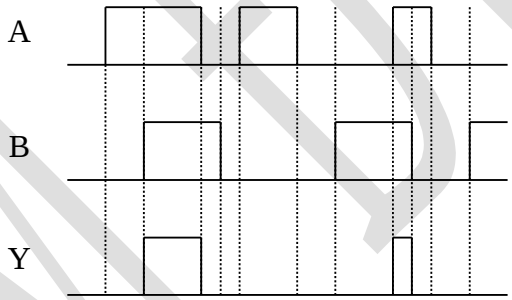
Nhận xét trên cũng đúng với trường hợp tổng quát có N biến vào độc lập.

Cổng AND logic:





Giản đồ xung:



1.8. Cổng hoặc – OR

Biểu diễn: Y = A OR B hay Y = A + B

Bảng sự thật với hàm 2 biến:

A	B	Y=A+B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Nhận xét:

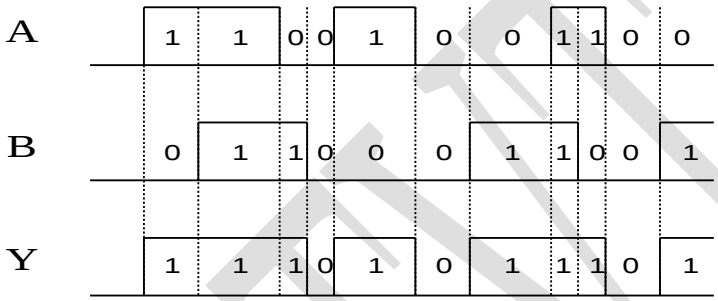
Y = 0 : khi tất cả các biến vào đều bằng 0

Y = 1: khi có ít nhất một biến vào bằng 1

Nhận xét trên cũng đúng với trường hợp tổng quát có N biến vào độc lập.

Cổng OR logic:

Giản đồ xung:



1.9. Cổng NAND (NOT AND)

Biểu diễn: Y = A NAND B hay Y = $\overline{A.B}$

Bảng sự thật với hàm 2 biến:

A	B	Y= $\overline{A.B}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Nhận xét:

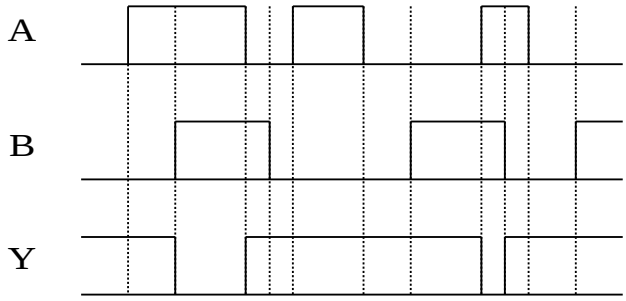
Y = 0 : khi tất cả các biến vào đều bằng 1

Y = 1: khi có ít nhất một biến vào bằng 0

Nhận xét trên cũng đúng với trường hợp tổng quát có N biến vào độc lập.

Cổng NAND logic:

Giản đồ xung:



1.10. Cổng NOR (NOT OR)

Biểu diễn: Y = A NOR B hay Y = $\overline{A+B}$

Bảng sự thật với hàm 2 biến:

A	B	Y= $\overline{A+B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Nhận xét:

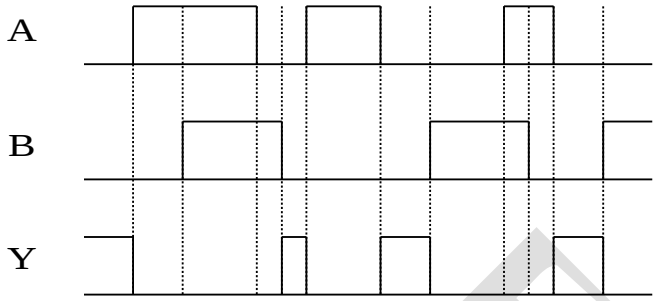
Y = 0 : khi có ít nhất một biến vào bằng 1

Y = 1: khi tất cả các biến vào đều bằng 0

Nhận xét trên cũng đúng với trường hợp tổng quát có N biến vào độc lập.

