

TRƯỜNG ĐẠI HỌC CNTT&TT
KHOA CÔNG NGHỆ ĐT&TT

BÀI GIẢNG

CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

*Giáo viên biên soạn: **Vũ Mạnh Thịnh***

*Giáo viên chỉnh sửa: **Đinh Văn Nam***

*Bộ môn: **Công nghệ Điện tử***

MỤC LỤC

Lời nói đầu.....	3
1. 1. Giới thiệu chung.....	4
1.2. Các loại cấu kiện điện tử.....	4
1.2.1. Phân loại dựa trên đặc tính vật lý.....	4
1.2.2. Phân loại dựa theo lịch sử phát triển của công nghệ điện tử.....	4
1.2.3. Phân loại dựa trên chức năng xử lý tín hiệu.....	5
1.2.4. Phân loại dựa vào ứng dụng của cấu kiện điện tử.....	5
1.3. Vật liệu điện tử.....	5
1.3.1. Vật liệu điện môi.....	7
1.3.2. Vật liệu dẫn điện.....	8
1.3.3. Vật liệu bán dẫn.....	9
CHƯƠNG 2. CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ THỤ ĐỘNG.....	17
2.1. Điện trở.....	17
2.1.1. Định nghĩa và ký hiệu của điện trở.....	17
2.1.2. Cách ghi và đọc các tham số trên thân điện trở.....	18
2.1.3. Phân loại và ứng dụng của điện trở.....	19
2.2. Tụ điện.....	20
2.2.1. Định nghĩa và ký hiệu của tụ điện.....	20
2.2.2. Các cách ghi và đọc tham số trên thân tụ điện.....	20
2.2.3. Phân loại và ứng dụng.....	21
2.3. Cuộn cảm.....	22
2.3.1. Định nghĩa và ký hiệu của cuộn cảm.....	22
2.3.2. Phân loại và ứng dụng của cuộn cảm.....	22
2.4. Biến áp.....	23
2.4.1. Định nghĩa và ký hiệu trong sơ đồ mạch.....	23
2.4.2. Phân loại và ứng dụng của biến áp.....	24
CHƯƠNG 3. ĐIÓT BÁN DẪN.....	27
3.1. Chuyển tiếp p-n ở trạng thái cân bằng.....	27
3.2. Chuyển tiếp p-n ở điều kiện không cân bằng.....	29
3.2.1. Đặc tính của chuyển tiếp p-n phân cực thuận.....	30
3.2.2. Phân cực ngược.....	31
3.3. Hiện tượng đánh thủng chuyển tiếp p-n.....	33
3.3.1. Hiện tượng đánh thủng chuyển tiếp p-n.....	33
3.3.2. Hiện tượng đánh thủng thác lũ.....	33
3.3.3. Hiện tượng đánh thủng xuyên hầm.....	34
3.4. Điốt bán dẫn sử dụng chuyển tiếp p-n.....	35
3.4.1. Điốt chỉnh lưu.....	35
3.4.2. Điốt Zenner.....	36
3.4.3. Điốt Tunnel và điốt ngược.....	37
CHƯƠNG 4. TRANSISTOR BÁN DẪN.....	44
4.1. Tranzitor lưỡng cực.....	44
4.1.1. Cấu tạo, nguyên lý làm việc và các thông số cơ bản của tranzito lưỡng cực.....	44
4.1.2. Các đặc trưng tĩnh của transistor lý tưởng.....	47
4.1.3. Các chế độ làm việc của transistor lưỡng cực.....	49

4.1.4. Phân cực và ổn định điểm công tác tĩnh của transistor.....	52
CHƯƠNG 5. CÁC LINH KIỆN NHIỀU CHUYỂN TIẾP PN.....	67
5.1. Thyistor	67
5.1.1. Nguyên lý làm việc và đặc tuyến của thyristor.....	67
5.1.2. Tham số của thyristor.....	70
5.1.3. Ứng dụng của thyristor	71
5.2. Các dụng cụ chỉnh lưu có cấu trúc bốn lớp khác	74
5.2.1. TRIAC.....	74
5.2.2. DIAC.....	76
5.2.3. Điốt bốn lớp	77
5.3. Transistor một lớp chuyển tiếp P-N	78
5.3.1. Nguyên lý làm việc, đặc tuyến và các tham số	78
5.3.2. Các ứng dụng điển hình của UJT.....	82
CHƯƠNG 6. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ VI MẠCH.....	86
6.1. Giới thiệu.....	86
6.1.1. Các nguyên tắc cơ bản để xây dựng một vi mạch	86
6.1.2. Sự tăng trưởng của mức độ phức tạp trong các vi mạch	87
6.1.3. Sự phát triển của công nghệ.....	87
6.2. Phân loại.....	88
TÀI LIỆU THAM KHẢO	89

Lời nói đầu

Tài liệu này được viết lại dựa trên đề cương môn học Cấu kiện điện tử của Bộ môn Công nghệ điện tử, Khoa Công nghệ Điện tử và Truyền thông, Đại học Công nghệ thông tin và Truyền thông, Đại học Thái Nguyên.

Tài liệu sẽ có nhiều sự bổ sung, thay đổi so với bản gốc do thầy Vũ Mạnh Thịnh biên soạn, tác giả viết theo những kiến thức tổng hợp được từ nhiều loại sách khác nhau, hy vọng sẽ giúp bạn đọc và sinh viên học ngành điện tử - viễn thông có được những kiến thức bổ ích từ tài liệu này!

CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

1. 1. Giới thiệu chung

Cấu kiện điện tử là môn học về cấu tạo, nguyên lý hoạt động và một số ứng dụng của các linh kiện được sử dụng trong các mạch điện tử để thực hiện một chức năng kỹ thuật nào đó của một bộ phận trong một thiết bị điện tử chuyên dụng cũng như thiết bị điện tử dân dụng.

Cấu kiện điện tử có rất nhiều loại thực hiện các chức năng khác nhau trong mạch điện tử. Muốn tạo ra một thiết bị điện tử chúng ta phải sử dụng rất nhiều các linh kiện điện tử, từ những linh kiện đơn giản như điện trở, tụ điện, cuộn dây... đến các linh kiện không thể thiếu được như diode, transistor... và các linh kiện điện tử tổ hợp phức tạp. Chúng được đấu nối với nhau theo các sơ đồ mạch đã được thiết kế, tính toán khoa học để thực hiện chức năng của thiết bị thông thường như máy radiocassettes, tivi, máy tính, các thiết bị điện tử y tế... đến các thiết bị thông tin liên lạc như tổng đài điện thoại, các trạm thu - phát thông tin hay các thiết bị vệ tinh vũ trụ v.v... Nói chung cấu kiện điện tử là loại linh kiện tạo ra các thiết bị điện tử do vậy chúng rất quan trọng trong đời sống khoa học kỹ thuật và muốn sử dụng chúng một cách hiệu quả thì chúng ta phải hiểu biết và nắm chắc các đặc điểm của chúng.

1.2. Các loại cấu kiện điện tử

Có nhiều cách phân loại cấu kiện điện tử dựa theo những tiêu chí khác nhau. Ở đây chúng ta kể đến một số cách phân loại thông thường:

1.2.1. Phân loại dựa trên đặc tính vật lý

Dựa vào các đặc tính vật lý cấu kiện điện tử có thể chia làm 2 loại:

- Các cấu kiện điện tử thông thường: Đây là các linh kiện điện tử có đặc tính vật lý điện - điện tử thông thường. Chúng hoạt động dưới tác dụng của các sóng điện từ có tần số từ cực thấp ($f = 1\text{KHz} \div 10\text{KHz}$) đến tần số siêu cao tần ($f = 10\text{Ghz} \div 100\text{Ghz}$) hoặc sóng milimet.

- Cấu kiện quang điện tử: Đây là các linh kiện điện tử có đặc tính vật lý điện - quang

Chúng hoạt động dưới tác dụng của các sóng điện từ có tần số rất cao ($f = 10^8$ đến 10^9 Ghz) thường được gọi là ánh sáng.

1.2.2. Phân loại dựa theo lịch sử phát triển của công nghệ điện tử

Người ta chia cấu kiện điện tử ra làm 5 loại:

- Cấu kiện điện tử chân không: là các cấu kiện điện tử mà sự dẫn điện xảy ra trong môi trường chân không.

- Cấu kiện điện tử có khí: là các cấu kiện điện tử mà sự dẫn điện xảy ra trong môi trường khí trơ.

- Cấu kiện điện tử bán dẫn: là các cấu kiện điện tử mà sự dẫn điện xảy ra trong môi trường chất bán dẫn.

- Cấu kiện vi mạch: là các chip bán dẫn được tích hợp từ các cấu kiện bán dẫn theo sơ đồ mạch đã thiết kế trước và có một hoặc một số chức năng nhất định.

- Cấu kiện nano: đây là các cấu kiện có kích thước nanomet được chế tạo theo

công nghệ nano nên nó có các tính chất cũng như khả năng tiện ích vô cùng đặc biệt, khác hẳn với các cấu kiện có kích thước lớn hơn thông thường (từ um trở lên).

1.2.3. Phân loại dựa trên chức năng xử lý tín hiệu

Dựa theo chức năng xử lý tín hiệu người ta chia cấu kiện điện tử thành 2 loại là cấu kiện điện tử tương tự (điện tử analoge) và cấu kiện điện tử số (điện tử digital).

- Cấu kiện điện tử tương tự là các linh kiện có chức năng xử lý các tín hiệu điện xảy ra liên tục theo thời gian.

- Cấu kiện điện tử số là các linh kiện có chức năng xử lý các tín hiệu điện xảy ra rời rạc, không liên tục theo thời gian.

1.2.4. Phân loại dựa vào ứng dụng của cấu kiện điện tử

Dựa vào ứng dụng của cấu kiện điện tử người ta chia cấu kiện điện tử ra làm 2 loại là các cấu kiện điện tử thụ động và các cấu kiện điện tử tích cực:

- Cấu kiện điện tử thụ động là các linh kiện điện tử chỉ có khả năng xử lý và tiêu thụ tín hiệu điện

- Cấu kiện điện tử tích cực là các linh kiện điện tử có khả năng biến đổi tín hiệu điện, tạo ra và khuếch đại tín hiệu điện.

1.3. Vật liệu điện tử

Xét từng nguyên tử đứng cô lập, mô hình của nó bao gồm: hạt nhân tích điện dương nằm giữa, bao xung quanh là những điện tử. Số điện tích dương của hạt nhân bằng số điện tử bao bọc quanh hạt nhân, do đó nguyên tử trung hòa về điện. Những điện tử xung quanh hạt nhân chiếm những trạng thái năng lượng xác định. Những điện tử nằm ở lớp ngoài cùng ít chịu sự ràng buộc của hạt nhân (lực liên kết yếu) chúng quyết định các đặc tính hóa học, điện học... của nguyên tử, được gọi là điện tử hóa trị.

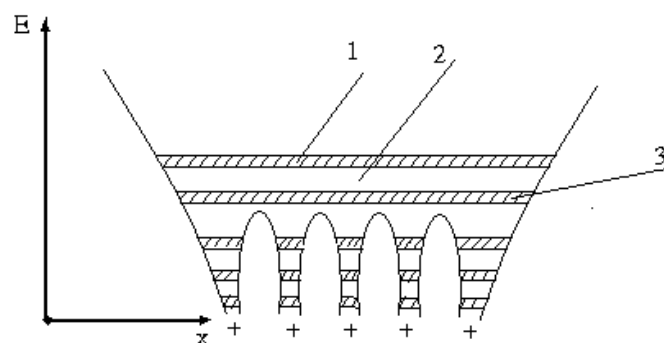
Sự phân bố điện tử trên các mức năng lượng của nguyên tử Si và Ge.

Si (14): $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^2$.

Ge (32): $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^{10}, 4p^2$.

Vì mức ngoài cùng của Ge và Si đều thiếu 4 điện tử, nên chúng có hóa trị 4.

Trong tinh thể vật rắn, các nguyên tử nằm rất gần nhau, các điện tử ngoài cùng phủ lên nhau, các mức năng lượng của các nguyên tử tản rộng ra tạo ra các vùng năng lượng.



Hình 1.1. Mô hình một chiều vùng năng lượng của vật rắn

1. Vùng dẫn

2. Vùng cấm

3. Vùng hoá trị

Ví dụ: Đối với Si, các lớp ngoài cùng được tạo thành bởi hai điện tử p và hai điện tử s: $3s^2 3p^2$. Khi tinh thể được tạo thành thì các vùng do các mức 3s và 3p tách ra, chồng phủ lên nhau. Hai điện tử 3s và 2 điện tử 3p tạo nên vùng đầy gọi là vùng hoá trị được tính bởi bốn điện tử trên một nguyên tử. Bốn vị trí còn lại trên mức 3p được nhóm lại thành một vùng chưa bị chiếm gọi là vùng dẫn.

Vùng năng lượng ở mỗi vật rắn là khác nhau, độ rộng và vị trí của từng vùng năng lượng phụ thuộc vào loại vật rắn khác nhau. Tùy theo tình trạng các mức năng lượng có bị điện tử chiếm chỗ hay không, người ta chia ra làm 3 vùng là: Vùng dẫn, vùng cấm, và vùng hóa trị.

+)*Vùng dẫn:* Có thể gọi là vùng dẫn điện, tức là những điện tử nào nằm trong vùng này gọi là những điện tử tự do. Ở đó các mức năng lượng chưa được chiếm chỗ hoặc bị chiếm chỗ 1 phần.

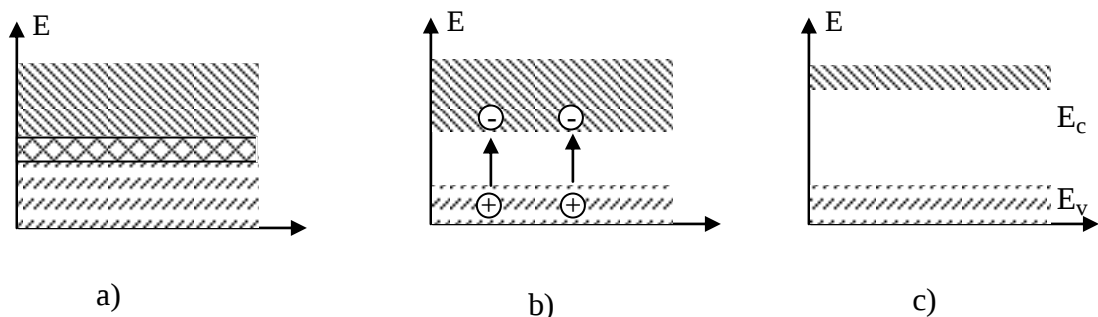
+)*Vùng hóa trị:* Chứa những điện tử hóa trị của nguyên tử, có mức năng lượng thấp nhất.

+)*Vùng cấm:* Là vùng nằm giữa vùng dẫn và vùng hóa trị. Trong vùng này, không tồn tại mức năng lượng mà điện tử có thể chiếm chỗ.

Trong từng vùng năng lượng, các mức năng lượng có thể bị chiếm đầy hoàn toàn, một phần hoặc bỏ trống hoàn toàn.

Chú ý: Một điện tử muốn tham gia vào thành phần dòng điện phải trở thành điện tử tự do, nghĩa là nó phải có đủ năng lượng nhảy từ vùng hóa trị, vượt qua vùng cấm lên vùng dẫn. Bởi vậy, độ rộng của vùng cấm là tiêu chuẩn để phân biệt vật rắn là vật liệu dẫn điện, bán dẫn, hay cách điện.

Như vậy, độ rộng của vùng cấm càng lớn thì độ dẫn càng kém, chiều rộng của vùng cấm sẽ xác định năng lượng cần thiết để điện tử bứt khỏi các liên kết hóa học để tham gia vào quá trình tải điện.



Hình 1.2. Giản đồ vùng năng lượng của: a) Kim loại, b) chất bán dẫn
c) điện môi

Qui định: Để đơn giản, kí hiệu đáy vùng dẫn là E_c , đỉnh của vùng hóa trị kí hiệu là E_v . Khoảng cách giữa E_c và E_v là vùng cấm ΔE_g .

Nhận xét: Hình 1.2.a ta thấy giản đồ vùng năng lượng của kim loại không có vùng cấm ngăn cách giữa vùng dẫn và vùng hóa trị. Mà vùng đó là vùng chiếm đầy 1 phần. Chính vì vậy, khi dẫn điện toàn bộ địa chỉ hóa trị có thể tham gia vào thành phần dòng điện. Hình 1.2.b, 1.2.c, giản đồ vùng năng lượng của chất bán dẫn và chất điện môi ở không độ tuyệt đối có dạng giống nhau (vùng hoá trị bị chiếm đầy hoàn toàn, vùng dẫn bỏ trống hoàn toàn, đều tồn tại vùng cấm).

1.3.1. Vật liệu điện môi

a. Các tính chất của chất điện môi

- *Độ thẩm thấu điện tương đối (hay còn gọi là hằng số điện môi)*

Hằng số điện môi ký hiệu là ϵ , nó biểu thị khả năng phân cực của chất điện môi và được xác định bằng biểu thức:

$$\epsilon = C_d/C_0$$

Trong đó: C_d là điện dung của tụ điện sử dụng chất điện môi; C_0 là điện dung của tụ điện sử dụng chất điện môi là chân không hoặc không khí.

- *Độ tổn hao điện môi (Pa)*

Độ tổn hao điện môi là công suất điện chi phí để làm nóng chất điện môi khi đặt nó trong điện trường và được tính theo công thức tổng quát sau:

$$Pa = U^2 \omega C \tan \delta$$

Trong đó:

Pa là độ tổn hao điện môi đo bằng oát (w)

U là điện áp đặt lên tụ điện đo bằng vôn (V)

C là điện dung của tụ điện dùng chất điện môi đo bằng Farad (F)

ω là tần số góc đo bằng rad/s

$\tan \delta$ là góc tổn hao điện môi

- *Độ bền về điện của chất điện môi (Eđ.t.)*

Nếu ta đặt một chất điện môi vào trong một điện trường mà nó bị mất khả năng cách điện - ta gọi đó là hiện tượng đánh thủng chất điện môi. Trị số điện áp khi xảy ra hiện tượng đánh thủng chất điện môi gọi là điện áp đánh thủng $U_{đ.t.}$ thường đo bằng KV, và cường độ điện trường tương ứng với điểm đánh thủng gọi là độ bền về điện.

- *Nhiệt độ chịu đựng:*

Là nhiệt độ cao nhất mà ở đó chất điện môi giữ được các tính chất lý hóa của nó.

- *Dòng điện trong chất điện môi (I):*

Dòng điện trong chất điện môi gồm có 2 thành phần là dòng điện chuyển dịch và dòng điện rò.

- Dòng điện chuyển dịch I_{CM} (hay gọi là dòng điện phân cực)

Quá trình chuyển dịch phân cực của các điện tích liên kết trong chất điện môi sẽ tạo nên dòng điện phân cực I_{CM} . Khi ở điện áp xoay chiều dòng điện

chuyển dịch tồn tại trong suốt thời gian chất điện môi nằm trong điện trường. Khi ở điện áp một chiều dòng điện chuyển dịch chỉ tồn tại ở các thời điểm đóng hoặc ngắt điện áp.

• Dòng điện rò $I_{rò}$:

Dòng điện rò là dòng điện được tạo ra do các điện tích tự do và điện tử phát xạ ra chuyển động dưới tác động của điện trường.

Dòng điện tổng qua chất điện môi sẽ là:

$$I = I_{CM} + I_{rò}$$

- Điện trở cách điện của chất điện môi

Điện trở cách điện được xác định theo trị số của dòng điện rò:

$$R_{c,d} = \frac{U}{I - \sum I_{CM}}$$

Trong đó: I - Dòng điện nghiên cứu

$\sum I_{CM}$ - Tổng các thành phần dòng điện phân cực

b. Phân loại và ứng dụng của chất điện môi

Chất điện môi được chia làm 2 loại là chất điện môi thụ động và chất điện môi tích cực.

- Chất điện môi thụ động còn gọi là vật liệu cách điện và vật liệu tụ điện.

- Chất điện môi tích cực là các vật liệu có thể điều khiển được như:

+ Về điện trường có gốm, thủy tinh,..

+ Về cơ học có chất áp điện như thạch anh áp điện

+ Về ánh sáng có chất huỳnh quang

+ Electric hay cái châm điện là vật chất có khả năng giữ được sự phân cực lớn và lâu dài.

1.3.2. Vật liệu dẫn điện

a. Các tính chất của vật liệu dẫn điện

- Điện trở suất:

$$\rho = RS/l$$

trong đó:

S - tiết diện ngang của dây dẫn

l - chiều dài dây dẫn

R - trị số điện trở của dây dẫn

Điện trở suất của chất dẫn điện nằm trong khoảng từ:

$\rho = 0,016 \mu\Omega.m$ (của bạc Ag) đến $\rho = 10 \mu\Omega.m$ (của hợp kim sắt - crôm - nhôm)

- Hệ số nhiệt của điện trở suất (α):

Hệ số nhiệt của điện trở suất biểu thị sự thay đổi của điện trở suất khi nhiệt độ thay đổi $1^{\circ}C$. Khi nhiệt độ tăng thì điện trở suất cũng tăng lên theo quy luật:

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t)$$

trong đó:

ρ_t - điện trở suất ở nhiệt độ $t (^{\circ}C)$

ρ_0 - điện trở suất ở nhiệt độ $0^{\circ}C$

α - hệ số nhiệt của điện trở suất [K^{-1}]

Để cho kim loại nguyên chất thì hệ số nhiệt của chúng hầu như đều bằng nhau và bằng:

$$\alpha = 1/273,15 K^{-1} = 0,004 K^{-1}$$

- *Hệ số dẫn nhiệt : λ*

Lượng nhiệt truyền qua diện tích bề mặt S trong thời gian t là:

$$Q = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta l} St$$

Trong đó:

λ - là hệ số dẫn nhiệt

$\Delta T/\Delta l$ - là gradien nhiệt độ (ΔT là lượng chênh lệch nhiệt độ ở hai điểm cách nhau một khoảng là Δl)

S - là diện tích bề mặt

t - là thời gian

- *Công thoát của điện tử trong kim loại:*

Năng lượng cần thiết cấp thêm cho điện tử để nó thoát ra khỏi bề mặt kim loại được gọi là công thoát của kim loại. E_w

- Hiệu điện thế tiếp xúc giữa hai kim loại này được xác định là sự chênh lệch thế năng E_{AB} giữa điểm A và B và được tính theo công thức:

$$E_{AB} = E_{w1} - E_{w2}$$

Tương ứng với thế năng E_{AB} (đo bằng eV) ta có điện thế tiếp xúc (đo bằng Vôn), ký hiệu là V_{AB} và có trị số bằng E_{AB} .

Nếu kim loại 1 và 2 giống nhau, điện thế tiếp xúc giữa chúng bằng 0. Nếu hai kim loại khác nhau thì kim loại nào có công thoát thấp hơn trở thành điện tích dương và kim loại có công thoát cao hơn sẽ trở thành điện tích âm.

b. Một số loại vật liệu dẫn điện thường dùng

Chất dẫn điện được chia làm 2 loại là chất dẫn điện có điện trở suất thấp và chất dẫn điện có điện trở suất cao.

- *Chất dẫn điện có điện trở suất thấp*

Chất dẫn điện có điện trở suất thấp (hay độ dẫn điện cao) thường dùng làm vật liệu dẫn điện.

- *Chất dẫn điện có điện trở suất cao*

Các hợp kim có điện trở suất cao dùng để chế tạo các dụng cụ đo điện, các điện trở, biến trở, các dây may so, các thiết bị nung nóng bằng điện.

1.3.3. Vật liệu bán dẫn

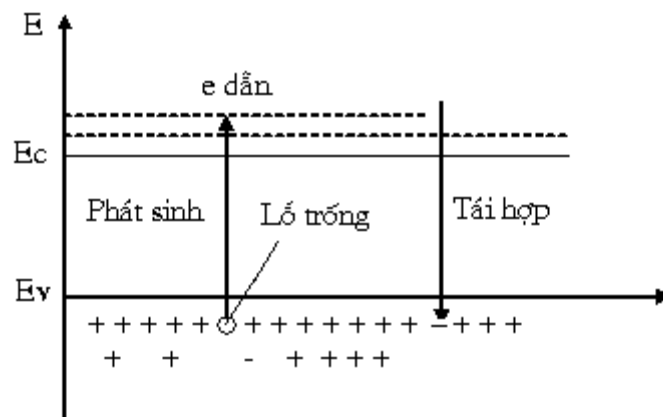
a. Phát xạ và tái hợp điện tử - lỗ trống

Khi các điện tử hóa trị nhận được các năng lượng từ bên ngoài (nhiệt độ, ánh sáng) đủ lớn, có thể thoát được lực liên kết trở thành điện tử tự do (nhảy lên vùng dẫn) tham gia vào thành phần dòng điện. Khi ấy trong vùng hoá trị do thiếu hụt điện tử nên xuất hiện mức năng lượng bỏ trống. Điều đó đưa tới sự dẫn điện trong vùng hoá trị. Nhưng điểm thiếu hụt điện tử trong vùng hoá trị có thể xem như là tại đây tồn tại điện

tích dương còn gọi là lỗ trống. Khác với ion các lỗ trống có thể di chuyển trong vật rắn là do điện tử bên cạnh lấp đầy lỗ trống đó và nó lại để lại một lỗ trống và lỗ trống này di chuyển một cách tự do theo hướng ngược với hướng của điện tử. Điều đó có nghĩa là việc đứt một liên kết đồng hoá trị làm cho một điện tử chuyển dời từ vùng hoá trị lên vùng dẫn.

Quá trình trên được gọi là quá trình phát xạ cặp điện tử - lỗ trống. Như vậy trong bán dẫn sạch, các hạt dẫn được tạo ra chủ yếu bởi quá trình hình thành (phát sinh) cặp điện tử lỗ trống. Trong đó, điện tử trong vùng dẫn, lỗ trống trong vùng hóa trị.

Ngược lại với quá trình phát sinh cặp điện tử - lỗ trống là quá trình tái hợp điện tử và lỗ trống, tức là quá trình xây dựng lại một liên kết nhờ điện tử tự do rơi từ vùng dẫn xuống vùng hóa trị (sự phát xạ năng lượng).



Hình 1.3. Quá trình phát sinh và tái hợp điện tử lỗ trống

Ở trạng thái cân bằng nhiệt động, số điện tử phát sinh đúng bằng số điện tử tái hợp. Bán dẫn như vậy được gọi là bán dẫn rỗng (bán dẫn tinh khiết).

b. Bán dẫn có tạp chất

Nồng độ các hạt tải trong bán dẫn thay đổi một cách đáng kể nếu chúng được pha tạp bởi các nguyên tử tạp chất. Bán dẫn này, mặc dù có cấu trúc tinh thể không thay đổi so với bán dẫn tinh khiết, song độ dẫn điện của nó thì tăng lên rất mạnh, phụ thuộc vào mức độ pha tạp và bản chất nguyên tử của chất pha tạp.

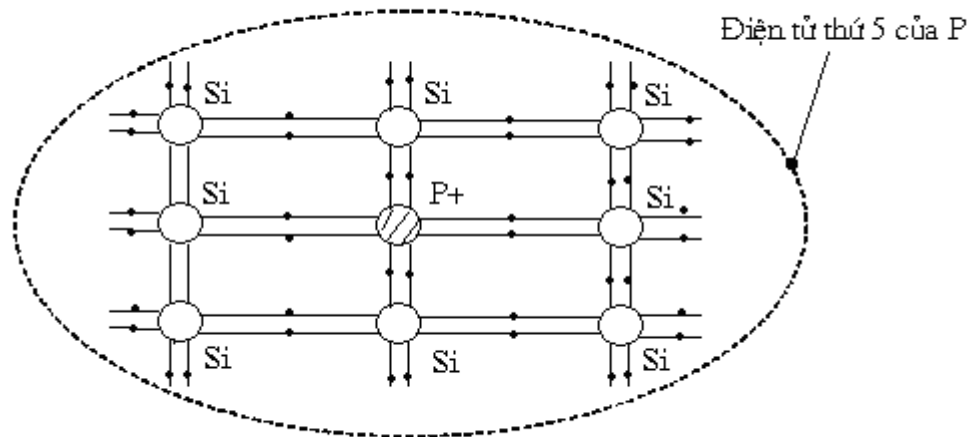
Các nguyên tử pha tạp được chọn trong nhóm III trong bảng hệ thống tuần hoàn thì ta sẽ thu được bán dẫn loại P. Nếu chọn trong nhóm V thì sẽ được bán dẫn loại N.

Bán dẫn loại N

Nguyên tử Si (Ge): Mỗi nguyên tử có bốn điện tử hoá trị gộp chung với bốn nguyên tử bên cạnh để tạo thành mỗi liên kết đồng hoá trị.

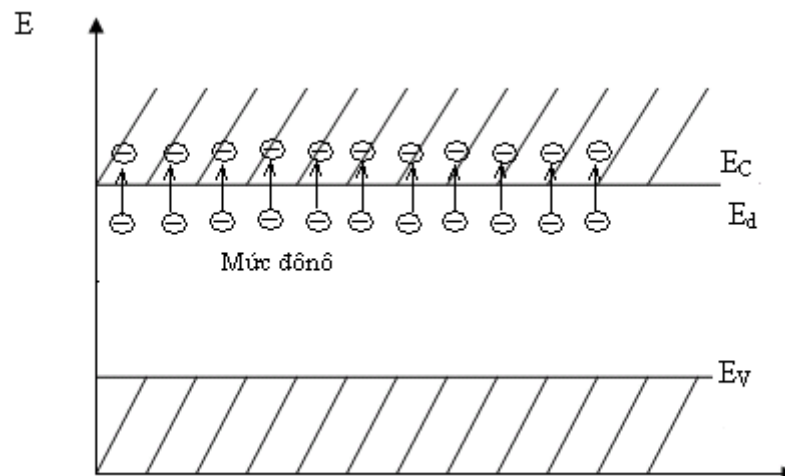
Pha tạp Si (hoặc Ge) với các nguyên tử thuộc nhóm V, chẳng hạn như photpho, antimoan,... thì các nguyên tử tạp chất sẽ liên kết đồng hóa trị với 4 nguyên tử Si láng giềng gần nhất. Như vậy còn thừa ra 1 điện tử hóa trị sẽ có liên kết yếu với nguyên tử láng giềng xung quanh và cũng liên kết yếu với nguyên tử của chính nó. Nên chỉ cần 1 năng lượng nhỏ cũng giải phóng nó khỏi nguyên tử của nó để trở thành điện tử tự do.

Tạp chất hóa trị 5 này được gọi là tạp chất đô-no, có nghĩa là tạp chất điện tử tự do. Còn chất bán dẫn có tạp chất đô-no gọi là bán dẫn loại N. Các điện tử được gọi là hạt đa số, các lỗ trống được gọi là hạt thiếu số.



Hình 1.4. Tạp chất đô no trong đơn tinh thể Si

Tính dẫn điện trong bán dẫn loại N do điện tử quyết định. Việc pha tạp chất đô-no sẽ làm xuất hiện trong vùng cấm của bán dẫn này những mức năng lượng cục bộ nằm sát dưới đáy vùng dẫn- gọi là mức năng lượng đô-no.



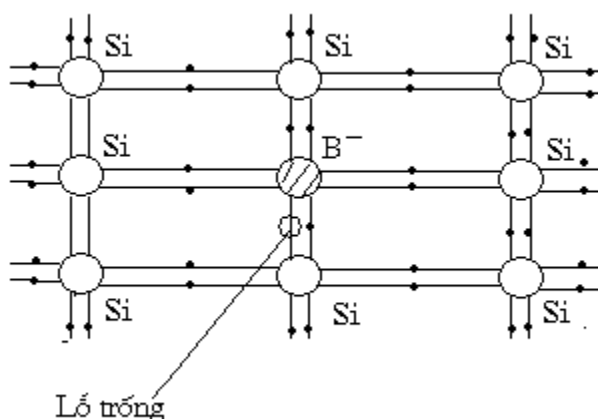
Hình 1.5. Biểu đồ mức năng lượng đô nô

Khoảng cách từ đáy vùng dẫn đến mức đôno nhỏ hơn nhiều so với độ rộng vùng

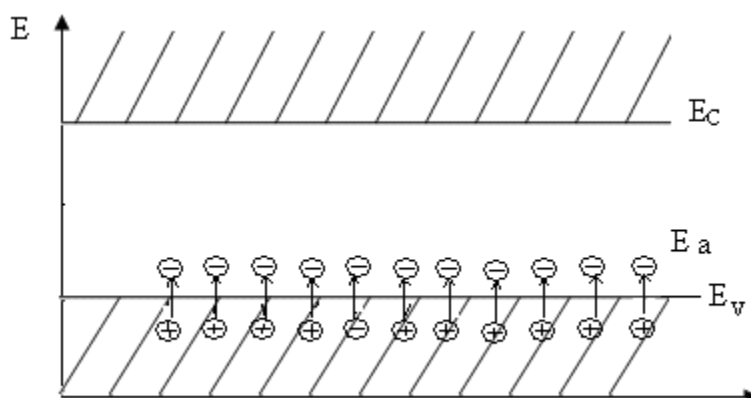
cắm. Vì vậy năng lượng cần thiết để điện tử nhảy từ mức đônô lên vùng dẫn (năng lượng ion hóa) nhỏ hơn rất nhiều năng lượng cần thiết để đưa điện tử từ vùng hóa trị lên vùng dẫn.

Bán dẫn loại P

Pha tạp Silic (hoặc Gecmani) với các nguyên tử hóa trị 3 (như Bor, Galium Ga Al...), thì mỗi nguyên tử tạp chất hóa trị 3 thay thế vị trí nguyên tử bán dẫn tinh khiết gốc và tạo ra liên kết đồng hóa trị với 3 nguyên tử láng giềng gần nhau nhất, còn liên kết thứ 4 không hoàn hảo và vì vậy làm xuất hiện 1 lỗ trống. Do vậy, chỉ cần 1 năng lượng rất nhỏ cũng cho phép một điện tử của liên kết đồng hóa trị gần đó đến chiếm lỗ trống và làm đứt các liên kết khác. Các nguyên tử tạp chất hóa trị 3 này có xu hướng bắt điện tử của vùng hóa trị làm tăng lỗ trống trong bán dẫn nên người ta gọi là tạp chất acceptor, nghĩa là tạp chất bắt điện tử cho lỗ trống. Còn bán dẫn có tạp chất loại này gọi là bán dẫn loại P.



