

Phạm Thanh Huyền



BÀI GIẢNG

CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

Chuyên ngành: KTVT, KTTT, ĐKH-THGT

HÀ NỘI 5/ 2005

LỜI NÓI ĐẦU

Cấu kiện Điện tử là môn học nghiên cứu cấu tạo, nguyên tắc làm việc cũng như là những ứng dụng điển hình của các linh kiện điện tử cơ bản. Đây được coi là một môn cơ sở quan trọng trước khi tiếp cận sâu hơn vào phần kỹ thuật điện tử. Môn học trang bị kiến thức nền tảng để sinh viên tiếp thu kiến thức các môn học tiếp theo như Kỹ thuật mạch điện tử, Kỹ thuật xung, Kỹ thuật đo lường ...và thực tập tại phòng thí nghiệm.

Bài giảng Cấu kiện Điện tử được biên soạn với mục đích như trên và dựa trên các giáo trình và tài liệu tham khảo mới nhất hiện nay, được dùng làm tài liệu tham khảo cho sinh viên chính qui các chuyên ngành: Kỹ thuật Viễn thông, Kỹ thuật Thông tin, Tự động hoá, Trang thiết bị điện, Điều khiển học và Tín hiệu Giao thông. Ngoài ra, đây cũng là tài liệu tham khảo bổ ích cho sinh viên ngành Cơ khí và sinh viên hệ tại chức khi cần tìm hiểu sâu hơn về điện tử cơ bản.

Mặc dù đã được kiểm tra cẩn thận nhưng tài liệu chắc chắn còn có sai sót. Tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành tới các đồng nghiệp trong bộ môn Kỹ thuật Điện tử đã đóng góp nhiều ý kiến quý báu cho tài liệu này.

Rất mong nhận được các ý kiến đóng góp của bạn đọc. Các ý kiến đóng góp xin gửi về Bộ môn Kỹ thuật Điện tử - Khoa Điện Điện tử - ĐH. GTVT.

Hà Nội tháng 5 năm 2005

Tác giả

cuu duong than cong. com

cuu duong than cong. com

cuu duong than cong. com

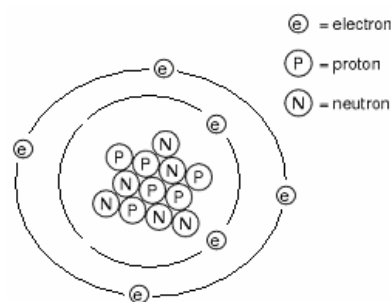
Chương I

CƠ SỞ VẬT LÝ CỦA VẬT LIỆU LINH KIỆN

I. KHÁI NIỆM VỀ LÝ THUYẾT VÙNG NĂNG LƯỢNG

1. Bản chất của nguyên tử

Tất cả các vật chất đều hình thành từ các hạt nhỏ li ti. Những hạt này có mật độ dày đặc và làm cho vật chất dường như là liên tục vì chúng quá nhỏ và di chuyển với tốc độ cực nhanh. Các nhà khoa học đã nhận biết được 92 loại vật chất cơ bản trong tự nhiên, chúng được gọi là các nguyên tố. Sau này có một vài nguyên tố do con người tạo ra. Mỗi một nguyên tố đều có cấu trúc hạt của riêng nó, gọi là các nguyên tử. Cho tới cuối thế kỷ 19 người ta vẫn cho rằng nguyên



tử là một phần tử vật chất không có cấu trúc và không thể phân chia. Tuy nhiên, sau hàng loạt những nghiên cứu, tới nay người ta đã đưa ra mô hình đúng đắn của nguyên tử dù rằng vẫn chưa thực sự biết được có hạt vật chất nào nhỏ nhất hay không. Dưới đây là một số kết quả của lý thuyết nguyên tử đã được thừa nhận rộng rãi, nó giải thích đặc tính của vật chất tốt hơn bất cứ lý thuyết nào khác.

Tất cả các nguyên tử đều bao gồm một hạt nhân nhỏ tập trung hầu hết khối lượng của nguyên tử. Quay xung quanh hạt nhân này là các điện tử (electron) mang điện tích âm, nhỏ và nhẹ hơn nhiều.

Hạt nhân bao gồm các hạt proton và notron, proton mang điện tích dương còn notron không mang điện.

$$q_p = -q_e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Khi nguyên tử ở trạng thái bình thường số proton = số điện tử nên nguyên tử trung hoà về điện.

Một sự thay đổi nhỏ trong cấu tạo của nguyên tử cũng có thể tạo nên một sự khác biệt cực kỳ lớn về tính chất của nó. Ví dụ, chúng ta chỉ có thể sống được nếu thở bằng oxy thuần túy nhưng không thể sống nếu chỉ có khí nito. Oxy có thể làm kim loại bị ăn mòn nhưng nito thì không. Mặc dù ở điều kiện bình thường cả oxy và nito đều không màu, không mùi, không vị và trọng lượng nguyên tử gần bằng nhau. Chúng khác nhau vì oxy có 8 proton trong khi nito chỉ có 7.

Mô hình lượng tử của nguyên tử

Điện tử ở những quỹ đạo lượng tử xác định, nó quay quanh hạt nhân nhờ sự cân bằng giữa 2 lực:

- Lực điện giữa điện tích (-) của điện tử và điện tích (+) của hạt nhân .
- Lực hấp dẫn (lực hướng tâm) giữa 2 thực thể có khối lượng là điện tử và hạt nhân.

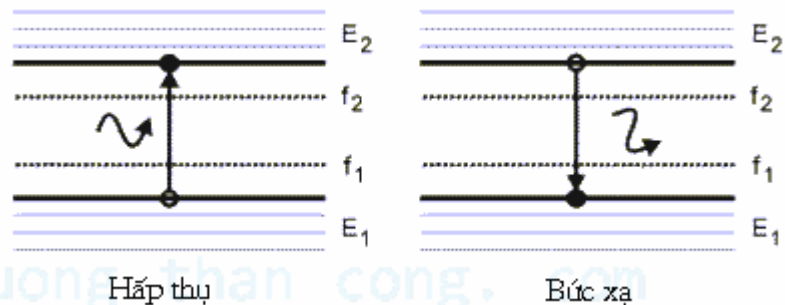
Các điện tử liên kết với hạt nhân không phải ở những mức năng lượng bất kỳ mà chỉ ở những mức năng lượng rời rạc xác định theo những quỹ đạo cho phép. Những mức năng lượng này gọi là mức lượng tử. Các mức năng lượng này không cách đều nhau.

Các điện tử càng ở xa hạt nhân liên kết với hạt nhân càng yếu.

Mỗi nguyên tử có vô số những quỹ đạo có thể nhưng không phải tất cả các quỹ đạo này đều có điện tử.

Bohr cho rằng:

Các e không chuyển động trong nguyên tử theo những quỹ đạo bất kỳ mà chỉ theo một quỹ đạo xác định gọi là quỹ đạo lượng tử. Khi chuyển động trong quỹ đạo này e không bị mất đi năng lượng. Chỉ khi e nhảy từ quỹ đạo này sang quỹ đạo khác thì trạng thái năng lượng của nó mới thay đổi. Khi đó lượng tử ánh sáng – photon – bị bức xạ hay hấp thụ.



Hai tiên đề của Bohr:

+ **Tiên đề về trạng thái dừng:** nguyên tử chỉ tồn tại trong những trạng thái có năng lượng xác định gọi là trạng thái dừng. Trong các trạng thái dừng nguyên tử không bức xạ.

+ **Tiên đề về sự bức xạ và hấp thụ năng lượng của nguyên tử:** trạng thái dừng có năng lượng càng thấp thì càng bền vững. Khi nguyên tử ở trạng thái dừng có năng lượng lớn bao giờ cũng có xu hướng chuyển sang trạng thái dừng có năng lượng nhỏ. Khi này nó bức xạ ra 1 photon có năng lượng đúng bằng hiệu 2 mức năng lượng đó.

Số điện tử tối đa trên mỗi quỹ đạo là 1 số xác định: $(2n^2)$

$n = 1$	lớp K	2 điện tử
$n = 2$	lớp L	8 điện tử
$n = 3$	lớp M	18 điện tử
$n = 4$	lớp N	32 điện tử
$n = 5$	lớp O	50 điện tử

Các điện tử ở lớp ngoài cùng được gọi là các **điện tử hoá trị**

- Điện tử hóa trị sẽ xác định tính chất vật lý cũng như hoá học của nguyên tố
- Số điện tử hoá trị lớn nhất là 8 (với khí trơ)
- Số điện tử hoá trị nhỏ nhất là 1 (với kiềm)

Bán kính quỹ đạo lượng tử

$$r = n^2 \cdot \frac{1}{Z} \cdot \frac{\hbar^2}{m_e \cdot e^2 \cdot K_0}$$

Phạm Thanh Huyền_GTVT

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

trong đó:

$n = 1, 2, 3, \dots$ là số lượng tử

Z : số thứ tự của nguyên tố trong bảng tuần hoàn (số proton trong hạt nhân)

$m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ là khối lượng của điện tử

$e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ là điện tích của điện tử

$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ là momen góc của điện tử (hằng số Plank rút gọn)

$h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ là hằng số Plank

$K_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}$ là hệ số tỉ lệ

* Năng lượng của điện tử trên quỹ đạo (còn gọi là năng lượng ở trạng thái dừng hay năng lượng ở trạng thái nghỉ)

$$W_n = -\frac{1}{n^2} \cdot Z^2 \cdot \frac{m_e \cdot e^4}{2 \cdot (4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2} = -R \cdot h \cdot Z^2 \cdot \frac{1}{n^2}$$

Với R là hằng số Ritbe $R = \frac{m_e \cdot e^4}{4\pi(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^3} = 3,27 \cdot 10^{15} \cdot s^{-1}$

* Tần số photon bức xạ khi điện tử nhảy từ quỹ đạo có mức năng lượng W_K sang mức năng lượng W_i được tính theo công thức:

$$f = \frac{W_K - W_i}{h} = R \cdot Z^2 \cdot \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_K^2} \right)$$

n_K, n_i là 2 số lượng tử ứng với trạng thái dừng W_K và W_i

Người ta gọi dãy phổ bức xạ ra khi điện tử nhảy:

+ Từ quỹ đạo ngoài về quỹ đạo thứ nhất là dãy vạch phổ Lyman

+ Từ quỹ đạo ngoài về quỹ đạo thứ hai là dãy vạch phổ Banme

+ Từ quỹ đạo ngoài về quỹ đạo thứ ba là dãy vạch phổ Paschen

+ Từ quỹ đạo ngoài về quỹ đạo thứ tư là dãy vạch phổ Bracket

....