Cổng NOR logic:

Giản đồ xung:



1.11. Cổng exclusive OR(EXOR)

Biểu diễn: Y = A EX-OR B hay $Y = A.\overline{B} + \overline{A}.B = A \oplus B$

Bảng sự thật với hàm 2 biến:

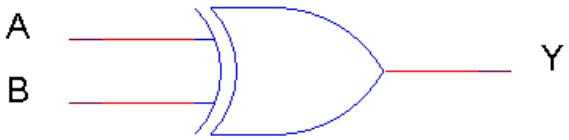
A	B	$Y = A \oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Nhận xét:

Y = 0 : khi tất cả hai biến vào có giá trị giống nhau

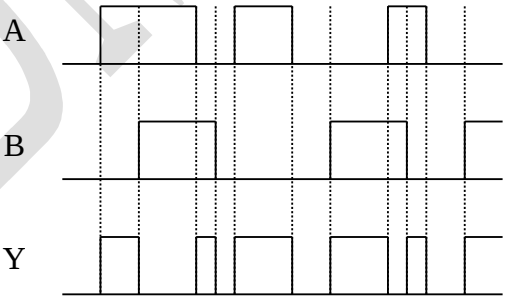
Y = 1: khi tất cả hai biến vào có giá trị khác nhau

Cổng EX-OR logic:



Lưu ý: Cổng EX-OR chỉ có 2 ngõ vào.

Giản đồ xung:



1.12. *Cổng exclusive NOR*

Biểu diễn: Y = A EX-NOR B hay $Y = A.B + \overline{A}.\overline{B} = \overline{A \oplus B} = A \sim B$

Bảng sự thật với hàm 2 biến:

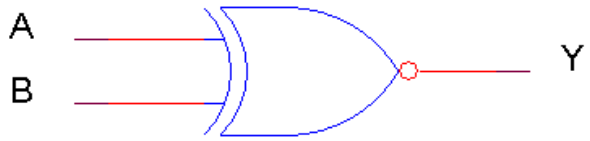
A	B	$Y = \overline{A \oplus B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Nhận xét:

Y = 0 : khi tất cả hai biến vào có giá trị khác nhau

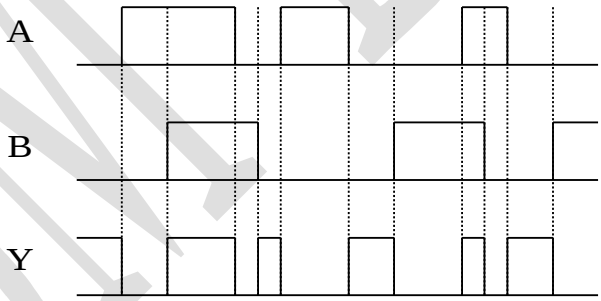
Y = 1: khi tất cả hai biến vào có giá trị giống nhau

Cổng EX-NOR logic:



Lưu ý: Cổng EX-NOR chỉ có 2 ngõ vào.

Giản đồ xung:

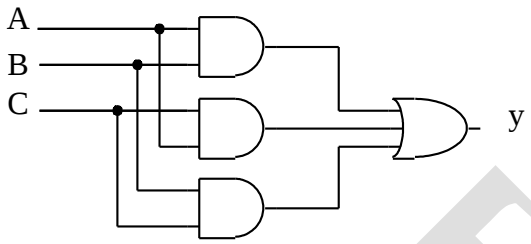


1.12.1. Các phương pháp biểu diễn hàm BOOLE

1.13. *Biểu diễn hàm Boole bằng bảng giá trị*

Để biểu diễn một hàm Boole bằng bảng sự thật, ta liệt kê 2n tổ hợp các giá trị 0 và 1 có thể có của n biến Boole và một cột chỉ ra giá trị của hàm.

Ví dụ: Lập bảng chân trị cho hàm 3 biến sau đây:



Bảng sự thật:

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

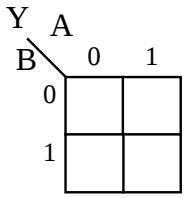
Nhận xét: Phương pháp này có ưu điểm là trực quan nhưng chỉ phù hợp với hàm dưới 5 biến.

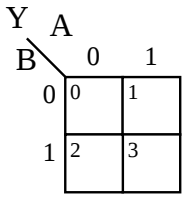
1.14. Biểu diễn hàm Boole bằng bìa Karnaugh

Bìa Karnaugh (gọi tắt là bìa K) có dạng khung vuông hay chữ nhật. Nó được chia thành 2n ô, trong đó n là số biến của hàm. Dọc theo các cạnh của bìa người ta ghi các tổ hợp trị của biến, sao cho các tổ hợp trị cạnh nhau chỉ khác nhau 1 biến. Trong các ô ghi các giá trị tương ứng của hàm.