Hình 1.6. Tạp chất acceptor trong đơn tinh thể Si



Hình 1.7. Giải đồ mức năng lượng accepto

Mức năng lượng accepto E_a nằm gần đỉnh vùng hóa trị, bởi vậy chỉ cần một năng lượng nhỏ (năng lượng ion hóa) cũng có thể làm cho điện tử nhảy từ vùng hóa trị lên các mức accepto làm cho nguyên tử tạp chất ion hóa trở thành ion âm, đồng thời làm xuất hiện các lỗ trống trong vùng hóa trị.

c. Một vài hiện tượng vật lý

Hiện tượng tái hợp của các hạt dẫn

Hiện tượng tái hợp hạt dẫn liên quan đến các chuyển dời điện tử từ mức năng lượng cao trong vùng dẫn về mức thấp hơn trong vùng hoá trị. Hiện tượng tái hợp làm mất đi đồng thời một cặp hạt dẫn và đưa hệ hạt về trạng thái cân bằng mới.

Khi đó trong bán dẫn loại n là sự tái hợp lỗ trống với điện tử trong điều kiện nồng độ điện tử cao:

$$\Delta p(t) = \Delta p(0) \exp\left(-\frac{t}{\tau_p}\right)$$

Ở đây $\Delta p(t)$ là mức giảm của lỗ trống theo thời gian

$\Delta p(0)$ là số lượng của lỗ trống theo thời gian

τ_p là thời gian sống của lỗ trống trong bán dẫn loại n (là khoảng thời gian trong đó số lượng lỗ trống dư giảm đi e lần)

Tương tự trong chất bán dẫn p có:

$$\Delta n(t) = \Delta n(0) \exp\left(-\frac{t}{\tau_n}\right)$$

Các thông số τ_n và τ_p quyết định đến đặc tuyến tần số (tác động nhanh) của các dụng cụ bán dẫn.

Chuyển động gia tốc (trôi) của các hạt dẫn trong điện trường

Dưới tác động của điện trường, hạt dẫn chuyển động định hướng có gia tốc tạo nên một dòng điện (gọi là dòng trôi) với vận tốc trung bình tỷ lệ với cường độ E của điện trường:

$$v_{tb} = \mu E$$

Suy ra:

$$v_{tbn} = -\mu_n E$$

$$v_{tbp} = \mu_p E$$

Trong đó μ_p và μ_n là các hệ số tỷ lệ gọi là độ linh động của các hạt dẫn tương ứng. Đối với Ge: $\mu_n = 3800 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, $\mu_p = 1800 \text{ cm}^2/\text{Vs}$. Đối với Si: $\mu_n = 1300$

$$\text{cm}^2/\text{Vs}, \mu_p = 500 \text{ cm}^2/\text{Vs}.$$

Từ đó mật độ dòng trôi gồm hai thành phần:

$$I_{\text{trôiin}} = -qn v_{\text{tbn}}$$

$$I_{\text{trôiip}} = qp v_{\text{tbp}}$$

Hay dòng trôi toàn phần $I_{\text{trôi}} = I_{\text{trôiin}} + I_{\text{trôiip}}$

$$I_{\text{trôi}} = qE(n\mu_n + p\mu_p)$$

Mật khác: $I = \sigma E$

Trong đó

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_p = qn\mu_n + qp\mu_p$$

Đối với bán dẫn thuần:

$$\sigma = qn_i(\mu_n + \mu_p)$$

Trong bán dẫn loại N vì $n_n \gg p_p$

$$\sigma = \sigma_n = qn\mu_n$$

Trong bán dẫn loại P vì có $p_p \gg n_n$

$$\sigma = \sigma_p = qp\mu_p$$

Nếu bị đô-nô hoá hoàn toàn, nồng độ điện tử là N_d

$$\sigma_n = q\mu_n N_d$$

Tương tự nếu bị acceptô hoá hoàn toàn

$$\sigma_p = q\mu_p N_a$$

Độ linh động và nồng độ phụ thuộc vào nhiệt độ. Do đó độ dẫn suất phụ thuộc vào nhiệt độ.

Hiện tượng khuếch tán: Trong các tinh thể bán dẫn, nếu các hạt tải phân bố không đều, hoặc giữa các miền khác nhau có nhiệt độ khác nhau, thì các hạt tải sẽ chuyển dời từ nơi có nồng độ cao sang nơi có nồng độ thấp hơn, hoặc từ nơi có nhiệt độ cao sang nơi có nhiệt độ thấp hơn. Trong trường hợp này, tinh thể bán dẫn bị mất cân bằng nhiệt động. Hiện tượng đó được gọi là hiện tượng khuếch tán.

Mật độ của dòng khuếch tán theo phương giảm của nồng độ có dạng:

$$I_{ktn} = -qD_n \left(-\frac{dn}{dx}\right) = qD_n \left(\frac{dn}{dx}\right)$$

$$I_{ktp} = qD_p \left(-\frac{dp}{dx}\right) = -qD_p \frac{dp}{dx}$$

Trong đó: D_n và D_p là các hệ số tỷ lệ gọi là hệ số khuếch tán của các hạt tương ứng ($D_n = 32 \text{ cm}^2/\text{s}$ và $D_p = 12 \text{ cm}^2/\text{s}$).

Người ta chứng minh được tính chất sau:

$$D = \frac{kT}{q} \mu = U_T \cdot \mu \text{ (hệ thức Einstein)}$$

U_T là thế nhiệt ($U_T = 25\text{mV}$ ở nhiệt độ phòng $T=296^0\text{K}$).

$$D_n \tau_n = L_n^2$$

$$D_p \tau_p = L_p^2$$

Trong đó L_n và L_p là quãng đường khuếch tán hạt (là khoảng cách trong đó nồng độ hạt khuếch tán giảm đi e lần theo phương khuếch tán) cũng chính là quãng đường trung bình hạt dịch chuyển được trong thời gian sống của nó.

d. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến đặc tính bán dẫn

- Ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ dẫn suất của bán dẫn

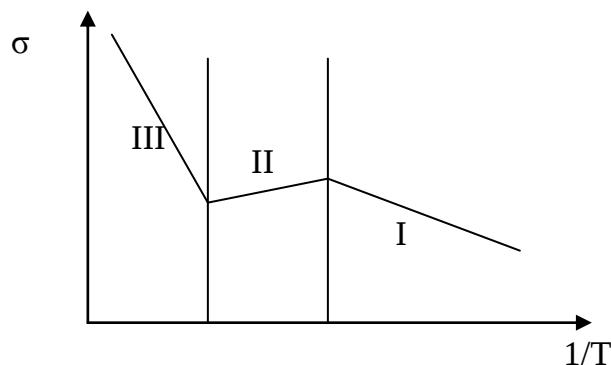
Chia thành 3 vùng:

+ Khu vực nhiệt độ thấp (phần I): Có thể xem như không có sự phát xạ nhiệt của cặp điện tử - lỗ trống. Ở nhiệt độ này không phải tất cả tạp chất đều bị ion hoá. Nồng độ tạp chất bị ion hoá. Nồng độ các tạp chất ion hoá phụ thuộc vào nhiệt độ theo hàm mũ. Ta coi gần đúng là đoạn thẳng mô tả quá trình này.

+ Ở nhiệt độ trung bình (phần II) có thể coi toàn bộ tạp chất đều bị ion hoá và do đó độ dẫn suất sẽ không thay đổi trong khoảng nhiệt độ này. Lúc này sự phát xạ điện tử –lỗ trống là không đáng kể. Độ dẫn suất quyết định bởi nồng độ tạp chất bị ion hoá. Trên đồ thị đoạn này gần như nằm ngang.

Thực tế: Độ dẫn suất có giảm đôi chút khi tăng nhiệt độ bởi vì độ linh động của hạt dẫn giảm khi nhiệt độ tăng.

+ Nhiệt độ cao (phần III): Sự phát xạ điện tử – lỗ trống trở nên chiếm ưu thế. Độ dẫn suất quyết định bởi các hạt dẫn phát xạ nhiệt chứ không phải hạt dẫn do nguyên tử ion hoá tạo ra. Do đó sự phụ thuộc này giống như bán dẫn thuần.



Hình 1.8. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ dẫn suất của bán dẫn

- Độ linh động của hạt dẫn cũng thay đổi khi nhiệt độ thay đổi. Nhiệt độ tăng làm cho μ giảm.

- Khi nhiệt độ thay đổi thì mức Fermi trong vùng cấm cũng thay đổi. Nhiệt độ càng cao mức Fermi càng dịch lại gần giữa vùng cấm $\rightarrow$ tiến tới bán dẫn thuần

- Do độ dẫn xuất và độ linh động phụ thuộc vào T nên thời gian sống của hạt dẫn τ cũng phụ thuộc nhiệt độ. ở nhiệt độ thấp và bán dẫn pha tạp ít, ta có:

$$\tau_{p,n} = \tau_{p,n}(T_0)(T/T_0)^{-\alpha}$$
$$\alpha = 1,6$$

Nhiệt độ ảnh hưởng rất nhiều đến hệ số dẫn nhiệt của bán dẫn. Hệ số dẫn nhiệt của bán dẫn tỷ lệ nghịch với nhiệt độ.

CHƯƠNG 2. CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ THỤ ĐỘNG

2.1. Điện trở

2.1.1. Định nghĩa và ký hiệu của điện trở

a. Định nghĩa

Điện trở là cấu kiện dùng làm phần tử ngăn cản dòng điện trong mạch. Trị số điện trở được xác định theo định luật Ôm:

$$R = U/I$$

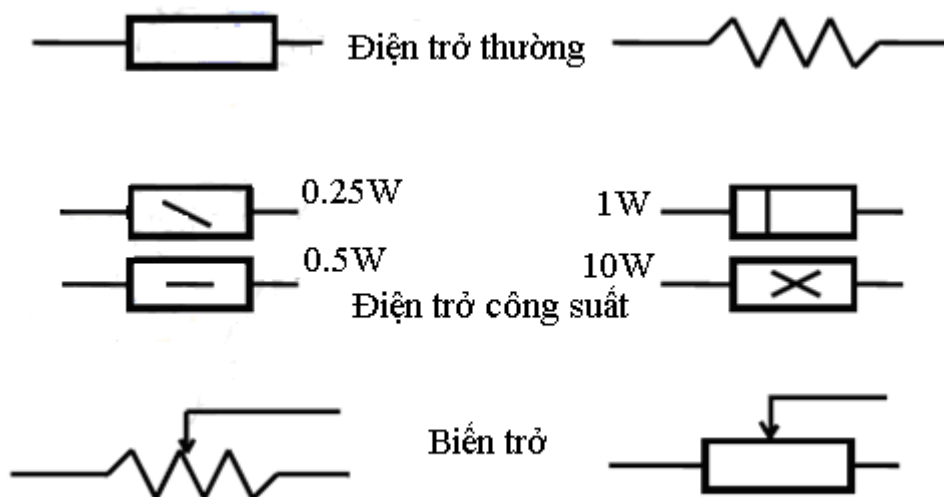
Trong đó: U – hiệu điện thế trên điện trở [V]

I - dòng điện chạy qua điện trở [A]

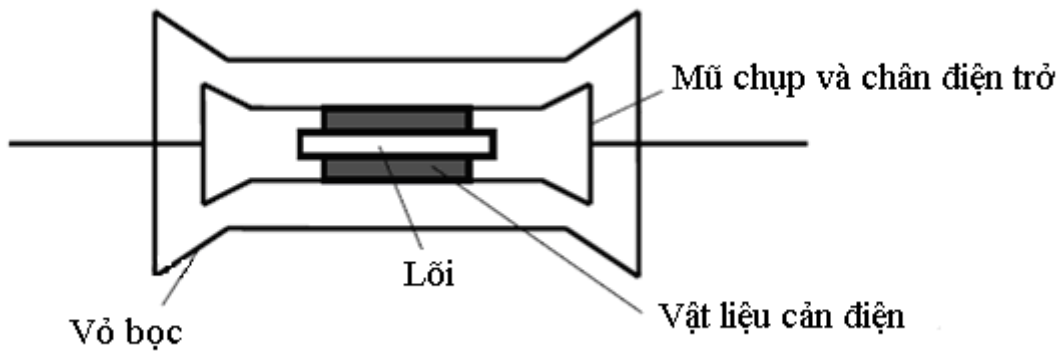
R - điện trở [Ω]

Trên điện trở, dòng điện và điện áp luôn cùng pha và điện trở dẫn dòng điện một chiều và xoay chiều như nhau.

Trong các sơ đồ mạch điện, điện trở thường được mô tả theo các qui ước tiêu chuẩn



Cấu trúc của điện trở có nhiều dạng khác nhau. Một cách tổng quát ta có cấu trúc tiêu biểu của một điện trở như mô tả trong hình



2.1.2. Cách ghi và đọc các tham số trên thân điện trở

Trên thân điện trở thường ghi các tham số đặc trưng cho điện trở như: trị số của điện trở và % dung sai, công suất tiêu tán (thường từ vài phần mười Watt trở lên). Người ta có thể ghi trực tiếp hoặc ghi theo nhiều qui ước khác nhau.

a. Cách ghi trực tiếp:

Cách ghi trực tiếp là cách ghi đầy đủ các tham số chính và đơn vị đo của chúng. Cách ghi này thường dùng đối với các điện trở có kích thước tương đối lớn như điện trở dây quấn.

b. Ghi theo qui ước

Cách ghi theo quy ước có rất nhiều các quy ước khác nhau. Ở đây ta xem xét một số cách quy ước thông dụng:

+ Không ghi đơn vị Ôm: Đây là cách ghi đơn giản nhất và nó được qui ước như sau:

$$R \text{ (hoặc } E) = \Omega \text{ M} = \text{M}\Omega \text{ K} = \text{K}\Omega$$

+ Quy ước theo mã: Mã này gồm các chữ số và một chữ cái để chỉ % dung sai. Trong các chữ số thì chữ số cuối cùng chỉ số số 0 cần thêm vào. Các chữ cái chỉ % dung sai qui ước gồm: F = 1 %, G = 2 %, J = 5 %, K = 10 %, M = 20 %.

+ Quy ước màu:

Thông thường người ta sử dụng 4 vòng màu, đôi khi dùng 5 vòng màu (đối với loại có dung sai nhỏ khoảng 1%).

- Loại 4 vòng màu được qui ước:

+ Hai vòng màu đầu tiên là chỉ số có nghĩa thực của nó

+ Vòng màu thứ 3 là chỉ số số 0 cần thêm vào (hay gọi là số nhân).

+ Vòng màu thứ 4 chỉ phần trăm dung sai (%).

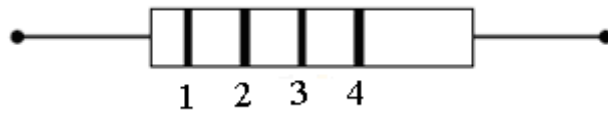
- Loại 5 vạch màu được qui ước:

+ Ba vòng màu đầu chỉ các số có nghĩa thực

+ Vòng màu thứ tư là số nhân để chỉ số số 0 cần thêm vào

+ Vòng màu thứ 5 chỉ % dung sai.

Thứ tự vòng màu được qui ước như sau:



2.1.3. Phân loại và ứng dụng của điện trở

a. Phân loại:

Phân loại điện trở có rất nhiều cách. Thông dụng nhất là phân chia điện trở thành hai

loại: điện trở có trị số cố định và điện trở có trị số thay đổi được (hay biến trở). Trong mỗi loại này lại được phân chia theo các chỉ tiêu khác nhau thành các loại nhỏ hơn như sau:

- *Điện trở có trị số cố định.*

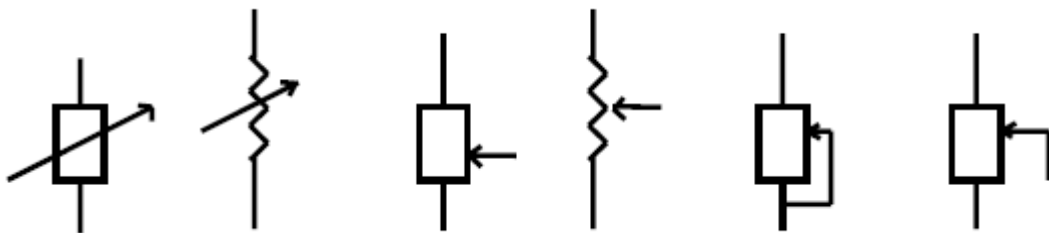
Điện trở có trị số cố định thường được phân loại theo vật liệu cản điện như:

- + Điện trở than tổng hợp (than nén)
- + Điện trở than nhiệt giải hoặc than màng (màng than tinh thể).
- + Điện trở dây quấn gồm sợi dây điện trở dài (dây NiCr hoặc manganin, constantan) quấn trên 1 ống gồm ceramic và phủ bên ngoài là một lớp sứ bảo vệ.
- + Điện trở màng kim, điện trở màng oxit kim loại hoặc điện trở miếng: Điện trở miếng thuộc thành phần vi điện tử. Dạng điện trở miếng thông dụng là được in luôn trên tấm ráp mạch.

+ Điện trở cermet (gốm kim loại).

-*Điện trở có trị số thay đổi (hay còn gọi là biến trở)*

Biến trở có hai dạng. Dạng kiểm soát dòng công suất lớn dùng dây quấn. Loại này ít gặp trong các mạch điện trở. Dạng thường dùng hơn là chiết áp. Cấu tạo của biến trở so với điện trở cố định chủ yếu là có thêm một kết cấu con chạy gắn với một trục xoay để điều chỉnh trị số điện trở. Con chạy có kết cấu kiểu xoay (chiết áp xoay) hoặc theo kiểu trượt (chiết áp trượt). Chiết áp có 3 đầu ra, đầu giữa ứng với con trượt còn hai đầu ứng với hai đầu của điện trở.



b. Ứng dụng

Ứng dụng của điện trở rất đa dạng: để giới hạn dòng điện, tạo sụt áp, dùng để phân cực, làm gánh mạch, chia áp, định hằng số thời gian, v.v..

2.2. Tụ điện

2.2.1. Định nghĩa và ký hiệu của tụ điện

a. Định nghĩa:

Tụ điện là dụng cụ dùng để chứa điện tích. Một tụ điện lý tưởng có điện tích ở bản cực tỉ lệ thuận với hiệu điện thế đặt ngang qua nó theo công thức:

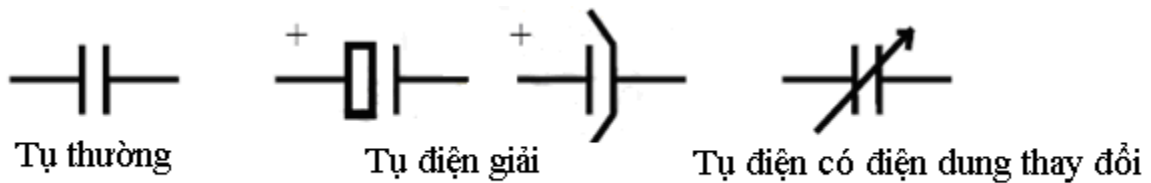
$$Q = C \cdot U \text{ [culông]}$$

trong đó: Q - điện tích ở trên bản cực của tụ điện [C]

U - hiệu điện thế đặt trên tụ điện [V]

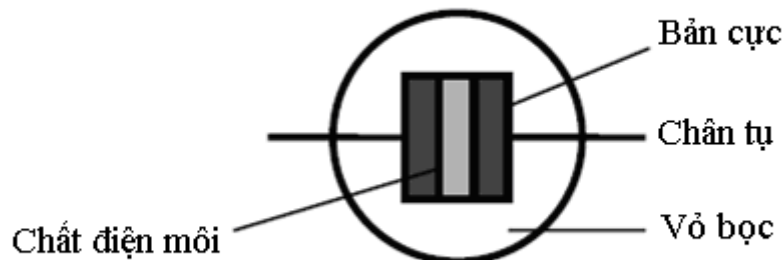
C - điện dung của tụ điện [F]

b. Ký hiệu của tụ điện trên các sơ đồ mạch



c. Cấu tạo của tụ điện:

Cấu tạo của tụ điện bao gồm một lớp vật liệu cách điện nằm giữa hai bản cực là 2 tấm kim loại có điện tích S.



2.2.2 Các cách ghi và đọc tham số trên thân tụ điện

Hai tham số quan trọng nhất thường được ghi trên thân tụ điện là trị số điện dung (kèm theo dung sai sản xuất) và điện áp làm việc.

a. Cách ghi trực tiếp:

Ghi trực tiếp là cách ghi đầy đủ các tham số và đơn vị đo của chúng. Cách này chỉ dùng cho các loại tụ điện có kích thước lớn.

b. Cách ghi gián tiếp theo quy ước:

Cách ghi gián tiếp là cách ghi theo quy ước. Tụ điện có tham số ghi theo quy ước thường có kích thước nhỏ và điện dung ghi theo đơn vị pF.

Có rất nhiều các quy ước khác nhau như quy ước mã, quy ước màu, v.v.. Sau đây ta chỉ nêu một số quy ước thông dụng:

+ *Ghi theo quy ước số*: Cách ghi này thường gặp ở các tụ Polystylen.

Ví dụ 1: Trên thân tụ có ghi 47/ 630: có nghĩa tử số là giá trị điện dung tính bằng

pF, tức là 47 pF, mẫu số là điện áp làm việc một chiều, tức là 630 Vdc.

+ *Quy ước theo mã*: Giống như điện trở, mã gồm các chữ số chỉ trị số điện dung và chữ cái chỉ % dung sai.

Tụ gồm có kích thước nhỏ thường được ghi theo qui ước sau: ví dụ trên tụ ghi là 204 có nghĩa là trị số của điện dung 20.0000 pF Vdc.

Tụ Tantan là tụ điện giải cũng thường được ghi theo đơn vị μF cùng điện áp làm việc và cực tính rõ ràng.

+ *Ghi theo quy ước màu*: Tụ điện cũng giống như điện trở được ghi theo qui ước màu. Qui ước màu cũng có nhiều loại: có loại 4 vạch màu, loại 5 vạch màu. Nhìn chung các vạch màu qui ước gần giống như ở điện trở.

2.2.3. Phân loại và ứng dụng

Có nhiều cách phân loại tụ điện, thông thường người ta phân tụ điện làm 2 loại là:

- Tụ điện có trị số điện dung cố định
- Tụ điện có trị số điện dung thay đổi được.

a. Tụ điện có trị số điện dung cố định:

Tụ điện có trị số điện dung cố định thường được gọi tên theo vật liệu chất điện môi

+ Tụ điện giải nhôm: (Thường gọi là tụ hóa) Tính chất quan trọng nhất của tụ điện giải nhôm là chúng có trị số điện dung rất lớn trong một "hộp" nhỏ. Giá trị tiêu chuẩn của các tụ hóa nằm trong khoảng từ 1 μF đến 100000 μF .

Các tụ điện giải nhôm thông dụng thường làm việc với điện áp một chiều lớn hơn 400Vdc, trong trường hợp này, điện dung không quá 100 μF . Ngoài điện áp làm việc thấp và phân cực thì tụ điện giải nhôm còn một nhược điểm nữa là dòng rò tương đối lớn.

+ Tụ tantan: (chất điện giải Tantan)

Đây là một loại tụ điện giải. Tụ tantan, cũng giống như tụ điện giải nhôm, thường có một giá trị điện dung lớn trong một khối lượng nhỏ. Giống như các tụ điện giải khác, tụ tantan cũng phải được đấu đúng cực tính. Tụ tantan cũng được ghi theo qui ước 4 vòng màu.

b. Tụ điện có trị số điện dung thay đổi

Tụ điện có trị số điện dung thay đổi được là loại tụ trong quá trình làm việc ta có thể điều chỉnh thay đổi trị số điện dung của chúng. Tụ có trị số điện dung thay đổi được có nhiều loại, thông dụng nhất là loại đa dụng và loại điều chuẩn.

- Loại đa dụng còn gọi là tụ xoay: Tụ xoay được dùng làm tụ điều chỉnh thu sóng trong các máy thu thanh, v.v.. Tụ xoay có thể có 1 ngăn hoặc nhiều ngăn. Mỗi ngăn có các lá động xen kẽ, đối nhau với các lá tĩnh, chế tạo từ nhôm. Chất điện môi có thể là không khí, mi ca, màng chất dẻo, gốm, v.v..

- Tụ vi điều chỉnh (thường gọi tắt là Trimcap)

Loại tụ này có nhiều kiểu. Chất điện môi cũng dùng nhiều loại như không khí, màng chất dẻo, thủy tinh hình ống... Để thay đổi trị số điện dung ta dùng tuốc-nơ-vít để thay đổi vị trí giữa hai lá động và lá tĩnh

c. Ứng dụng:

+ Tụ điện được dùng để tạo phần tử dung kháng ở trong mạch. Dung kháng Xc

được tính theo công thức:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{\omega C} \text{ (}\Omega\text{)}$$

Trong đó : f - là tần số của dòng điện (Hz)

C - là trị số điện dung của tụ điện (F)

+ Do tụ không cho dòng điện một chiều qua nhưng lại dẫn dòng điện xoay chiều nên tụ thường dùng để cho qua tín hiệu xoay chiều đồng thời vẫn ngăn cách được dòng một chiều giữa mạch này với mạch khác, gọi là tụ liên lạc.

+ Tụ dùng để triệt bỏ tín hiệu không cần thiết từ một điểm trên mạch xuống đất gọi là tụ thoát.

+ Tụ dùng làm phần tử dung kháng trong các mạch cộng hưởng LC gọi là tụ cộng hưởng.

+ Tụ dùng trong mạch lọc gọi là tụ lọc.

+ Do có tính nạp điện và phóng điện, tụ dùng để tạo mạch định giờ, mạch phát sóng răng cưa, mạch vi phân và tích phân...

2.3. Cuộn cảm

2.3.1. Định nghĩa và ký hiệu của cuộn cảm

a. Định nghĩa:

Cuộn dây, còn gọi là cuộn tự cảm, là cấu kiện điện tử dùng để tạo thành phần cảm kháng trong mạch. Cảm kháng của cuộn dây được xác định theo công thức:

$$X_L = 2\pi f L = \omega L \text{ (}\Omega\text{)}$$

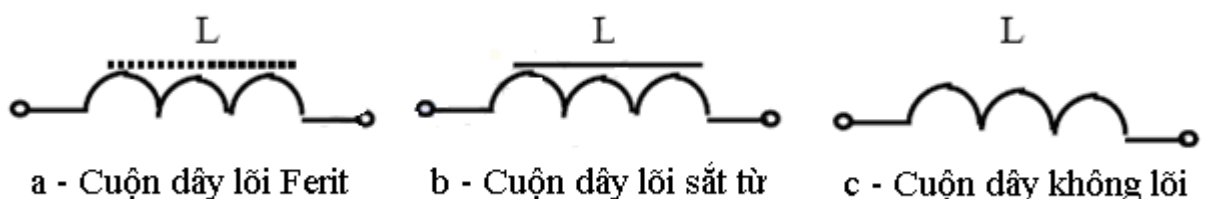
Trong đó: L – điện cảm của cuộn dây (đo bằng Henry), phụ thuộc vào hình dạng, số vòng dây, cách sắp xếp, và cách quấn dây.

f - tần số của dòng điện chạy qua cuộn dây (Hz)

Các cuộn dây được cấu trúc để có giá trị độ cảm ứng xác định. Ngay cả một đoạn dây dẫn ngắn nhất cũng có sự cảm ứng. Như vậy, cuộn dây cho qua dòng điện một chiều và ngăn cản dòng điện xoay chiều. Đồng thời, trên cuộn dây dòng điện và điện áp lệch pha nhau 90° . Cuộn dây gồm những vòng dây dẫn điện quấn trên một cốt bằng chất cách điện, có lõi hoặc không có lõi tùy theo tần số làm việc.

b. Ký hiệu các cuộn cảm trong sơ đồ mạch điện:

Trong các mạch điện, cuộn cảm được ký hiệu bằng chữ cái L .



2.3.2. Phân loại và ứng dụng của cuộn cảm.

- Dựa theo ứng dụng mà cuộn cảm có một số loại sau:

+ Cuộn cộng hưởng là các cuộn dây dùng trong các mạch cộng hưởng LC.

- + Cuộn lọc là các cuộn dây dùng trong các bộ lọc một chiều.
- + Cuộn chặn dùng để ngăn cản dòng cao tần, v.v..
- Dựa vào loại lõi của cuộn dây, có thể chia các cuộn dây ra một số loại sau.

Chúng ta sẽ xem xét cụ thể từng loại một.

a. Cuộn dây lõi không khí hay cuộn dây không có lõi:

Cuộn dây lõi không khí có nhiều ứng dụng, thường gặp nhất là các cuộn cộng hưởng làm việc ở tần số cao và siêu cao.

Các yêu cầu chính của cuộn dây không lõi là:

- Điện cảm phải ổn định ở tần số làm việc.
- Hệ số phẩm chất cao ở tần số làm việc.
- Điện dung riêng nhỏ.
- Hệ số nhiệt của điện cảm thấp.
- Kích thước và giá thành phải hợp lý.

Để có độ ổn định cao, cuộn dây thường được quấn trên một ống cốt bền chắc bằng bìa hoặc sứ. Để giảm điện dung riêng có thể chia cuộn dây thành nhiều cuộn nhỏ nối tiếp.

Dây đồng nói chung được dùng đến tần số khoảng 50 MHz. Ở tần số cao hơn, cuộn dây thường được thay bằng ống đồng hoặc dải đồng tự đỡ (thường được mạ bạc để có điện dẫn xuất bề mặt cao) để tránh tổn thất trong ống quấn.

Các cuộn dây thường được tẩm dung dịch paraffin để chống ẩm, tăng độ bền cơ học, nhất là đối với các cuộn dây dùng sợi nhỏ chập lại hoặc cuộn dây quấn theo kiểu "tổ ong". Ở tần số Radio, các cuộn dây thường được bọc kim (đặt trong vỏ nhôm...) để tránh các nhiễu điện từ không mong muốn.

Muốn tăng điện cảm của cuộn dây mà không cần tăng số vòng dây, người ta dùng các lõi sắt từ

b. Cuộn dây lõi sắt bụi:

Cuộn dây lõi sắt bụi thường được dùng ở tần số cao và trung tần. Cuộn dây lõi sắt bụi có tổn thất thấp, đặc biệt là tổn thất do dòng điện xoáy ngược, và độ từ thẩm thấp hơn nhiều so với loại lõi sắt.

c. Cuộn dây lõi Ferit:

Cuộn dây lõi Ferit là các cuộn dây làm việc ở tần số cao và trung tần.

Lõi Ferit có nhiều hình dạng khác nhau như: thanh, ống, hình chữ E, chữ C, hình xuyên, hình nôi, hạt đậu, v.v.. Trong hình (2-20) mô tả một số loại cuộn dây cao tần và trung tần. Lõi trong cuộn dây có thể được chế tạo để điều chỉnh đi vào hoặc đi ra khỏi cuộn dây. Như vậy điện cảm của cuộn dây sẽ thay đổi. Tùy thuộc vào độ dày của sợi dây sử dụng và vào kích thước vật lý của cuộn dây, dòng điện cực đại có thể khoảng từ 50 mA đến 1 A.