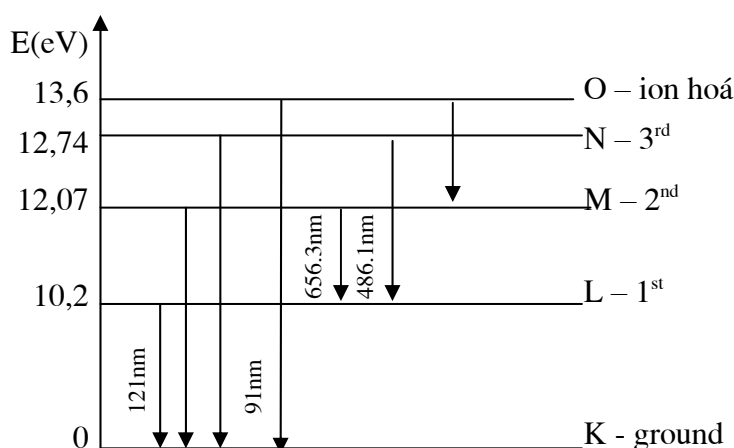
2. Các mức năng lượng của nguyên tử

Theo công thức:

$$W_n = -\frac{1}{n^2} \cdot Z^2 \cdot \frac{m_e \cdot e^4}{2 \cdot (4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2} = -R \cdot h \cdot Z^2 \cdot \frac{1}{n^2}$$

Ta thấy ứng với mỗi giá trị của n sẽ có một mức năng lượng tương ứng. Tập hợp các mức năng lượng này cho ta giản đồ năng lượng của nguyên tử.

Dưới đây là giản đồ năng lượng của nguyên tử Hidro



Người ta chọn mức năng lượng thấp nhất là mức 0 (mức đất- ground) còn các mức khác gọi là mức kích thích.

Khi nhận năng lượng thì điện tử sẽ chuyển lên mức năng lượng cao ở xa hạt nhân hơn và sẽ bật khỏi nguyên tử nếu năng lượng nhận được đủ lớn, đó chính là giá trị lớn nhất trong giản đồ năng lượng (năng lượng ion hoá).

Nguyên tử chỉ tồn tại ở trạng thái kích thích (có năng lượng W_2) trong khoảng từ $10^{-10} \div 10^{-7}$ s sau đó nó trở về trạng thái tĩnh (năng lượng W_1). Khi đó, nó bức xạ ra 1 photon có tần số:

$$f = \frac{W_2 - W_1}{h} \text{ [Hz]} \text{ với } W_2 > W_1 \text{ và tính bằng đơn vị [J]}$$

$$\text{hay photon có bước sóng } \lambda = \frac{12400}{E_2 - E_1} \text{ với } E \text{ đơn vị [eV] và } \lambda \text{ [Å]}$$

1 eV là năng lượng được tính bằng công của 1e chuyển dời trong điện trường giữa 2 điểm có hiệu điện thế là 1V.

$$1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \times 1\text{V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

3. Các phương pháp cung cấp năng lượng cho nguyên tử

a. Sự va chạm của điện tử với nguyên tử:

Gia tốc cho điện tử trong 1 ống phóng để cung cấp cho điện tử một năng lượng lớn với vận tốc cao. Khi điện tử này va đập với nguyên tử, nó truyền năng lượng cho nguyên tử làm cho các điện tử (chủ yếu là điện tử hoá trị) nhảy lên mức năng lượng cao hơn. Khi năng lượng cung cấp này đủ lớn điện tử hoá trị của nguyên tử có thể bị bật ra khỏi nguyên tử, năng lượng này gọi là thế năng ion hoá.

Mọi vật chất đều có thế năng ion hoá từ $4 \div 25$ eV.

Năng lượng dư thừa sẽ tồn tại dưới dạng động năng của 2 điện tử và một ion dương

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

b. Sự va chạm của quang tử với nguyên tử

Kích thích loại này chỉ thực hiện được khi photon có năng lượng **đúng bằng** độ chênh lệch năng lượng giữa 2 mức năng lượng tĩnh W_1 và W_2 của nguyên tử. Nói cách khác, photon chỉ bị hấp thụ khi năng lượng của nó bằng: $h.f = W_2 - W_1$

Nếu tần số ánh sáng chiếu vào đủ lớn để ion hoá nguyên tử thì năng lượng hf có thể lớn hơn hoặc bằng thế năng ion hoá. Năng lượng dư thừa sẽ tồn tại dưới dạng động năng của điện tử phát ra và ion dương vừa hình thành.

Chú ý: Nguyên tử bị kích thích có thể trở về trạng thái ban đầu trong một lần hoặc một vài lần nhảy (bức xạ một hoặc một vài photon)

4. Lý thuyết dải năng lượng trong chất rắn

Hầu hết các kim loại và bán dẫn đều có cấu trúc mạng tinh thể, nghĩa là các nguyên tử bố trí theo một quy luật nhất định hình thành nên mạng tinh thể.

Khi tạo nên mạng tinh thể các điện tử chịu sự ảnh hưởng và ràng buộc lẫn nhau. Đặc biệt là các điện tử hoá trị, khi đó chúng không còn liên kết chỉ với một nguyên tử riêng lẻ mà chúng thuộc về một hệ các nguyên tử như là một hệ thống nhất.

Kết quả là hình thành nên dải năng lượng thay cho mức năng lượng như ở nguyên tử độc lập.

Giải thích: Xét cấu trúc của một khối tinh thể gồm N nguyên tử (khoảng 10^{23} nguyên tử)

Si: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ (14 điện tử)

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

Như vậy, khi khoảng cách giữa các nguyên tử khá lớn (để coi chúng không gây ảnh hưởng tới nhau), có 2N điện tử chiếm hết 2N trạng thái s có thể và tất cả có cùng mức năng lượng; có 2N điện tử chiếm 2N trạng thái trong số 6N trạng thái p có thể và tất cả cùng mức năng lượng.

Khi khoảng cách giữa các nguyên tử giảm xuống hình thành nên mạng tinh thể thì theo quy tắc hạn chế Pauli các điện tử trên sẽ không thể có cùng mức năng lượng, do đó mà chúng hình thành nên số lượng lớn các mức năng lượng tách rời nhưng rất gần nhau gọi là vùng năng lượng.

Tiếp tục giảm khoảng cách giữa các nguyên tử thì các dải năng lượng này sẽ gối phủ lên nhau và như thế có 4N điện tử chiếm 4N trạng thái trong số 8N trạng thái có thể có. Như vậy, mỗi nguyên tử đã bỏ ra 4 điện tử đóng góp vào mạng tinh thể, dải năng lượng mà chúng chiếm gọi là dải hoá trị (*valance band*)

4N trạng thái còn lại không có điện tử chiếm giữ gọi là dải dẫn (*conduction band*), phân cách giữa dải dẫn và dải hoá trị gọi là dải cấm, nó không cho phép tồn tại bất cứ mức năng lượng nào trong đó.

Cấu trúc dải năng lượng phụ thuộc vào hướng tác động của nguyên tử với nhau và số nguyên tử trong mạng.

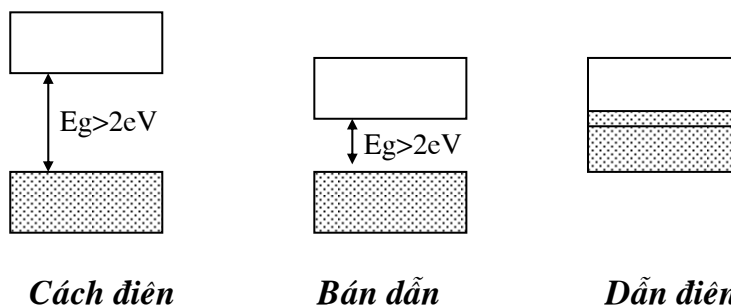
Dựa vào cấu trúc vùng năng lượng người ta phân loại chất rắn thành 3 loại:

$$E_g > 2 \text{ eV} \quad \Rightarrow \text{cách điện}$$

$E_g < 2 \text{ eV} \Rightarrow$ bán dẫn

không có $E_g \Rightarrow$ dẫn điện

Chú ý : Độ rộng dải cấm phụ thuộc vào nhiệt độ, E_g giảm khi nhiệt độ tăng với tốc độ



giảm là $3,6 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$

Vật liệu	E_g tại 0 K	E_g tại 300 K
Ge	0,785 eV	0,72 eV
Si	1,21 eV	1,1 eV

5. Sự phân bố năng lượng của điện tử – hàm Fecmi

Ở nhiệt độ 0 tuyệt đối, tất cả các điện tử đều ở trạng thái năng lượng thấp nhất có thể và tuân theo nguyên lý loại trừ Pauli. Vùng hoá trị được điền đầy hoàn toàn còn vùng dẫn thì trống hoàn toàn.

Khi nhiệt độ tăng thì dưới tác dụng kích thích nhiệt một số điện tử ở vùng hoá trị sẽ nhảy lên vùng dẫn và để lại một lỗ trống (trạng thái không có điện tử chiếm giữ) trong vùng hoá trị.