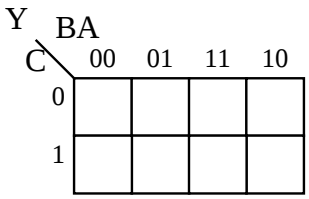
Các loại bìa K

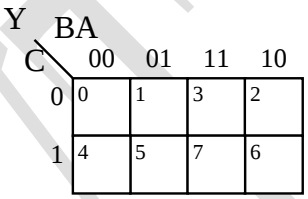
- Bìa K hàm 2 biến: Y = f(B,A)



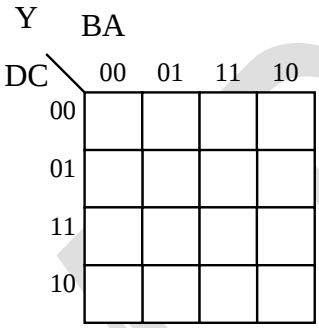


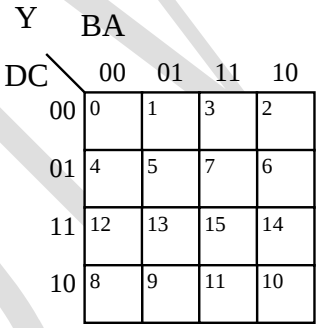
- Bìa K hàm 3 biến: Y = f(C,B,A)





- Bìa K hàm 4 biến: Y = f(D,C,B,A)





Cách điền vào bìa K

- Nếu cho một hàm F biểu diễn dưới dạng chính tắc 1 (dạng ∑) thì ta điền 1 vào các ô có thứ tự tương ứng với các minterm (hàm bằng 1), điền x vào các ô ứng với trường hợp tuỳ định và điền 0 vào các ô còn lại.

Thông thường, ta chỉ điền các giá trị 1 và x, các ô còn lại bỏ trống xem như bằng 0.

Ví dụ: Điền vào bìa K hàm F = ∑(2,3,8,11,14) + d(1,4,13)

Y / DC \ BA	00	01	11	10
00		x	1	1
01	x			
11		x		1
10	1		1	

- Nếu cho một hàm F biểu diễn dưới dạng chính tắc 2 (dạng $\prod$) thì ta điền 0 vào các ô có thứ tự tương ứng với các maxterm (hàm bằng 0), điền x vào các ô ứng với trường hợp tuỳ định và điền 1 vào các ô còn lại.

Thông thường, ta chỉ điền các giá trị 0 và x, các ô còn lại bỏ trống xem như bằng 1.

Ví dụ: Điền vào bìa K hàm F = $\prod$(0,2,6,7,13) + d(3,4,11)

Y / DC \ BA	00	01	11	10
00	0		x	0
01	x		0	0
11		0		
10	x		x	

- Nếu cho hàm Boole biểu diễn dưới dạng bảng sự thật thì ta điền 0, 1, hoặc x vào các ô có tổ hợp nhị phân trùng với tổ hợp nhị phân của bảng sự thật.

Ví du: Cho bảng sự thật sau, hãy điền vào bìa K

C	B	A	F
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	x
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	x
1	1	1	1

Y / C \ BA	00	01	11	10
0		1	1	x
1			1	x

Y / C \ BA	00	01	11	10
0	0			x
1	0	0		x

- Nếu cho hàm Boole biểu diễn dưới dạng đại số

a. Chuyển hàm Boole về dạng chính tắc 1 hoặc chính tắc 2 rồi điền vào bìa K.

Ví dụ: Cho hàm F sau, hãy điền vào bìa K

F(A,B,C,D) = AB'CD + A'BC + B'CD' + AD

F = AB'CD + A'BC(D+D') + (A+A') B'CD' + AD(B+B')(C+C')

= AB'CD + A'BCD+ A'BCD' + AB'CD'+ A'B'CD'+ ABCD+ ABC'D+ AB'CD+ AB'C'D

= AB'CD + A'BCD+ A'BCD' + AB'CD'+ A'B'CD'+ ABCD+ ABC'D+ AB'C'D

= ∑(11,7,6,10,2,15,13,9) = ∑(2,6,7,9,10,11,13,15)

Y	CD			
AB	00	01	11	10
00				1
01			1	1
11		1	1	
10		1	1	1

b. Nếu hàm Boole có dạng tổng các tích thì lần lượt xét các tích và điền 1 vào một hay nhiều ô tương ứng. Nếu tích số chứa đầy đủ các biến thì điền vào một ô, nếu tích thiếu một biến thì điền vào hai ô, …Tổng quát, nếu tích thiếu n biến thì điền vào 2n ô. Những ô nào đã điền rồi thì không cần điền nữa (do định lý A + A = A). Chú ý là biến không bù tương ứng với 1, biến bù tương ứng với 0.

Ví dụ: Cho hàm F sau, hãy điền vào bìa K

F(A,B,C,D) = ABC'D + ABD' + BC'D' +AB'

Y	CD			
AB	00	01	11	10
00				
01	1			
11	1	1		1
10	1	1	1	1

c. Nếu hàm Boole có dạng tích các tổng thì lần lượt xét các tổng và điền 0 vào một hay nhiều ô tương ứng. Nếu tổng chứa đầy đủ các biến thì điền vào một ô, nếu tổng thiếu một biến thì điền vào hai ô, …Tổng quát, nếu tổng thiếu n biến thì điền vào 2n ô. Những ô nào đã điền rồi thì không cần điền nữa (do định lý A . A = A). Chú ý là biến không bù tương ứng với 0, biến bù tương ứng với 1.