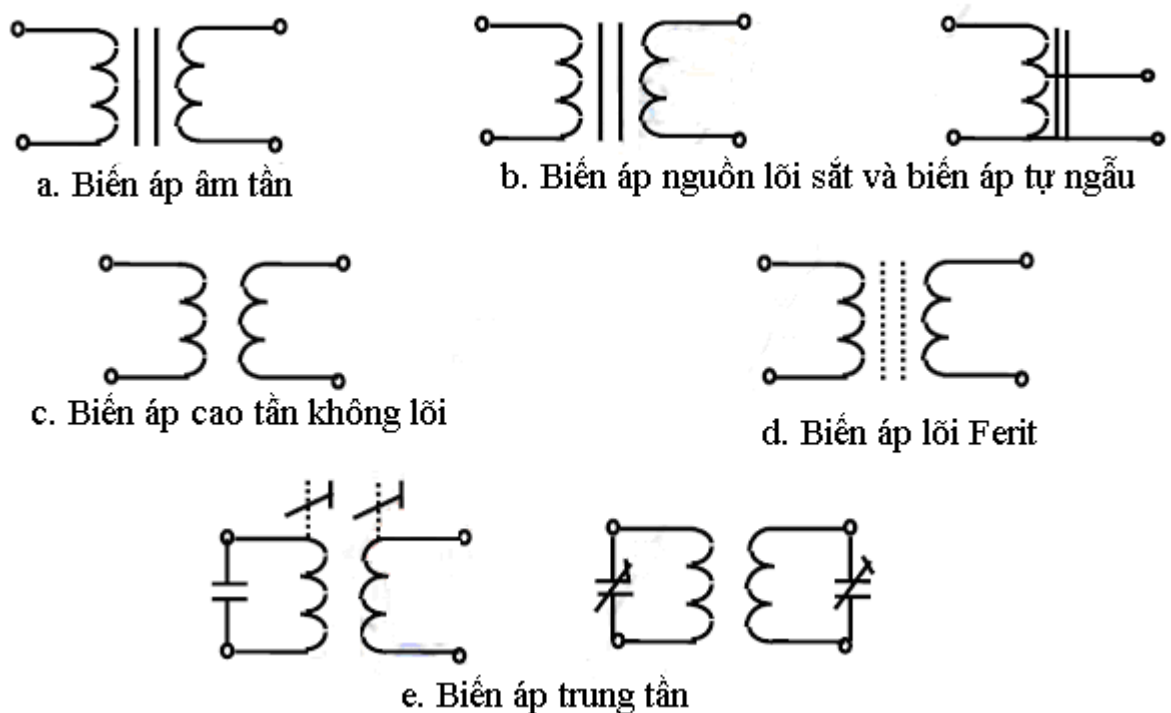
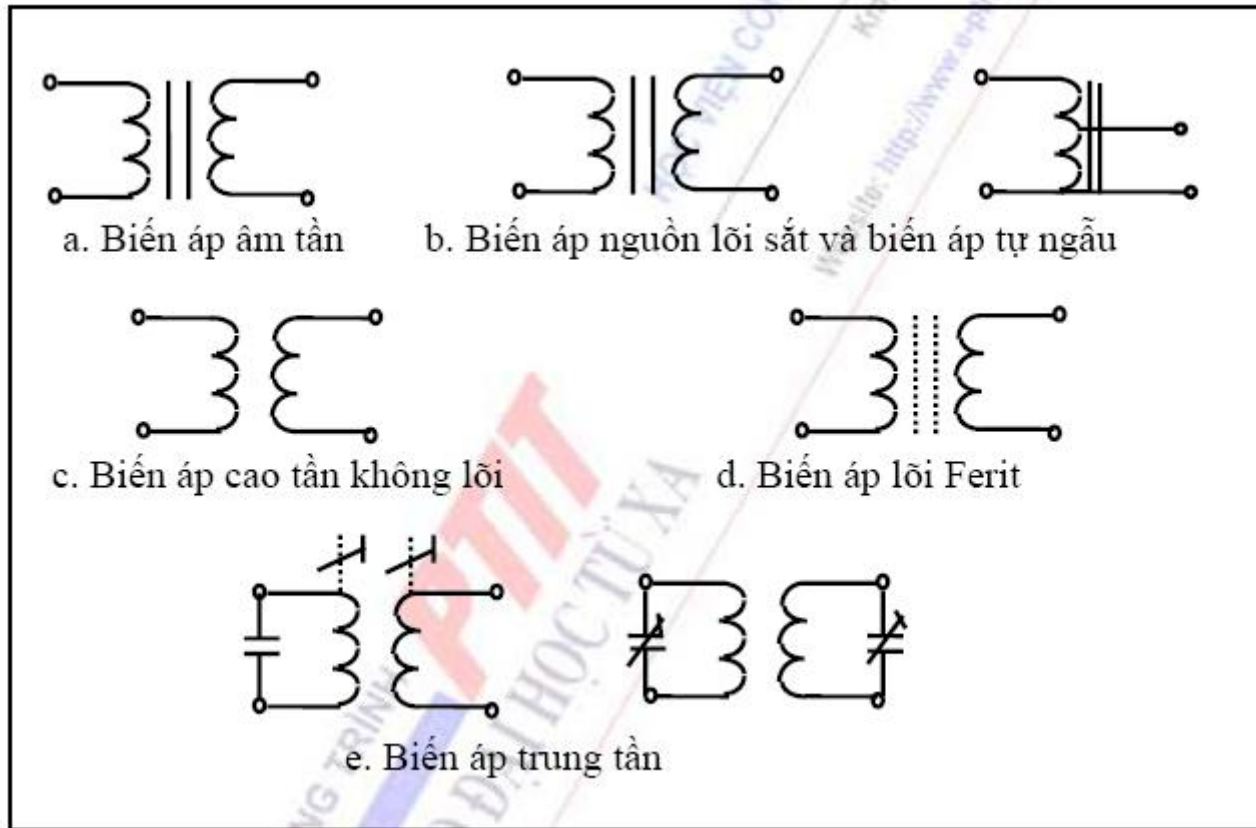
2.4. Biến áp

2.4.1. Định nghĩa và ký hiệu trong sơ đồ mạch.

a. Định nghĩa

Biến áp là thiết bị gồm hai hay nhiều cuộn dây ghép hồ cảm với nhau để biến đổi điện áp. Cuộn dây đầu vào nguồn điện gọi là cuộn sơ cấp, các cuộn dây khác đầu vào tải tiêu thụ năng lượng điện gọi là cuộn thứ cấp.

b. Ký hiệu của biến áp trong các sơ đồ mạch điện



2.4.2. Phân loại và ứng dụng của biến áp.

Biến áp là thiết bị làm việc với dòng điện xoay chiều, còn khi làm việc với tín hiệu xung gọi là biến áp xung.

Ngoài công dụng biến đổi điện áp, biến áp còn được dùng để cách điện giữa mạch này

với mạch kia trong trường hợp hai cuộn dây sơ cấp và thứ cấp cách điện với

nhau và được dùng để biến đổi tổng trở trong trường hợp biến áp ghép chặt.

Biến áp cao tần dùng để truyền tín hiệu có chọn lọc thì dùng loại ghép lỏng, nhưng biến áp cao tần dùng để biến đổi tổng trở thì dùng loại ghép chặt.

Biến áp ghép chặt lý tưởng có $\eta \approx 100\%$, không có tổn thất của lõi và dây ($K \approx 1$).

Sau đây là một số loại biến áp thông dụng.

a. Biến áp cộng hưởng:

Đây là biến áp cao tần (dùng ở trung tần hoặc cao tần) có lõi không khí hoặc sắt bụi hoặc ferit. Các biến áp này ghép lỏng và có một tụ điện mắc ở cuộn sơ cấp hoặc cuộn thứ cấp để tạo cộng hưởng đơn. Thông thường tần số cộng hưởng được thay đổi bằng cách điều chỉnh vị trí của lõi hoặc bao lõi.

Nếu dùng hai tụ điện mắc ở hai cuộn hai bên thì ta có thể có cộng hưởng kép hoặc cộng hưởng lệch.

Để mở rộng dải thông tần, ta dùng một điện trở đệm mắc song song với mạch cộng

hưởng. Lúc đó thì độ chọn lọc tần số của mạch sẽ kém đi.

Thiết kế các biến áp cộng hưởng phải xét đến mạch cụ thể, nhất là đặc tính của các linh kiện tích cực và phải liên hệ đến điện cảm rò và điện dung phân tán của các cuộn dây.

b. Biến áp cấp điện (biến áp nguồn):

Là biến áp làm việc với tần số 50 Hz, 60 Hz. Biến áp nguồn có nhiệm vụ là biến đổi điện áp vào thành điện áp và dòng điện ra theo yêu cầu và ngăn cách thiết bị khỏi khỏi nguồn điện.

Các biến áp thường được ghi giới hạn bằng Vôn- Ampe. Các yêu cầu thiết kế chính của một biến áp cấp điện tốt là:

- Điện cảm cuộn sơ cấp cao để giảm dòng điện không tải xuống giá trị nhỏ nhất.
- Hệ số ghép K cao để điện áp thứ cấp ít sụt khi có tải.
- Tổn thất trong lõi càng thấp càng tốt.
- Kích thước biến áp càng nhỏ càng tốt.

c. Biến áp âm tần:

Biến áp âm tần là biến áp được thiết kế để làm việc ở dải tần số âm thanh khoảng từ 20 Hz đến 20000 Hz. Do đó biến áp này được dùng để biến đổi điện áp mà không được gây méo dạng sóng trong suốt dải tần số âm thanh, dùng để ngăn cách điện một chiều trong mạch này với mạch khác, để biến đổi tổng trở, để đảo pha, v.v..

Các yếu tố ảnh hưởng đến biến áp âm tần cần chú ý:

- Đáp ứng tần số:

Ở tần số thấp, công suất ra bị giới hạn chủ yếu bởi điện cảm cuộn sơ cấp.

Đáp ứng tần số bằng phẳng ở khoảng tần số từ 100 Hz đến 10 KHz. Ở khoảng này, sự

thay đổi tần số không gây ảnh hưởng đến điện áp ra U_2 .

Ở tần số đủ cao, sự mất mát năng lượng do lõi sắt tăng đến mức điện áp ra bị giảm

xuống. Như vậy ở tần số làm việc cao, ảnh hưởng của điện cảm rò và điện dung

phân tán giữa các vòng dây cao hơn.

- Khả năng truyền tải công suất:

Để có thể truyền tải công suất cực đại phải chấp nhận một lượng méo dạng sóng nhất

định. Lượng méo này tùy thuộc vào người thiết kế.

Biến áp âm tần có thể dùng lõi sắt từ hoặc lõi ferit, và trên biến áp có ghi công suất (tùy thuộc vào kích thước...), tổng trở cuộn sơ cấp và tổng trở thứ cấp, loại có điểm giữa... Lõi biến áp âm tần cũng thường có khe không khí để chống bão hòa từ do dòng điện một chiều gây ra.

d. Biến áp xung:

Biến áp xung có hai loại: loại tín hiệu và loại công suất.

Biến áp xung có yêu cầu về dải thông tần khắt khe hơn so với biến áp âm tần. Để hoạt

động tốt ở cả tần số thấp (đỉnh và đáy xung) và ở tần số cao (sườn xung), biến áp xung cần phải có điện cảm sơ cấp lớn, đồng thời điện cảm rò nhỏ và điện dung giữa các cuộn dây nhỏ.

Để khắc phục các yêu cầu đối kháng này vật liệu lõi cần có độ từ thẩm cao và kết cấu

hình học của cuộn dây thích hợp. Vật liệu lõi của biến áp xung được chọn tùy thuộc vào dải tần hoạt động có thể là sắt từ hoặc ferit.

e. Biến áp nhiều đầu ra:

Biến áp nhiều đầu ra gồm có 1 cuộn sơ cấp và nhiều cuộn thứ cấp. Điện áp ra ở mỗi cuộn phụ thuộc vào số vòng dây của cuộn đó cũng như phụ thuộc vào điện áp cuộn sơ cấp và số vòng dây của cuộn sơ cấp.

Một điều quan trọng cần chú ý là tổng điện áp ra được tính là tổng của các điện áp thứ

cấp nếu các cuộn thứ cấp nối ghép theo kiểu trợ giúp và tất cả các điện áp của các cuộn dây đều cùng pha.

Nếu 1 trong các cuộn dây ghép nối theo kiểu ngược lại, sao cho điện áp của nó ngược

pha với các điện áp khác thì phải lấy các điện áp khác trừ đi điện áp của nó.

CHƯƠNG 3. ĐIÓT BÁN DẪN

3.1. Chuyển tiếp p-n ở trạng thái cân bằng

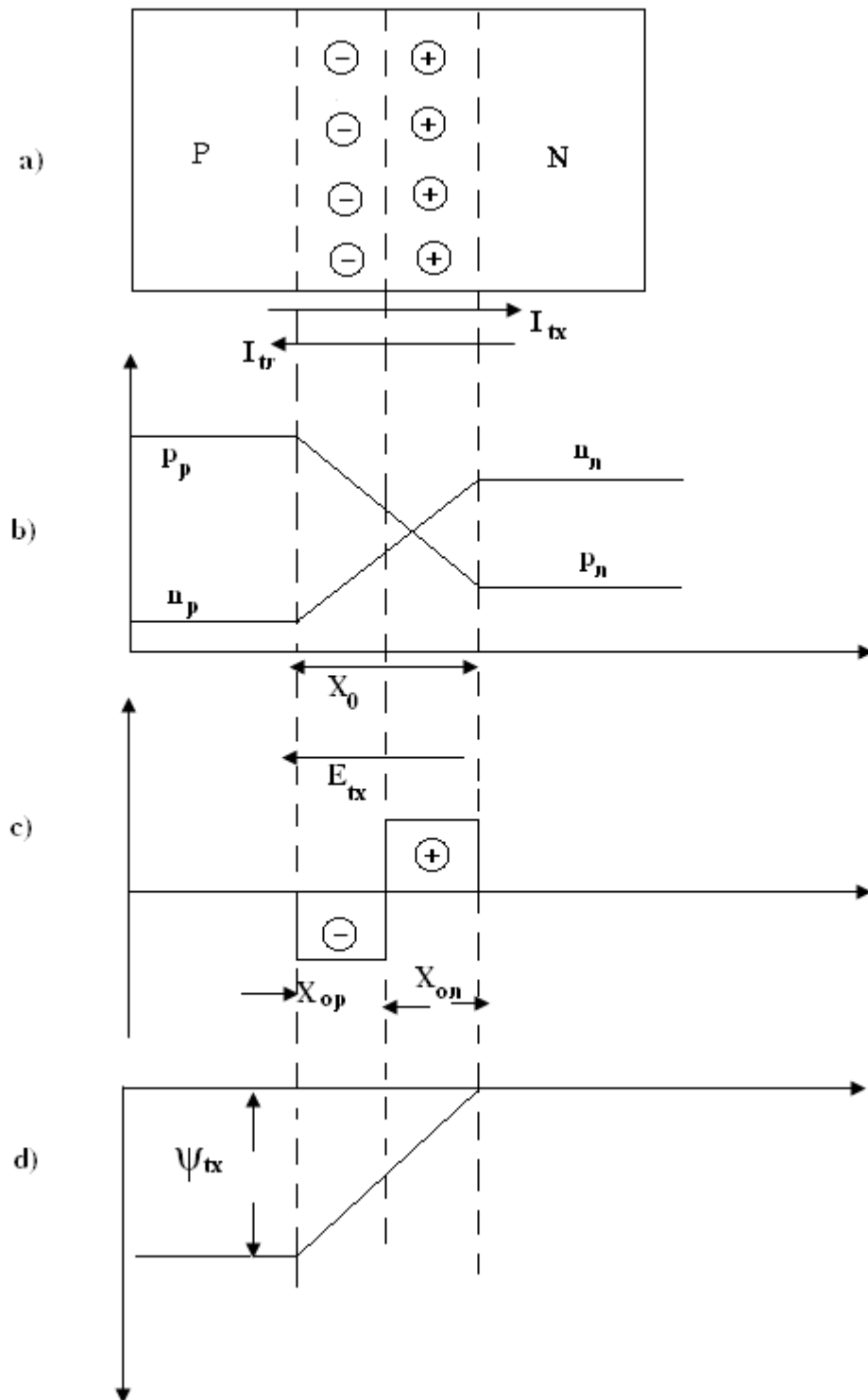
Bán dẫn loại P, lỗ trống là hạt dẫn đa số, điện tử là hạt dẫn thiểu số. Bán dẫn loại N, điện tử là hạt dẫn đa số, lỗ trống là hạt dẫn thiểu số. Khi cho 2 bán dẫn này tiếp xúc công nghệ với nhau, tại bề mặt tiếp xúc, lỗ trống sẽ khuếch tán từ bán dẫn P sang bán dẫn N, ngược lại điện tử sẽ khuếch tán sang bán dẫn P (vì có sự chênh lệch về nồng độ $n_n \gg n_p$ và $p_p \gg p_n$). Như vậy, tại gần bề mặt tiếp xúc bán dẫn P sẽ có những ion âm của các nguyên tử aczepto đã bị ion hóa, tại gần bề mặt tiếp xúc bán dẫn N còn lại các ion dương của các dono bị ion hóa. Do sự khuếch tán các hạt đa số mà tại miền lân cận mặt tiếp xúc mất đặc tính trung hòa về điện. Phía N tích điện dương, phía P tích điện âm $\Rightarrow$ hình thành nên 1 điện trường khuếch tán E_{kt} , gọi là nội trường (trường phía bên trong), chiều của E_{kt} từ hướng từ N sang P. Như vậy, E_{kt} chống lại sự dịch chuyển của các hạt đa số (chống lại xu hướng khuếch tán ban đầu). Nhưng trường hợp này lại cuốn điện tử từ P sang N, lỗ trống từ N sang P $\Rightarrow$ làm tăng cường sự dịch chuyển của hạt dẫn thiểu số. Khi sự khuếch tán xảy ra mãnh liệt vùng điện tích âm, dương ở 2 phía bán dẫn P, N càng rộng ra (số điện tích tăng lên) $\Rightarrow E_{kt}$ tăng lên $\Rightarrow$ dòng khuếch tán các hạt đa số I_{kt} giảm đi, còn dòng cuốn các hạt thiểu số I_{tr} ngày càng tăng lên. Cuối cùng dòng cuốn các hạt đa số bằng dòng cuốn các hạt thiểu số ($I_{kt} = I_{tr}$), tức là có bao nhiêu hạt dẫn đưa từ P sang N thì có bấy nhiêu hạt dẫn được đưa từ N sang P $\Rightarrow$ chuyển tiếp p-n ở trạng thái cân bằng. Đó là một trạng thái cân bằng động.

Ở trạng thái cân bằng, số ion âm nằm trên bề mặt tiếp xúc về phía P và số ion dương nằm trên bề mặt tiếp xúc về phía N bằng nhau không đổi, do đó cường độ nội trường E_{tx} cũng đạt tới giá trị nhất định. Miền các ion dương và âm trên không có hạt dẫn cho nên gọi đó là miền điện tích không gian (đôi khi còn gọi là miền nghèo). Khoảng cách từ bờ miền điện tích không gian phía P sang bờ miền điện tích không gian phía N gọi là độ rộng miền điện tích không gian (X_m). Khi đạt đến trạng thái cân bằng độ rộng miền điện tích không gian cũng xác định.

Hiệu điện thế tiếp xúc có giá trị xác lập, được xác định bởi :

$$\Psi_{tx} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{p_p}{p_n}\right) = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{n_n}{n_p}\right)$$

Với những điều kiện tiêu chuẩn, ở nhiệt độ phòng, ψ_{tx} có giá trị khoảng 0,3V với loại tiếp xúc p-n làm từ Ge và 0,6V với loại Si.



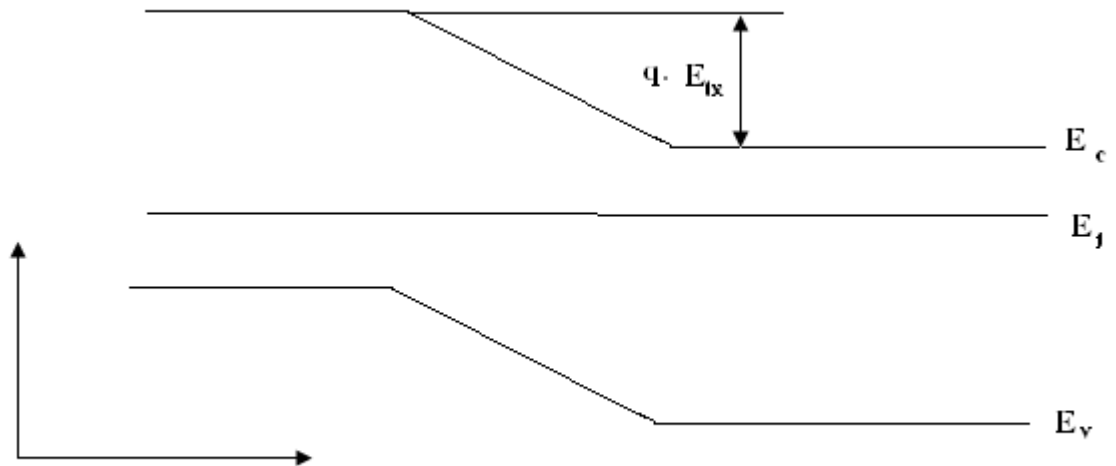
Hình 3.1. Mặt ghép PN khi chưa có điện trường

- a. Mô hình cấu trúc một chiều
- b. Phân bố nồng độ hạt theo phương x
- c. Vùng điện tích khối tại lớp nghèo
- d. Hiệu thế tiếp xúc hay hàng rào thế tại nơi tiếp xúc

Tuỳ theo sự phân bố tạp chất tại gần bề mặt tiếp xúc người ta chia chuyển tiếp P-N thành hai loại chính: nếu sự biến đổi nồng độ tạp chất tại bề mặt tiếp xúc xảy ra đột

ngột, gọi là chuyển tiếp nhảy bậc, nếu sự biến đổi nồng độ xảy ra từ từ gọi là chuyển tiếp tuyến tính. Tuy nhiên đặc tính của hai chuyển tiếp khác nhau không nhiều lắm.

Quan sát giản đồ năng lượng của chuyển tiếp p-n: Trục đứng biểu diễn năng lượng toàn phần của điện tử và trục ngang biểu diễn kích thước hình học của chuyển tiếp p-n



Hình 3.2. Giản đồ năng lượng của chuyển tiếp P-N ở điều kiện cân bằng

Trên giản đồ năng lượng của chuyển tiếp p-n tại những miền có điện trường tiếp xúc, ranh giới của các miền năng lượng sẽ bị cong đi. Tại những miền ở xa lớp tiếp xúc, không tồn tại điện trường khuếch tán do đó ranh giới của các miền năng lượng không bị ảnh hưởng và được biểu diễn bằng các đường nằm ngang. Hiệu điện thế tiếp xúc Ψ_{tx} xác định chiều cao rào thế của chuyển tiếp P-N ở điều kiện cân bằng ($\Psi_{tx} = qE_{tx}$).

Vị trí mức trong chuyển tiếp PN ở trạng thái cân bằng không đổi, có nghĩa là mức Fermi trong miền điện tích không gian trong bán dẫn N và P bằng nhau.

Miền P cao hơn miền N một mức. Điều này có nghĩa là trong miền không gian tồn tại điện trường từ N đến P. Giản đồ năng lượng trong miền không gian bị uốn cong, điều này phản ánh sự thay đổi của thế năng điện tử. Nếu điện tử muốn đi từ N sang P hoặc lỗ trống muốn đi từ P sang N đều phải vượt qua chiều cao mức uốn năng lượng.

3.2. Chuyển tiếp p-n ở điều kiện không cân bằng

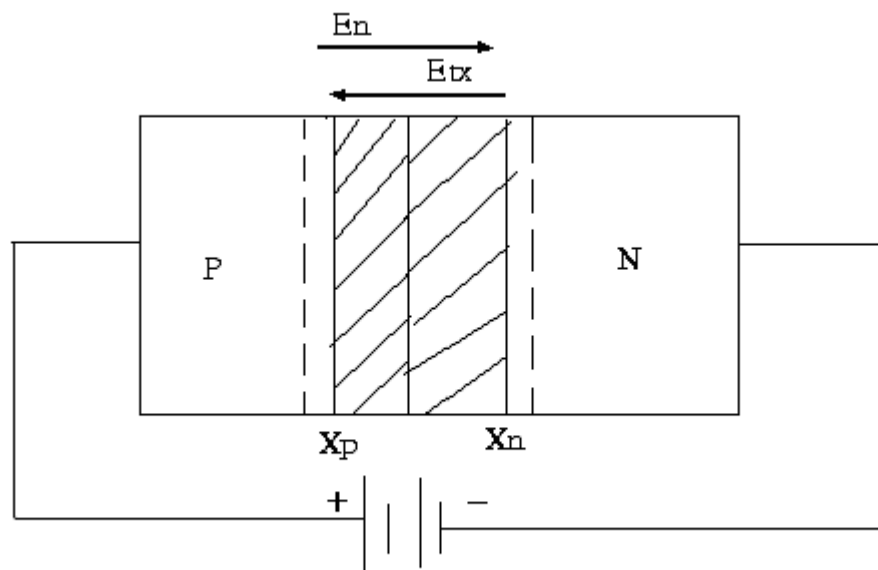
Là chuyển tiếp P-N khi có điện áp ngoài đặt vào. Khi đặt điện áp bên ngoài vào chuyển tiếp p-n có thể xảy ra hai trường hợp: nếu điện cực dương của điện áp ngoài đặt vào bán dẫn P, điện cực âm đặt vào bán dẫn N gọi là phân cực thuận. Ngược lại đó là phân cực ngược.

3.2.1. Đặc tính của chuyển tiếp p-n phân cực thuận

Đặt vào chuyển tiếp p-n một trường điện từ bên ngoài $\rightarrow$ trạng thái cân bằng của chuyển tiếp p-n bị phá vỡ.

Điện trường bên ngoài E_{ng} có chiều ngược với chiều của điện trường khuếch tán E_{kt} thì điện trường tổng cộng trong vùng điện tích không gian sẽ bị giảm xuống $\Rightarrow$ các hạt cơ bản sẽ xích lại gần nhau hơn với lớp tiếp xúc.

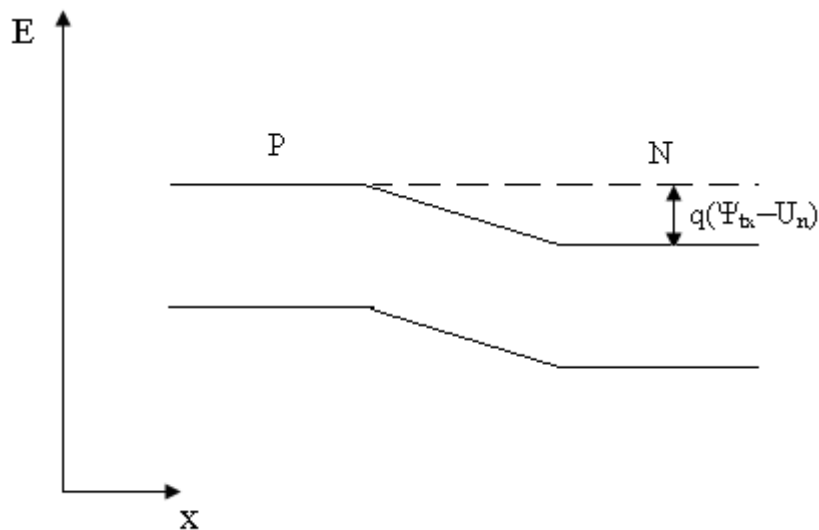
Xét độ rộng của miền điện tích không gian: Do điện cực của điện áp bên ngoài đặt vào, các bán dẫn trong lỗ trống P và điện tử trong bán dẫn N ($++$, $--$ đẩy nhau) bị đẩy về phía miền điện tích không gian, trung hoà bớt các ion dương và âm của miền này do đó làm cho độ rộng của miền này hẹp lại. Điện áp thuận càng lớn, số hạt dẫn đa số bị đẩy về phía miền điện tích không gian càng nhiều và độ rộng của nó càng giảm nhỏ. Rõ ràng là độ rộng miền điện tích không gian giảm nhỏ tương ứng với số điện tích vùng này giảm và do đó điện trường của nó cũng giảm nhỏ so với khi cân bằng một lượng là $(\Psi_{tx} - U)$



Hình 3.3. Chuyển tiếp P-N phân cực thuận

Phần lớn các hạt cơ bản có đủ năng lượng để vượt qua hàng rào thế năng và đi vào vùng điện tích không gian $\Rightarrow$ dòng qua chuyển tiếp p-n tăng lên. Điện trường có chiều ngược chiều của điện trường khuếch tán gọi là điện trường thuận hay điện trường dương.

Ta có giản đồ vùng năng lượng của chuyển tiếp P-N như sau:



Hình 3.4. Giải đồ năng lượng của chuyển tiếp P-N phân cực thuận

Giải thích sự sụt mức rào thế: hàng rào thế năng bị thấp xuống một đoạn là $q(\Psi_{tx} - U_n)$ trong đó Ψ_{tx} điện áp tiếp xúc, U_n là điện áp bên ngoài đặt vào PN (điện áp phân cực thuận). Độ dốc rào thế thể hiện rằng điện tử muốn đi từ P sang N phải vượt qua một độ cao rào thế chỉ bằng $q(\Psi_{tx} - U_n)$.

Giải thích sự dịch chuyển của mức năng lượng Fecmi:

+ Trong miền $X'_p - X_p$ là miền khuếch tán điện tử, mức Fecmi của lỗ trống có thể coi như gần giống với mức Fecmi của bán dẫn P nằm ngoài X'_p .

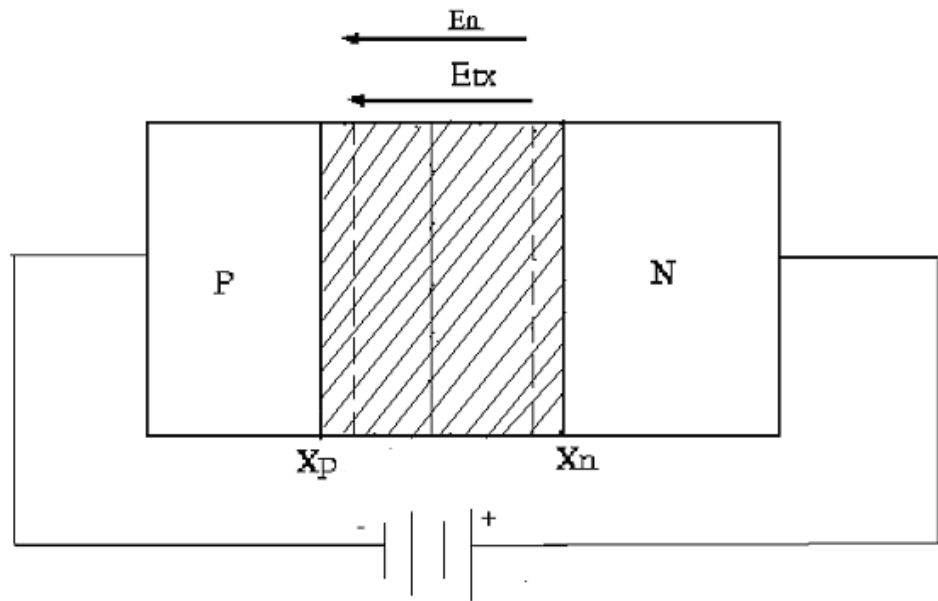
Mức chuẩn Fecmi điện tử tăng dần từ điểm X'_p đến điểm X_p ở mức trùng với E_{Fp} đến điểm X_p ngang với mức Fecmi $(E_F)_n$ trong bán dẫn N trong miền này thể hiện bán dẫn đang quá độ từ P sang N.

+ Trong miền khuếch tán lỗ trống $(X'_n - X_n)$ mức chuẩn Fecmi điện tử E_{Fn} có thể coi nh- giống mức Fecmi $(E_F)_n$ trong bán dẫn N cân bằng. Còn mức chuẩn Fecmi lỗ trống (E_{Fp}) lại biến đổi từ mức trùng với E_{Fn} tại điểm X'_n đến mức ngang với $(E_F)_p$ tại điểm X_n . Nh- vậy có nghĩa là miền khuếch tán lỗ trống bán dẫn đang quá độ từ N sang P.

3.2.2. Phân cực ngược

E_{ng} cùng chiều với $E_{kt} \Rightarrow$ điện trường tổng cộng trong vùng điện tích không gian tăng lên $\Rightarrow$ ngăn các hạt tải cơ bản trong vùng trống xích lại gần lớp tiếp xúc công nghệ, vì vậy chiều rộng vùng điện tích không gian tăng lên, hàng rào thế năng cũng tăng lên (một đại lượng là $q(\Psi_{tx} + V) \Rightarrow$ các hạt tải cơ bản không đủ năng lượng để vượt qua hàng rào thế năng này, dẫn đến sự suy giảm dòng các hạt tải qua chuyển tiếp p-n. Điện trường có chiều ngược với điện trường khuếch tán gọi là điện trường âm hay điện trường nghịch của chuyển tiếp p-n. Chuyển tiếp p-n được gọi là chuyển tiếp

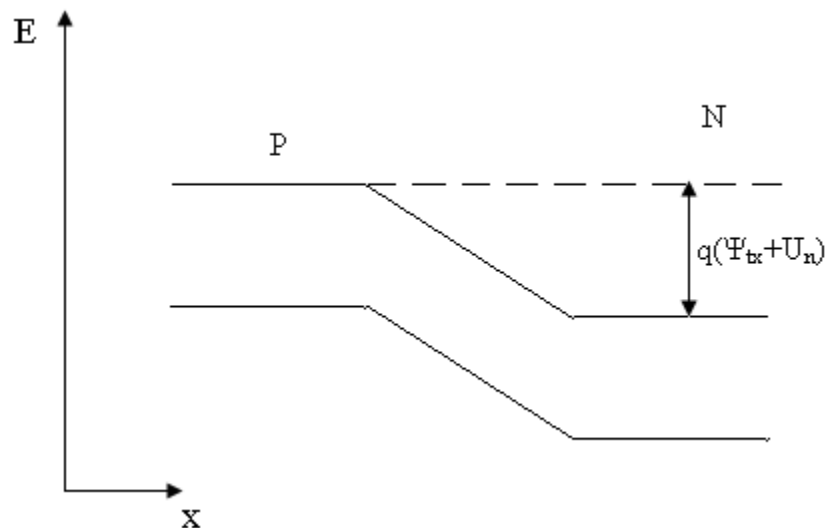
p-n phân cực ngược.



Hình 3.5. Chuyển tiếp P-N phân cực ngược

Lưu ý: Khi p-n phân cực ngược dòng các hạt tải không cơ bản (các điện tử trong miền p, các lỗ trống trong miền n) có thể chuyển dịch vào trong miền tiếp xúc (bản chất là do điện trường tăng cuốn các hạt thiểu số). Lúc này sẽ có 1 dòng điện rất nhỏ chuyển rời qua chuyển tiếp p-n; dòng điện này được gọi là dòng điện ngược (dòng rò) của chuyển tiếp p-n. Dòng này có xu hướng tiến tới 1 giá trị bão hòa nào đó, và gọi là dòng bão hòa.

Giản đồ năng lượng:



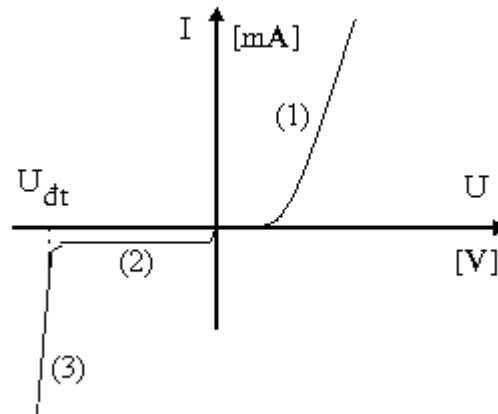
Hình 3.6. Giản đồ năng lượng của chuyển tiếp P-N phân cực ngược

- Giải thích sự sụt mức rào thế: hàng rào thế năng bị thấp xuống một đoạn là $q(\Psi_{tx} + U_n)$ trong đó Ψ_{tx} điện áp tiếp xúc, U_n là điện áp bên ngoài đặt vào PN (điện áp phân cực thuận). Độ dốc rào thế thể hiện rằng điện tử muốn đi từ P sang N phải vượt qua một độ cao rào thế lớn và bằng $q(\Psi_{tx} + U_n)$.