Theo các định luật cơ học thống kê thì ở điều kiện cân bằng nhiệt xác suất điền đầy của điện tử trên các mức năng lượng sẽ được xác định bởi hàm Fecmi:

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{(E-E_F)/KT}}$$

với $K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \sim 8,625 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$ (hằng số Bozman)

tương tự có hàm phân bố lỗ trống: $1 - f(E) = \frac{1}{1 + e^{(E_F-E)/KT}}$

Khi $E - E_F > 3KT$ thì $f(E) = e^{-(E-E_F)/KT}$

Định nghĩa mức Fecmi: ở nhiệt độ 0 độ tuyệt đối, tất cả các mức năng lượng ở dưới một mức nào đó đều bị điện tử chiếm đầy còn những mức năng lượng cao hơn đều bỏ trống, người ta gọi mức năng lượng ở ranh giới giữa các mức được chiếm đầy và mức còn trống là mức năng lượng Fecmi ở 0 K.

Nói cách khác, mức Fecmi là mức năng lượng mà xác suất xuất hiện điện tử ở đó là 1/2. E_F là thước đo xác suất chiếm đóng các trạng thái năng lượng cho phép.

$E_F = 3,64 \cdot 10^{-19} \cdot n^{2/3}$ với n là mật độ điện tử tự do / m^3

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

Nhân xét:

Tại $T = 0\text{ K}$

+ $f(E) = 0$ khi $E > E_F$, nghĩa là không có trạng thái lượng tử nào cao hơn E_F có xuất hiện điện tử.

+ $f(E) = 1$ khi $E < E_F$, nghĩa là tất cả các trạng thái lượng tử có năng lượng nhỏ hơn E_F đều bị điện tử chiếm đóng.

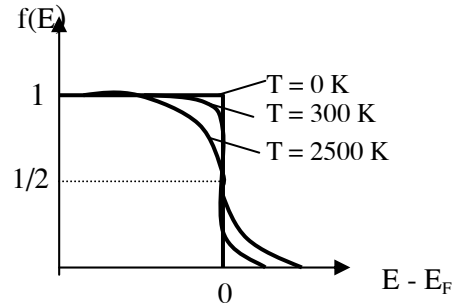
Xác suất tại vùng chiếm đóng khi $T \neq 0$ đều luôn bằng $1/2$ khi $E = E_F$, không phụ thuộc vào T .

Hàm phân bố Fermi $f(E)$ đối xứng qua E_F nghĩa là xác suất điện tử chiếm đóng mức năng lượng $(E_F - \Delta E)$ bằng xác suất điện tử chiếm đóng mức năng lượng $(E_F + \Delta E)$

Vị trí của mức Fermi trong giản đồ năng lượng cho phép xác định tính chất của vật liệu.

Nếu mức Fermi thuộc:

Dải dẫn	\Rightarrow	chất dẫn điện
Dải hoá trị	\Rightarrow	chất cách điện
Giữa vùng cấm	\Rightarrow	bán dẫn nguyên tính
Gần đáy vùng dẫn E_c	\Rightarrow	bán dẫn loại N
Gần đỉnh vùng hoá trị E_v	\Rightarrow	bán dẫn loại P



II. CHẤT CÁCH ĐIỆN (DIELECTRIC)

1. Định nghĩa

Chất cách điện (còn gọi là chất khử điện) là các chất ngăn không cho dòng điện lưu thông.

Tuy nhiên, trên thực tế người ta có thể coi chất cách điện là các chất có điện trở suất rất cao vào khoảng $10^7 \div 10^{17} \Omega\text{m}$ ở nhiệt độ bình thường.

Hầu hết các chất khí đều là các chất cách điện tốt, thủy tinh, giấy khô, gỗ khô và các chất dẻo cũng là các chất cách điện. Nước thuần túy là một chất cách điện tốt nhưng khi bị ô nhiễm, dù là rất nhỏ, nó sẽ cho phép dòng điện chạy qua. Oxit kim loại là chất cách điện mặc dầu kim loại ở dạng thuần túy lại là chất dẫn điện.

Trong kỹ thuật điện tử, chất cách điện được sử dụng là chất điện môi, dưới đây ta chỉ xét tới chất điện môi.

2. Các tham số cơ bản của chất điện môi

a. Độ thẩm thấu tương đối ϵ (hằng số điện môi)

Có thể nói trong chất điện môi chỉ có những hạt mang điện ràng buộc. Dưới tác dụng của điện trường các điện tử ràng buộc (liên kết) tiếp nhận năng lượng điện và dịch khỏi vị trí cân bằng hình thành nên những lưỡng cực điện, người ta gọi đó là hiện tượng phân cực của điện môi. Mức độ thay đổi điện dung của tụ điện khi thay đổi chân không

hay không khí giữa hai bản cực của nó bằng chất điện môi sẽ biểu diễn độ phân cực của chất điện môi. Thông số này gọi là độ thẩm thấu tương đối của chất điện môi, độ thẩm thấu điện hay hằng số điện môi.

ϵ được tính như sau:

$$\epsilon = \frac{C_d}{C_0}$$

Với C_d : điện dung của tụ khi sử dụng điện môi

C_0 : điện dung của tụ khi sử dụng chân không hoặc không khí

ϵ biểu thị khả năng phân cực của chất điện môi. Chất điện môi dùng làm tụ điện cần có hằng số điện môi ϵ lớn còn chất điện môi dùng làm chất cách điện cần ϵ nhỏ. ϵ càng lớn thì khả năng tích lũy năng lượng điện của tụ càng lớn.

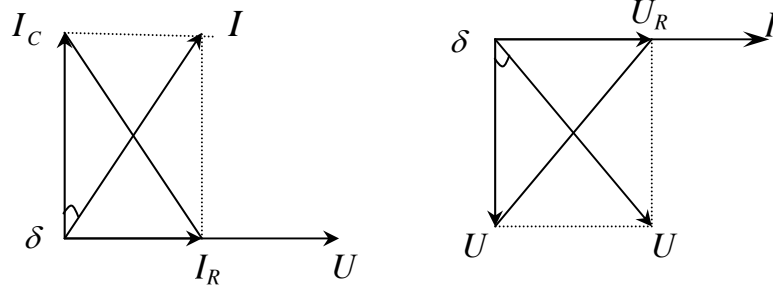
b. Độ tổn hao điện môi P_a

Độ tổn hao điện môi được đặc trưng bằng trị số công toả ra trên một đơn vị thể tích chất điện môi, gọi là suất tổn hao điện môi. Ngoài ra, để đặc trưng cho khả năng toả nhiệt của chất điện môi khi đặt nó trong điện trường người ta sử dụng tham số góc tổn hao điện môi.

Giả sử một tụ điện có tính đến tổn hao thông qua điện trở R thì sơ đồ tương đương có thể coi như sau:



Và giản đồ vectơ tương ứng là:



Do đó: $\operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_C}$ với sơ đồ bên trái hoặc $\operatorname{tg} \delta = \frac{U_R}{U_C}$ với sơ đồ bên phải

Khi đó độ tổn hao được tính:

$$P_a = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta$$

Trong đó:

P_a : công suất điện làm nóng chất điện môi

U : điện áp đặt trên tụ

ω : tần số góc (rad/s)

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

tg δ : góc tổn hao điện môi

Nhận xét:

- + tg δ càng nhỏ thì P_a càng nhỏ
- + Dải tần làm việc của tụ càng rộng thì tổn hao càng lớn.
- + Với tụ cao tần có thể tính P_a như sau:

$$P_a = U^2 \omega^2 C^2 R$$

c. Độ bền về điện (E_{dt})

Độ bền về điện của chất điện môi E_{dt} là cường độ điện trường tương ứng với điểm đánh thủng. Nghĩa là khi đặt vào điện môi một điện trường bằng điện áp đánh thủng U_{dt} thì chất điện môi không còn khả năng cách điện.

$$E_{dt} = \frac{U_{dt}}{d} \quad [\text{KV/mm ; KV/cm}]$$

với d là bề dày của chất điện môi bị đánh thủng

Hiện tượng đánh thủng chất điện môi như trên gọi là hiện tượng đánh thủng do điện. Tuy nhiên, việc này sẽ đi kèm với việc làm nóng chất điện môi và gây phá hủy thực sự chất điện môi. Ngoài ra, chất điện môi có thể bị đánh thủng do quá trình điện hoá.

d. Nhiệt độ chịu đựng

Là nhiệt độ cao nhất mà chất điện môi vẫn còn giữ được tính chất lý hóa của nó.

e. Dòng điện trong chất điện môi

Trong chất điện môi có 2 thành phần dòng là dòng điện dịch chuyển (hay dòng cảm ứng) và dòng điện rò.

Dòng điện dịch chuyển $I_{C.M}$ xuất hiện khi chất điện môi nằm trong điện trường của điện áp xoay chiều hay chỉ tồn tại ở thời điểm ngắt điện áp một chiều.

Dòng điện rò I_{r0} là dòng luôn tồn tại trong chất điện môi, nó được tạo ra do điện tích tự do và điện tử phát xạ chuyển động dưới tác động của điện trường. Nếu dòng rò lớn thì sẽ làm mất tính chất cách điện của chất điện môi. Dòng tổng sẽ là:

$$I = I_{C.M} + I_{r0}$$

f. Độ dẫn điện của chất điện môi

Điện trở của chất điện môi ở giữa hai bản cực khi ta đặt một điện áp một chiều lên chúng. Điện trở cách điện được xác định theo trị số của dòng điện rò:

$$R_{cd} = \frac{U}{I - \sum I_{C.M}}$$

$\sum I_{C.M}$: tổng các thành phần dòng điện phân cực

Để đánh giá độ dẫn điện của chất điện môi người ta dùng tham số điện trở suất khối ρ và điện trở bề mặt ρ_s

$$\rho = R \frac{S}{d} (\Omega.m)$$

ρ : điện trở trong một thể tích điện môi

R: điện trở của khối điện môi

S: diện tích của bản cực

d: bề dày của khối điện môi

3. Phân loại và ứng dụng của chất điện môi

Có hai loại chất điện môi:

a. Chất điện môi thụ động

Là vật chất được dùng làm chất cách điện và chất điện môi trong tụ điện như: mica, gốm, thủy tinh, cao su, giấy,

+ Mica: chịu được điện áp cao, độ bền về điện $E_d = (50-200)\text{kV/mm}$, nhiệt độ chịu đựng có thể lên tới 600°C , hằng số điện môi $\varepsilon = 6-8$, góc tổn hao nhỏ $\tan\delta = 0,0004$.