Ví dụ: Cho hàm F sau, hãy điền vào bìa K

F(A,B,C,D) = (A+B+C'+D) (A+B+D') (B+C'+D') (A+B')

Y	CD			
AB	00	01	11	10
00		0	0	0
01	0	0	0	0
11				
10			0	

1.14.1. Rút gọn hàm BOOLE bằng bìa Karnaugh

Ô kế cận: Hai ô được gọi là kế cận nhau nếu chúng nằm kế nhau hoặc đối xúng nhau qua trục. Đặc điểm của hai ô kế cận là chúng ứng với hai minterm (hoặc maxterm) chỉ khác nhau ở 1 biến.

Qui tắc:

- Ta kết hợp thành nhóm 2m ô thì loại được m biến. Biến bị loại sẽ mang giá trị thay đổi trong nhóm được kết hợp.

- Nếu kết hợp 2m ô mà hàm có giá trị bằng 1 thì hàm được viết dưới dạng tổng các tích. Trong đó biến bằng 1 được viết dưới dạng không bù, biến bằng 0 được viết dưới dạng bù.

- Nếu kết hợp 2m ô mà hàm có giá trị bằng 0 thì hàm được viết dưới dạng tích các tổng. Trong đó biến bằng 0 được viết dưới dạng không bù, biến bằng 1 được viết dưới dạng bù.

- Trong quá trình tối thiểu hóa hàm, 1 ô có thể được kết hợp nhiều lần với nhiều ô khác mà không làm thay đổi giá trị của hàm.

- Đối với hàm xác định bộ phận, ta có thể lợi dụng những ô mà hàm có giá trị tùy định mà gán giá trị thích hợp để rút gọn hàm.

Lưu ý:

+ Khi kết hợp các ô, cần ưu tiên các ô chỉ có 1 liên kết trước.

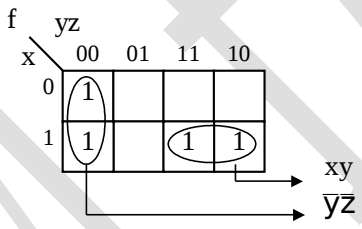
+ Khi tất cả các ô đã được kết hợp thì không cần có thêm kết hợp nào nữa.

+ Sau khi rút gọn hàm Boole bằng bìa K, có thể rút gọn biểu thức (thu được) một lần nữa bằng cách áp dụng các dịnh lý.

Ví dụ: Rút gọn hàm: $f(x,y,z) = \bar{x}\bar{y}\bar{z} + x\bar{y}\bar{z} + xy\bar{z} + xyz$

Cách 1:

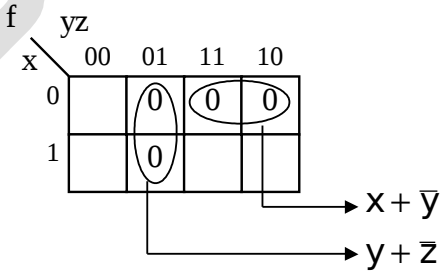
Biểu diễn hàm f bằng bìa Karnaugh:



Rút gọn hàm ta được $f = xy + \bar{y}\bar{z}$

Cách 2:

Biểu diễn hàm f bằng bìa Karnaugh:

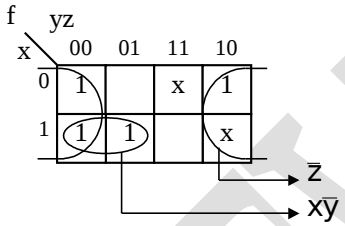


Rút gọn hàm ta được f = $(x + \bar{y})(y + \bar{z})$

Ví dụ: Rút gọn hàm:

f(x,y,z) = $\bar{x}\bar{y}\bar{z} + x\bar{y}\bar{z} + xy\bar{z} + xyz$

Biểu diễn hàm f bằng bìa Karnaugh:



Rút gọn hàm ta được f = $\bar{z} + x\bar{y}$

Một số ví dụ rút gọn hàm Boole bằng bìa K:

a. F(A, B, C) = ∑(0, 1, 2, 5)

b. F(A, B, C) = ∑(0, 2, 4, 6, 7)

c. F(A, B, C, D) = ∑(0, 1, 8, 9, 10)

d. F(A, B, C, D) = ∑(0, 1, 2, 3, 4, 9, 10, 12, 13, 14, 15)

e. F(A, B, C, D) = ∑(0, 1, 2, 3, 6, 8) + d(10, 11, 12, 13, 14, 15)

f. F(A, B, C, D) = ∑(3, 6, 8, 9, 11, 12) + d(0, 1, 2, 13, 14, 15)