3.3. Hiện tượng đánh thủng chuyển tiếp p-n

3.3.1. Hiện tượng đánh thủng chuyển tiếp p-n

Khi p-n phân cực ngược, có dòng ngược và đạt đến giá trị bão hòa, nếu tiếp tục tăng điện áp ngược qua giá trị nhất định $\rightarrow$ dòng ngược tăng đột ngột $\rightarrow$ hiện tượng đánh thủng p-n. Điện áp ngược tương ứng với điểm này gọi là điện áp đánh thủng.



Đ- ờng đặc tuyến (3) là đặc tuyến đánh thủng chuyển tiếp PN

Hình 3.6. Đặc tuyến V-A của chuyển tiếp P-N bị đánh thủng

Hiện tượng đánh thủng trong bán dẫn nói chung có hại, nó tăng dòng điện đột ngột gây ra nguy cơ làm hỏng dụng cụ. Hiện tượng đánh thủng đôi khi cũng có lợi, dùng trong điốt ổn định.

- Có 2 cơ chế đánh thủng cơ bản

- +) Đánh thủng thác lũ
- +) Đánh thủng xuyên hầm

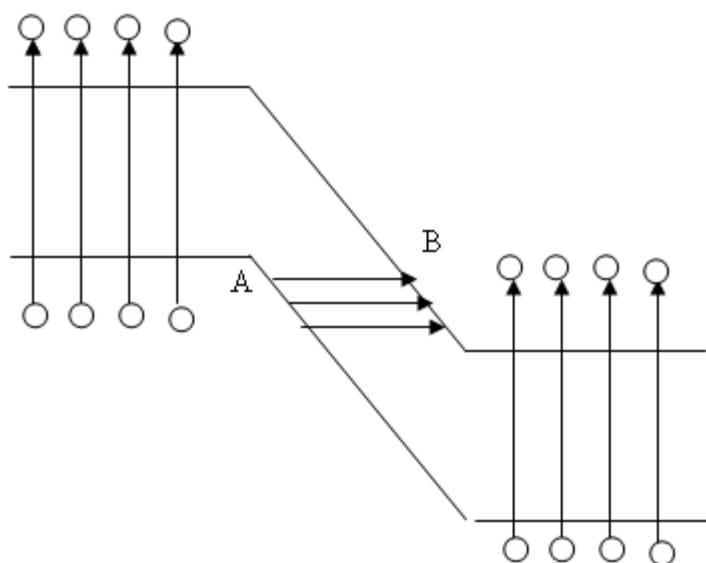
3.3.2. Hiện tượng đánh thủng thác lũ

Khi tăng điện áp ngược, điện trường trong miền điện tích không gian cũng tăng lên, các hạt dẫn thiểu số bị cuốn qua, điện trường mang theo một động năng ngày càng lớn. Trong quá trình chuyển động, chúng va đập với các nguyên tử, làm bắn ra các điện tử vòng ngoài, nghĩa là làm ion hoá các nguyên tử bán dẫn, khiến các hạt dẫn trong miền điện tích không gian tăng lên. Hiện tượng ion hoá này gọi là ion hoá do va chạm. Số điện tử tự do phát sinh do va chạm này tiếp tục đập vào các nguyên tử mới làm bắn ra các điện tử tự do. Hiện tượng này xảy ra liên tục và nhanh chóng khiến số hạt dẫn trong bán dẫn tăng lên đột ngột, điện trở suất giảm đi và dòng qua chuyển tiếp P-N đột ngột tăng lên. Cơ chế này có hình ảnh như thác lũ do đó gọi là cơ chế thác lũ.

3.3.3. Hiện tượng đánh thủng xuyên hầm

Điện trường của chuyển tiếp P-N không những chỉ gia tốc các hạt thiểu số mà còn cung cấp năng lượng cho các nguyên tử lớp ngoài cùng của nguyên tử bán dẫn. Nếu những điện tử này nhận được năng lượng đủ lớn, chúng có thể tách khỏi nguyên tử trở thành điện tử tự do. Hiện tượng ion hoá này gọi là hiện tượng ion hoá do điện trường. Nếu điện áp ngược đặt vào lớn, điện trường ngược đặt vào lớn, hiện tượng ion hoá xảy ra trên nhiều nguyên tử bán dẫn và do đó số hạt dẫn tăng lên đột ngột làm cho dòng ngược đột ngột tăng lên. Hiện tượng đánh thủng này còn gọi là hiện tượng đánh thủng xuyên hầm hay đánh thủng Zenner.

Ta có thể giải thích 2 cơ chế đánh thủng bằng giản đồ vùng năng lượng



Hình 3.7. Cơ chế đánh thủng theo mô hình vùng năng lượng

+ Khi đánh thủng thác lũ, các điện tử trong vùng hoá trị do nhận được năng lượng do va chạm, nhảy thẳng lên vùng dẫn, do đó nồng độ hạt dẫn trong bán dẫn tăng lên.

+ Khi đánh thủng xuyên hầm, các điện tử hoá trị lên vùng dẫn không phải nhảy qua vùng cấm mà đi theo đường hầm. Bởi do điện áp phân cực ngược lớn nên độ uốn cong của giản đồ năng lượng tới một lúc nào đó do có một số điện tử trong vùng hoá trị bên P có thể năng lớn hơn hay ít ra cũng bằng thế năng của điện tử trong vùng bán dẫn loại N, ví dụ vị trí A và B trên hình. Điện trường ngược càng lớn, độ uốn giản đồ vùng năng lượng càng nhiều xác suất xuyên hầm càng tăng. Độ rộng xuyên hầm giảm tới một giá trị nhất định, số hạt dẫn xuyên hầm tăng lên đột ngột gây ra hiện tượng đánh thủng xuyên hầm.

Nhận xét: - Khó phân biệt giữa đánh thủng thác lũ, đánh thủng xuyên hầm

- Đánh thủng xuyên hầm xảy ra ngay lập tức, đánh thủng thác lũ cần có quá

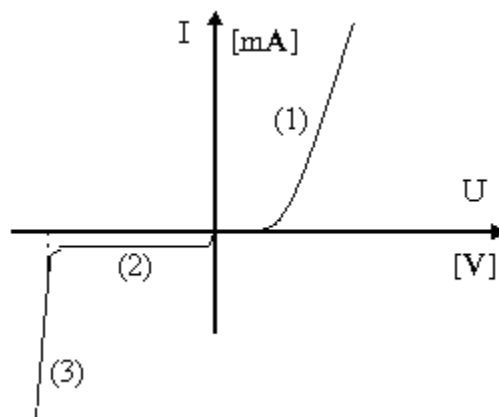
trình.

- Hệ số nhiệt độ của điện áp đánh thủng xuyên hầm có giá trị âm, của điện áp đánh thủng thác lũ có giá trị dương.

3.4. Điốt bán dẫn sử dụng chuyển tiếp p-n

3.4.1. Điốt chỉnh lưu

Điốt bán dẫn có cấu tạo là một chuyển tiếp P-N với hai điện cực nối ra ngoài phía miền P gọi là anốt và phía miền N gọi là catốt. Nối tiếp điốt bán dẫn với một nguồn điện áp ngoài qua một điện trở hạn chế dòng, biến đổi cường độ và chiều của điện áp ngoài, người ta thu được đặc tuyến Von – Ampe của điốt có dạng như sau:



Hình 3.10. Đặc tuyến Von – Ampe của điốt chỉnh lưu

Trong vùng (1) và (2) phương trình mô tả đường cong có dạng:

$$I_A = I_S(T) \left[\exp\left(\frac{U_{AK}}{mU_T}\right) - 1 \right]$$

Trong đó:

hạt ta có điốt + I_S là dòng điện ngược bão hoà có giá trị gần như không phụ thuộc vào U_{AK} , chỉ phụ thuộc vào nồng độ thiểu số lúc cân bằng, vào độ dài khuếch tán tức là vào bản chất cấu tạo chất bán dẫn tạp chất loại n và p và do đó phụ thuộc vào nhiệt độ.

$$+ U_T = \frac{kT}{q} \text{ gọi là thế nhiệt, ở nhiệt độ } T=300^0\text{K, } q=1,6.10^{-19}\text{C,}$$

$$k= 1,38.10^{-23}\text{J/K, } U_T=25,5\text{mV .}$$

Tại vùng mở (phân cực thuận): U_T và I_S có phụ thuộc vào nhiệt độ nên dạng đường cong phụ thuộc vào nhiệt độ với hệ số nhiệt xác định bởi đạo hàm riêng U_{AK} theo nhiệt độ

$$\frac{\partial U_{AK}}{\partial T} / I_{A=const} \approx -2mV/K$$

Nghĩa là giữ cho dòng điện thuận qua van không đổi, điện áp thuận giảm theo nhiệt độ với tốc độ $-2mV/K$.

Tại vùng khoá (phân cực ngược): giá trị I_s nhỏ và tăng gấp đôi khi gia số nhiệt độ tăng 10^0C .

Trong các mạch điện thực tế người ta có các biện pháp ổn định bán dẫn khi làm việc và chống (bù) lại các nguyên nhân do nhiệt độ gây ra.

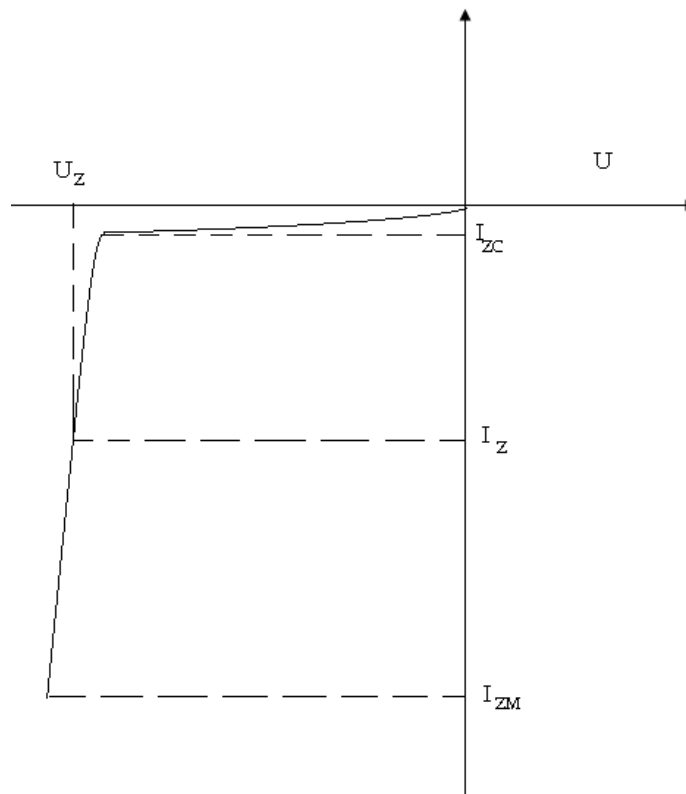
Tại vùng đánh thủng (khi $U_{AK} < 0$ và có trị số đủ lớn) dòng điện ngược tăng lên đột ngột trong khi đó điện áp giữa A và K không tăng.

3.4.2. Điốt Zenner

a. Đặc tuyến Volt – Ampe

Khi phân cực thuận, điốt Zenner hoạt động như một điốt thông thường. Đặc tuyến V-A của điốt Zenner giống như đặc tuyến của một điốt phân cực thuận thông thường.

Khi phân cực ngược bằng một điện áp lớn. Hiệu ứng xảy ra trong điốt Zenner là hiệu ứng thác lũ và hiệu ứng Zenner (phần trên). Như vậy ở nhánh ngược của đặc tuyến V-A sẽ xuất hiện một điện áp rất ổn định U_Z khi dòng ngược tăng không đáng kể.

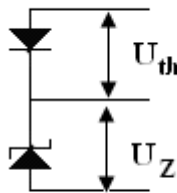


Hình 2.11. Đặc tuyến V-A của điốt Zenner

b. Ứng dụng của diôt Zenner

Ổn định điện áp phân cực thuận trên các chuyển tiếp PN khi nhiệt độ thay đổi là vấn đề quan trọng khiến các dụng cụ bán dẫn làm việc ổn định. Chuyển tiếp PN của diôt bán dẫn Si có hệ số nhiệt âm trong khi đó diôt ổn định có hệ số nhiệt dương. Người ta lợi dụng đặc tính này để bù nhiệt.

Ví dụ: Một diôt ổn định có $U_Z = 6,2 \text{ V}$, ở nhiệt độ 25^0C có hệ số nhiệt độ là $0,02\%/^0\text{C}$, được mắc nối tiếp với diôt Si có điện áp thuận $U_{th} = 0,7\text{V}$ và hệ số nhiệt âm $= -1,8\text{mV}/^0\text{C}$. Hãy xác định điện áp và hệ số nhiệt độ của tổ hợp này, Tính giá trị điện áp của tổ hợp ở 50^0C .



Hệ số nhiệt tuyệt đối của diôt ổn định:

$$\theta_T = (6,2 \cdot 0,02)/100\text{V}/^0\text{C} = 1,24\text{mV}/^0\text{C}$$

Hệ số nhiệt độ tuyệt đối của cả tổ hợp:

$$\theta_T = (1,24 - 1,8)\text{mV}/^0\text{C} = -0,56\text{mV}/^0\text{C}$$

Điện áp của cả tổ hợp ở 25^0C :

$$U = U_Z + U_{th} = 6,2 + 0,7 = 6,9 \text{ V}$$

Hệ số nhiệt độ tương đối của cả tổ hợp:

$$\theta_T = (-0,00056 \cdot 100) \cdot 6,9\%/^0\text{C} = -0,008\%/^0\text{C}$$

Điện áp của cả tổ hợp ở 50^0C :

$$U = 6,9 \text{ V} - 0,56\text{mV}(50^0 - 25^0) = 6,886\text{V}$$

Nhận xét: Nếu dùng diôt ổn định để bù nhiệt độ thì hệ số nhiệt của cả tổ hợp giảm đi nhiều và do đó và do đó khi nhiệt độ môi trường thay đổi lớn, điện áp của cả tổ hợp thay đổi không đáng kể.

- Diôt ổn định có thể được dùng riêng lẻ hoặc phối hợp với các dụng cụ bán dẫn khác để ổn định điện áp.

3.4.3. Diôt Tunnel và diôt ngược

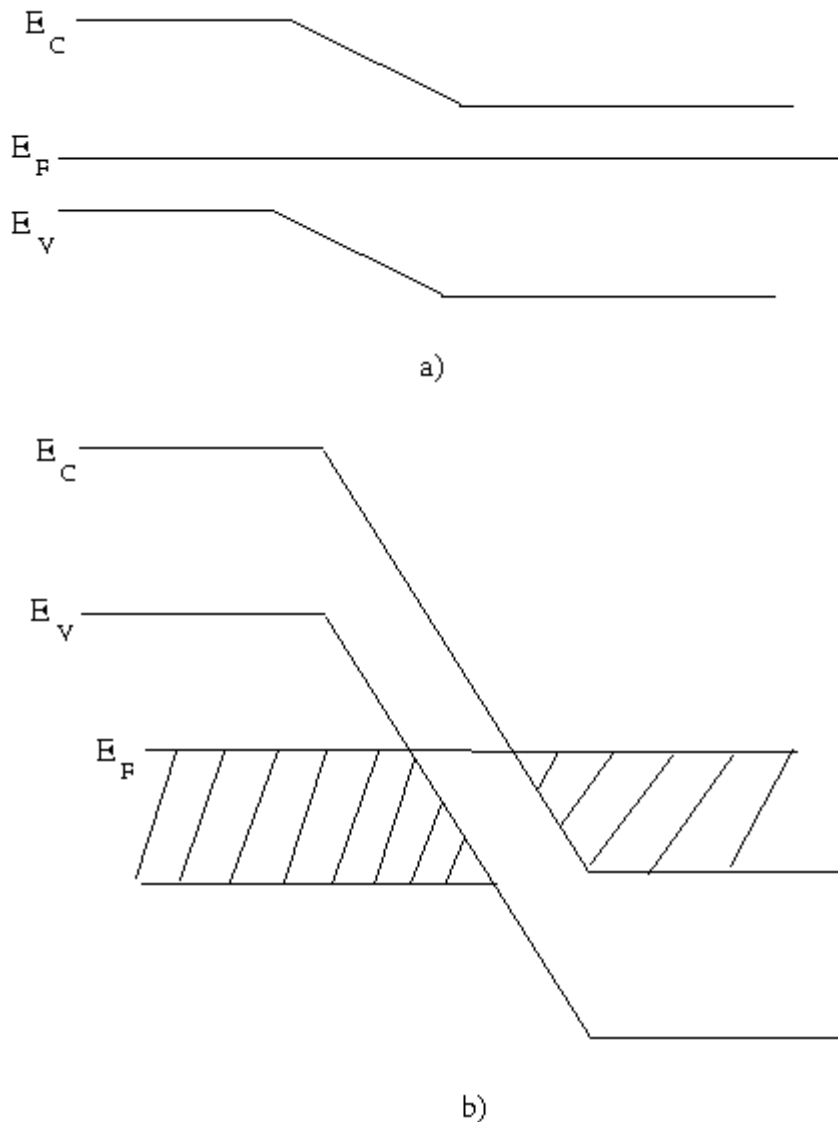
3.4.3.1. Diôt Tunnel

a. Hiệu ứng Tunnel của chuyển tiếp PN

Đối với bán dẫn loại P nồng độ tạp chất càng lớn, mức Fecmi càng dịch chuyển gần về phía đỉnh vùng hoá trị, còn đối với bán dẫn N, nồng độ tạp chất càng lớn mức Fecmi càng dịch chuyển gần về đáy vùng dẫn.

Trong các điốt chỉnh lưu, do mức độ pha tạp vừa phải, mức Fecmi trong điều kiện cân bằng nhiệt động nằm ở giữa vùng cấm. Sự di chuyển của các hạt dẫn thiểu số qua chuyển tiếp PN khi phân cực ngược chủ yếu do tác dụng cuốn của điện trường qua rào thế, còn sự di chuyển của các hạt dẫn đa số qua chuyển tiếp PN phân cực thuận chủ yếu là do khuếch tán vượt qua rào thế.

Nếu tăng nồng độ hạt dẫn trong bán dẫn P và bán dẫn N đạt $10^{19}/\text{cm}^3$ trở lên. Khi đó độ rộng miền điện tích không gian càng hẹp (vài um). Mức Fecmi trong giản đồ vùng năng lượng sẽ nằm sâu vào đáy vùng dẫn bên N và đỉnh vùng hoá trị bên P.



Hình 3.12. Giản đồ năng lượng của chuyển tiếp PN

a. Khi pha tạp bình thường

b. Khi pha tạp nhiều

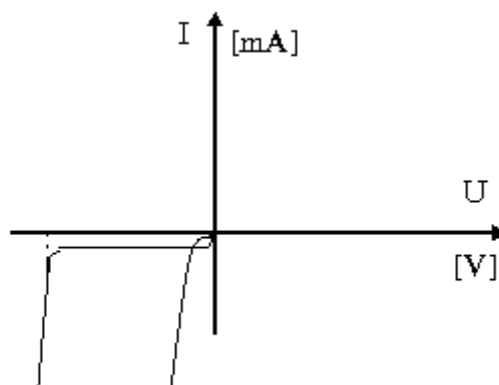
Trong trường hợp như vậy, giữa đáy vùng dẫn bên N và đỉnh vùng hoá trị bên P có những mức năng lượng bằng nhau. Do đó sẽ có những điện tử đi từ vùng hoá trị sang vùng dẫn mà không cần vượt qua rào thế của chuyển tiếp PN (lỗ trống đi theo chiều ngược lại). Sự di chuyển theo phương thức này gọi là hiệu ứng đường hầm. Như vậy khi không có điện áp ngoài đặt vào điốt Tunnel vẫn tồn tại hai dòng tunnel: dòng tunnel điện tử đi từ vùng hoá trị sang vùng dẫn I_{v-e} và dòng Tunnel điện tử từ vùng dẫn đến vùng hoá trị I_{e-v} . Trong trường hợp cân bằng (không có điện áp ngoài đặt vào) cường độ I_{e-v} và I_{v-e} bằng nhau nhưng ngược chiều nhau cho nên qua chuyển tiếp PN đó không có dòng chảy ra cực ngoài.

Khi tiến hành phân cực cho chuyển tiếp PN, trạng thái cân bằng bị phá vỡ. Nếu là phân cực thuận thì dòng I_{e-v} là chủ yếu, khi đó có hiệu ứng Tunnel theo chiều thuận. Nếu phân cực ngược, dòng I_{v-e} sẽ là chủ yếu, khi đó có hiệu ứng Tunnel theo chiều ngược. Chú ý là khi đó qua chuyển tiếp PN vẫn tồn tại dòng cuốn các hạt thiểu số khi phân cực ngược và dòng khuếch tán các hạt đa số khi phân cực thuận. Các dòng này có cường độ nhỏ hơn nhiều so với dòng tunnel.

b. Nguyên lý làm việc và đặc tuyến Volt – Ampe của điốt Tunnel

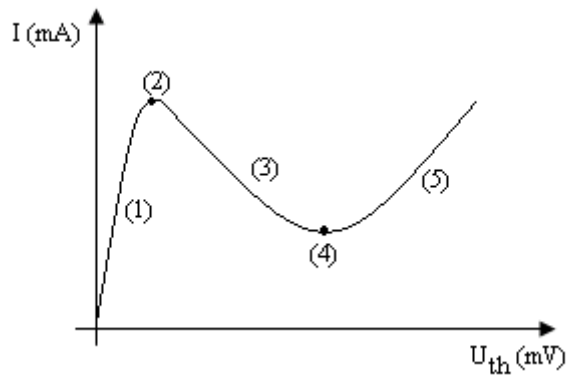
- Khi phân cực ngược:

+ Khi phân cực ngược xảy ra hiệu ứng Tunnel theo chiều ngược, dòng ngược của điốt tunnel tăng đột ngột. Trong dòng ngược của điốt Tunnel, thành phần dòng điện I_{ve} đóng vai trò chủ yếu. Càng tăng điện áp phân cực ngược, dòng tunnel theo chiều ngược càng tăng. Dòng I_{e-v} và dòng ngược tuy vẫn tồn tại nhưng nhỏ hơn I_{ve} rất nhiều nên có thể bỏ qua. So với điốt chỉnh lưu, đặc tuyến ngược của điốt tunnel tăng lên đột ngột khi điện áp ngược tăng, không hề có đoạn bão hoà.



Hình 3.13. Đặc tuyến ngược của điốt Tunnel và điốt chỉnh lưu

- Khi phân cực thuận:



Hình 3.14. Đặc tuyến thuận của điốt Tunnel

+ Khi ch- a có điện áp phân cực thuận đặt vào, điốt ở trạng thái cân bằng, dòng thuận $I_{th} = 0$.

+ Khi tăng điện áp thuận, chiều cao rào thế giảm qU (U là điện áp thuận đặt vào) làm tăng thành phần khuếch tán điện tử từ N sang P. Khi phân cực thuận còn nhỏ, các hạt dẫn đa số (điện tử bên N và lỗ trống bên P) di chuyển không những bằng khuếch tán mà bằng ph- ơng thức xuyên hầm (do cấu tạo đặc biệt của vùng năng l- ợng của điốt Tunnel), hơn nữa chủ yếu bằng ph- ơng thức xuyên hầm. Điện áp thuận càng tăng thì dòng thuận càng tăng. Giai đoạn này ứng với đoạn (1) trên đặc tuyến. Nếu tiếp tục tăng điện áp thuận, dòng thuận tăng đến điểm (2) là thời điểm mà đáy vùng dẫn bên N ngang với mức Fecmi bên P và đỉnh vùng hoá trị bên P ngang với mức Fecmi bên N.

+ Sau điểm (2) trên đặc tuyến, nếu tiếp tục tăng điện áp thuận, dòng thuận giảm. Bởi vì trong quá trình đáy vùng dẫn bán dẫn N đối diện với số mức bỏ trống bên bán dẫn P sau khi đạt tới giá trị cực đại bắt đầu giảm xuống. Một số điện tử bên phía N có mức năng l- ợng cao nh- ng đối diện với nó là vùng cấm cho nên điện tử không thể chuyển qua đ- ọc. Đây là đặc tuyến quan trọng nhất của điốt Tunnel vì nó xuất hiện điện trở âm (dòng điện giảm khi điện áp tăng). Đoạn đặc tuyến này biểu diễn bằng đoạn (3) trên đặc tuyến. Sự giảm dòng thuận tiếp diễn cho đến khi đáy vùng dẫn phía N ngang với đỉnh hoá trị bên P, ứng với điểm (4) trên đặc tuyến.

+ Từ điểm (4) nếu tiếp tục tăng điện áp thuận, đáy vùng dẫn bên N vẫn tiếp tục tăng cao, khoảng cách giữa đáy vùng dẫn bên N và đỉnh vùng hoá trị bên P lại là vùng cấm. Lúc này điốt Tunnel lại hoạt động nh- một điốt chỉnh l- u thông th- ờng. Quan hệ giữa điện áp thuận và dòng thuận lúc này là quan hệ hàm mũ. Giai đoạn này ứng với đoạn (5) của đặc tuyến.

c. Ký hiệu mạch của điốt tunnel và ứng dụng

- Ký hiệu:



-  ng dụng: Điốt Tunnel do có đặc tuyến điện trở âm nên có nhiều ứng dụng trong thực tế, đặc biệt trong lĩnh vực siêu cao tần.

3.4.3.2. Điốt ngược

Về mặt cấu tạo, có thể coi điốt ngược là sự quá độ từ điốt chỉnh lưu sang điốt Tunnel. Đối với điốt chỉnh lưu, nồng độ đônô trong bán dẫn N và acxepto trong bán dẫn P nằm trong khoảng giới hạn nhất định và mức Fecmi của loại điốt này nằm ở khoảng gần giữa vùng cấm. Nếu tăng nồng độ hạt dẫn trong bán dẫn cũng như bán dẫn N lên tới mức làm cho bán dẫn trở thành bán dẫn suy biến, mức Fecmi lúc này đã dịch chuyển đến sát đáy vùng dẫn bên bán dẫn N và đỉnh vùng hoá trị bên bán dẫn P (cách chúng một khoảng nhỏ hơn $2kT$). Khi đó ta có điốt ngược hay điốt suy biến. Nếu tiếp tục tăng nồng độ tạp chất ở cả hai phía bán dẫn P và N thì mức Fecmi sẽ nằm sâu vào đáy vùng dẫn bên N và đỉnh vùng hoá trị bên P. Khi đó có điốt Tunnel.

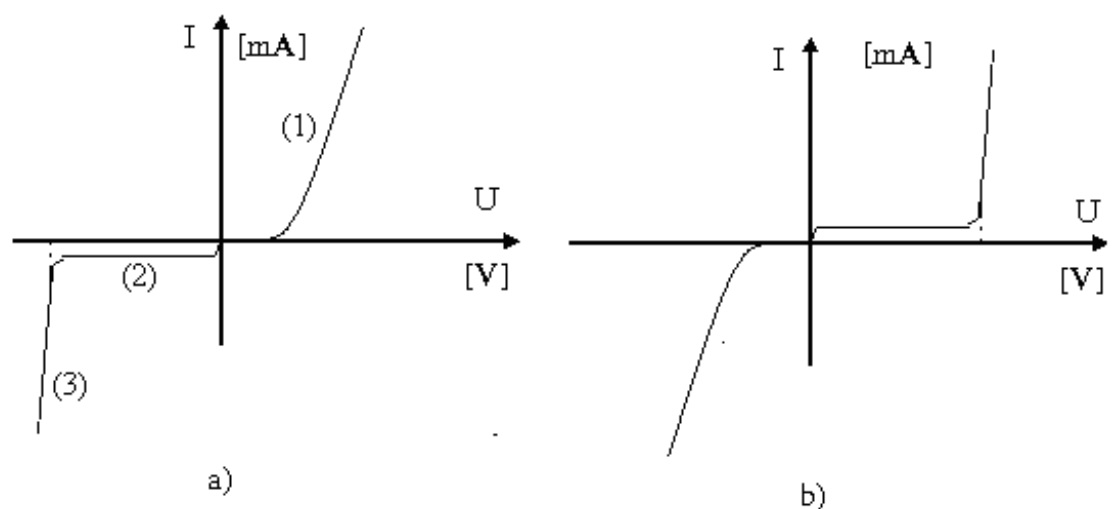
- Khi phân cực ngược:

Do mức Fecmi nằm sát đáy vùng dẫn bên N và đỉnh vùng hoá trị bên P nên chỉ cần một điện áp phân cực ngược nhỏ đã xuất hiện hiệu ứng xuyên hầm theo chiều ngược. Do hiệu ứng xuyên hầm này mà dòng ngược tăng rất nhanh, không hề có đoạn bão hoà như điốt chỉnh lưu thông thường.

- Khi phân cực thuận:

Khác với điốt Tunnel, hiệu ứng Tunnel theo chiều thuận lại không xảy ra. Dòng qua chuyển tiếp PN khi phân cực thuận là dòng khuếch tán các hạt đa số như trong các điốt chỉnh lưu thông thường, do đó quan hệ giữa dòng thuận và điện áp thuận là quan hệ hàm mũ. Nhưng trong trường hợp này do điốt ngược pha tạp nhiều nên trong khoảng điện áp thuận còn nhỏ, sự tăng dòng điện thuận chậm hơn nhiều do với sự tăng điện áp. Do chuyển tiếp PN được pha tạp với nồng độ lớn, hiệu điện thế tiếp xúc của chuyển tiếp PN cũng lớn, do đó điểm uốn của đặc tuyến thuận cũng xảy ra muộn so với trường hợp bình thường.

Một cách tổng quát, đặc tuyến thuận của điốt ngược có dạng như đặc tuyến ngược của điốt chỉnh lưu, đặc tuyến ngược thuận của điốt ngược có dạng như đặc tuyến thuận của điốt chỉnh lưu.



Hình 3.15. Đặc tuyến Volt – ampe của điốt chỉnh lưu (a) và điốt ngược (b)

- Ký hiệu:

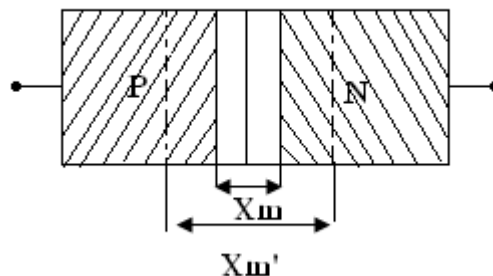


- Ứng dụng: Dùng để tách sóng ở tần số siêu cao

3.4.3.3 Điốt biến dung

- Nguyên lý hoạt động

Khi phân cực chuyển tiếp PN ở một giá trị điện áp nhất định, miền điện tích không gian rộng ra. Toàn bộ miền điện tích không gian này có thể xem như một vật liệu điện môi (vì điện trở suất của nó rất lớn), trong khi đó miền bán dẫn P và N so với miền điện tích không gian thì điện trở suất lại rất nhỏ, có thể tương đương như một vật liệu dẫn điện. Cấu trúc của chuyển tiếp P-N lúc này có thể xem như là một tụ điện phẳng: điện môi là miền điện tích không gian, hạt phiến của tụ điện là hai miền bán dẫn P và N. Như vậy có thể áp dụng phương pháp tính điện dung của tụ điện phẳng để tính để tính điện dung của điốt. Giá trị điện dung của tụ điện phẳng tỷ lệ thuận với diện tích của phiến điện cực và tỷ lệ nghịch với chiều dày của lớp điện môi (khoảng cách giữa hai phiến điện cực). Do đó điện dung của điốt sẽ tỷ lệ thuận với diện tích thiết diện PN và tỷ lệ nghịch với độ rộng miền điện tích không gian.



Hình 3.16. Nguyên lý cấu trúc của điốt biến dung

gọi là Điốt có điện dung thay đổi khi điện áp đặt ở hai đầu vào của điốt thay đổi
-> điốt biến dung.

- Ký hiệu:



- Đặc điểm của điốt biến dung là điện dung của điốt biến đổi gần như đồng thời với sự thay đổi của điện áp ngược đặt vào điốt.

- Ứng dụng: Trong mạch dao động, khi điện áp đặt vào thay đổi, điện dung cũng

thay đổi, do đó tần số của mạch cũng thay đổi. Thực tế các điôt biến dung được dùng phổ biến trong các mạch tự động điều chỉnh tần số hoặc các mạch điều tần. Trong các mạch khuếch đại tham số và nhân tần, dùng điôt biến dung hệ số phẩm chất của mạch sẽ rất cao.

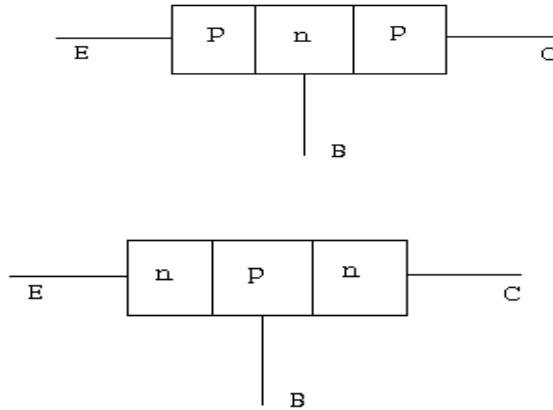
CHƯƠNG 4. TRANSISTOR BÁN DẪN

4.1. Tranzitor lưỡng cực

4.1.1. Cấu tạo, nguyên lý làm việc và các thông số cơ bản của tranzito lưỡng cực

a. Cấu tạo

Tranzitor là linh kiện bán dẫn có 3 miền với các loại dẫn xen kẽ nhau trong cùng một đơn tinh thể bán dẫn. Các miền được phân cách nhau bằng chuyển tiếp p-n.



Hình 4.1. Mô hình của tranzitor

+ Miền ở giữa gọi là miền gốc (Base) hay miền bazơ. Ký hiệu B. Miền này có nồng độ tạp chất nhỏ và độ dày nhỏ cỡ um.

Hai miền còn lại chế tạo bất đối xứng: Miền phát (miền Emitơ) chích các hạt tải điện vào miền B, miền này có nồng độ tạp chất lớn nhất. Miền thu (miền Collectơ) nhận tất cả các hạt tải điện (được chích từ E qua B), miền này có nồng độ tạp chất trung bình.

+ Tương ứng với mỗi miền là các cực B,E,C của tranzitor.