điện trở suất rất lớn $\rho = 10^7 \Omega\text{m}$. Mica thường được sử dụng để làm tụ điện, làm màn cách điện của đèn điện tử, làm cuộn cảm ...

+ Gốm: là đất nung có khả năng chịu nhiệt tốt, hằng số điện môi lớn từ vài chục, vài trăm tới vài nghìn. Góc tổn hao nhỏ ở tần số lớn hơn 1MHz và dưới 100Hz. Ngoài ra, có thể chế tạo từ vật liệu gốm các linh kiện với hình dạng rất khác nhau và thay đổi dễ dàng. Gốm thường được sử dụng để chế tạo tụ điện có kích thước nhỏ, điện dung lớn, tụ cao tần hoặc tần thấp, tụ cao áp hoặc áp thấp

+ Giấy làm tụ điện: có độ bền về điện khá cao (khoảng 30kV/mm), nhiệt độ chịu đựng 100°C (ở nhiệt độ lớn hơn giấy sẽ bị oxy hoá và độ bền cơ học giảm), hằng số điện môi khá nhỏ $\varepsilon = 3-4$. Giấy sử dụng làm tụ hoặc cách điện cho cáp điện thoại phải rất mỏng ($0,007 - 0,05\text{mm}$) để quấn được nhiều lớp mà vẫn đảm bảo kích thước nhỏ gọn.

+ Sơn cách điện: là dung dịch keo khi khô tạo thành lớp mỏng có tính chất cách điện, có 3 nhóm cơ bản:

. Sơn để tẩm: dùng để tẩm cách điện các chất cách điện có bề mặt xấp xỉ như giấy, bìa, sợi, lụa ... làm vỏ bọc cho cuộn dây, biến áp ...

. Sơn để phủ: phủ lên bề mặt sợi dây, bề mặt dụng cụ để tăng độ cách điện và chống va đập.

. Sơn để dính: dùng để dính các chất cách điện với nhau hoặc chất cách điện với kim loại.

b. Chất điện môi tích cực

Là các vật liệu có thể điều khiển bằng điện trường (gốm, thủy tinh ...), cơ học (vật liệu có tính chất áp điện như thạch anh ...) hay quang học (huỳnh quang ...)

+ Thạch anh áp điện (SiO_2): thạch anh là tinh thể SiO_2 thiên nhiên trong suốt hoặc có màu thường gọi là pha lê thiên nhiên. Tinh thể thạch anh áp điện có thể kéo dài bằng phương pháp nhân tạo, khi đó các tính chất của nó gần giống như của tính chất của tinh thể thiên nhiên. Khi đưa vào sử dụng người ta phải sử dụng lưỡi cưa kim cương để tạo ra được các tấm đơn tinh thể. Góc cắt khác nhau sẽ cho tính chất khác nhau. Dưới tác dụng của biến dạng cơ học ta có thể nhận được các điện tích trên các mặt đối diện của tấm thạch anh. Trị số điện tích lớn nhất có thể được tạo nên khi tấm thạch anh bị cắt vuông góc với trục điện X và khi tác động một lực dọc theo trục X thì hiện tượng áp điện gọi là áp điện theo hướng dọc. Nếu đặt một lực vào các cạnh bên của tấm thạch anh thì trên các cạnh đó xuất hiện các điện tích và hiệu ứng này gọi là hiệu ứng áp điện ngang. Khi

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

thay đổi hướng lực tác dụng, dấu của các điện tích trên các mặt sẽ thay đổi. Thạch anh được sử dụng để tạo bộ dao động cộng hưởng có tần số dao động rất ổn định hay làm bộ chọn lọc tần số ...

+ Chất phát quang (huỳnh quang): loại bột phát sáng khi điện tử đập vào (ví dụ như ZnS) dùng để phủ lên màn của đèn ống, màn hình ...

III. CHẤT DẪN ĐIỆN (CONDUCTOR)

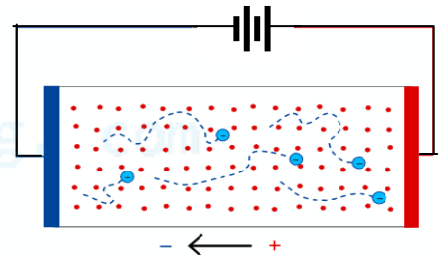
1. Định nghĩa

Chất dẫn điện là một chất mà ở đó các electron có thể dễ dàng di chuyển từ nguyên tử này sang nguyên tử khác.

Chất dẫn điện có độ dẫn điện cao. Trị số điện trở suất của nó nhỏ nhất so với các loại vật liệu khác ($10^{-8} \div 10^{-5} \Omega m$). Trong tự nhiên, chất dẫn điện có thể ở thể rắn (kim loại, hợp kim), lỏng (thuỷ ngân, kim loại nóng chảy, dung dịch điện phân) hay khí (chất khí và hơi khí dưới cường độ điện trường cao).

Chất dẫn điện tốt nhất tại nhiệt độ phòng là bạc. Đồng và nhôm cũng là các chất dẫn điện cực kỳ tốt. Trong hầu hết các mạch điện tử và các hệ thống điện người ta sử dụng dây đồng, nhôm, thiếc ... còn bạc hay vàng chỉ được sử dụng trong các trường hợp đặc biệt do giá thành của chúng rất cao.

Electron di chuyển trong chất dẫn điện không theo một dòng đều đặn mà di chuyển từ nguyên tử này sang nguyên tử khác kế cận. Số lượng electron di chuyển là một số cực lớn và chiều chuyển động của chúng ngược với chiều quy ước của dòng điện.



2. Các tham số cơ bản của vật liệu dẫn điện

a. Điện trở suất:

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

ρ : điện trở suất [Ωm , Ωmm]

R : trị số điện trở của dây dẫn [Ω]

S : tiết diện ngang của dây dẫn [m^2 , mm^2]

l : chiều dài dây dẫn [m , mm]

Điện trở suất của vật liệu dẫn điện nằm trong khoảng $0,016 \mu\Omega m$ (của Ag) đến $10 \mu\Omega m$ (của hợp kim Fe, Cr, Al)

b. Hệ số nhiệt của điện trở suất α

Là hệ số 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 theo quy luật:

$$\rho_T = \rho_0 (1 + \alpha.T)$$

ρ_T : điện trở suất tại nhiệt độ T [K]

ρ_0 : điện trở suất tại 0 [K]

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

Nếu kim loại nguyên chất thì hệ số nhiệt là như nhau và bằng: $\alpha = 0,004 K^{-1}$

c. Hệ số dẫn nhiệt λ

Là lượng nhiệt truyền qua một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian khi gradient nhiệt độ bằng một đơn vị.

Sự dẫn nhiệt là quá trình truyền nhiệt do sự chuyển động hỗn loạn của các nguyên tử hay phân tử tạo nên.

Lượng nhiệt Q truyền qua bề mặt S trong thời gian t là: $Q = \lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta l} \cdot S \cdot t$

λ : hệ số dẫn nhiệt [$W/(m.K)$]

ΔT : lượng chênh lệch nhiệt độ ở hai điểm cách nhau Δl

$\Delta T/\Delta l$: gradient nhiệt độ

S : diện tích bề mặt

t : thời gian

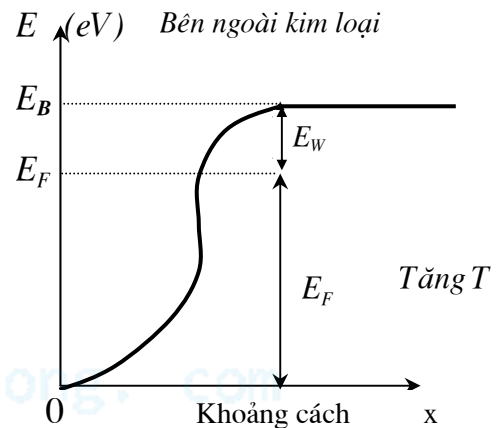
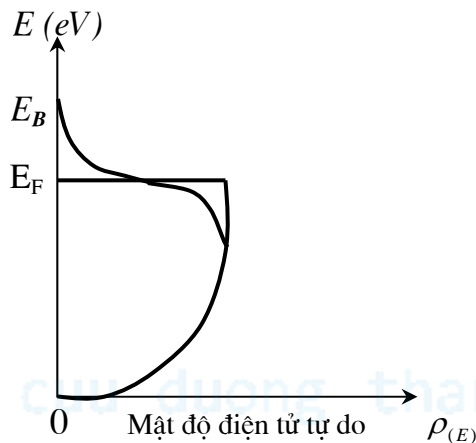
d. Công thoát của điện tử trong kim loại

Biểu thị năng lượng tối thiểu cần cung cấp cho điện tử đang chuyển động nhanh nhất ở 0 [K] để điện tử này có thể thoát khỏi bề mặt kim loại.