+ Chuyển tiếp p-n giữa E và B gọi là chuyển tiếp E. Chuyển tiếp p-n giữa C và B gọi là chuyển tiếp C.

+ Có hai loại tranzitor lưỡng cực: Loại pnp và npn. Tranzitor loại npn còn được gọi là tranzitor thuận, loại pnp được gọi là tranzitor nghịch. Ký hiệu như sau:



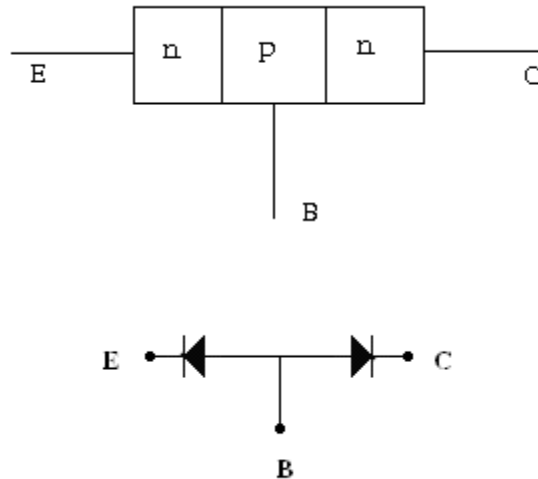
Hình 4.2. Ký hiệu của tranzitor

Chú ý:

○ Mũi tên trong ký hiệu được đặt giữa cực E và B hàm ý chỉ sự phát xạ hạt dẫn, chiều mũi tên hướng từ bán dẫn P sang bán dẫn N.

○ Xét về mặt cấu tạo chuyển tiếp E và chuyển tiếp C như hai điốt và do đó về mặt hình thức có thể coi tranzitor như được tạo thành từ hai điốt mắc nối tiếp

nhau.



Hình 4.3. Phân tích cấu tạo của tranzitor thành 2 điốt

Nhưng không có nghĩa là cứ mắc hai điốt nối tiếp nhau là có thể làm được chức năng của tranzitor bởi vì hai chuyển tiếp trong tranzitor không độc lập mà có tác dụng tương hỗ với nhau.

○ Nhìn về mặt hình thức thì cấu tạo của tranzitor là đối xứng nhưng do các miền được pha tạp với nồng độ khác nhau và có chức năng khác nhau (miền E tích hạt dẫn, miền C nhận hạt dẫn). Do đó thực tế không thể đảo cực E thành cực C và ngược lại.

Ứng dụng: Tranzitor là linh kiện được ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực xử lý tín hiệu mạch điện tử, dùng làm các khoá điện tử, khuếch đại tín hiệu, tích hợp trong các vi mạch....

b. Nguyên lý làm việc

Để hiểu rõ bản chất của tranzitor ta đi tìm hiểu tranzitor loại pnp làm ví dụ điển hình.

Trước hết để tranzitor làm việc, người ta phải đưa điện áp một chiều tới các cực của nó, gọi là phân cực cho tranzitor.

Với tranzitor làm việc ở chế độ khuếch đại ta phân cực thuận cho chuyển tiếp E và phân cực ngược cho chuyển tiếp C. Ta đưa điện áp $U_{EB} > 0$ và $U_{CB} > 0$.

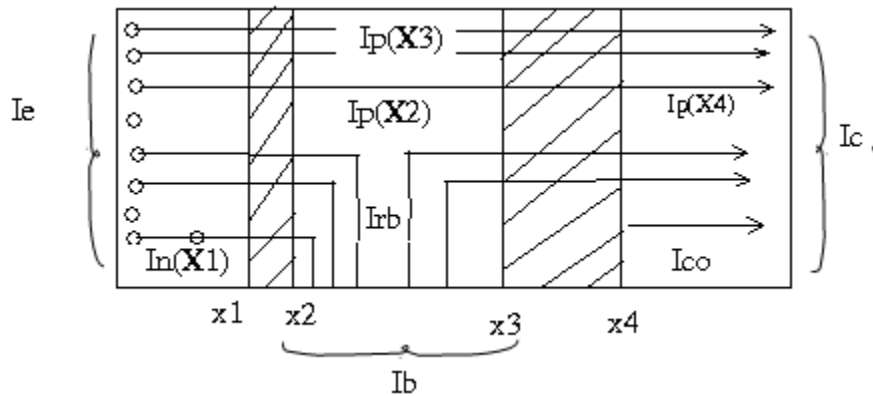
***) Giải thích nguyên lý làm việc:**

- Chuyển tiếp E phân cực thuận làm gia tăng chuyển động của các hạt đa số. Vì nồng độ của các hạt đa số trong bazơ là nhỏ sự khuếch tán của chúng sang miền E là hầu như không đáng kể so với hạt dẫn đa số từ miền E sang B. Các hạt dẫn mới được phun vào miền B (lúc này đóng vai trò là các hạt thiểu số) tiếp tục được khuếch tán đến miền điện tích không gian chuyển tiếp C. Vì chuyển tiếp C phân cực ngược sẽ cuốn các hạt thiểu số sang miền C. Nếu như sự phân cực này được duy trì thì ở các cực của tranzitor đều xuất hiện dòng điện.

- Ở trạng thái tĩnh, nghĩa là các giá trị điện áp phân cực U_{EB} và U_{CB} không đổi, dòng điện chảy qua cực E và C không đổi. Nếu đặt vào giữa cực E và cực B một tín hiệu làm thay đổi điện áp phân cực thuận chuyển tiếp E, có nghĩa là thay đổi dòng phun vào từ E vào B. Tuy điện áp phân cực ngược trên C không đổi nhưng do số hạt

dẫn thiểu số trong miền B thay đổi khiến dòng ngược qua chuyển tiếp C (I_C) thay đổi theo đúng quy luật biến đổi của tín hiệu vào. Nếu tại đầu ra của tranzitor mắc thêm một điện trở tải R_t , dòng I_C sẽ tạo ra trên điện trở này một điện áp có quy luật biến thiên như điện áp tín hiệu đặt tại đầu vào.

*)Phân tích thành phần các dòng điện bên trong tranzito



Hình 3.4. Các thành phần dòng điện trong transistor PNP

- Qua chuyển tiếp emito có 2 dòng khuếch tán hạt đa số đó là dòng khuếch tán lỗ trống từ E sang B, và dòng khuếch tán điện tử từ B sang E. Nếu bỏ qua sự tái hợp trong miền điện tích không gian thì coi dòng lỗ trống phun từ E sang B bằng $I_p(X2)$, và cường độ điện tử phun từ B sang E bằng $I_n(X1)$. Do E được pha tạp rất nhiều nên $I_p(X2)$ đồng thời cũng tái hợp nhanh chóng điện tử phun từ B sang E, khiến nồng độ điện tử trong E giảm nhanh từ bờ chuyển tiếp p-n vào phía trong. Như vậy dòng chảy tại cực E có thể coi như tổng của 2 thành phần $I_p(X2)$, $I_n(X1)$, trong đó $I_p(X2)$ đóng vai trò quyết định.

- Trong miền B, sau khi các p được phun sang - $I_p(X2)$ tiếp tục khuếch tán đi sâu vào miền B. Do miền B được pha tạp ít, độ rộng rất hẹp (nhỏ hơn rất nhiều so với quãng đường khuếch tán các hạt thiểu số) cho nên hầu hết các lỗ trống này đến được miền điện tích không gian. Tại đây chúng bị điện trường mạnh của chuyển tiếp C phân cực ngược cuốn sang miền C. Nếu giả thiết sự tái hợp trong miền điện tích C là không đáng kể thì $I_p(X3) = I_p(X4)$.

- Tuy B hẹp và pha tạp ít nhưng số hạt dẫn đa số tại đây cũng đáng kể so với hạt dẫn không cân bằng mới phun vào từ E, nên miền B vẫn xảy ra hiện tượng tái hợp. Vì vậy mà làm trung hòa bớt n, p trong miền B, làm xuất hiện dòng tái hợp $I_{rb} \Rightarrow I_p(X3) < I_p(X2)$ một lượng đúng bằng I_{rb} .

- $I_p(X3)$ sang C thành $I_p(X4)$ đây là thành phần chủ yếu của dòng C, ngoài ra còn có dòng I_{co} (có bản chất như dòng ngược). Khi chế tạo bằng nhiều phương pháp, người ta cho dòng I_{co} của transistor nhỏ nhất. Như vậy:

$I_c = I_p(X4) + I_{co}$ trong đó $I_p(X4)$ bị khống chế bởi I_b và I_e . Trong thực tế vì I_{co} thường rất nhỏ cho nên: $I_c \approx I_p(X4)$

Như vậy, có thể thành lập các biểu thức mô tả mối quan hệ giữa dòng chảy ở các cực và các thành phần dòng hạt dẫn trong transistor như sau:

$$I_e = I_n(X1) + I_p(X2)$$

$$I_b = I_n(X1) + I_{rb} - I_{co}$$

$$I_c = I_e - I_b = I_p(X2) + I_{co}$$

c. Các thông số cơ bản của transistor

Bỏ qua dòng ngược I_{co} , I_{rb} thì ta có:

$$I_E = I_C + I_B$$

Để đánh giá mức hao hụt dòng khuếch tán trong vùng B, định nghĩa hệ số truyền đạt dòng điện α của transistor

$$\alpha = I_C / I_E$$

Hệ số α xác định chất lượng của transistor và có giá trị gần bằng 1. Với các transistor loại tốt, $\alpha = 0,95-0,99$.

Để đánh giá tác dụng điều khiển của dòng I_B tới I_C , định nghĩa hệ số khuếch đại dòng điện β

$$\beta = I_C / I_B$$

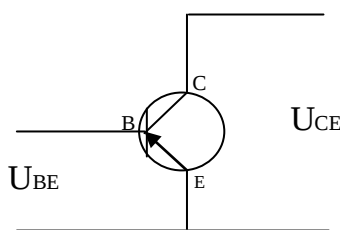
β có giá trị từ vài chục đến vài trăm.

Suy ra: $I_E = (1 + \beta) I_B$

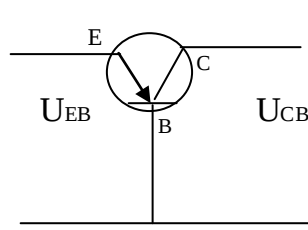
$$\alpha = \beta / (1 + \beta)$$

4.1.2. Các đặc trưng tĩnh của transistor lý tưởng

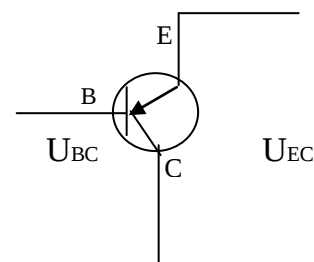
Transistor lưỡng cực là loại linh kiện bán dẫn có 3 cực (*emitor, collector, bazơ*) khi sử dụng tín hiệu vào đưa vào 2 cực và tín hiệu ra cũng lấy ra trên 2 cực. Do đó phải có 1 cực chung cho cả 2 đầu vào và đầu ra: chung emitor (EC), chung bazơ (BC), chung collector (CC).



a) Mắc EC



b) Mắc BC



c) Mắc CC

Hình 3.5. Các cách mắc transistor trong mạch điện

Như chúng ta đã thấy, giữa các đại lượng dòng và điện áp vào, ra của transistor có thể tồn tại những liên quan sau:

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_C = f(U_{CE})$$

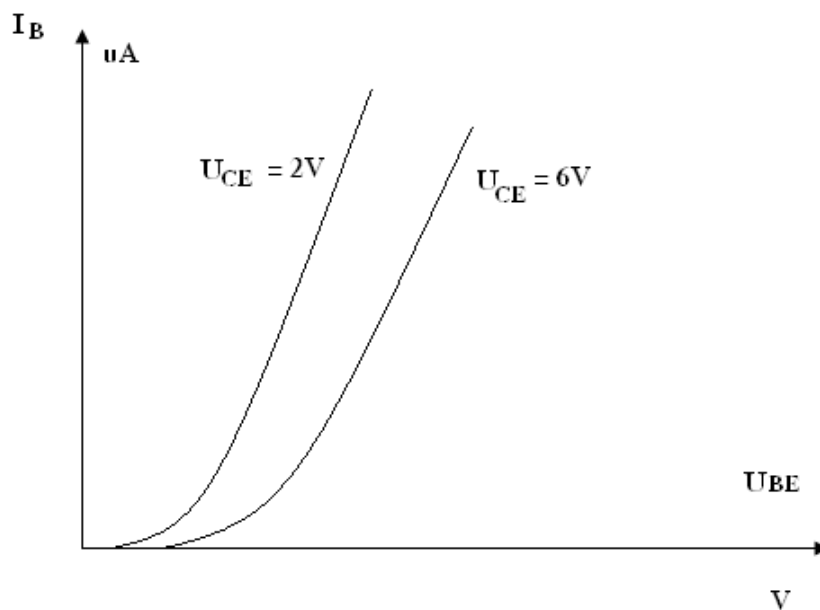
$$I_E = f(U_{CE})$$

Sự phụ thuộc của dòng vào điện áp của transistor như trên gọi là đặc tuyến tĩnh của transistor.

Chúng ta sẽ xét bốn họ đặc tuyến thông dụng của transistor xác định trong sơ đồ có EC.

+**Đặc tuyến vào** của transistor mắc EC: $I_B = f(U_{BE})$ khi $U_{CE} = \text{const}$. Tức là ta giữ nguyên U_{CE} ở một giá trị nhất định, thay đổi trị số của điện áp U_{BE} , ghi lại giá trị của I_B . Thay đổi U_{CE} đến một giá trị cố định khác, làm lại tương tự ta sẽ có đường cong thứ hai. Tiếp tục như vậy ta sẽ có một họ đặc tuyến vào.

Đặc tuyến này giống như đặc tuyến của chuyển tiếp p-n phân cực thuận, vì dòng I_B trong trường hợp này là một phần của dòng tổng I_E chảy qua chuyển tiếp Emitter phân cực thuận. Ứng với một giá trị U_{BE} nhất định dòng I_B càng nhỏ khi U_{CE} càng lớn vì khi tăng U_{CE} tức là tăng U_{CB} làm cho miền điện tích không gian rộng ra chủ yếu về phía miền bazơ pha tạp yếu. Điện áp U_{CB} càng lớn thì tỷ lệ hạt dẫn đến Collector càng lớn, số hạt dẫn bị tái hợp trong miền bazơ và đến cực bazơ để tạo thành dòng bazơ càng ít, do đó dòng bazơ nhỏ đi.

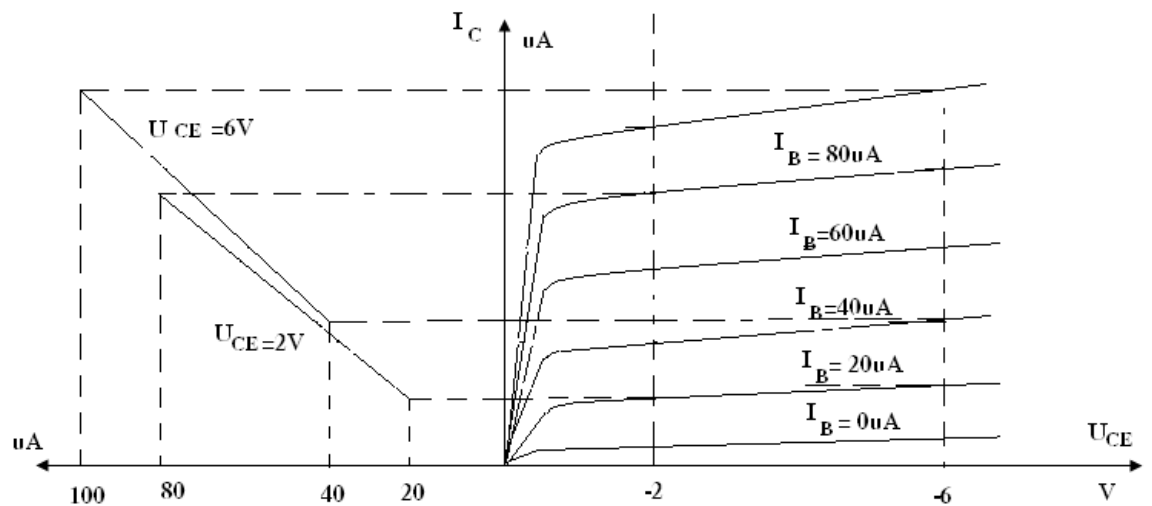


Hình 3.6. Họ đặc tuyến vào của transistor mắc EC

+ **Đặc tuyến ra và đặc tuyến truyền đạt**

* **Đặc tuyến ra:** $I_C = f(U_{CE})$ khi $I_B = \text{const.}$

Tại miền khuếch đại, độ dốc của đặc tuyến khá lớn vì trong cách mắc này dòng I_E không giữ cố định. Khi tăng U_{CE} độ rộng hiệu dụng miền bazơ hẹp lại làm hạt dẫn đến collector nhiều hơn, do đó dòng I_C tăng lên. Khi U_{CE} giảm đến 0 thì I_C cũng giảm xuống đến 0. Bởi vì $U_{CE} = U_{CB} + U_{BE}$. Tại điểm uốn, $U_{CB} = 0$, nếu tiếp tục giảm U_{CE} ($U_{CB} > 0$) làm cho chuyển tiếp collector phân cực thuận. Điện áp phân cực này đẩy những hạt dẫn thiểu số tạo thành dòng collector quay trở lại miền bazơ, kết quả khi $U_{CE} = 0$ thì I_C cũng bằng không. Ngược lại nếu tăng U_{CE} quá lớn thì dòng I_C cũng tăng lên đột ngột (hiện tượng đánh thủng).



Hình 4.7. Đặc tuyến ra và đặc tuyến truyền đạt của transistor mắc EC

***Đặc tuyến truyền đạt:** biểu thị mối quan hệ giữa dòng ra (I_C) và dòng vào I_B khi U_{CE} cố định. Đặc tuyến này có thể nhận được bằng cách giữ nguyên điện áp U_{CE} , thay đổi dòng bazơ I_B , ghi lại giá trị tương ứng I_C trên trục tọa độ. Thay đổi giá trị U_{CE} để có họ đặc tuyến truyền đạt.

Có thể vẽ đặc tuyến truyền đạt thông qua đặc tuyến ra.

+ **Đặc tuyến hỗn hợp:** $U_{BE} = f(U_{CE})$ khi $I_B = \text{const.}$

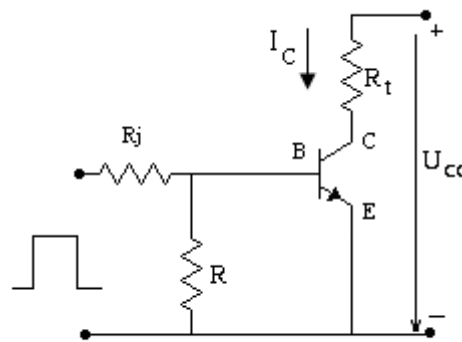
4.1.3. Các chế độ làm việc của transistor lưỡng cực

Trong nhiều mạch điện, transistor không đóng vai trò như một phần tử khuếch đại mà làm nhiệm vụ như những khóa điện tử. Người ta gọi chế độ làm việc này là chế độ đóng mở. Transistor khi làm việc ở chế độ đóng mở có nhiều điểm khác so với khi làm việc ở chế độ khuếch đại, chỉ có hai trạng thái ổn định hoặc là đóng (nổi mạch

cho dòng chạy qua transistor) hoặc là mở (ngắt mạch không cho dòng chảy qua transistor). Do đặc điểm này mà các tham số cũng như đặc tuyến của transistor chuyên dùng vào việc đóng mở khóa khác với transistor thông thường. Transistor làm việc ở chế độ này gọi là transistor xung.

- a. Chế độ khuếch đại
- b. Chế độ bão hòa và chế độ cắt
 - Đặc tính đóng mở của transistor

Khi chọn chế độ làm việc thích hợp, transistor có tác dụng như một công tắc (bởi vậy có tên là khóa). Công tắc này được điều khiển đóng mở bằng tín hiệu điện tử nên được gọi là khóa điện tử.



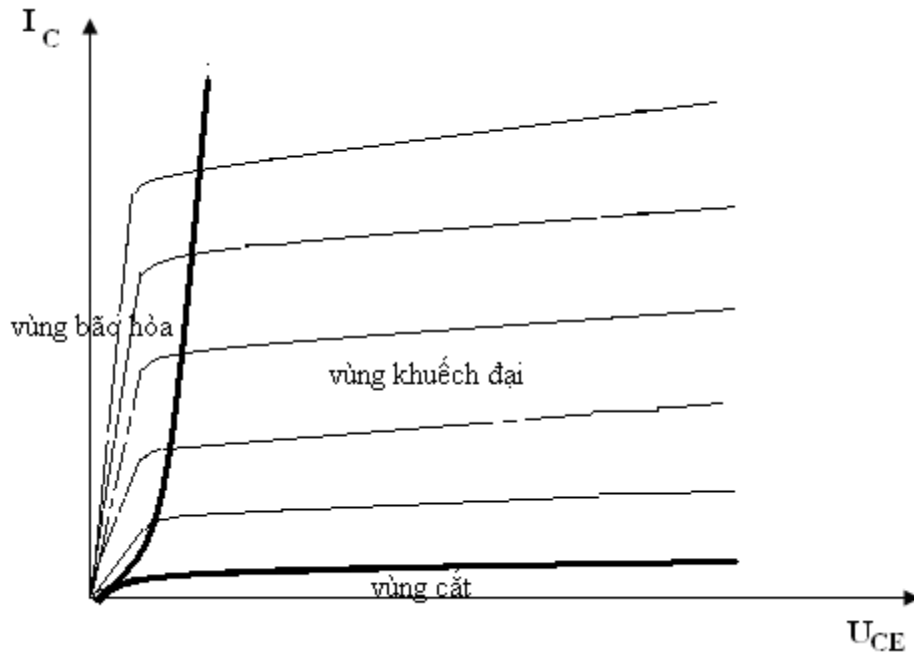
Hình 4.8. Sơ đồ nguyên lý khóa điện tử

Khi có xung dương đưa vào giữa cực B và E (sao cho dòng $I_B > I_{Bm}$ – dòng tối thiểu để mở transistor) thì transistor đang ở trạng thái không có dòng đi qua chuyển sang trạng thái có dòng I_C chảy qua, hầu hết điện áp rơi trên điện trở R_t . Người ta gọi đó là trạng thái đóng khóa.

Khi điện áp trên cực B âm so với cực E hoặc ngay cả khi điện áp trên B bằng 0, dòng I_B lúc này nhỏ hơn dòng I_{Bm} khiến transistor chuyển sang trạng thái không làm việc, dòng I_C giảm xuống rất nhỏ (lý tưởng là $= 0$). Điện áp rơi trên R_t sẽ rất nhỏ, hầu hết điện áp lúc này rơi trên hai cực C và E của transistor. Người ta gọi đó là trạng thái mở khóa.

- Các khu vực công tác của transistor

Đặc tuyến ra của transistor chia làm 3 khu vực: khu vực bão hòa, khu vực khuếch đại và khu vực cắt



Hình 4.9. Các khu vực công tác của transistor trong trường hợp mắc EC

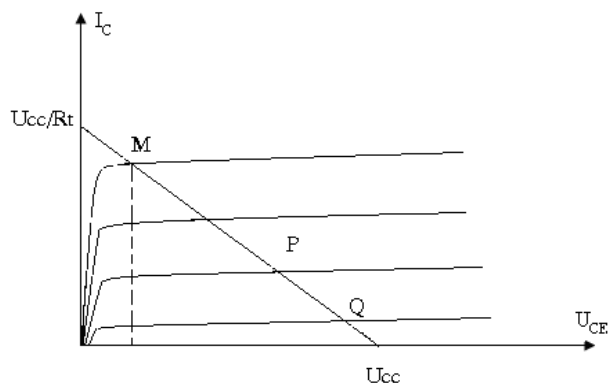
Dễ dàng nhận thấy rằng trong transistor làm việc ở chế độ bão hòa, cả hai chuyển tiếp E và chuyển tiếp C đều phân cực thuận. Nội trở của transistor lúc này là nhỏ nhất. Khi transistor làm việc ở chế độ cắt cả hai chuyển tiếp C và E đều phân cực ngược, trong transistor lúc này dòng I_C giảm xuống rất nhỏ và nội trở của transistor lúc này là rất lớn. Khi transistor làm việc ở chế độ khuếch đại, chuyển tiếp C phân cực ngược còn chuyển tiếp E phân cực thuận. Nội trở của transistor biến đổi tùy theo điểm công tác thay đổi.

Dòng điện I_C và điện áp U_{CE} không những chỉ tuân theo quy luật như đặc tuyến trên mà còn phụ thuộc vào trị số của R_t . Ta có:

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C \cdot R_t$$

Đây là đặc tuyến độ dốc âm.

Đường tải trên đặc tuyến được xác định bằng cách nối hai điểm ($I_C = 0, U_{CE} = U_{CC}$) và ($U_{CE} = 0, I_C = U_{CC}/R_t$).



Hình 4.10. Đường tải trên đặc tuyến ra của transistor

Vị trí của đường tải này phụ thuộc vào giá trị của U_{CC} và điện trở tải R_t . Có định U_{CC} , độ dốc của đường tải sẽ phụ thuộc vào R_t . Đường tải này sẽ cắt đặc tuyến ra tại một số điểm gọi là điểm công tác của transistor. Khi transistor làm việc ở chế độ khuếch đại, điểm công tác nằm trong miền khuếch đại ví dụ như điểm P trên hình 4.10. Khi transistor làm việc ở chế độ đóng mở thì điểm công tác sẽ nằm ở biên miền cắt ví dụ điểm Q và biên miền bão hoà, ví dụ điểm M.

Ta có thể nhận thấy khi transistor làm việc ở chế độ bão hoà có dòng I_C lớn và điện áp U_{CE} nhỏ. Khi không làm việc, ở trạng thái cắt, dòng I_C rất nhỏ và điện áp U_{CE} xấp xỉ U_{CC} .

- Đặc điểm của transistor ở trạng thái bão hoà

Khi $I_C > I_{cbh}$ thì dòng chảy trên cực C của transistor bằng I_{cbh} . U_{CE} khi đó nhỏ $U_{CE} = U_{CEs} = 0,2 - 0,3 \text{ V}$.

Vậy ta có thể suy ra khi $I_B > I_{Bmax}$ thì transistor ở trạng thái bão hoà. Khi đó chuyển tiếp E phân cực thuận $U_{BE} \approx 0,7 \text{ V}$.

Khi transistor bão hoà gồm có bão hoà ngưỡng và bão hoà sâu. Bão hoà ngưỡng là điểm mà tại đó chuyển tiếp C phân cực 0. Bão hoà sâu là bão hoà khi đó chuyển tiếp C phân cực thuận.

$k = I_B / I_{Bbh}$ đánh giá độ sâu bão hoà. K càng lớn mức độ bão hoà càng sâu.

- Đặc điểm của transistor ở trạng thái cắt

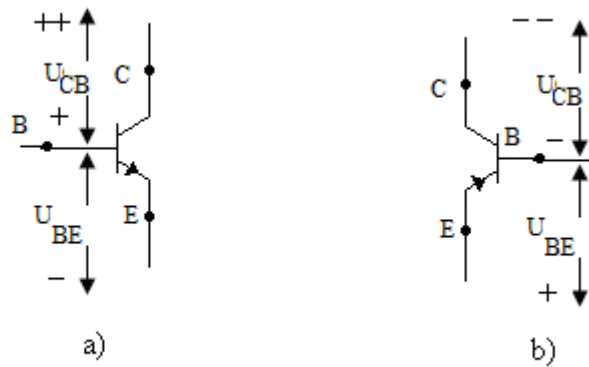
Giới hạn giữa miền khuếch đại và miền cắt là dòng $I_B = 0$. Khi $I_B = 0$ chỉ có dòng I_{C0} rất nhỏ qua cực C (đó chính là dòng ngược chảy qua chuyển tiếp C của transistor). Ta gọi $I_B = 0$ là giới hạn của miền cắt. $I_B < 0$ transistor sẽ ở trạng thái cắt.

4.1.4. Phân cực và ổn định điểm công tác tĩnh của transistor

a. Nguyên tắc chung phân cực transistor

Muốn cho một transistor làm việc phải phân cực cho transistor đó, nghĩa là phải đưa điện áp bên ngoài vào chuyển tiếp E và C của transistor với giá trị và cực tính thích hợp. Khi các giá trị điện áp một chiều đặt vào transistor đã xác lập, dòng điện tĩnh qua transistor cũng như điện áp tĩnh trên các cực transistor sẽ có những giá trị nhất định, người ta gọi đó là điều kiện phân cực của transistor.

Khi transistor làm việc ở chế độ bão hoà, cả hai chuyển tiếp E và C đều phân cực thuận, còn khi transistor làm việc ở chế độ khoá cả hai chuyển tiếp E và C đều phân cực ngược. Khi transistor làm việc ở chế độ khuếch đại, chuyển tiếp E luôn được phân cực thuận còn chuyển tiếp C phân cực ngược. Có thể minh họa nguyên lý này trên hình 4.11.



Hình 4.11. Nguyên lý phân cực tổng quát transistor

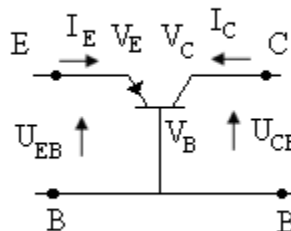
Nếu gọi V_C , V_B , V_E lần lượt là điện thế của các cực collector, bazơ, emitter căn cứ vào nguyên lý chung phân cực transistor làm việc ở chế độ khuếch đại, đối với transistor PNP và NPN lần lượt có các bất đẳng thức:

$$V_E > V_B > V_C$$

$$V_E < V_B < V_C$$

Căn cứ vào nguyên lý tổng quát này có thể suy ra cực tính điện áp và hướng dòng trên các các điện cực của transistor khi mắc các mạch cụ thể.

* Mạch chung bazơ



Hình 4.12. Điện áp và dòng phân cực transistor mắc BC

Hướng theo chiều mũi tên là hướng dương của điện áp và dòng điện. Căn cứ vào hình 4.12 ta có

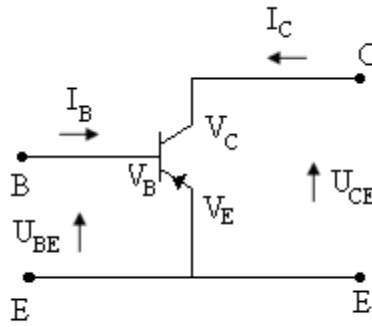
$$U_{BE} = V_E - V_B > 0$$

$$I_E > 0$$

$$U_{CB} = V_C - V_B < 0$$

$$I_C < 0$$

* Mạch chung emitter như hình 4.13



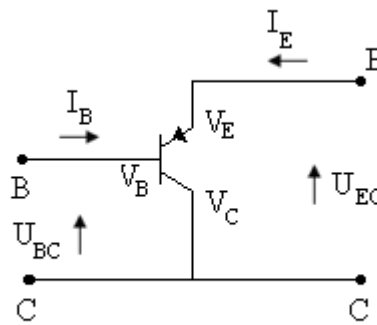
Hình 4.13.. Điện áp và dòng phân cực transistor mắc EC

Căn cứ vào hình 3.14 có thể viết

$$U_{BE} = V_E - V_B < 0 \quad I_B < 0$$

$$U_{CE} = V_C - V_E < 0 \quad I_C < 0$$

* Mạch chung collector



Hình 4.14.. Điện áp và dòng phân cực transistor mắc CC

Căn cứ vào hình 4.14 ta có thể viết

$$U_{BC} = V_B - V_C > 0 \quad I_B > 0$$

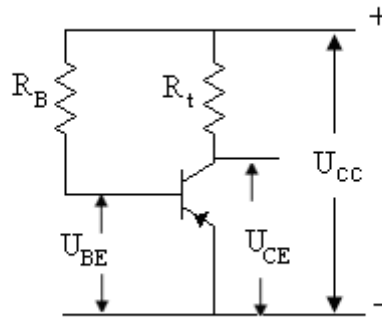
$$U_{EC} = V_E - V_C > 0 \quad I_E < 0$$

Có thể suy ra hướng điện áp chiều dòng điện trong trường hợp NPN (ngược lại so với PNP).

b. Đường tải tĩnh và điểm công tác tĩnh

Đường tải tĩnh được vẽ trên đặc tuyến ra của transistor để nghiên cứu dòng điện và điện áp khi nó mắc trong mạch cụ thể nào đó. Điểm công tác tĩnh Q (hay còn gọi là điểm tĩnh, điểm phân cực) là điểm nằm trên đường tải, nó xác định dòng điện và điện áp khi chưa có tín hiệu đặt vào, nghĩa là nó xác định điều kiện phân cực cho transistor.

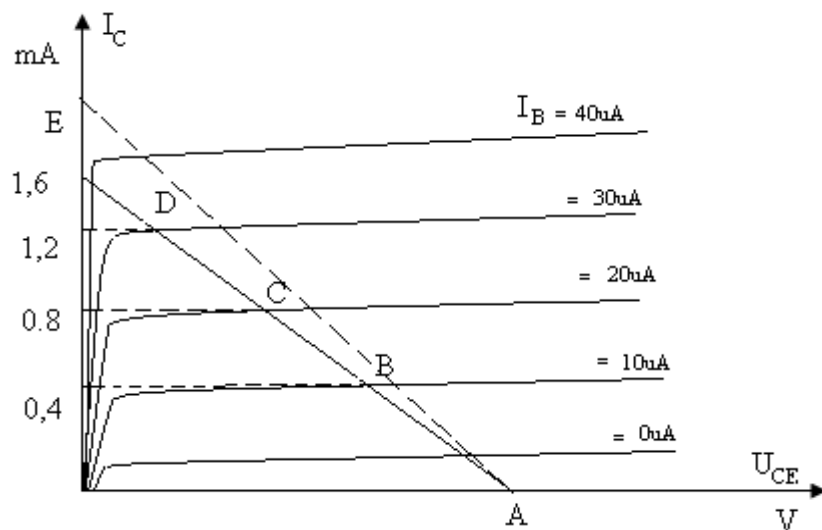
Ví dụ: Một transistor dùng để khuếch đại tín hiệu được mắc như hình 4.15. Cho $U_{CC} = 20V$, $R_t = 10k\Omega$



Hình 4.15. Sơ đồ mắc EC có tải

Từ hình 4.15 ta có thể suy ra: $U_{CE} = U_{CC} - I_C R_t$. Phương trình này xác định quan hệ hàm số giữa dòng I_C và điện áp U_{CE} khi có điện trở tải R_t . Người ta gọi đó là phương trình tải.

Đây là hàm tuyến tính có độ dốc âm. Muốn biểu diễn đường tải này trên tọa độ đặc tuyến ra của transistor chỉ cần xác định hai điểm nằm trên đường tải. Hai điểm thuận tiện nhất là hai điểm đường tải giao với trục tọa độ. Đó là điểm A ($I_C = 0$, $U_{CE} = 20V$) và điểm E ($I_C = 2mA$, $U_{CE} = 0V$). Nối điểm A và E sẽ được đường tải ứng với giá trị điện trở tải $R_t = 10K$.



Hình 4.16. Đặc tuyến ra tĩnh và đường tải tĩnh

Đường tải tĩnh chính là sự biến thiên của dòng I_C theo điện áp U_{CE} ứng với điện trở tải R_t và điện áp nguồn cung cấp U_{CC} . Nói một cách khác, nó biểu thị những mức có thể có của dòng I_C khi điện áp U_{CE} thay đổi. Ví dụ một điểm $I_C = 1,5mA$; $U_{CE} = 16V$ không nằm trên đường tải vẽ ở hình 4.16, nghĩa là các giá trị này không thể có trong các mạch thực tế. Ngược lại những điểm B, C, D ứng với giá trị dòng I_C và điện

áp U_{CE} như transistor trên hình 4.16 lại là những điểm nằm trên đường tải. Trong 3 giá trị I_C , I_B , U_{CE} chỉ cần biết một giá trị là có thể biết được hai giá trị còn lại.

Độ dốc của đường tải phụ thuộc vào giá trị của R_t và điện áp nguồn cung cấp U_{CC} . Thay đổi một trong hai đại lượng này đường tải sẽ thay đổi.

Ví dụ vẽ đường tải tĩnh cho mạch hình 3.16 nhưng điện trở tải là $R_t = 9K$ (đường tải đứt nét trên hình 4.16).

* Khi thiết kế mạch transistor, điểm công tác tĩnh được chọn trên đường tải tĩnh. Điểm công tác tĩnh xác định dòng điện và điện áp trên transistor khi không có tín hiệu đặt vào.

Khi có tín hiệu vào, dòng I_B biến đổi theo sự biến đổi của tín hiệu nguồn sẽ tạo ra trên R_t một điện áp giống như điện áp vào nhưng biên độ khác (nói chung là lớn hơn biên độ đầu vào vì transistor làm nhiệm vụ khuếch đại). Bởi vậy việc chọn điểm làm việc tĩnh rất quan trọng. Nếu chọn điểm Q thích hợp (thường chọn ở giữa đường đặc tuyến ra thì biên độ tín hiệu ra lớn mà không bị méo (tức là dạng tín hiệu ra không khác dạng tín hiệu vào). Nếu chọn điểm công tác không thích hợp, muốn cho tín hiệu không méo, biên độ tín hiệu lại nhỏ.

Để có điện áp ra cực đại không méo dạng thường chọn điểm công tác ở giữa đường tải. Khi không có yêu cầu nghiêm ngặt về độ méo, điểm công tác có thể chọn ở các điểm khác nhau trên đường tải

c. Ổn định điểm công tác tĩnh khi nhiệt độ thay đổi

Khi transistor làm việc ở chế độ khuếch đại, chuyển tiếp collector được phân cực ngược, qua chuyển tiếp này có dòng I_{C0} chảy qua. Dòng này là một thành phần của dòng collector và nó phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ. Khi nhiệt độ tăng, sự phát xạ cặp điện tử lỗ trống tăng, dòng I_{C0} tăng.

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1)I_{C0}$$

Có thể thấy ngay rằng I_{C0} tăng làm I_C tăng. Dòng I_C tăng có nghĩa là mật độ hạt dẫn chuyển qua chuyển tiếp collector tăng, do đó va chạm giữa hạt dẫn và mạng tinh thể tăng, nhiệt độ trong chuyển tiếp collector lại tăng lên khiến I_{C0} lại tăng. Hiện tượng này xảy ra liên tục và nhanh khiến chuyển tiếp collector bị phá hỏng vì nhiệt độ. Hiện tượng này là hiện tượng quá nhiệt.

Sự thay đổi nhiệt độ cũng làm cho U_{BE} thay đổi, do đó thay đổi dòng I_C dẫn đến điểm công tác tĩnh thay đổi.

Ảnh hưởng của hiện tượng quá nhiệt:

+ Nếu không có biện pháp hạn chế thì sự gia tăng nhiệt độ có thể làm hỏng transistor.

+ Làm thay đổi U_{BE} do đó làm thay đổi I_C dẫn đến điểm công tác tĩnh thay đổi.

Trong những điều kiện thông thường ảnh hưởng của dòng I_{C0} đến dòng I_C có thể định nghĩa bằng hệ số ổn định nhiệt độ như sau:

$$S = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{C0}}$$

Sự thay đổi điện áp U_{BE} ảnh hưởng đến điểm công tác Q được định nghĩa bằng:

$$S' = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{BE}}$$

Căn cứ vào những định nghĩa trên, hệ số ổn định nhiệt càng nhỏ thì độ ổn định càng cao. Trường hợp lý tưởng các hệ số ổn định nhiệt bằng 0 nhưng điều này trên thực tế không thực hiện được.

Ta có:

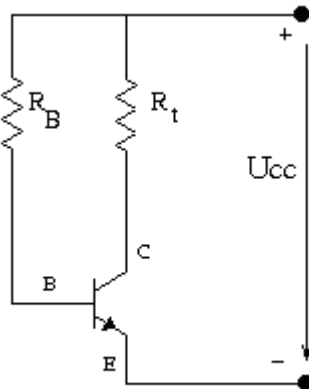
$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1)I_{C0}$$

$$\frac{\Delta I_C}{I_C} = \beta \frac{\Delta I_B}{I_C} + (\beta + 1) \frac{\Delta I_{C0}}{\Delta I_C}$$

$$S = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{C0}} = \frac{\beta + 1}{1 - \beta \frac{\Delta I_B}{\Delta I_C}}$$

d. Phân cực transistor bằng dòng cố định

Nếu transistor được phân cực như hình 4.17 dòng I_B từ nguồn một chiều cung cấp cho transistor sẽ không đổi. Bởi vậy người ta gọi loại phân cực này là phân cực bằng dòng không đổi. Có thể tạo ra dòng phân cực không đổi bằng hai cách.



Hình 4.17. Mạch phân cực dòng không đổi

Hình 4.17 chỉ dùng một nguồn một chiều U_{CC}

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B}$$

$$U_{CC} = I_B R_B + U_{BE}$$

Khi làm việc chuyển tiếp emitter luôn phân cực thuận cho nên U_{BE} thường nhỏ (0,2 – 0,7V).

Trong vòng mạch collector có thể viết:

$$U_{CC} = I_C R_t + U_{CE}$$

Căn cứ vào những phân tích đó ta có thể tính được điều kiện phân cực tĩnh khi biết hệ số khuếch đại dòng tĩnh β và các giá trị phần tử của mạch.

Ví dụ 1

Cho $R_B = 400\text{k}\Omega$, $R_t = 4\text{k}\Omega$ và $U_{CC} = 20\text{V}$, $\beta = 50$. Tìm điều kiện phân cực tĩnh.

$$I_{BQ} = (U_{CC} - U_{BE})/R_B = (20 - 0,7)/400 = 48,25 \text{ uA}$$

$$I_{CQ} \approx \beta \cdot I_{BQ} = 50 \cdot 0,04825 = 2,4 \text{ mA}$$

$$U_{CC} = I_C R_t + U_{CE}$$

$$U_{CEQ} = U_{CC} - I_C \cdot R_t = 20 - 2,4 \cdot 4 = 10,4 \text{ V}$$

Vậy ta có điểm công tác tĩnh Q(2.4 mA, 10.4V)

Ví dụ 2

Thiết kế mạch phân cực bằng dòng cố định biết

$$U_{CC} = 10\text{V}$$

$$\text{Điểm công tác tĩnh Q (} I_{CQ} = 1\text{mA, } U_{CEQ} = 5\text{V)}$$

$$\beta = 50$$

$$U_{BE} = 0,7\text{V}$$

Trong trường hợp hệ số β của transistor trên thay đổi $\beta_1 = 25$, $\beta_2 = 75$. Xác định sự biến đổi điểm công tác tĩnh. Tính sự ổn định nhiệt của loại mạch này?

Ta có:

$$E_C = U_{CE} + I_C \cdot R_t$$

$$\Rightarrow R_t = (E_C - U_{CE})/ I_C$$

$$= (10-5)/1\text{mA} = 5\text{k}\Omega$$

$$I_B = I_C/\beta = 1 \cdot 10^{-3}/50 = 20\mu\text{A}$$

$$\text{Mặt khác ta có: } E_C = I_B R_B + U_{BE}$$

$$\Rightarrow R_B = (U_{CC} - U_{BE})/ I_B$$

$$= (10 - 0,7)/20\mu\text{A} = 465\text{k}\Omega$$

Như vậy đã tính được các giá trị phần tử của mạch. Với các giá trị này khi $\beta = 50$ thì thỏa mãn điều kiện phân cực tĩnh $I_{CQ} = 1\text{mA}$, $U_{CEQ} = 5\text{V}$.

* Khi hệ số khuếch đại của mạch thay đổi $\beta_1 = 25$. Do kiểu phân cực này dòng I_B luôn không đổi nên ta có:

$$I_B = 20 \text{ uA}$$

$$I_{C1} = \beta_1 \cdot I_B = 25 \cdot 20\text{uA} = 0,5\text{mA}$$

$$\text{Điện áp } U_{CE1} = E_C - I_{C1} \cdot R_t = 10 - 0,5 \cdot 5 = 7,5\text{V}$$

Như vậy điểm công tác tĩnh mới là Q₁ ($I_C = 0,5\text{mA}$, $U_{CE} = 7,5\text{V}$)

So với điểm công tác tĩnh khi chưa thay đổi hệ số β thì điểm công tác mới đã thay đổi một lượng

$$\Delta I_{C1} = 1 - 0,5 = 0,5\text{mA}$$

$$\Delta U_{CE1} = 7,5 - 5 = 2,5 \text{ V}$$

* Khi hệ số khuếch đại của mạch thay đổi $\beta_2 = 75$. Do kiểu phân cực này dòng I_B luôn không đổi nên ta có:

$$I_B = 20 \mu A$$

$$I_{C2} = \beta \cdot I_B = 75 \cdot 20 \mu A = 1,5 mA$$

$$\text{Điện áp } U_{CE2} = E_C - I_C \cdot R_t = 10 - 5 \cdot 1,5 = 2,5 V$$

Như vậy điểm công tác tĩnh mới là Q_2 ($I_C = 1,5 mA$, $U_{CE} = 2,5 V$)

So với điểm công tác tĩnh khi chưa thay đổi hệ số β thì điểm công tác mới đã thay đổi một lượng

$$\beta I_{C2} = 1,5 - 1 = 0,5 mA$$

$$\beta U_{CE2} = 5 - 2,5 = 2,5 V$$

Kết luận: Điểm công tác tĩnh đã thay đổi một lượng khá lớn. Mạch này có độ ổn định điểm công tác tĩnh kém.

* Xét độ ổn định nhiệt

Giả thiết β không đổi và bằng giá trị trung bình

Với cách phân cực này dòng I_B không đổi cho nên:

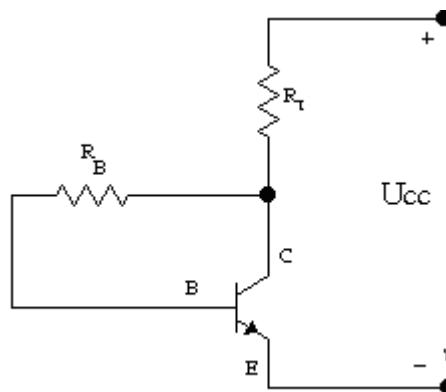
$$\frac{\Delta I_B}{\Delta I_C} = 0$$

$$\text{Khi đó : } S = \beta + 1 = 50 + 1 = 51$$

Hệ số ổn định nhiệt S lớn. Mạch phân cực bằng dòng cố định có độ ổn định nhiệt kém. Thực tế mạch này dùng khi yêu cầu ổn định nhiệt không cao.

e. Phân cực cho transistor bằng điện áp phản hồi

Mạch phân cực bằng dòng cố định có ưu điểm là mạch đơn giản nhưng sự ổn định điểm công tác khi chất lượng transistor thay đổi (biến đổi) và nhiệt độ thay đổi không được cao. Nguyên nhân chính gây ra không ổn định điểm công tác ở đây là dòng phân cực I_B cố định, nó không bù lại được do các nhân tố khách quan gây ra. Nếu cải tiến cách mắc mạch hình 4.17 bằng hình 4.18 nghĩa là chỉ cần đầu phía bên kia của R_B không phải vào nguồn U_{CC} mà vào cực collector. Như vậy điện áp trên cực collector U_{CE} phản hồi lại cực bazơ qua điện trở R_B (bởi vậy mới có tên gọi là mạch phản hồi điện áp).



Hình 4.18. Mạch nguyên lý phân cực bằng điện áp phản hồi

Một cách định tính có thể thấy loại mạch này có khả năng ổn định điểm công tác Q như sau:

Giả thiết vì lý do nào đó dòng I_C tăng, điều này làm điện áp rơi trên R_t tăng. Vì U_{CC} cố định nên $U_{CE} = U_{CC} - I_C R_t$ giảm, điện áp phản hồi trở lại cực bazơ đó cũng giảm, khiến dòng I_B giảm. Dòng I_B giảm làm dòng I_C giảm, nghĩa là kéo I_C trở lại giá trị ban đầu trước khi tăng. Cũng có thể lý luận tương tự cho trường hợp I_C giảm. Như vậy sự phản hồi điện áp ở đây có tác dụng ổn định điểm công tác tĩnh.

Điểm công tác tĩnh được xác định như sau:

$$U_{CC} = (I_C + I_B) R_t + U_{CE}$$

Còn quan hệ điện áp trong mạch bazơ có thể viết:

$$U_{CC} = (I_C + I_B) R_t + I_B R_B + U_{BE}$$

Từ hai biểu thức trên ta có:

$$U_{CE} = I_B R_B + U_{BE}$$

Ví dụ: Thiết kế mạch phân cực bằng điện áp phản hồi

Cho biết $U_{CC} = 10V$

Điểm công tác tĩnh Q ($I_{CQ} = 1mA$, $U_{CEQ} = 5V$)

$\beta = 50$

$U_{BE} = 0,7V$

Giả sử hệ số β của transistor trên thay đổi $\beta_1 = 25$, $\beta_2 = 75$. Hãy tính sự dịch chuyển điểm công tác tĩnh? Tính độ ổn định nhiệt của mạch này?

Lời giải:

Điểm công tác ra tĩnh được xác định như sau:

$$U_{CC} = (I_C + I_B) R_t + U_{CE}$$

Còn quan hệ điện áp trong mạch bazơ có thể viết:

$$U_{CC} = (I_C + I_B) R_t + I_B R_B + U_{BE}$$

$$U_{CE} = I_B R_B + U_{BE}$$

$$= (I_C / \beta) R_B + U_{BE}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow R_B &= \beta(U_{CEQ} - U_{BE}) / I_C \\ &= 50(5 - 0,7) / 1mA \\ &= 215k\Omega \end{aligned}$$

Ta có:

$$U_{CC} = (I_C + I_B) R_t + U_{CE}$$

$$\rightarrow R_t = (U_{CC} - U_{CE}) / (I_B + I_C) = (U_{CC} - U_{CE}) / (I_C / \beta + I_C)$$

$$= \frac{(10-5)}{(1+1/50)mA} = 4,9 \text{ k}\Omega$$

Khi β thay đổi, $\beta_1 = 25$

$$\begin{aligned} U_{CC} &= (I_C + I_B) R_t + I_B R_B + U_{BE} \\ &= (I_C + I_C/\beta) R_t + (I_C/\beta) R_B + U_{BE} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow I_C (R_t + R_t/\beta + R_B/\beta) = U_{CC} - U_{BE}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow I_{C1} &= \frac{(E_C - U_{BE})}{(R_t + R_t/\beta + R_B/\beta)} \\ &= \frac{10 - 0,7}{4,9 + 4,9/25 + 215/25} = 0,68 \text{ mA} \end{aligned}$$

$$U_{CE1} = (I_C/\beta)R_B + U_{BE} = 215 \cdot 0,68/25 + 0,7 = 6,55 \text{ V}$$

Như vậy điểm công tác tĩnh mới là: ($I_{CQ1} = 0,68 \text{ mA}$; $U_{CEQ1} = 6,55 \text{ V}$).

Sự dịch chuyển điểm công tác tĩnh ; $\Delta I_C = 1 - 0,68 = 0,32 \text{ mA}$

$$\Delta U_{CE} = 6,55 - 5 = 1,55 \text{ V}$$

Khi β thay đổi, $\beta_2 = 75$

$$\begin{aligned} \Rightarrow I_{C2} &= \frac{(E_C - U_{BE})}{(R_t + R_t/\beta + R_B/\beta)} = \frac{10 - 0,7}{4,9 + 4,9/75 + 215/75} \\ &= 1,19 \text{ mA} \end{aligned}$$

$$U_{CE} = (I_C/\beta)R_B + U_{BE} = 215 \cdot 1,19/75 + 0,7 = 4,1 \text{ V}$$

Như vậy điểm công tác tĩnh mới là: ($I_{CQ2} = 1,19 \text{ mA}$; $U_{CEQ2} = 4,1 \text{ V}$).

Sự dịch chuyển điểm công tác tĩnh ; $\Delta I_C = 1,19 - 1 = 0,19 \text{ mA}$

$$\Delta U_{CE} = 5 - 4,1 = 0,9 \text{ V}$$

Kết luận: Sự dịch chuyển điểm công tác tĩnh là nhỏ.

Nhận xét: Mạch này có khả năng ổn định điểm công tác tĩnh tốt hơn mạch phân cực bằng nguồn cố định.

* Xét độ ổn định nhiệt :

$$\text{Ta có : } I_B = \frac{U_{CC}}{R_B + R_t} - \frac{I_C R_t}{R_B + R_t}$$

Suy ra:

$$\frac{\Delta I_B}{\Delta I_C} = -\frac{R_t}{R_B + R_t}$$

Từ đó ta có :

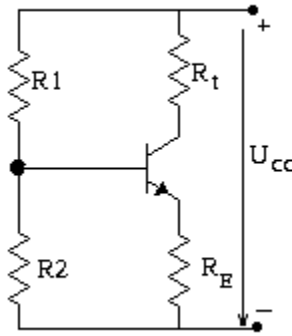
$$S = \frac{(\beta+1)(R_B + R_t)}{(R_t + R_B) + \beta R_t}$$

$$S = \frac{(215 + 4,9)(50 + 1)}{(215 + 4,9) + 50 \cdot 4,9} = 24,1$$

Độ ổn định nhiệt của mạch này tốt hơn mạch phân cực bằng dòng cố định

f. Phân cực tranzitor bằng phản hồi dòng emitor

Phân cực tranzitor bằng dòng emitor hay phân cực bằng dòng phản hồi dòng điện còn gọi là tự phân cực có sơ đồ nguyên lý như hình sau:



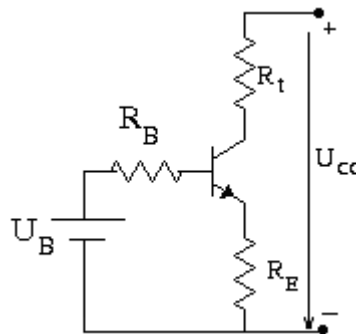
Hình 4.19. Sơ đồ nguyên lý mạch phân cực bằng dòng emitor

Điện trở R1 và R2 tạo ra một bộ phân áp lấy điện áp từ nguồn U_{CC} đặt vào bazơ U_B . Điện trở R_E nối với cực emitor, dòng I_E rơi trên điện trở này, điện áp $U_E = I_E R_E$. Mặt khác có: $U_E = U_B - U_{BE}$

$$\text{Vậy: } I_E = (U_B - U_{BE}) / R_E$$

Nếu thỏa mãn điều kiện: $U_B \geq U_{BE}$ thì $I_E \sim U_B / R_E$ và rất ổn định.

Sơ đồ tương đương :



Hình 4.20. Sơ đồ tương đương tĩnh của mạch phân cực hình 4.19

Trong đó: $R_B = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$

$$U_B = R_2 \cdot U_{CC} / (R_1 + R_2)$$

Căn cứ vào sơ đồ tương đương (hình 4.20) để phân tích mạch phân cực dòng emitor.

Tổng điện áp rơi trên mạch bazơ:

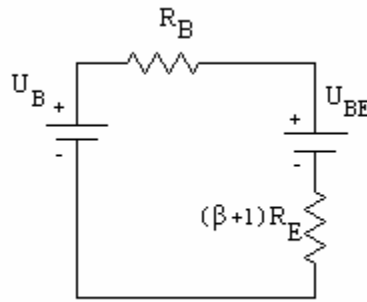
$$U_B = I_B \cdot R_B + U_{BE} + (I_C + I_B)R_E$$

Trong đó đã thay $I_E = I_C + I_B$, nếu như biết β có thể biến đổi thành:

$$U_B = I_B [R_B + (\beta + 1)R_E] + U_{BE}$$

Trong quá trình làm việc, chuyển tiếp E luôn phân cực thuận cho nên tổng điện áp một chiều ở đầu vào mạch này là U_B . Trong hầu hết các trường hợp $U_B < U_{CC}$ nhiều lần. Các mạch trước có thể bỏ qua U_{BE} vì nó quá nhỏ so với U_{CC} nhưng trong trường hợp này U_{BE} có độ lớn vào cỡ U_B cho nên không thể bỏ qua được. Trên hình 4.20 ta có điện áp giữa E và đất là $I_E \cdot R_E$. Dòng emitor $I_E = I_C + I_B = (\beta + 1) I_B$ (bỏ qua dòng ngược I_{C0}). Như vậy điện áp giữa E và đất có thể viết $U_E = (\beta + 1) \cdot I_B \cdot R_E$. Đại lượng không thứ nguyên $(\beta + 1)$ có thể liên hệ với I_B tạo thành dòng $(\beta + 1) \cdot I_B$ hoặc liên hợp với R_E để tạo thành điện trở $(\beta + 1) R_E$. Nếu quan niệm như vậy thì có thể nói rằng điện áp giữa E và đất là điện áp do dòng $(\beta + 1)I_B$ rơi trên điện trở R_E hay do dòng I_B rơi trên điện trở $(\beta + 1) R_E$.

Bỏ qua dòng I_{C0} có thể minh họa bằng sơ đồ tương đương hình 4.21



Hình 4.21 Sơ đồ tương đương mạch bazơ hình 4.20

Mặt khác ta có:

$$U_{CC} = R_t \cdot I_C + U_{CE} + I_E \cdot R_E$$

Đây chính là phương trình đường tải tĩnh.

Ví dụ 1:

Thiết kế mạch phân cực bằng dòng phản hồi emito cho tranzitor silic loại NPN

Cho biết nguồn cung cấp $U_{CC} = 15V$.

Tính các phần tử của mạch nguyên lý để điểm công tác tĩnh Q ở vị trí Q ($I_{CQ} = 1mA$, $U_{CEQ} = 5V$) khi tranzitor có $\beta = 50$.

Chọn $R_t = 5k\Omega$

Giả thiết các phần tử β của bản thân tranzitor thay đổi từ 25 – 75. Khi đó điểm công tác tĩnh thay đổi ra sao? Tính hệ số ổn định nhiệt độ của mạch này?

$$\text{Ta có : } R_E = \frac{U_E}{I_E} = \frac{U_{CC} - I_C \cdot R_t - U_{CE}}{I_C + (I_C / \beta)} = \frac{15V - 5V - 1mA \cdot 5k\Omega}{1mA + 1mA / 50} = 4,9k\Omega$$

Chọn $R_B = R_E = 4,9k\Omega$

$$I_B = I_C / \beta = 1\text{mA} / 50 = 20\mu\text{A}$$

$$\begin{aligned} U_B &= I_B [R_B + (\beta + 1)R_E] + U_{BE} \\ &= 0,02\text{mA}[4,9\text{k}\Omega + (50+1).4,9\text{k}\Omega] + 0,7\text{V} = 5,8\text{V} \end{aligned}$$

$$U_B = U_{CC} \cdot R_2 / (R_1 + R_2) \quad (1)$$

$$R_B = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2) \quad (2)$$

$$\text{Lấy (1) / (2)} \quad U_B / R_B = U_{CC} / R_1$$

$$\Rightarrow R_1 = R_B \cdot U_{CC} / U_B$$

$$= 4,9\text{k}\Omega \cdot 15\text{V} / 5,8\text{V} = 12,69\text{k}\Omega$$

$$(2) \Rightarrow R_2 = R_1 \cdot R_B / (R_1 - R_B) = 7,98\text{k}\Omega$$

Ta có :

$$\begin{aligned} U_B &= I_B [R_B + (\beta + 1)R_E] + U_{BE} \\ &= (I_C / \beta)R_B + U_{BE} + (I_C + I_C / \beta) \cdot R_E \end{aligned}$$

Từ đó rút ra:

$$I_C = \frac{U_B - U_{BE}}{(1 + 2 / \beta)R_E} \quad (*)$$

Từ sơ đồ nguyên lý ra tính được

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C \cdot (R_t + R_E + R_E / \beta) \quad (**)$$

Thay $U_B = 5,8\text{V}$, $R_E = R_B = 4,9\text{k}\Omega$, $R_t = 5\text{k}\Omega$ vào các biểu thức (*) và (**) ta có:

Với $\beta = 25$ ta có: $I_C = 0,96\text{mA}$, $U_{CE} = 4,9\text{V}$

Với $\beta = 75$ ta có $I_C = 1,01\text{mA}$, $U_{CE} = 5,5\text{V}$

Nhận xét: Khi hệ số ã thay đổi lớn thì điểm công tác tính thay đổi không đáng kể. Loại mạch này có khả năng ổn định điểm công tác tính tốt

* Xét độ ổn định nhiệt

$$U_B = I_B \cdot R_B + U_{BE} + (I_B + I_C)R_E$$

$$I_B = \frac{U_B - U_{BE} - I_C R_E}{R_B + R_E}$$

$$\frac{\Delta I_B}{\Delta I_C} = - \frac{R_E}{R_B + R_E} = - \frac{1}{K_2}$$

$$S = \frac{\beta + 1}{1 + (\beta / K_2)}$$

Với các giá trị cho ở mạch trên ta có : $S = 1,96$.

Kết luận : mạch này có độ ổn định nhiệt cao.

Muốn cho mạch ổn định khi nhiệt độ thay đổi, K_2 có giá trị càng nhỏ càng tốt. Điều này có nghĩa là R_E càng lớn càng tốt và R_B càng nhỏ càng tốt.

Mặt khác ta có hệ số ổn định nhiệt không phụ thuộc vào R_t tức là không phụ thuộc vào điểm công tác tĩnh.

Ví dụ 2 :

Thiết kế mạch phân cực tranzitor bằng dòng emitter. Điều kiện phân cực là $I_{CQ} =$

2,5 mA và $U_{CEQ} = 10V$. Tranzitor silic loại NPN có $\beta = 50$. Nguồn cung cấp $U_{CC} = 20V$, điện trở $R_t = 3,22k\Omega$. Yêu cầu hệ số ổn định nhiệt là $S = 5$.

Giả thiết trạng thái của mạch đang ở điểm công tác tĩnh Q. Căn cứ vào mạch ta tính được:

$$R_E = \frac{U_{CC} - U_{CEQ} - I_{CQ}R_t}{I_{CQ}} = \frac{20 - 10 - 2,5 \cdot 3,22}{2,5} = 0,78k\Omega$$

Ta có: $S = \frac{\beta + 1}{1 + (\beta / K_2)}$

$$\Rightarrow K_2 = \frac{\beta \cdot S}{\beta + 1 - S} = \frac{50 \cdot 5}{50 + 1 - 5} = 5,44$$

Mặt khác ta có :

$$K_2 = \frac{R_B + R_E}{R_E} \quad (R_B = R_1 // R_2)$$

$$\Rightarrow R_B = (K_2 - 1)R_E = (5,44 - 1) \cdot 0,78 = 3,46k\Omega$$

$$I_{BQ} = I_{CQ} / \beta = 2,5 / 50 = 0,05mA$$

$$U_B = I_B [R_B + (\beta + 1)R_E] + U_{BE} \\ = 0,05mA [3,46k\Omega + (50 + 1) \cdot 0,78k\Omega] + 0,7V = 2,76V$$

$$U_B = U_{CC} \cdot R_2 / (R_1 + R_2) \quad (1)$$

$$R_B = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2) \quad (2)$$

Lấy (1) / (2) $U_B / R_B = U_{CC} / R_1$

$$\Rightarrow R_1 = R_B \cdot U_{CC} / U_B \\ = 3,46k\Omega \cdot 20V / 2,76V = 25,1k\Omega$$

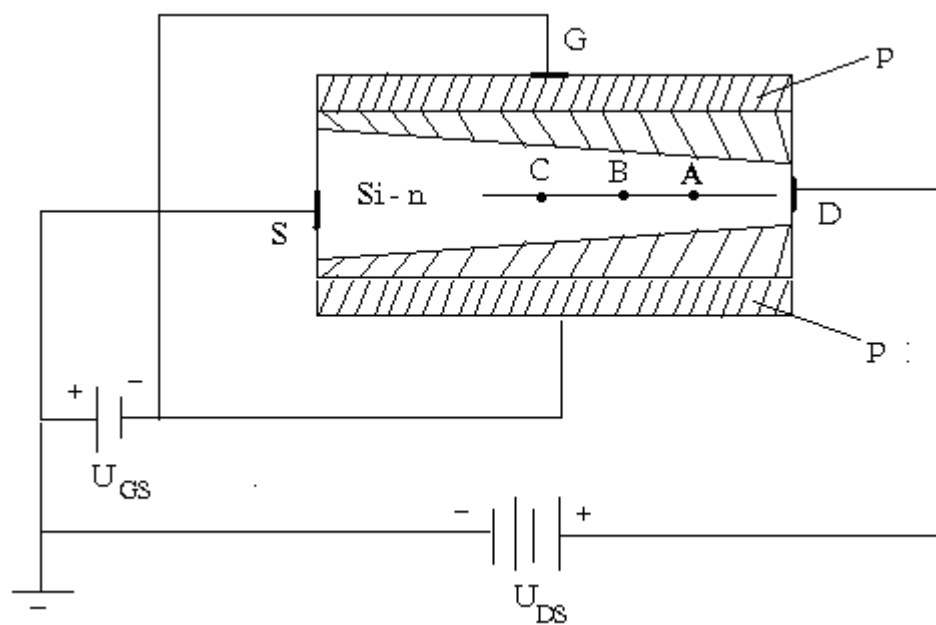
$$(2) \Rightarrow R_2 = R_1 \cdot R_B / (R_1 - R_B) = 4k\Omega$$

4.2. Tranzitor trường

Khác với tranzitor lưỡng cực đã xét mà đặc điểm chủ yếu là dòng điện trong chúng gồm cả hai hạt dẫn (điện tử và lỗ trống tự do) tạo nên, tranzitor trường (còn gọi là tranzitor đơn cực FET (Field Effect Transistor)) hoạt động dựa trên nguyên lý hiệu ứng trường, điều khiển độ dẫn điện của đơn tinh thể bán dẫn nhờ tác dụng của một điện trường ngoài. Dòng điện trong FET chỉ do một hạt dẫn tạo ra. Tranzitor trường gồm hai loại: FET có cực cửa tiếp giáp p-n (JEFT) và FET có cực cửa cách li (MOSFET hay IGFET).

4.2.1. Tranzitor trường có cực cửa tiếp giáp

- Cấu tạo

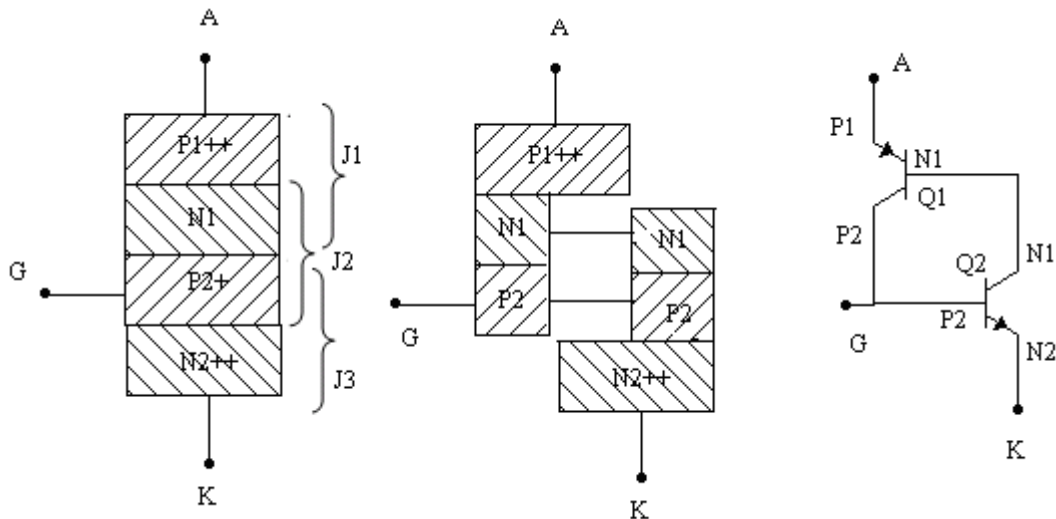


CHƯƠNG 5. CÁC LINH KIỆN NHIỀU CHUYỂN TIẾP PN

5.1. Thyristor

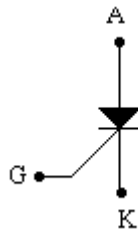
5.1.1. Nguyên lý làm việc và đặc tuyến của thyristor

Thyristor được chế tạo bằng bốn lớp bán dẫn P-N-P-N đặt xen kẽ nhau. Lần lượt gọi các lớp bán dẫn này là P_1N_1 , P_2N_2 . Giữa các lớp bán dẫn này hình thành các lớp bán dẫn từ trên xuống dưới là J_1 , J_2 , J_3 . Thyristor gồm có 3 cực: Anốt (A), catốt (K) và cực không chế G.