Ở 0 [K] mức năng lượng lớn nhất mà điện tử có thể đạt được là E_F và năng lượng cần thiết để điện tử thoát khỏi kim loại là E_B mà $E_F < E_B$ nên để điện tử có thể thoát ra khỏi bề mặt kim loại thì cần cung cấp cho nó một năng lượng là:

$E_W = E_B - E_F$ gọi là công thoát của điện tử trong kim loại

Đồ thị năng lượng dùng để tính công thoát



Khi cung cấp năng lượng cho điện tử trong mạng tinh thể dưới dạng nhiệt thì sự phân bố năng lượng của điện tử thay đổi và dựa vào công thức phát xạ nhiệt hay còn gọi là công thức Bushman hay Richardson để tính dòng điện nhiệt.

$$I_{th} = S \cdot A_0 \cdot T^2 \cdot e^{\frac{-E_W}{KT}}$$

S : diện tích sợi kim loại [m^2]

Phạm Thanh Huyền_GTVT

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

A_0 : hằng số $[A/(m.K)^2]$

T : nhiệt độ $[K]$

K : hằng số Bozmann $[eV/K]$ $K = 6,625.10^{-5} eV/K$

E_w : công thoát của điện tử $[eV]$

e. Điện thế tiếp xúc

Cho hai kim loại khác nhau tiếp xúc khi đó xuất hiện hiệu điện thế tiếp xúc giữa hai kim loại này. Khi tiếp xúc nhau các điện tử sẽ chảy từ kim loại có công thoát thấp hơn sang kim loại có công thoát cao. Quá trình này tiếp diễn đến khi kim loại 2 nhận nhiều điện tử đến mức tạo nên 1 trường cản lại sự dịch chuyển điện tử từ kim loại 1 sang kim loại 2. Và sự chênh lệch thế năng được tính:

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

Sự chênh lệch điện thế tiếp xúc giữa hai kim loại bằng hiệu hai công thoát của chúng. Tương ứng với thế năng E_{AB} có điện thế tiếp xúc $V_{AB}[V]$ có trị số bằng E_{AB}

Người ta đã dựa vào hiện tượng này để chế tạo cặp nhiệt điện.

3. Phân loại và ứng dụng

Có 2 loại vật liệu dẫn điện là vật liệu dẫn điện có điện trở suất thấp và vật liệu dẫn điện có điện trở suất cao.

a. Vật liệu dẫn điện có điện trở suất thấp

Chất dẫn điện có điện trở suất thấp thường được dùng làm vật liệu dẫn điện.

Bạc (Ag) có độ dẫn điện cao nhất với $\rho = 1,65 \times 10^{-8} \Omega m$ được dùng trong kỹ thuật điện tử ở những phần quan trọng yêu cầu độ dẫn điện cao, do là kim loại quý hiếm nên người ta thường chỉ tráng bạc lên các vật liệu phổ biến hơn như đồng hay nhôm.

Đồng (đồng nguyên chất, đồng đỏ) (Cu) với $\rho = 1,75 \times 10^{-8} \Omega m$ có độ bền cao, dễ gia công do đó được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật điện và điện tử làm dây dẫn, anốt, ống dẫn sóng... Hợp chất của Cu có $\rho = 0,03 \div 0,06 \mu\Omega m$. Nói chung là có độ dẫn điện kém đồng nguyên chất nhưng có độ bền cơ học rất cao, ví dụ như đồng thau (hợp kim với Zn), đồng trắng (hợp kim với Zn, Ni), đồng Branda (hợp kim với Al, Sn)

Nhôm (Al) có độ dẫn điện tốt thứ 3 sau Ag, Cu với $\rho = 0,0267 \mu\Omega m$. Nhôm có tính chất dẻo, chắc, hệ số phản xạ cao, chống ăn mòn tốt.

Thiếc Sn với $\rho = 0,115 \mu\Omega m$ dẫn điện tốt nhưng tính chất cơ học rất kém nên chỉ được dùng làm vật liệu để hàn dây dẫn.

b. Chất dẫn điện có điện trở suất cao

Dùng để chế tạo các dụng cụ đo điện, điện trở, biến trở, dây mayxơ và các thiết bị nung nóng bằng điện

IV. VẬT LIỆU TỪ

1. Định nghĩa

Vật liệu từ là vật liệu khi đặt vào trong một từ trường thì nó bị nhiễm từ

Khi không có từ trường ngoài thì bản thân trong vật liệu từ tồn tại các vùng nhiễm từ tự phát gọi là nguồn từ. Tuy nhiên từ thông của các vật liệu từ trong không gian ngoài đều bằng 0 vì hướng của các momen từ của từng nguồn riêng biệt trong nó khác nhau.

2. Tính chất

a. Từ trở và từ thẩm

Một số chất có thể làm cho các đường từ thông trở nên xa nhau hơn trong không khí. Một số chất khác lại có thể làm cho những đường từ thông lại gần nhau hơn so với trong không khí.

Từ trở là một đại lượng đánh giá sự ngăn cản việc lập nên từ thông của một mạch từ. Nó được tính theo công thức sau:

$$R_m = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S}$$

μ : độ từ thẩm của vật liệu trong mạch từ

l : độ dài của mạch từ

S : diện tích tiết diện của mạch từ

Chú ý: Hệ số điện môi trong chân không ϵ_0 [F/m] và độ từ thẩm trong chân không μ_0 [H/m] nhưng ϵ và μ tương đối thì không có thứ nguyên.

$1/\mu$ gọi là từ trở suất của $1m^3$ vật liệu từ

Độ từ thẩm có thể tính theo công thức sau:

$$\mu = \frac{B}{H} \text{ [H/m]}$$

với B là cảm ứng từ [Tesla] và H là cường độ từ trường [A/m]

Độ từ thẩm của chân không, không khí hay vật liệu không từ tính bất kỳ luôn là một hằng số, được gọi là độ từ thẩm của không gian tự do và có giá trị bằng:

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

b. Độ từ thẩm tương đối μ_r

Độ từ thẩm được đo một cách tương đối với chân không, chân không được gán độ từ thẩm bằng 1.

Hiên tượng: khi đưa vật liệu có từ tính vào trong lòng cuộn dây dẫn điện thì mật độ từ thông tổng hợp qua cuộn dây tăng lên nhiều lần. Đó là vì các vật liệu từ này có khả năng dẫn từ tốt. Sự gia tăng từ thông tổng hợp là độ cảm ứng từ B khi cho vật liệu từ vào mạch điện được gọi là độ từ thẩm tương đối μ_r

$$\mu = \mu_r \times \mu_0 = B/H$$

μ_r không có thứ nguyên

Pham Thanh Huyền_GTVT

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

Ngược lại, nếu cần làm cho nam châm điện yếu đi thì cho len khô hoặc sáp ong để làm vật liệu lõi, người ta gọi đây là các chất nghịch từ.

Bảng hệ số từ thẩm tương đối của một số vật liệu thông dụng được cho ở dưới đây:

Vật liệu	Độ từ thẩm tương đối
Bạc	< 1
Len khô	< 1
Không khí	1
Nhôm	> 1
Niken	50 – 60
Cobalt	60 – 70
Thép	60 - 100
Ferit	100 - 3000
Sắt luyện	3000 – 8000
Permalloy	3,000 – 30,000
Permalloy đặc biệt	100,000 – 1,000,000

c. Độ từ dư

Độ từ dư là phép đo một chất sẽ “nhớ” từ tính tốt như thế nào và vì thế trở thành nam châm vĩnh cửu.

Độ dư từ được diễn đạt bằng phần trăm. Nếu mật độ từ thông trong vật liệu là X (Tesla) khi nó được đưa vào một từ trường có cường độ cao nhất (nghĩa là dòng điện có tiếp tục tăng thì thanh kim loại cũng không bị từ hoá thêm, nó đã bão hoà) và chỉ còn Y (Tesla) khi ngắt dòng điện thì độ từ dư được tính bằng $(Y / X).100\%$

Mỗi chất có độ từ dư khác nhau. Các chất có độ từ dư cao được sử dụng để làm nam châm vĩnh cửu. Trong khi các chất có độ từ dư rất thấp được sử dụng để làm nam châm điện (đặc biệt là nam châm điện xoay chiều) vì nếu độ từ dư cao vật liệu sẽ trở nên “chậm chạp”, tức là khả năng chuyển đổi cực tính khó khăn.

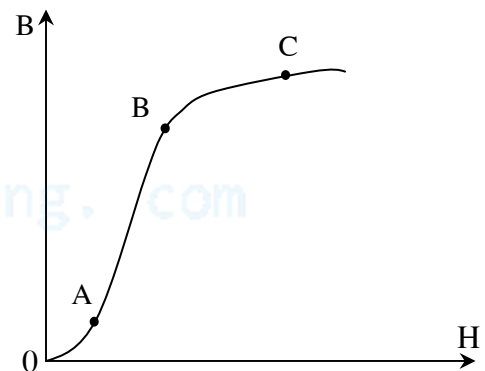
d. Đường cong từ hoá $B = f(H)$

Đường cong từ hoá được biểu diễn trong hình bên, nó biểu thị sự tương quan giữa độ cảm ứng từ B và cường độ trường H. Từ đường cong này có thể xác định đường cong từ thẩm tương đối theo công thức trên.

0-A: do H yếu nên các domen từ không sắp xếp thẳng hàng \Rightarrow B tăng chậm

A-B: H mạnh hơn và các domen từ sắp xếp thẳng hàng theo một hướng \Rightarrow B tăng mạnh gần như tuyến tính với H

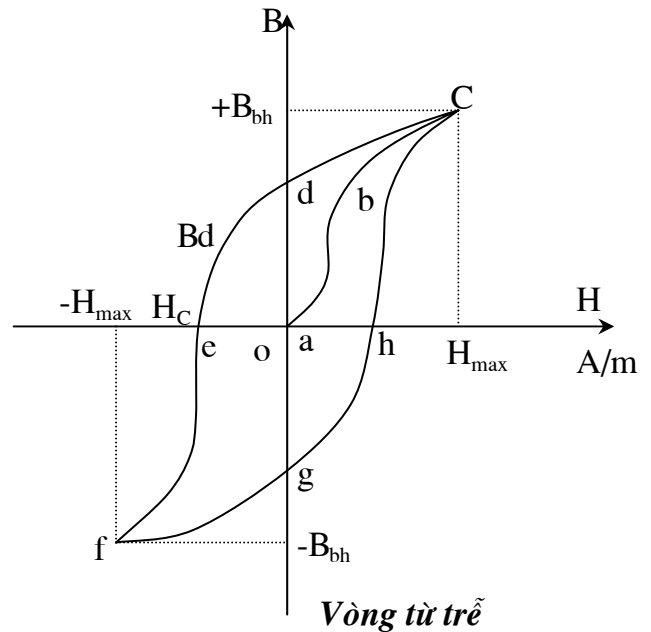
B-C: các domen gần như thẳng hàng và C gọi là điểm bão hoà và khi đó vật liệu gọi là đã bão hoà.