Hình 5.1. Cấu trúc bốn lớp của thyristor

Để tiện cho việc phân tích nguyên lý làm việc của thyristor tương đương bốn lớp bán dẫn của thyristor có thể chia thành hai cấu trúc transistor là $P_1N_1P_2$ và $N_1'P_2'N_2$ như hình (5.1.b). Căn cứ vào hình 5.1.b ta có thể vẽ được sơ đồ tương đương hình (5.1.c). Từ sơ đồ tương đương này ta có thể biểu diễn cấu trúc bốn lớp của thyristor thành hai transistor PNP và NPN. Emitter của Q_1 ứng với Anốt, thường được gọi là Emitter lỗ trống, emitter của Q_2 ứng với catốt thường được gọi là emitter điện tử. Bazo của Q_2 và Collector của Q_1 nối với cực không chế G. Collector của Q_2 được nối tắt với bazo của Q_1 . Ký hiệu của mạch thyristor như hình 5.2

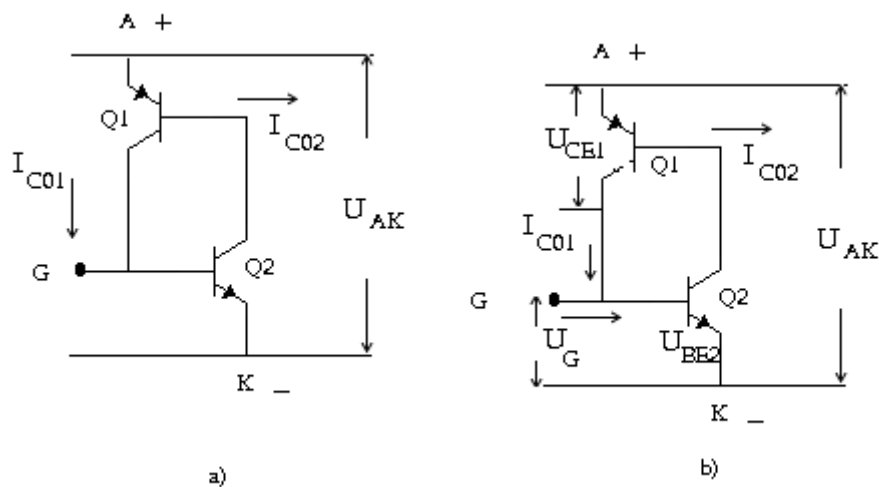


Hình 5.2. Ký hiệu quy ước của thyristor

Khi phân cực thuận cho thyristor tức là điện áp dương đặt vào anốt, điện áp âm đặt vào catốt. Nếu cực G để hở mạch, khi đó vì điện áp giảm từ anốt đến catốt cho nên

J_1 và J_3 phân cực thuận, còn J_2 phân cực ngược. Nếu điện áp phân cực thuận này còn nhỏ thì dòng chảy qua thyristor cũng rất nhỏ, các transistor Q_1 và Q_2 vẫn đóng. Dòng điện chạy trong thyristor lúc này bằng dòng bão hoà ngược của chuyển tiếp J_2 . Nếu tiếp tục tăng điện áp phân cực thuận, J_1 và J_3 tăng mức độ phân cực thuận, còn J_2 phân cực ngược lớn lên làm cho nó bước vào giai đoạn đánh thủng. Khi đó giữa J_1 và J_3 được nối tắt bằng miền điện tích không gian của J_2 đã đánh thủng chứa đầy hạt dẫn, như vậy thyristor đã chuyển từ trạng thái đóng sang trạng thái mở. Ở trạng thái mở, thyristor tương đương với hai điốt phân cực thuận mắc nối tiếp (J_1 và J_3).

Nếu xét trên sơ đồ tương đương (5.3.a) thấy rằng khi tăng điện áp thuận tới một giá trị nhất định làm dòng ngược I_{C0} tăng (khi J_2 bắt đầu đánh thủng) như thấy trên hình 5.3.b $I_{C0} = I_{B2}$, khi I_{C0} lớn hơn dòng mở cho Q_2 thì Q_2 sẽ mở làm cho $I_{C2} = I_{B1}$ tăng, do đó làm cho Q_1 mở dẫn đến $I_{C1} = I_{B2}$ tiếp tục tăng. Như đã thấy quá trình này xảy ra trong một vòng kín, kết quả là dù cho điều kiện gây ra sự đánh thủng J_2 có mất đi, thì quá trình cũng tự động dẫn đến Q_1 và Q_2 mở hoàn toàn, nghĩa là làm cho thyristor chuyển hẳn sang trạng thái mở. Phương pháp mở thyristor bằng cách tăng điện áp phân cực thuận trên anốt và catốt gọi là phương pháp kích mở.

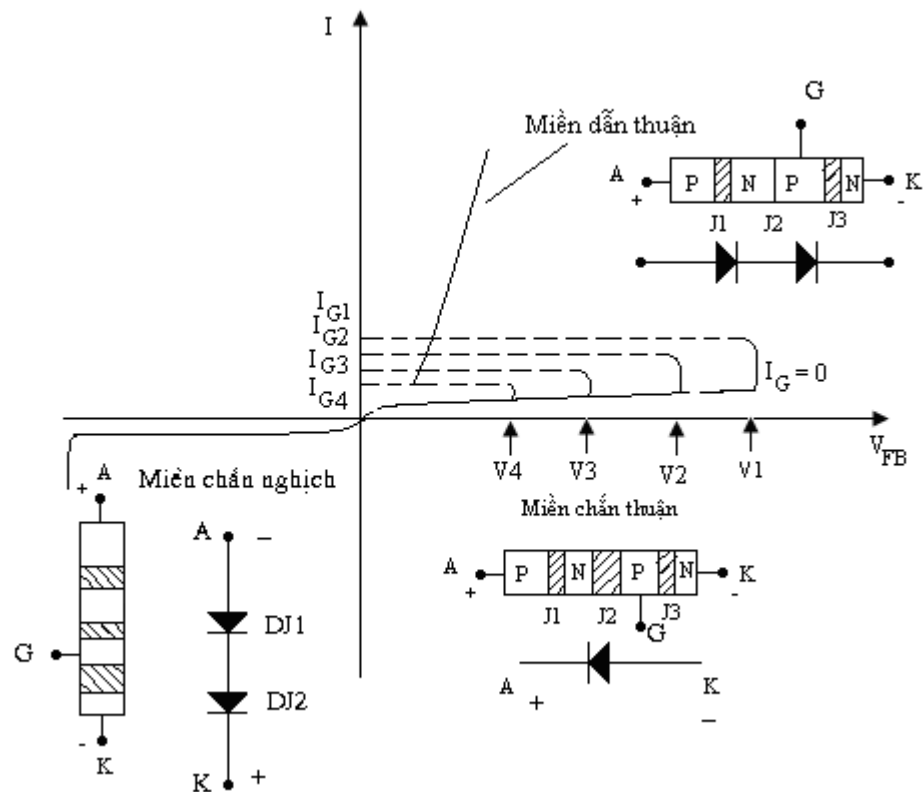


Hình 5.3. Sơ đồ tương đương của transistor khi làm việc

Nếu điện áp thuận đặt vào thyristor giữ nhỏ hơn mức điện áp kích mở và giữa cực K và G đặt vào điện áp U_G có cực tính như hình 5.3.b, điện áp này cung cấp dòng I_G , nếu I_G đủ lớn làm cho Q_2 mở thì quá trình xảy ra trong thyristor cũng tương tự như trên làm cho Q_1 mở dẫn tới làm cho thyristor mở hoàn toàn. Điện áp mở thyristor U_G thường là một xung có biên độ đủ lớn, sau khi thyristor nó giữ nguyên trạng thái này cho dù xung mở U_G không còn nữa. Muốn chuyển thyristor từ trạng thái mở sang trạng thái đóng phải làm sao để dòng I_{B2} và I_{B1} giảm xuống nhỏ hơn dòng mở của Q_1 và Q_2 . Điều này có thể thực hiện được bằng cách điện áp phân cực thuận trên cực A

và K làm cho dòng I_A chảy qua thyristor giảm nhỏ, đưa tới I_{B2} nhỏ hơn dòng mở Q_2 , làm cho Q_2 chuyển dần sang trạng thái đóng. Do Q_2 chuyển dần sang trạng thái đóng, dòng $I_{C2} = I_{B1}$ cũng giảm đi làm cho Q_1 dần sang trạng thái đóng. Kết quả là thyristor đóng hoàn toàn. Cũng có thể tác dụng vào cực G và K một điện áp có cực tính ngược với cực tính trình bày trên hình 5.3.b, điện áp này làm cho I_{B1} giảm nhỏ và do đó làm cho Q_2 đóng dần tới Q_1 đóng và vì vậy thyristor đóng hoàn toàn.

Đặc tuyến Von – Ampe của thyristor có dạng như hình 5.4



Hình 5.4. Đặc tuyến Von – Ampe của thyristor

- Phân cực ngược

Cực dương điện áp ngoài đặt vào cực K còn cực âm của điện áp ngoài đặt vào cực A của thyristor. Với cách phân cực như vậy, J_1 và J_3 bị phân cực ngược còn J_2 phân cực thuận. Điện trở của J_2 phân cực thuận có thể bỏ qua cho nên thyristor phân cực ngược mắc nối tiếp (J_1 và J_3). Dòng qua thyristor chính là dòng dò ngược của điôt I_{rx} . Khi tăng điện áp phân cực ngược trong một khoảng nhất định dòng I_{rx} không đổi (cũng giống như dòng ngược bão hoà của điôt). Nếu tăng điện áp ngược đến một giá trị nhất định thì hai chuyển tiếp phân cực ngược J_1 và J_2 sẽ bị đánh thủng theo cơ chế thác lũ và cơ chế Zener, dòng ngược qua thyristor tăng lên đột ngột. Nếu không có biện pháp ngăn chặn, dòng ngược này sẽ làm hỏng thyristor. Vùng đặc tuyến ngược của thyristor trước khi đánh thủng gọi là vùng chắn ngược.

- Phân cực thuận:

+ Trường hợp cực G hở mạch: $I_G = 0$. Chuyển tiếp J_1 và J_3 lúc này được phân cực thuận, còn J_2 phân cực ngược. Khi U_{AK} còn nhỏ, dòng qua thyristor quyết định chủ yếu bằng dòng dò ngược của J_2 . Xét chung cho cả thyristor thì dòng điện chảy qua thyristor lúc này là dòng dò thuận I_{TX} (nhỏ, $100\mu A$). Nếu $I_G = 0$ thì dòng dò thuận sẽ giữ nguyên giá trị ban đầu khi tăng U_{AK} tới giá trị xấp xỉ giá trị đánh thủng chuyển tiếp J_2 . Điện áp thuận ứng với giá trị này được gọi là điện áp đánh thủng thuận U_{FB} . Nói một cách khác, khi điện áp thuận tăng đến giá trị này, dòng I_{C0} trong thyristor đủ lớn dẫn tới làm cho Q_1 và Q_2 trong sơ đồ tương đương hình 5.3 mở và lập tức chuyển hẳn sang trạng thái bão hoà. Thyristor chuyển hẳn sang trạng thái mở, nội trở của nó đột ngột giảm đi. Điện áp sụt trên hai cực A và K cũng giảm xuống đến một giá trị U_{th} gọi là điện áp dẫn thuận.

+ Trường hợp $I_G \neq 0$, nghĩa là giữa cực G và cực K có một điện áp phân cực thuận. Dòng I_G do U_{GK} cung cấp này sẽ cùng với dòng ngược vốn có trong thyristor I_{C0} làm cho Q_2 có thể mở ngay ở điện áp U_{AK} nhỏ hơn nhiều giá trị kích mở của nó (U_{FB}). Dòng I_G càng lớn thì U_{AK} cần thiết tương ứng để cho Q_2 mở (tức là cho thyristor mở) càng nhỏ. Như trên hình (5.4) trình bày dòng I_G tăng từ 1 đến 4 còn U thì giảm từ 4 đến 1. Ngay từ lúc đầu, điện áp U_{FB} đã cung cấp một dòng I_G lớn hơn dòng mở cực tiểu của Q_3 , nhưng điện áp U_{AK} vẫn chưa đủ lớn để phân cực thuận Q_1 và Q_2 thì thyristor vẫn chưa mở. Như trên hình 5.4, mức không chế I_G từ I_{G1} đến I_{G4} tương ứng với mức điện áp U_{FB} giảm từ U_1 đến U_4 .

Điện áp dẫn thuận U_{th} căn cứ vào hình 5.3 b có thể viết $U_{th} = (U_{BE1} + U_{CE2}) = (U_{BE2} + U_{CE1})$. Đối với Si thì điện áp bão hoà của transistor Si vào cỡ 0,2V còn U_{BE} như đã biết, vào cỡ 0,7V. Như vậy $U_{th} = 0,9V$. Trên phần đặc tuyến thuận của thyristor, phần đặc tuyến mà thyristor chưa mở gọi là miền chẵn thuận, miền thyristor đã mở gọi là miền dẫn thuận. Quan sát miền dẫn thuận và miền chẵn ngược của thyristor có nhận xét nó có dạng giống như điện áp chỉnh lưu thông thường.

Sau khi các điều kiện kết thúc cho thyristor mở kết thúc, muốn duy trì cho thyristor luôn mở, phải luôn đảm bảo cho dòng thuận I_F lớn hơn một giá trị nhất định gọi là dòng ghim I_H . Nói một cách khác, dòng ghim là giá trị cực tiểu của dòng thuận I_F . Nếu trong quá trình thyristor mở, dòng I_G vẫn được duy trì thì giá trị dòng ghim tương ứng sẽ giảm khi dòng I_G tăng như hình 5.4.

5.1.2. Tham số của thyristor

Hai tham số quan trọng trong khi chọn thyristor trong các ứng dụng thực tế là dòng điện và điện áp cực đại mà thyristor có thể làm việc, không bị đánh thủng. Điện áp đánh thủng thuận và ngược đã trình bày ở trên. Điện áp thuận cực đại đảm bảo cho

thyristor không bị đánh thủng theo chiều thuận chính là điện áp chặn thuận. Với ý nghĩa tương tự, người ta định nghĩa điện áp chặn ngược cực đại.

Ngoài các tham số trên đây, tùy theo ứng dụng cụ thể, cần biết các tham số sau: Công suất tổn hao cực đại là công suất lớn nhất cho phép khi thyristor làm việc, điện áp cực không chế U_G là điện áp ngưỡng cần để mở thyristor khi $U_{AK} = 6V$.

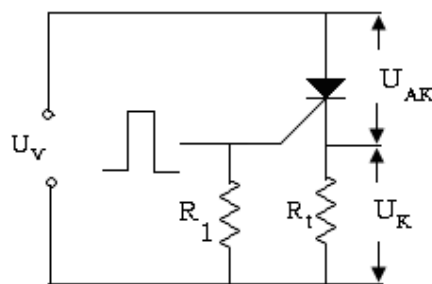
Đối với các thyristor làm việc ở chế độ xung và tần số cao còn phải quan tâm đến thời gian đóng mở thyristor.

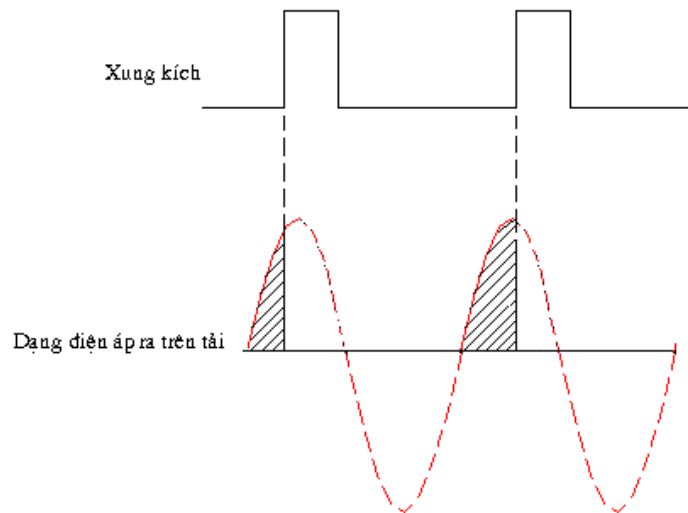
5.1.3. Ứng dụng của thyristor

Ứng dụng thyristor trong môi trường công nghiệp mạch điều khiển, mạch đóng mở không chế xung.

a. Mạch chỉnh lưu có không chế pha kiểu xung

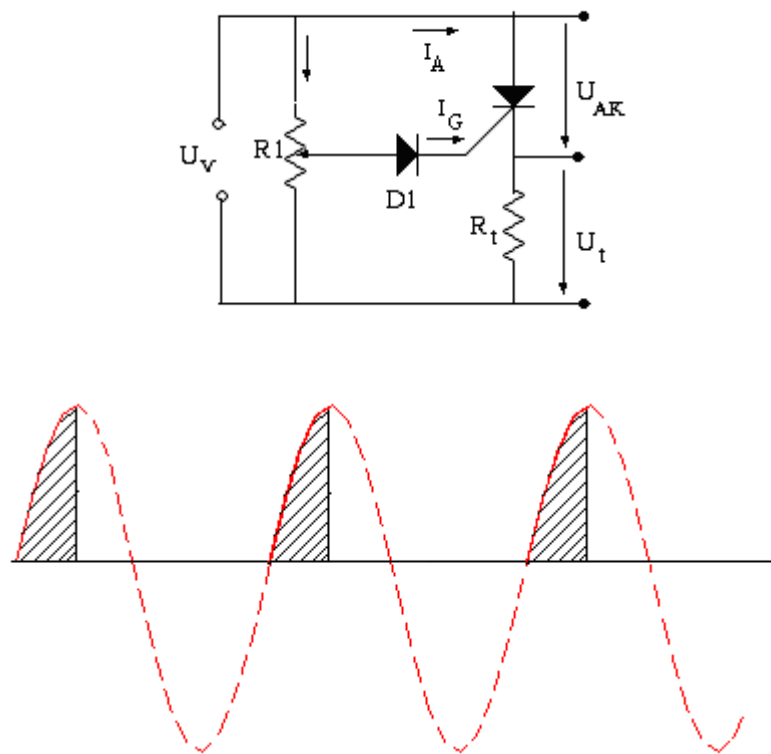
Nếu cực G của thyristor trong mạch trên luôn được phân cực để cho thyristor thông thì vai trò của thyristor cũng giống như một van chỉnh lưu thông thường. Khi đặt vào cực G một chuỗi xung kích thích làm thyristor chỉ mở tại những thời điểm nhất định (cùng với chu kỳ dương của điện áp nguồn đặt vào anot) thì dạng điện áp ra trên tải của thyristor không phải là toàn bộ các nửa chu kỳ dương như thông thường mà tùy theo quan hệ pha giữa xung kích và điện áp nguồn, chỉ có từng phần của nửa chu kỳ dương như hình 5.5





Hình 5.5. Mạch không chế xung đơn giản

b. Mạch không chế pha 90°



Hình 5.6. Mạch không chế pha 90°

Dòng kích mở cực G được lấy từ nguồn cung cấp qua điện trở R1. Nếu R1 được điều chỉnh đến giá trị nhỏ thì thyristor sẽ mở hầu như đồng thời với nửa chu kỳ dương đặt vào anốt. Nếu R1 được điều chỉnh đến một giá trị lớn thích hợp thì thyristor chỉ mở ở nửa chu kỳ dương nếu như U_v đạt giá trị cực đại. Điều chỉnh điện trở R trong khoảng 2 giá trị này có thể làm cho thyristor mở với góc pha từ $0-90^\circ$. Nếu tại góc pha 90° mà thyristor không mở thì nó cũng không thể mở ở góc pha nào và tại góc pha 90° dòng I_G có cường độ lớn nhất. Chú ý rằng điốt D1 để bảo vệ thyristor khi nửa chu kỳ

âm của nguồn điện đặt vào cực G.

Ví dụ:

Giả sử điện áp nguồn xoay chiều có biên độ là 30V? Điện trở tải bằng 15Ω. Xác định khoảng điều chỉnh của R1 để có thể mở thyristor tại bất cứ góc nào trong khoảng từ 5°–90°. Biết rằng dòng mở cực G là 100μA và điện áp cửa G là 0,5V.

Lời giải

Từ hình vẽ ta thấy rằng trong khoảng thời gian thyristor mở, dòng I_G chảy qua R1, D1 và R_t . Bởi vậy khi transistor mở có thể viết:

$$\begin{aligned} E_V &= I_G.R_1 + U_{D1} + U_G + I_G.R_t \\ \rightarrow I_G.R_1 &= E_V - U_{D1} - I_G.R_t - U_G \\ R_1 &= (E_V - U_{D1} - I_G.R_t - U_G)/I_G \end{aligned}$$

Tại 5° ta có $E_V = 30\sin 5^\circ = 2,6V$

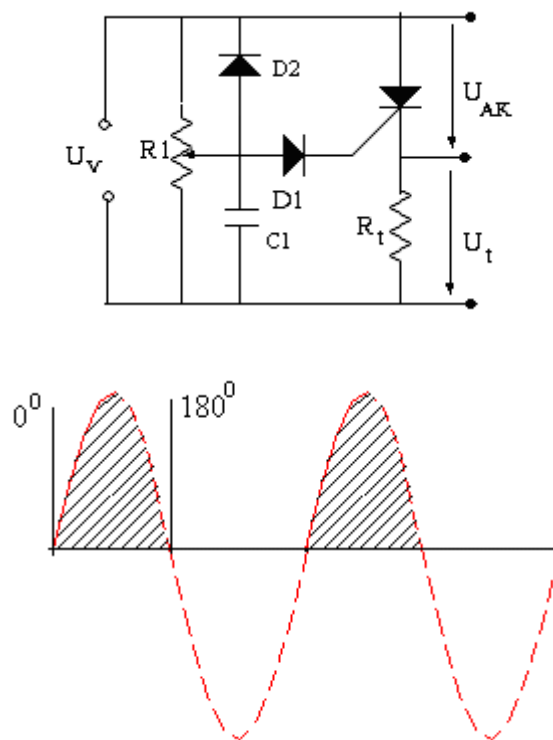
$$R_1 = (2,6 - 0,7 - 0,5 - 100\mu A.15)/100\mu A = 14k\Omega = R_{1min}$$

Tại 90° ta có $E_V = 30\sin 90^\circ = 30V$

$$R_1 = (30 - 0,7 - 0,5 - 100\mu A.20)/100\mu A = 288k\Omega = R_{1max}$$

Như vậy để góc mở của thyristor có thể mở từ 5° – 90° thì điện trở R_1 phải điều chỉnh từ 14kΩ - 288kΩ.

c. Mạch không chế pha 180°

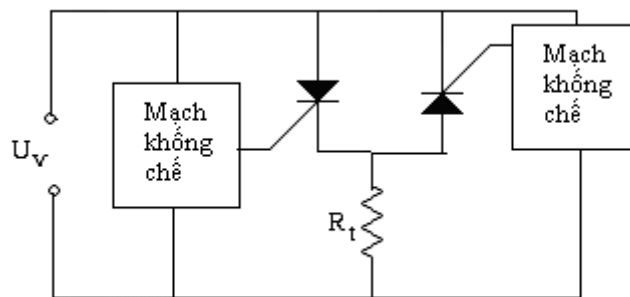


Hình 5.7. Mạch không chế pha 180°

Khoảng nửa chu kỳ âm của điện áp đặt vào, tụ C1 được nạp điện theo chiều âm. Quá trình nạp tiếp diễn đến giá trị cực đại của nửa chu kỳ âm. Khi điểm cực đại của nửa chu kỳ âm đi qua, diốt D2 được phân cực âm (vì anôt của nó được nối với tụ điện C1 có điện thế âm so với catôt). Sau đó tụ C1 phóng điện qua tụ điện trở R1. Tùy theo

giá trị của tụ R_1 mà C_1 có thể phóng hết (điện áp trên hai cực của tụ bằng 0), ngay khi bắt đầu nửa chu kỳ dương của nguồn đặt vào thyristor, hoặc có thể duy trì một điện áp âm nhất định trên cực của nó mãi cho tới khi góc pha 180° của nửa chu kỳ dương tiếp sau đặt vào thyristor. Như vậy bằng cách chỉnh R_1 và C_1 (hoặc cả hai) có thể làm thyristor mở ở bất kỳ góc nào trong khoảng $0-180^\circ$ của nửa chu kỳ dương nguồn điện áp đặt vào thyristor.

Để khống chế theo cả nửa chu kỳ dương và nửa chu kỳ âm ta mắc mạch như sau:



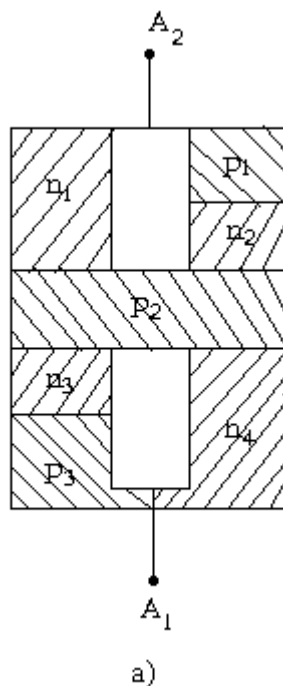
Hình 5.8. Mạch khống chế hai chu kỳ

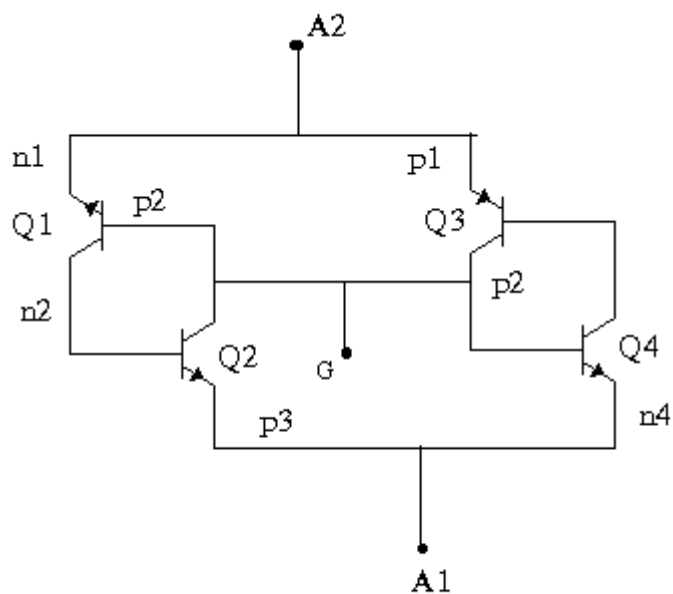
Trong đó mạch khống chế gồm các tụ C_1 , trở R_1 và điốt D_2 .

5.2. Các dụng cụ chỉnh lưu có cấu trúc bốn lớp khác

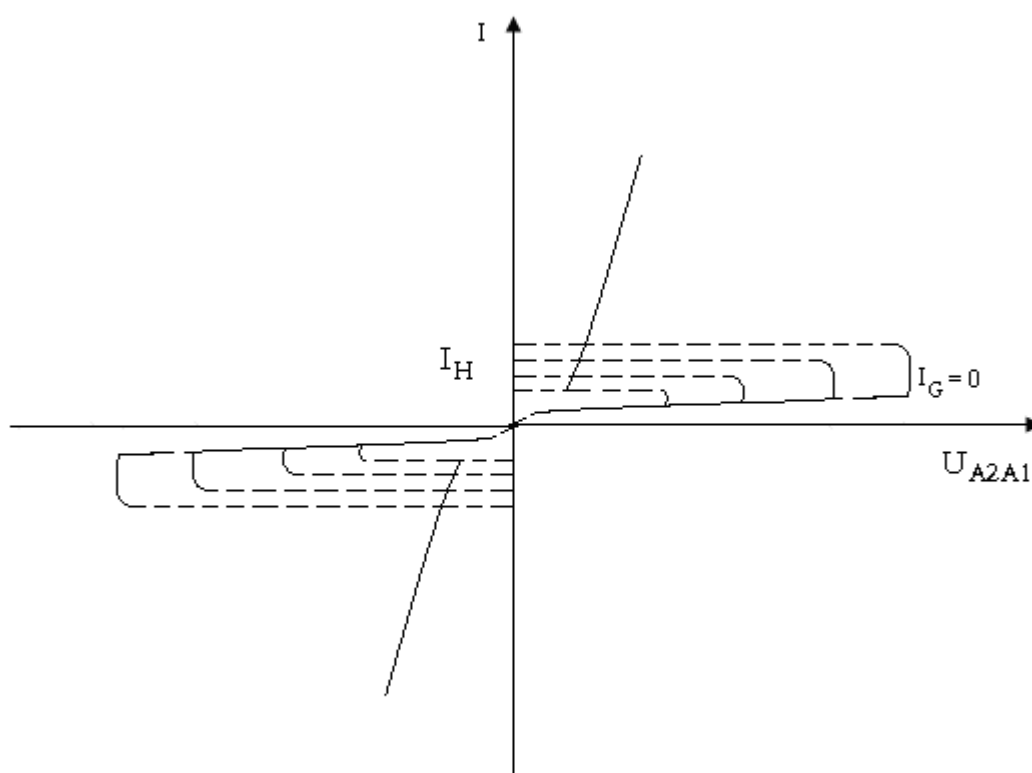
5.2.1. TRIAC

Cấu trúc, sơ đồ tương đương, đặc tuyến Volt – Ampe của TRIAC được trình bày trên hình 5.9.





b)



c)

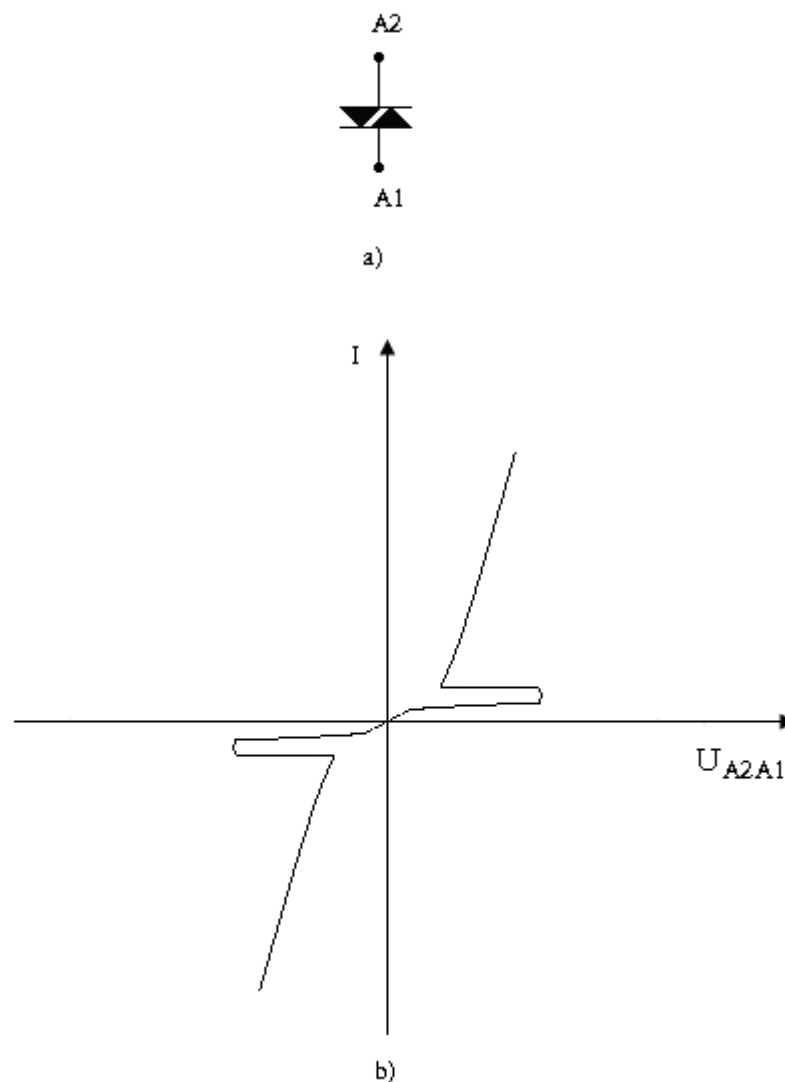
Hình 5.9. Cấu trúc (a), sơ đồ tương đương (b) và đặc tuyến (c) của TRIAC

Ta có thể thấy rằng TRIAC tương đương với hai thyristor mắc song song chung cực G. Vì tương đương với hai thyristor mắc song song ngược chiều cho nên hai cực của nó không thể gọi là anốt và catốt mà gọi là A_1 và A_2 . Khi điện thế cực G dương hơn so với A_1 và cực A_2 cũng dương hơn so với A_1 các transistor tương đương Q_3 và

Q_4 mở. Trong trường hợp này A_2 đóng vai trò anốt còn A_1 đóng vai trò catốt. Khi cực G và A_1 có điện thế dương so với A_2 , transistor tương đương Q_1 và Q_2 mở, khi đó A_1 đóng vai trò anốt còn A_2 đóng vai trò catốt. Từ đó thấy rằng TRIAC dẫn điện theo cả hai chiều.

5.2.2. DIAC

Về mặt cấu tạo DIAC hoàn toàn giống như TRIAC nhưng nó không có cực không chế G. DIAC được kích mở bằng cách nâng cao điện áp đặt vào hai cực. Ký hiệu mạch và đặc tuyến V-A được cho như hình dưới đây:



Hình 5.10. Đặc tuyến và ký hiệu mạch của DIAC

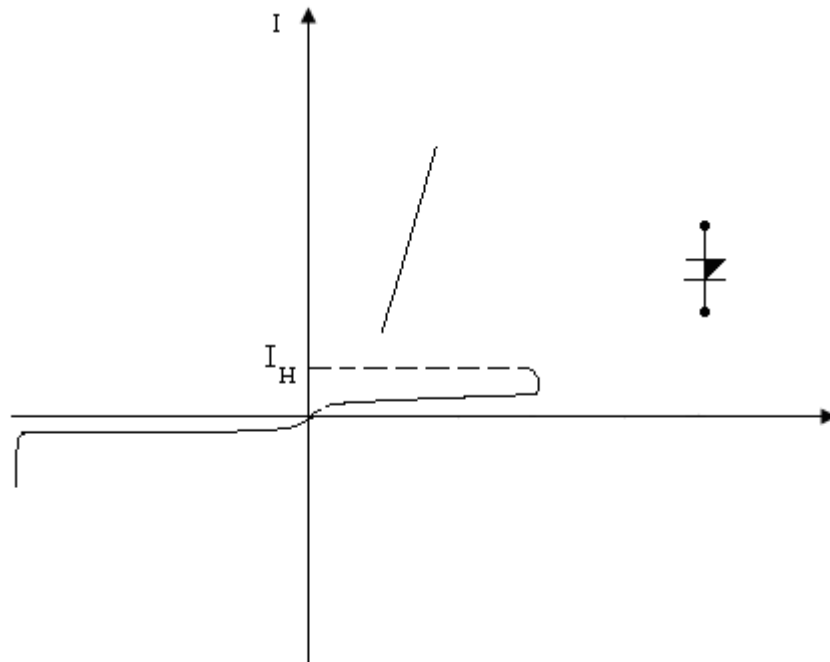
Ứng dụng chủ yếu của DIAC: Linh kiện này được sử dụng rộng rãi trong điện tử và điện tử kỹ thuật. Sau đây là một số ứng dụng thường gặp:

- + Kiểm tra và điều khiển vận tốc mô tơ điện
- + Kiểm tra và điều khiển nhiệt độ
- + Kiểm tra và điều khiển cường độ chiếu sáng

+ Làm các mạch quét trong màn hình TV.

5.2.3. Điốt bốn lớp

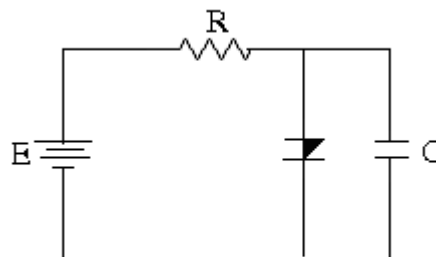
Điốt bốn lớp còn được gọi là Điốt Socley, về mặt cấu tạo tương tự như thyristor nhưng không có cực khống chế G. Điốt được kích mở bằng cách nâng cao điện áp trên hai cực của Điốt (vượt quá điện áp mở thuận). Ký hiệu mạch và đặc tuyến V – A của điốt bốn lớp được trình bày trên hình 5.11



Hình 5.11. Ký hiệu mạch và đặc tuyến của điốt bốn lớp

Điện áp mở thuận của điốt bốn lớp tương ứng với điện áp đánh thủng thuận của thyristor. Dòng cực tiểu chảy qua Điốt khiến điốt mở gọi là dòng mở I_S . Dòng ghim I_H và điện áp dẫn thuận U_F của điốt bốn lớp cũng tương tự như thyristor.

Ứng dụng: Một trong những ứng dụng phổ biến nhất của điốt bốn lớp là dùng nó để tạo dao động răng cưa. Sơ đồ nguyên lý như mạch như hình 5.12.



Hình 5.12. Mạch dao động dùng điốt bốn lớp

+ Trong mạch này tụ C được nạp qua điện trở R_1 từ nguồn E. Quá trình nạp

được tiếp diễn cho đến khi điện áp trên hai cực của tụ C vượt quá điện áp kích mở cho điốt bốn lớp là điốt mở, tụ C phóng điện qua nội trở nhỏ của điốt. Điện áp trên tụ C giảm xuống cho nên điện áp đặt lên hai cực của điốt cũng giảm, khi điện áp này giảm đến mức làm cho dòng qua điốt nhỏ hơn dòng ghim I_H thì điốt bốn lớp lại đóng và tụ C lại bắt đầu được nạp. Điện áp ra có dạng răng cưa. Điện trở R_1 trên sơ đồ phải chọn sao cho khi điốt mở, dòng chảy trong mạch phải có cường độ bằng I_S (dòng mở điốt). Nếu dòng chảy qua R_1 nhỏ hơn I_S thì điốt sẽ không mở. Nhưng R_1 cũng phải chọn đủ lớn để ngăn chặn không cho dòng chảy qua điốt giảm ngay xuống dưới giá trị dòng I_H khi tụ C phóng điện nghĩa là ngăn ngừa khả năng điốt đóng ngay sau khi tụ C phóng điện.

+ Nếu điốt bốn lớp được ghép song song và ngược chiều sau đó đặt chúng vào một vỏ bọc sẽ được điốt bốn lớp hai chiều. Nguyên lý làm việc của điốt bốn lớp hai chiều cũng tương tự như điốt bốn lớp một chiều, nhưng do ghép hai điốt ngược chiều nhau nên nó dẫn điện cả hai chiều.

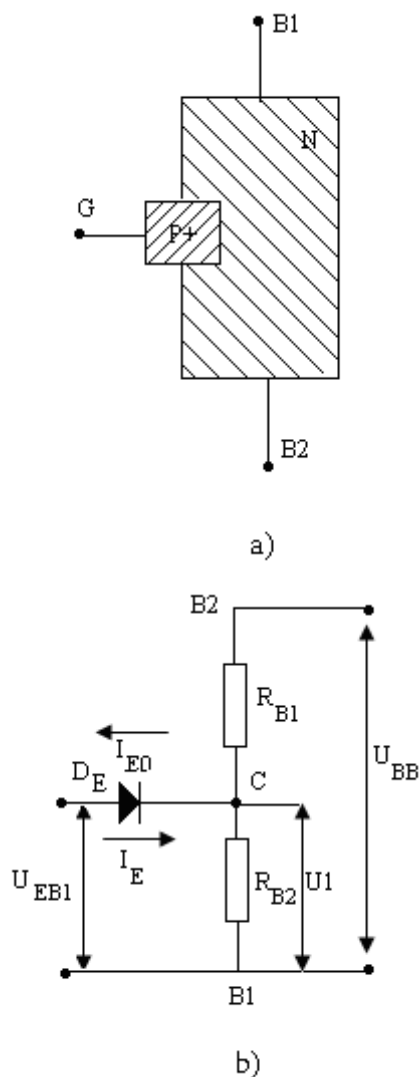
5.3. Transistor một lớp chuyển tiếp P-N

Transistor một lớp chuyển tiếp P-N UJT (unijunction transistor) đôi khi còn gọi là điốt hai đáy. Tuy cũng gọi là transistor nhưng nguyên lý của nó khác hẳn với transistor lưỡng hạt và transistor hiệu ứng trường. Cực vào của UJT được gọi là emitter có điện trở giảm đột ngột khi điện áp vào đạt đến một giá trị nhất định. Chính vì vậy trên đặc tuyến Von – Ampe của nó xuất hiện đoạn điện trở âm. Do đặc tính này của UJT mà nó được dùng khá rộng rãi trong các mạch thời gian và mạch tạo dao động.

5.3.1. Nguyên lý làm việc, đặc tuyến và các tham số

a. Cấu tạo

UJT được chế tạo bằng cách trên một phiến bán dẫn loại N pha tạp ít (điện trở suất lớn) người ta tạo ra một vùng bán dẫn loại P pha tạp nhiều (điện trở suất nhỏ) như hình 5.13.a. Từ miền bán dẫn loại P này nổi ra một điện cực gọi là emitter. Hai đầu của bán dẫn loại N nổi ra hai điện cực được gọi là Bazo1 (B1) và Bazo2 (B2). Từ cấu tạo của UJT như hình 5.13.a có thể vẽ được sơ đồ tương đương của nó như hình 5.13.b.



Hình 5.13. Cấu trúc (a) và sơ đồ tương đương (b) của UJT

+ Do phần bán dẫn loại N có điện trở suất cao cho nên từ điểm B1 đến điểm C (điểm tương ứng với chuyển tiếp P-N cực emitter) được thay bằng điện trở R_{B1} và từ B2 đến C được thay bằng R_{B2} , tổng hai điện trở này bằng điện trở B1 đến B2 ký hiệu là R_{BB} . Chuyển tiếp PN cực emitter được thay bằng điốt D.

+ Nếu đặt vào B₁ và B₂ một điện áp như hình 5.13 thì có thể tính được điện áp tại điểm C so với B₁ khi cực E hở mạch như sau:

$$U_1 = U_{BB} \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} = U_{BB} \frac{R_{B1}}{R_{BB}}$$

Trong đó $R_{BB} = R_{B1} + R_{B2}$. Điện áp U_1 cũng chính là điện áp đặt vào catốt của điốt D. Khi cực E hở mạch thì chỉ có dòng điện chảy qua B₁B₂.

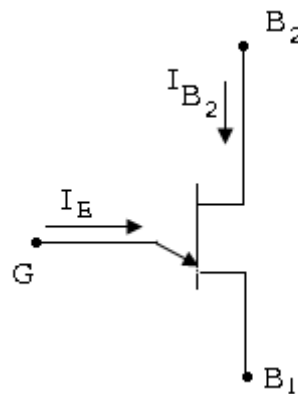
$$I_{B2} = \frac{U_{BB}}{R_{BB}}$$

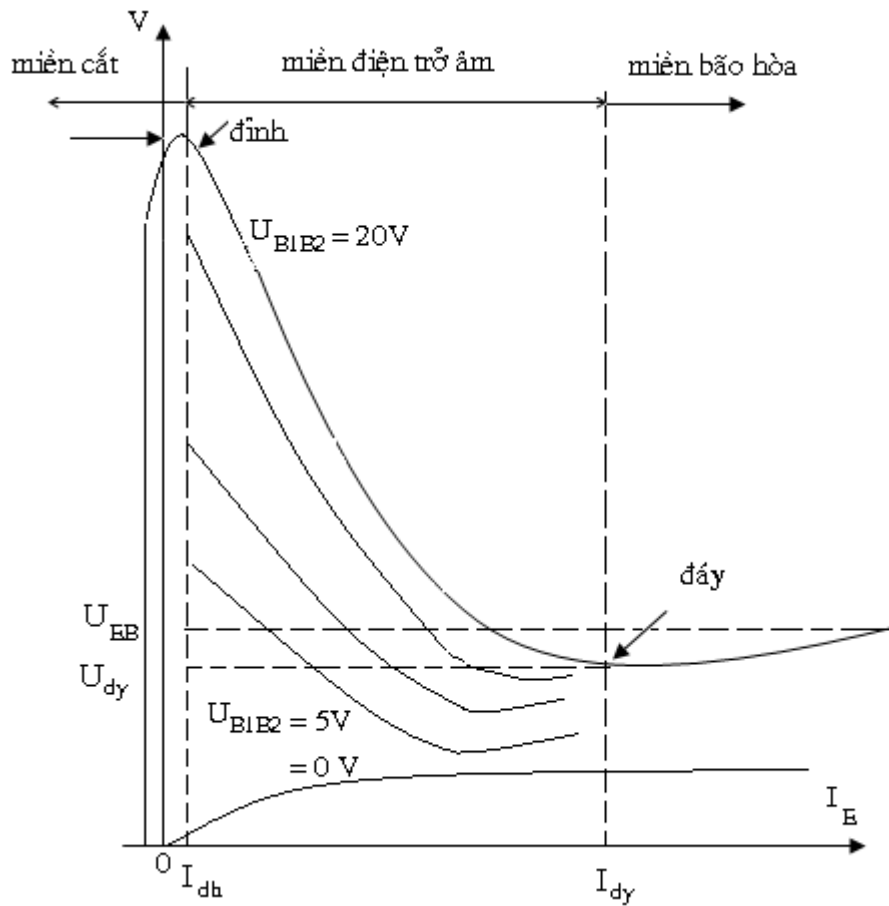
+ Nếu cực emitter nối đất thì điốt D bị phân cực ngược và khi ấy qua emitter E chỉ

có một dòng ngược (I_{E0}) chảy.

+ Bây giờ xét trường hợp đặt vào giữa cực E và B1 một điện áp dương. Khi tăng U_{EB1} từ giá trị 0 đến U_1 thì I_{E0} sẽ giảm xuống 0, vì khi ấy giữa anốt và catốt có điện thế như nhau. Nếu cứ tiếp tục tăng U_{EB1} theo chiều dương thì điốt D sẽ được phân cực thuận và tạo ra dòng chảy thuận từ cực E vào phiên Bazơ của UJT. Khi dòng thuận I_E này xuất hiện, có nghĩa là các hạt dẫn được phun từ miền emitor và miền B1 tăng lên đột ngột, khiến cho nồng độ hạt dẫn trong miền này tăng lên và do đó làm cho điện trở R_{B1} đột ngột giảm đi. Vì R_{B1} giảm, có thể thấy rằng U_1 cũng đột ngột giảm đi. Điều này khiến cho điốt D càng có xu hướng được phân cực thuận, dòng I_E thuận tăng lên làm cho U_1 tiếp tục giảm đi. Trong quá trình này D luôn luôn phân cực thuận nên điện áp sụt trên nó không đáng kể, vì thế có thể coi gần đúng $U_1 = U_{EB1}$. Như vậy sau khi làm cho D thông, dòng I_E có xu hướng ngày một tăng trong khi đó trong khi đó U_{EB} ngày một giảm. Đó chính là nguyên nhân xuất hiện hiệu ứng điện trở âm trong UJT. Đương nhiên dòng I_E không thể tăng mãi, nó bị giới hạn bởi điện trở nguồn. Sau khi được mở, UJT duy trì trạng thái này cho tới khi mạch vào hở mạch hoặc dòng I_E giảm xuống giá trị quá nhỏ.

b. Ký hiệu mạch và đặc tuyến Von-Ampe của UJT được trình bày trên hình 5.14. Đặc tuyến Von – Ampe của UJT mô tả quan hệ giữa dòng I_E và điện áp U_{BE1} . Điện áp giữa hai cực B1 và B2 coi như tham số





Hình 5.14. Ký hiệu mạch và đặc tính $V-A$ của UJT

+ Khi $I_{B1} = 0$, $U_1 = 0$, chỉ tăng U_{EB1} một chút điốt D đã phân cực thuận cho nên đặc tuyến Von- Ampe của UJT trong trường hợp này hoàn toàn giống như đặc tuyến của điốt phân cực thuận, chỉ khác trong trường hợp này điốt được nối tiếp với một điện trở. Khi $U_{B1B2} = 20V$ và $U_{EB1} = 0$, chuyển tiếp emitor (điốt D) bị phân cực ngược, qua cực E có dòng ngược I_{E0} chảy. Cường độ dòng này được biểu diễn bằng điểm 1 trên đặc tuyến. Khi tăng dần U_{EB1} nhưng giá trị còn nhỏ hơn nhiều so với U_1 , thì dòng I_{E0} vẫn tiếp tục chảy với cường độ gần như không đổi (giống như dòng ngược bão hoà của điốt). Quá trình tăng U_{EB1} lúc ban đầu thực tế làm giảm dần điện áp phân cực ngược D tới khi $U_{EB1} = U_1$ thì anốt và catốt của điốt có điện thế bằng nhau. Dòng qua điốt $= 0$ ứng với điểm 2 trên đặc tuyến. Nếu tiếp tục tăng U_{EB1} thì điốt D sẽ được phân cực thuận (vì $U_{EB1} > U_1$), dòng I_E chảy theo chiều thuận bắt đầu tăng lên từ 0. Khi điện áp phân cực thuận điốt còn nhỏ, dòng thuận I_E cũng còn nhỏ, nó chưa gây ảnh hưởng gì lớn đến điện trở R_{B1} , thường ký hiệu giá trị điện áp này là U_{dh} và dòng điện I_E tương ứng với điện áp ấy là I_{dh} . Ta gọi U_{dh} và I_{dh} là điện áp đỉnh và dòng đỉnh. Trị số của nó tùy thuộc vào cấu trúc cụ thể của UJT: miền đặc tuyến từ giá trị này trở về trái gọi là miền cắt vì ứng với miền ấy UJT chưa làm việc. Khi I_E vượt qua giá trị I_{dh} thì trong quá trình I_E tăng thì điện áp U_{EB1} lại giảm, do đó đặc tuyến Von-Ampe của UJT trong khoảng này được gọi là miền điện trở âm. Khi I_E tăng đến một giá trị nhất

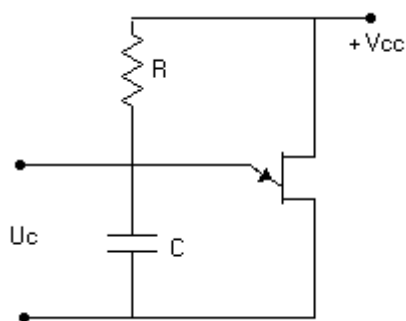
định, số hạt dẫn phun vào miền B_1 đạt tới giá trị bão hoà, điện trở R_{B1} không tiếp tục giảm nữa. Điện áp U_1 (cũng chính là điện áp U_{EB1}) không tiếp tục giảm nữa. Điện áp U_{EB1} ứng với giá trị này gọi là điện áp đáy (U_{dy}). Dòng I_E ứng với điện áp này gọi là dòng đáy I_{dy} . Điện áp đáy U_{dy} được xác định bởi điện áp thuận của diốt D và điện trở bão hoà R_{B1} . Nếu tiếp tục tăng dòng I_E thì khi ấy điện áp U_{EB1} lại tăng. Giá trị điện áp U_{EB1} lúc này xác định bằng tổng của điện áp thuận trên diốt U_D và điện áp rơi trên điện trở bão hoà R_S của miền $B1$ là $(I_E.R_S)$. Miền đặc tuyến kể từ giá trị I_{dy} trở về phía phải là miền bão hoà.

Khi U_{BB} có giá trị nhỏ hơn 20V, giá trị điện áp tương ứng cũng nhỏ đi, do đó UJT cũng sẽ mở ở các giá trị U_{EB1} nhỏ hơn. Thay đổi các giá trị U_{BB} sẽ có một họ đặc tuyến như hình 5.14

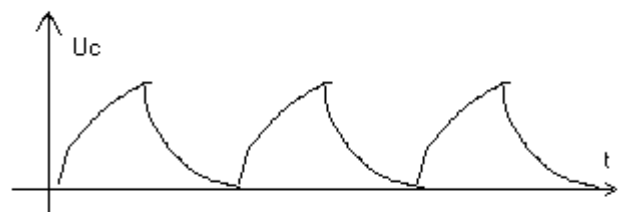
5.3.2. Các ứng dụng điển hình của UJT

a. Tạo dao động răng cưa

Sơ đồ nguyên lý và dạng sóng dao động được mô tả như hình 5.15



Sơ đồ nguyên lý



Dạng sóng

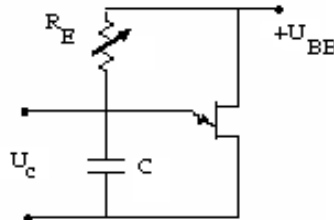
Hình 5.15. Sơ đồ nguyên lý và dạng sóng của mạch tạo dao động dùng UJT

Tụ C được nạp từ nguồn U_{BB} qua R , khi điện áp trên tụ bằng U_{dh} của UJT thì UJT mở và tụ C phóng điện qua UJT làm cho điện áp trên hai cực của tụ hạ xuống bằng giá trị điện áp bão hoà của UJT, U_{EB1S} . Khi ấy UJT đóng và tụ C lại bắt đầu một lần nữa nạp điện. Quá trình như vậy tiếp diễn và do đó điện áp lấy ra trên tụ C có dạng răng cưa như hình 5.15. Thời gian (t) để tụ C nạp điện từ U_{EB10} đến giá trị U_{dh} hoàn toàn có thể tính được cho nên tần số chuỗi xung răng cưa có thể tính được bằng $1/t$. Thời gian phóng của tụ C tính toán tương đối khó khăn vì khi ấy nội trở của UJT là

âm và luôn luôn biến đổi. Vì thời gian phóng điện t_p thường nhỏ hơn thời gian nạp $t_{\text{nạp}}$ rất nhiều cho nên tính gần đúng có thể bỏ qua thời gian này.

Ví dụ:

Cho mạch điện sau:



$$U_{BB} = 15V$$

$$\eta = 0,7$$

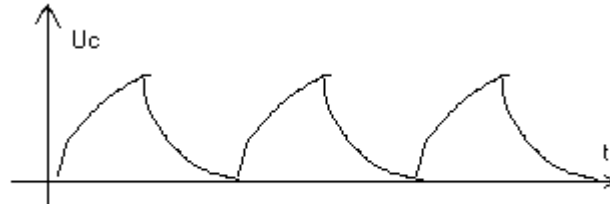
$$R_E = 8,6K\Omega$$

$$C = 0,1\mu F$$

$$\text{Điện áp bão hoà trên emitor } U_{EB1S} = 2,5V$$

Thời gian phóng của tụ điện $\ll$ Thời gian nạp của tụ điện ($\tau_p \ll \tau_n$)

Tính tần số của dãy xung ra trên tụ C ?



Dạng điện áp ra trên tụ C

Biểu thức tổng quát để tính thời gian nạp của một tụ điện qua một điện trở mắc nối tiếp như sau:

$$t = 2,3RC \cdot \log \frac{E - E_0}{E - E_C} \quad (*)$$

Trong đó: C là điện dung tính bằng Fara (F)

R là điện trở tính bằng Ohm (Ω)

E là nguồn cung cấp

E_C là điện áp trên tụ tại thời điểm t

E_0 là điện áp ban đầu trên tụ C

Vì $\tau_p \ll \tau_n$ nên ta bỏ qua thời gian τ_p . Tính thời gian τ_n . Thời gian nạp của tụ điện có thể coi bằng chu kỳ của dãy xung.

Vì UJT bắt đầu mở ở thì gian t cho nên:

$$E_C = U_{dh} = U_D + \eta U_{BB}$$

$$E_C = 0,7 + 0,7 \cdot 15 = 11,2(V)$$

Khi UJT mở thì tụ C sẽ phóng điện làm điện áp trên tụ giảm xuống đến U_{BE1s} . Đó chính là điện áp ban đầu E_0 của mỗi lần tụ C nạp. Vì $U_{BE1s} = 2,5V \rightarrow E_0 = U_{BE1s} = 2,5V$.

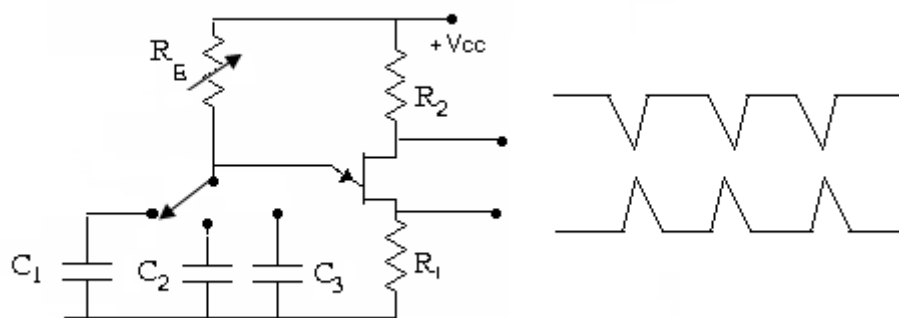
Thay các giá trị vào biểu thức (*) ta có

$$t = 2,3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 8,6 \cdot 10^{-3} \cdot \log \frac{15 - 2,5}{15 - 11,2} = 1,16ms$$

Vậy chu kỳ của dãy xung: $T = 1,16ms$.

Tần số của dãy xung ra trên tụ C là: $f = 1/T = 1/1,16 = 860KHz$

Nếu mắc nối tiếp vào cực B1, B2 điện trở R1, R2, thay tụ C bằng nhiều tụ mắc song song thì sơ đồ có dạng như sau :

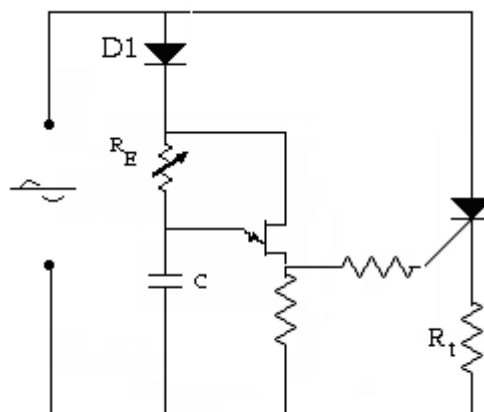


Hình 5.16. Mạch nguyên lý tạo xung nhọn có tần số và cực tính thay đổi

Khi UJT mở, xung dòng qua B1 gây ra sụt áp trên R_1 tạo thành xung nhọn dương. Đồng thời khi UJT mở U_{EB1} giảm làm cho I_{B2} tăng đột ngột làm xuất hiện xung âm trên R_2 . Có thể thay đổi tần số xung bằng cách thay đổi điện trở R_E và thay đổi các nấc khóa để có các tụ với giá trị khác nhau.

b. Dùng UJT không chế thyristor

Sơ đồ điển hình như trên hình 5.17



Hình 5.17. Sơ đồ không chế dùng kết hợp UJT và thyristor

Như trên sơ đồ ta thấy thyristor được mở bằng điện áp rơi trên R_1 , điện áp này chỉ xuất hiện khi UJT mở. Chiều mắc của điốt D_1 cho phép dòng điện từ nguồn qua D_1 , R_E nạp cho tụ C , ngược lại nó bảo vệ cho cực emitor của UJT khi có chu kỳ âm đặt vào. Điều chỉnh R_E có thể điều chỉnh thời gian nạp của tụ C , do đó cũng có thể điều chỉnh được thời gian mở của UJT. Mạch điện này hầu như có thể không chế được thyristor trong khoảng 180° .

CHƯƠNG 6. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ VI MẠCH

6.1. Giới thiệu

6.1.1. Các nguyên tắc cơ bản để xây dựng một vi mạch

a. Các nguyên tắc để xây dựng vi mạch

Vi mạch chỉ là một sự tổ hợp trực tiếp các linh kiện rời rạc mà phải tuân theo một số nguyên tắc sau:

+ Chứa đựng toàn bộ sơ đồ như một mạch điện hoàn chỉnh để sao cho cần ít nhất các linh kiện rời mắc bên ngoài. Vi mạch sẽ không có ý nghĩa nếu như các linh kiện mắc bên ngoài có thể tích lớn hơn thể tích của vi mạch.

+ Chọn loại linh kiện sao cho nó chiếm diện tích ít nhất trong mỗi chip. Điều này được thực hiện bằng cách giảm tối thiểu các linh kiện thụ động như điện trở và tụ điện vì các linh kiện này chiếm diện tích bề mặt rất lớn so với các linh kiện tích cực. Do vậy để tăng mức độ tích hợp cần thay thế các linh kiện thụ động bằng các linh kiện tích cực.

+ Sử dụng các tầng khuếch đại vi phân để giảm tiêu tán nhiệt độ trong mạch.

+ Sử dụng tối đa các tải tích cực trên các collectơ, có nghĩa là các nguồn dòng có trở kháng cao.

+ Tính đến các hạn chế của các yếu tố tích cực: Nên sử dụng transistor npn vì hiệu năng của nó tốt hơn của pnp.

+ Tính đến các điốt ký sinh phân cực ngược trong mạch

+ Hạn chế bớt các chân ra để không nhất thiết phải dùng các vỏ có kích thước lớn.

+ Chú ý đến công suất cực đại được phép tiêu tán của vi mạch để dùng và không dùng các vỏ có cánh tản nhiệt.

b. Ưu điểm của các loại vi mạch

+ Giá thành rẻ do sản xuất hàng loạt

+ Sự tiến bộ của công nghệ vi mạch cho phép rút gọn số lượng các vi mạch cho cùng một chức năng.

+ Độ tin cậy tốt

+ Tiêu thụ năng lượng càng ngày càng được giảm bớt

+ Thỏa mãn độ ổn định nhiệt ở nhiệt độ cao.

c. Nhược điểm

+ Trang thiết bị cho nghiên cứu và sản xuất các vi mạch mới rất cao.

- + Công suất tiêu tán trên mỗi mạch bị hạn chế.
- + Cuộn cảm kháng không thể sản xuất trong vi mạch được.
- + Người sử dụng không thể biến đổi vi mạch được.

6.1.2. Sự tăng trưởng của mức độ phức tạp trong các vi mạch

Mật độ tích hợp không ngừng nâng cao. Mật độ này ban đầu cứ mỗi năm lại tăng gấp đôi sau đó cứ hai năm lại tăng gấp đôi. Đến năm 1990 thì đạt tới 10^7 linh kiện trong một vi mạch. Đồng thời giá thành trên một đơn vị thông tin của transistor trong các vi mạch giảm. Kỹ thuật quang khắc cũng ngày càng một tinh vi.

Sự tăng trưởng của mức độ phức tạp trong transistor

Loại vi mạch	Số lượng chức năng	Số lượng transistor
SSI	2 đến 20	100
MSI	20 đến 100	500
LSI	100 đến 50000	100000
VLSI	50000 đến 100000	2500000
ULSI	100000 đến 4000000	1000000 đến 4000000

6.1.3. Sự phát triển của công nghệ

a. Công nghệ silicium

+ Giới hạn về nhiệt động

Ở nhiệt độ hoạt động của vi mạch, các điện tử chịu dao động nhiệt với năng lượng khoảng 30 meV. Do đó thế tác động phải lớn hơn $10 \times 30 \text{ meV} = 0,3 \text{ V}$. Nếu tính đến điện trường tới hạn phun điện tử vào trong lớp oxit thì độ dày tối thiểu của lớp oxit phải là 2nm.

+ Giới hạn về phương diện điện

Trong một transistor có cửa ngăn, điện trường tại đó rất cao, có thể đạt đến điện trường tới hạn. Điện trường này có thể phá hủy lớp oxit ở cửa, do vậy nó không còn khả năng tải dòng. Để tránh hiện tượng đó, cửa phải có độ dài tối thiểu 0,16μm để có thể chịu được thế phân cực 0,5V.

+ Giới hạn về lượng tử

Chiều dày của lớp oxit nhỏ hơn một giá trị nào đó thì nó sẽ không còn là một lớp cách điện mà trái lại nó sẽ cho dòng điện đi qua nhờ hiệu ứng lượng tử đường ngầm. Chiều dày này vào khoảng 5nm. Do đó để tránh hiệu ứng này cửa phải có chiều dày

0,25 μ m.

+ Thời gian truyền

Thời gian truyền quyết định độ nhanh của một vi mạch. Kích thước của nó càng ngắn thì thời gian truyền sẽ càng ngắn.

+ Dây nối và chất lượng của vi mạch

Trong mỗi vi mạch đôi khi sử dụng một, hai hoặc ba cấp dây nối. Các vật liệu có điện trở suất nhỏ cũng có thể thay thế cho các dây nối bằng nhôm. Chiều dài của các dây nối làm tăng thời gian truyền. Người ta xác định rằng diện tích bề mặt của các dây nối lớn hơn rất nhiều diện tích bề mặt của các linh kiện tích cực.

Việc tăng mức độ tích hợp dẫn đến vấn đề tích nhiệt trong các vi mạch. Hiện nay giới hạn nhiệt độ là 1W/cm² thì chưa cần đến hộp toả nhiệt. Người ta dự định dùng các vỏ toả nhiệt bằng feon có thể làm lạnh đến nhiệt độ -40⁰C.

b. Công nghệ Acsenic Gali

Được sử dụng để sản xuất các linh kiện siêu cao tần và các linh kiện quang điện tử, bởi vì trong vật liệu này điện tử có vận tốc chuyển động định hướng và độ linh động rất cao. Hai transistor có cùng kích thước thì transistor GaAs hoạt động nhanh gấp 4 lần MOS Silic. Hơn nữa đế của transistor GaAs là chất cách điện rất dễ thực hiện và có điện dung ký sinh rất nhỏ.

Một transistor trường GaAs có thể hoạt động tới tần số 40GHz trong khi MOS silic chỉ hoạt động đến 8GHz. Sự phát triển của công nghệ GaAs rất đặc biệt. Từ năm 1976 mức độ tổ hợp tăng gấp ba lần trong một năm. Điều này cho mức tiên đoán mức độ tích hợp trong các vi mạch GaAs sẽ chiếm vị trí độc tôn. Với lưu lượng số lớn hơn 1Gbít/s công nghệ GaAs là công nghệ duy nhất đảm đương được .

c. Công nghệ chuyển tiếp Josephson

Chuyển tiếp Josephson không sử dụng vật liệu bán dẫn mà dùng hai vật liệu siêu dẫn phân cách nhau bằng một lớp oxit mỏng. Do đó chúng hoạt động trong vùng nhiệt độ heli lỏng (-269⁰C). Trong vùng nhiệt độ đó các mạch chuyển tiếp Josephson hoạt động cực nhanh nhưng lại tiêu thụ năng lượng ít.

6.2. Phân loại

- Các loại vi mạch lưỡng cực
 - Vi điện tử lưỡng cực tuyến tính
 - Vi điện tử số lưỡng cực
- Các loại vi mạch MOS

Có thể phân biệt theo dựa theo vi mạch tuyến tính hay vi mạch số.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1)** Vật liệu kỹ thuật điện, Nguyễn Đình Thắng, NXB KHKT Hà Nội
- 2)** Fundamentals of electric circuits, David A. Bell, Prentice Hall International Editions, 1998.
- 3)** Electronic devices and circuits, Jacob Millman, Christos C. Halkias, Me Graw Hill Book 1987
- 4)** Kỹ thuật điện tử, Đỗ Xuân Thụ, NXB GD 1997
- 5)** Các linh kiện bán dẫn thông dụng, Nguyễn Như Anh và nhóm tác giả, NXB KHKT 1988
- 6)** Vi điện tử số, Nguyễn Quốc Trung, NXB KHKT 1997
- 7)** Dụng cụ bán dẫn 1&2 , Đỗ Xuân Thụ, NXB THCN