Các vật liệu từ khác sẽ có đường cong từ hóa khác và qua đó xác định được đường cong từ thẩm tương đối.

Hiện tượng từ trễ

Ban đầu khi vật liệu chưa nhiễm từ, tăng H ta có đoạn $O-a-b-c$ tới c thì đạt H_{max} , giảm H tới 0 thì độ cảm ứng từ còn trong vật liệu đã nhiễm từ là B_d (gọi là độ cảm ứng từ dư) đoạn Cd . Để giảm độ cảm ứng từ dư tới 0 thì cần cung cấp một cường độ từ trường âm và khi bằng 0 thì cường độ từ trường cần thiết là H_c gọi là lực kháng từ. Tiếp tục tăng giá trị ngược của cường độ từ trường thì B cũng tăng theo giá trị âm đến giá trị B_{bh} , ta có đoạn cong từ hoá $e-f$. Giảm cường độ từ trường ngược lại giảm

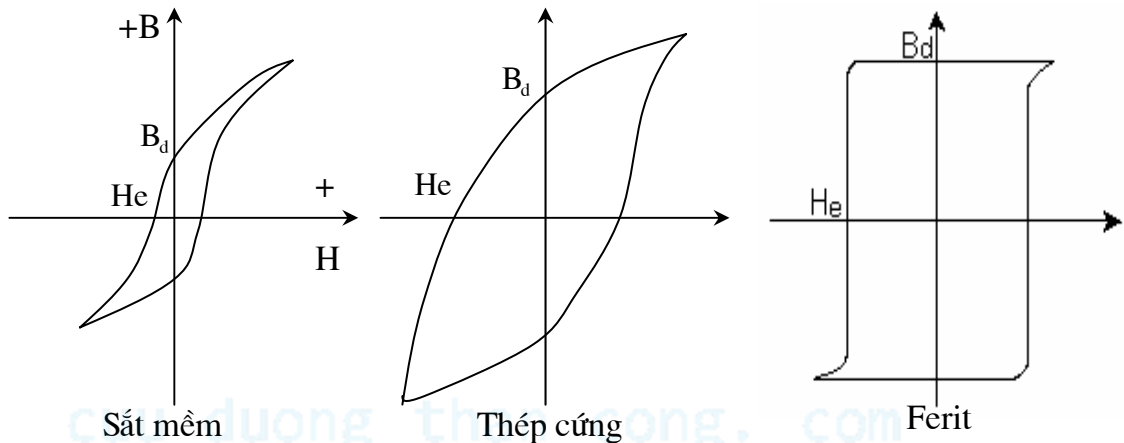


đến 0 thì độ cảm ứng từ B cũng giảm đến giá trị độ cảm ứng từ dư, đoạn $o-g$. Để giảm độ cảm ứng từ đến 0 ta lại phải tăng cường độ từ trường theo chiều dương đến trị số H_c , đoạn $o-h$ và đây cũng chính là lực kháng từ. Tiếp tục tăng cường độ từ trường theo chiều dương ta được đoạn $h-c$ của đồ thị.

Như vậy, đồ thị B/H có dạng vòng khép kín đối xứng.

Xét 3 loại vật liệu với 3 kiểu vòng từ trễ điển hình như hình dưới đây

Sắt mềm:



+ Độ trễ nhỏ nhất

+ Làm việc ở điều kiện mà ở đó cường độ từ trường bị thay đổi đảo ngược lớn. Ví dụ như nam châm điện, lõi cuộn dây cao tần ...

Thép cứng:

+ Độ trễ trong lõi lớn => tổn hao

+ Độ cảm ứng từ dư lớn => được sử dụng làm nam châm vĩnh cửu, hoặc các thiết

Phạm Thanh Huyền_GTVT

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

bị khác nhưng không nên làm việc ở nơi cường độ H đổi hướng nhanh

Ferit:

+ Tổn thất trễ lớn

+ B đạt trị số Bđ không đổi cho đến khi H tăng đến cực đại ở hướng ngược lại => làm bộ nhớ từ.

Dòng điện xoáy trong lõi sắt từ:

Khi tạo một lõi sắt từ đặt trong một cuộn dây thì từ trường biến đổi trên cuộn dây sẽ tạo ra một sức điện động cảm ứng và tạo ra dòng điện lưu thông trong lõi sắt từ gọi là dòng điện xoáy hay dòng Foucault (chiều của dòng điện này có xu hướng chống lại sự thay đổi của từ trường). Dòng điện này sẽ làm nóng lõi sắt từ và gây hao phí năng lượng. Để hạn chế dòng điện xoáy người ta tạo lõi sắt từ từ các lá thép mỏng được sơn cách điện để tăng điện trở của chúng đối với dòng điện xoáy. Ví dụ: lõi biến áp luôn được làm theo cách này.

Tuy nhiên, trong một số trường hợp thì dòng điện xoáy này lại có lợi vì nó có xu hướng chống lại sự biến thiên, tức là góp phần ổn định. Ví dụ như dụng cụ đo lường kiểu từ điện lợi dụng dòng điện xoáy để làm cho kim chỉ thị nhanh chóng đạt trạng thái cân bằng.

3. Phân loại và ứng dụng của vật liệu từ

Người ta chia vật liệu từ thành 2 loại là: vật liệu từ mềm có độ từ thẩm cao và lực kháng từ nhỏ và vật liệu từ cứng có độ từ thẩm nhỏ và lực kháng từ cao

a. Vật liệu từ mềm

+ Vật liệu từ mềm dùng ở tần số thấp

Ví dụ như là: Sắt, hợp kim sắt-silic, sắt-niken... để làm lõi biến áp, nam châm điện. Đây là các vật liệu có độ thẩm từ rất cao nhưng độ từ dư lại thấp.

+ Vật liệu từ mềm dùng ở tần số cao vài trăm KHz ÷ vài MHz

Ferit có đặc điểm: độ dẫn điện cao, độ từ thẩm rất cao, Ferit thích hợp dùng làm lõi của các linh kiện như: cuộn dây có hệ số phẩm chất cao, biến áp dải tần rộng, cuộn dây trung tần, anten, biến áp xung, cuộn làm lệch tia điện tử. ..

Permalloy là hợp kim của Ni, Fe, Mn, Cr, Cu, Si, ...

Đặc điểm: độ từ thẩm cao cỡ vài ngàn tới vài trăm ngàn H/m, dùng làm biến áp micro, đầu từ, biến áp nhỏ chất lượng cao.

b. Vật liệu từ cứng

+ Nếu phân chia theo ứng dụng thì có các loại sau:

. **Vật liệu từ:** để chế tạo nam châm vĩnh cửu. Người ta sử dụng các vật liệu từ có đặc tính kháng từ lớn và độ từ dư lớn, tức là có khả năng “nhớ” từ tốt, với hình dạng hợp lý như hình móng ngựa để chế tạo nam châm vĩnh cửu. Khi bị một nam châm vĩnh cửu hoặc dòng điện một chiều từ hoá thì vật trên sẽ trở thành một nam châm vĩnh cửu.

Vật liệu từ để ghi âm, ghi hình. Từ trường có thể được sử dụng để lưu trữ dữ liệu ở các trạng thái khác nhau. Các môi trường lưu trữ dữ liệu thông dụng bao gồm băng từ, đĩa từ và bộ nhớ bọt từ.

. **Băng từ:** đó chính là các băng ghi âm trong các máy cassette hay ghi hình cho

máy video. Bản thân băng từ chứa hàng triệu các hạt oxit sắt được gắn trên một dây bằng mylar hay bằng nhựa. Từ trường dao động tại đầu ghi sẽ phân cực những hạt này. Khi từ trường thay đổi cường độ trong khi băng chạy với một tốc độ đều đặn sẽ tạo ra các vùng mà trong đó các hạt oxit sắt được phân cực tương ứng. Khi băng chạy với cùng tốc độ qua một máy cassette ở chế độ playback, các từ trường xung quanh các hạt đơn gây ra một từ trường dao động được nhận dạng bởi đầu đọc. Từ trường này có cùng kiểu biến thiên giống như trường từ gốc ở đầu ghi. Băng từ có nhiều dạng với độ rộng và độ dày khác nhau cho các ứng dụng khác nhau. Tốc độ của băng từ quyết định độ trung thực của việc ghi băng. Tốc độ cao là dành cho âm nhạc và video còn tốc độ thấp dành cho tiếng nói. Dữ liệu trên một băng từ có thể bị biến dạng hay bị xóa bởi các từ trường bên ngoài và nhiệt độ.

. Đĩa từ: Một đĩa từ có thể ở dạng cứng hay mềm. Các đĩa này có nhiều kích thước khác nhau. Các đĩa cứng lưu trữ hầu hết dữ liệu và nói chung là nằm bên trong máy tính. Đĩa mềm thường có kích thước 5 1/4inch và 3 1/2inch đường kính, có thể được đưa vào hay lấy ra từ một máy ghi/phát gọi là ổ đĩa mềm. Nguyên tắc của các đĩa từ cũng tương tự như băng từ. Tuy nhiên, ở đây thông tin được lưu trữ dưới dạng số, tức là chỉ có hai cách từ hoá các hạt khác nhau. Điều này sẽ tạo ra những bộ lưu trữ hoàn hảo không lỗi. Thêm nữa, đĩa từ hoạt động khác với băng từ do khác biệt về mặt hình học. Trên một băng từ, thông tin được trải ra trên một dây dài và rộng, đầu ghi hay đọc đứng yên trong khi băng từ quay. Ngược lại, trên đĩa từ không có hai bit nào nằm xa hơn đường kính của đĩa. Điều này có nghĩa là dữ liệu có thể được lưu trữ và sử dụng nhanh hơn nhiều so với một băng từ. Ngày nay, với sự phát triển không ngừng của khoa học kỹ thuật, người ta đã tạo ra được các ổ đĩa cứng bao gồm nhiều đĩa từ xếp chồng lên nhau, giữa chúng có khe hở nhỏ để các đầu ghi/đọc có thể di chuyển dễ dàng trên mặt đĩa từ đang quay ở tốc độ cao.

. Bộ nhớ bọt từ: đây là phương pháp lưu trữ dữ liệu phức tạp mà không cần phải di chuyển các thành phần như trong máy phát băng từ hay các ổ đĩa. Bộ nhớ bọt từ là sự kết hợp hoàn hảo của kỹ thuật lưu trữ dữ liệu từ cũng như kỹ thuật lưu trữ dữ liệu điện tử. Số bit dữ liệu được lưu trên các từ trường nhỏ trong một phương tiện được tạo ra từ phim từ và vật liệu bán dẫn. Ưu điểm của bộ nhớ bọt từ là mật độ cao, khả năng phục hồi dữ liệu nhanh, tuổi thọ dài và chi phí thấp.

+ Phân loại theo công nghệ chế tạo

Hợp kim thép được tôi thành Martenxit là vật liệu đơn giản và rẻ

Hợp kim lá từ cứng

Nam châm từ bột

Ferit từ cứng: $BaO.6Fe_2O_3$ để chế tạo nam châm ở tần số cao

Băng, sợi kim loại và không kim loại dùng để ghi âm

V. CHẤT BÁN DẪN (SEMICONDUCTOR)

1. Định nghĩa và tính chất

Bắt đầu từ những năm 60 chất bán dẫn trở nên không thể thiếu đối với ngành kỹ thuật điện tử, nó có mặt ở tất cả các thiết bị điện tử.

Vật liệu bán dẫn là vật liệu mà trong một số điều kiện nó trở thành cách điện và trong một số điều kiện khác nó lại dẫn điện. Tính đa năng này nằm ở chỗ sự dẫn điện có

Phạm Thanh Huyền_GTVT

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

thể được điều khiển để tạo ra các hiệu ứng như sự khuếch đại âm thanh, sự chỉnh lưu dòng điện, chuyển đổi và trộn lẫn tín hiệu ...

Xét về đặc tính dẫn điện thì vật liệu bán dẫn có điện trở suất lớn hơn vật liệu dẫn điện nhưng nhỏ hơn vật liệu cách điện.

Điện trở suất ρ (Ωm)	Loại vật liệu
$10^{-8} \div 10^{-5}$	Dẫn điện
$10^{-6} \div 10^8$	Bán dẫn
$10^7 \div 10^{17}$	Cách điện

Đặc điểm nổi bật của vật liệu bán dẫn là điện trở suất của nó phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ, điện trở suất giảm khi nhiệt độ tăng. Ngoài ra nó còn phụ thuộc vào loại chất pha tạp, nồng độ tạp chất, ánh sáng chiếu vào, thế năng ion hoá

Trong kỹ thuật điện tử, một số chất bán dẫn được sử dụng rộng rãi là Silicon (Si), Germani (Ge) và Galium Arsenide (GaAs). Germani (Ge) được sử dụng trong những năm đầu của công nghệ bán dẫn còn hiện nay chỉ xuất hiện trong những ứng dụng đặc biệt.

Điện trở suất của Si và Ge có giá trị trong khoảng: $0.01 \div 10 \Omega\text{m}$

Có hai loại chất bán dẫn là bán dẫn thuần (còn gọi là bán dẫn ròng hay bán dẫn nguyên tính) và bán dẫn tạp (hay bán dẫn ngoại tính).

Hạt tải điện trong chất bán dẫn (carrier)

Ở nhiệt độ 0[K] Si và Ge có 4 điện tử ở lớp ngoài cùng nhưng cả 4 điện tử này đều tham gia vào 4 liên kết cộng hoá trị với 4 nguyên tử Si và Ge khác để sao cho chúng đều có 8 điện tử ở lớp ngoài cùng. Như vậy, mạng tinh thể không có điện tử tự do.

Khi nhiệt độ tăng các điện tử bứt khỏi liên kết và di chuyển trong mạng tinh thể, khi này hình thành các lỗ trống và di chuyển nhưng theo hướng ngược lại.

Cơ chế để lỗ trống tham gia vào độ dẫn điện:

Khi có một liên kết không hoàn chỉnh tức là có một lỗ trống xuất hiện thì điện tử hoá trị của liên kết bên cạnh có thể rời khỏi nguyên tử của nó để lấp đầy vào lỗ trống đó. Khi chuyển từ một liên kết hoàn chỉnh sang lỗ trống bên cạnh thì điện tử đã để lại một lỗ trống. Lỗ trống này lại được lấp đầy bởi một điện tử hoá trị của một liên kết khác và cứ như vậy có thể coi lỗ trống đã di chuyển theo hướng ngược với điện tử. Theo chiều dòng điện thì lỗ trống mang điện tích dương và có cùng độ lớn với điện tích của điện tử.

Do đó trong chất bán dẫn *hạt tải điện là điện tử và lỗ trống*. (Điều này hoàn toàn khác với kim loại vì kim loại chỉ có hạt tải điện là điện tử)

Nồng độ hạt tải điện

Trên thực tế các điện tử và lỗ trống phân bố trong mạng theo phân bố xác suất của cơ học lượng tử.

$$n = N_C \cdot e^{-(E_C - E_F)/KT}$$

$$p = N_V \cdot e^{-(E_F - E_V)/KT}$$

$$N_C = 2 \cdot \left(\frac{2\pi m_n KT}{h^2} \right)^{3/2}$$

$$N_V = 2 \cdot \left(\frac{2\pi m_p KT}{h^2} \right)^{3/2}$$

Với n, p : nồng độ điện tử và lỗ trống trong vùng dẫn và vùng hóa trị
 N_C, N_V : mật độ trạng thái hiệu dụng của vùng dẫn và vùng hóa trị
 m_n, m_p : là khối lượng hiệu dụng của điện tử và lỗ trống. Các giá trị này phụ thuộc vào vùng năng lượng mà chúng chiếm giữ. Trong điều kiện nhiệt độ phòng có thể coi $m_n = m_p$

Mật độ trạng thái hiệu dụng (tại 300K)	Ge	Si	GaAs
$N_C \text{ (cm}^{-3}\text{)}$	$1,02 \cdot 10^{19}$	$2,82 \cdot 10^{19}$	$4,35 \cdot 10^{17}$
$N_V \text{ (cm}^{-3}\text{)}$	$5,65 \cdot 10^{18}$	$1,83 \cdot 10^{19}$	$7,57 \cdot 10^{18}$

2. Bán dẫn thuần (bán dẫn nguyên tính – Intrinsic)

a. Định nghĩa và tính chất

Chất bán dẫn thuần là chất bán dẫn mà trong cấu trúc mạng tinh thể tại mỗi nút mạng chỉ có nguyên tử của một nguyên tố.

ví dụ: Si nguyên chất và Ge nguyên chất

Cấu trúc tinh thể của Si được cho ở hình bên

Ở nhiệt độ rất thấp (0 độ tuyệt đối), các điện tử hoá trị có liên kết chặt chẽ với lõi ion do đó độ dẫn điện thấp, điện trở suất cao. Chúng được coi như chất cách điện

Khi nhiệt độ tăng cao hơn, các điện tử hoá trị nhận năng lượng dưới dạng nhiệt. Liên kết giữa điện tử này và ion có thể bị phá vỡ và điện tử tách ra khỏi nguyên tử trở thành điện tử tự do. Các điện tử tự do vừa tách ra có thể di chuyển tự do trong mạng tinh thể do đó độ dẫn điện của chất bán dẫn tăng. Năng lượng cần thiết để bẻ gãy liên kết của điện tử với lõi ion chính là độ rộng dải cấm E_g (đó chính là năng lượng để kích thích điện tử nhảy từ dải hoá trị lên dải dẫn)

Khi điện tử thoát ra khỏi liên kết thì nó tạo ra một lỗ trống. Lỗ trống có đặc tính tương tự điện tử và mang điện tích dương. (Trên thực tế lỗ trống chính là mức năng lượng bị bỏ trống). Dưới tác động của điện trường thì cả điện tử và lỗ trống đều di chuyển trong mạng tinh thể.

Trong bán dẫn thuần nồng độ điện tử bằng nồng độ lỗ trống

$$n_i = p_i = (N_C \cdot N_V)^{1/2} \cdot e^{-E_g / 2KT}$$

Nồng độ (tại 300K)	Ge	Si	GaAs
$n_i \text{ (cm}^{-3}\text{)}$	$2,8 \cdot 10^{13}$	$1,0 \cdot 10^{10}$	$2,0 \cdot 10^6$

b. Một số chất bán dẫn thông dụng

* Silicon

Silicon (Si) thường được sử dụng rộng rãi để chế tạo diode, mạch tích hợp. Tuy nhiên, để có tính chất mong muốn người ta phải pha các chất khác vào trong Si. Si có thể được khai thác trong tự nhiên hoặc để có chất lượng cao nhất thì tạo ra bằng cách nuôi các tinh thể trong điều kiện phòng thí nghiệm, sau đó sẽ được đưa vào trong các chip.

* Selenium

Phạm Thanh Huyền_GTVT

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

Selenium (Se) có trở kháng phụ thuộc rất mạnh vào cường độ ánh sáng tác động vào nó. Đây là tính chất chung của vật liệu bán dẫn nhưng thể hiện rõ nhất ở Se, vì vậy Se được sử dụng để chế tạo các tế bào quang điện. Ngoài ra, Se được dùng để chế tạo các thiết bị chỉnh lưu ở khu vực điện áp không ổn định do khả năng chịu được điện áp cao bất thường của Se tốt hơn nhiều so với Si.

* Germanium

Germanium (Ge) nguyên chất là một chất dẫn điện kém. Nó trở thành chất bán dẫn khi thêm một số tạp chất vào. Germanium được sử dụng rộng rãi trong thời kỳ đầu nhưng vì Ge dễ bị hư hỏng bởi nhiệt độ nên sau đó người ta ít dùng loại vật liệu này, trừ những trường hợp đặc biệt.

3. Bán dẫn pha tạp (bán dẫn ngoại tính – Extrinsic)

Bán dẫn tạp là bán dẫn mà trong mạng tinh thể ở một số nút mạng được thay thế bởi nguyên tử của một nguyên tố khác. Quá trình thêm tạp chất vào được gọi là quá trình pha tạp và việc này làm cho tính chất của vật liệu thay đổi rất nhiều tùy vào chất pha tạp và nồng độ của chất đó. Mức độ pha tạp được tính bằng đơn vị ppm (đơn vị phần triệu)

Khi này nồng độ của điện tử và lỗ trống không còn cân bằng nữa. Nếu bán dẫn có hạt tải điện chủ yếu là điện tử thì người ta gọi đó bán dẫn loại N và nếu hạt tải điện chủ yếu là lỗ trống thì gọi là bán dẫn loại P.

a. Bán dẫn loại N (bán dẫn loại cho, pha tạp chất donor)

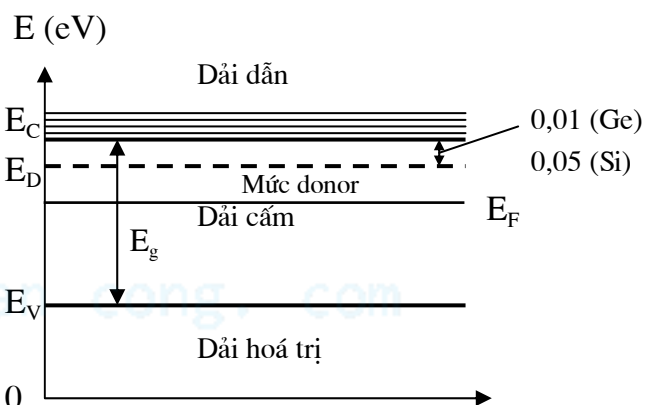
Là bán dẫn hình thành khi pha tạp chất nhóm V vào bán dẫn thuần.

Ví dụ: pha tạp chất As, P, Sn (nhóm V) vào bán dẫn nền Si (nhóm IV)

Nguyên tử tạp chất có 5 điện tử hoá trị ở lớp ngoài cùng nên nó sẽ dùng 4 điện tử cho 4 liên kết cộng hoá trị với 4 nguyên tử Si (hoặc Ge) ở bên cạnh. Điện tử thứ 5 sẽ thừa ra và có liên kết rất yếu với nguyên tử tạp chất. Để giải phóng điện tử này chỉ cần cung cấp một năng lượng rất nhỏ vào khoảng 0,01 eV đối với Ge và 0,05 eV đối với Si.

Khi tách khỏi nguyên tử thì điện tử thứ 5 sẽ trở thành điện tử tự do và nguyên tử tạp chất trở thành ion dương cố định. Như vậy số điện tử tự do chính bằng số nguyên tử pha tạp vào. Tạp chất nhóm V vì vậy được gọi là *tạp chất cho* (hay *tạp chất donor*)

Ở nhiệt độ khoảng 30 – 500K các điện tử thứ 5 đều được giải phóng thành điện tử tự do, nghĩa là nhảy lên vùng dẫn mà trong vùng hoá trị vẫn không có lỗ trống (người ta còn gọi chế độ này là chế độ ion hoá hết donor). Sở dĩ vậy là do nguyên tử của bán dẫn tạp có cấu trúc tinh thể khác nhiều so với cấu trúc tinh thể của bán dẫn nền và các mức năng lượng cho phép được hình thành ở khoảng cách rất nhỏ dưới dải dẫn (mức năng lượng này gọi là mức donor E_D , xem hình bên). Khi được cung cấp năng lượng chúng sẽ dễ dàng nhảy lên vùng dẫn (năng lượng này chưa đủ lớn



Giản đồ dải năng lượng của bán dẫn loại N

để điện tử ở vùng hoá trị nhảy lên vùng dẫn).

Rõ ràng là ở bán dẫn loại N nồng độ hạt dẫn điện tử nhiều hơn nhiều so với nồng độ lỗ trống. Điện tử được gọi là hạt dẫn đa số (majority) và lỗ trống được gọi là hạt dẫn thiểu số (minority).

$$n_N \gg p_N$$

b. Bán dẫn loại P (bán dẫn loại nhận, pha tạp chất acceptor)

Khi đưa tạp chất là nguyên tử của nguyên tố nhóm III vào bán dẫn thuần thì ta có bán dẫn loại P.

Ví dụ: pha Ga, In, B (nhóm III) vào bán dẫn nền Ge (nhóm IV)

Nguyên tử tạp chất có 3 điện tử ở lớp ngoài cùng nhưng chúng lại phải thiết lập 4 mối liên kết cộng hoá trị với 4 nguyên tử Si hoặc Ge bên cạnh. Do đó mỗi liên kết thứ 4 có một lỗ trống. Các điện tử bên cạnh sẽ nhảy sang để lấp đầy vào lỗ trống này và nguyên tử tạp chất sẽ trở thành ion âm còn nguyên tử có điện tử vừa rời đi trở thành ion dương cố định. Tạp chất nhóm III vì vậy được gọi là *tạp chất nhận* (hay *tạp chất acceptor*).

Tạp chất pha vào sẽ tạo ra một mức năng lượng riêng E_A nằm trên đỉnh vùng hoá trị, gọi đó là mức acceptor E_A cách E_V một đoạn rất nhỏ, xem hình bên. Do vậy, chỉ cần cung cấp một năng lượng nhỏ đã đủ kéo điện tử khỏi vùng hoá trị để chiếm đóng mức năng lượng này của tạp chất nhận, kéo theo sự tạo ra lỗ trống trong dải hoá trị nhưng trên dải dẫn vẫn không có điện tử.

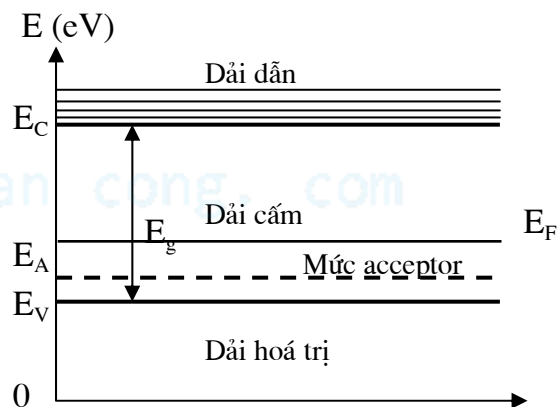
Nếu tiếp tục tăng nồng độ tạp chất nhận thì nồng độ của các lỗ trống tăng lên đáng kể trong dải hoá trị nhưng nồng độ điện tử tự do trên dải dẫn vẫn không tăng. Như vậy, nồng độ lỗ trống lớn hơn nhiều so với nồng độ điện tử và lỗ trống được gọi là hạt dẫn đa số và điện tử được gọi là hạt dẫn thiểu số.

$$p_P \gg n_P$$

KL: Quá trình pha tạp chất vào bán dẫn nguyên tính không chỉ làm tăng độ dẫn điện mà còn tạo ra một chất dẫn điện có điện tử chiếm ưu thế (loại N) hay lỗ trống chiếm ưu thế (loại P).

* Ngoài các loại bán dẫn kể trên, hiện nay người ta quan tâm nhiều tới một số hợp chất oxit kim loại cũng có những tính chất như các chất bán dẫn thuần túy. Đó chính là công nghệ MOS (metal-oxide semiconductor) và CMOS (complementary metal-oxide semiconductor). Đặc điểm nổi trội của các thiết bị MOS và CMOS là chúng hầu như không cần bất cứ năng lượng nào để hoạt động. Chúng cần ít năng lượng đến nỗi mà một viên pin ở trên thiết bị MOS hay CMOS sẽ kéo dài thời gian sử dụng cho đến khi nào nó còn nằm trên giá của nó. Thêm nữa, các thiết bị MOS và CMOS có tốc độ rất cao. Điều này cho phép nó hoạt động ở tần số cao và có khả năng thực hiện nhiều phép tính trên giây. Ngày càng có nhiều transistor và mạch tích hợp sử dụng công nghệ MOS và

Phạm Thanh Huyền_GTVT



Giản đồ dải năng lượng của bán dẫn loại P

Chương I: Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện

CMOS vì nó cho phép một số lượng lớn diode và transistor riêng biệt nằm trên một chip đơn. Nói cách khác, công nghệ MOS/CMOS có mật độ tích hợp cao hơn. Tuy nhiên, vấn đề lớn nhất đối với MOS và CMOS đó là các thiết bị dễ bị hư hỏng vì tĩnh điện.

4. Mức Fecmi trong chất bán dẫn (Fecmi energy level)

Trong bán dẫn nguyên tính mức Fecmi nằm ở giữa vùng cấm, điều này để chứng tỏ rằng nồng độ của điện tử tự do và lỗ trống là cân bằng nhau.

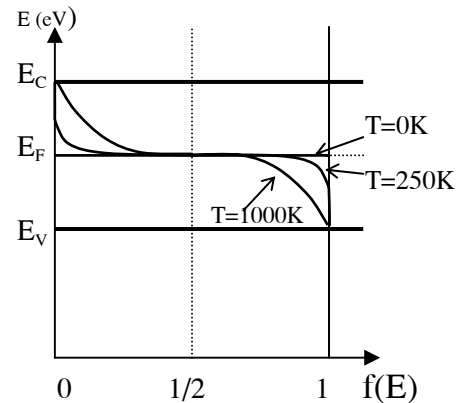
Hình bên là hàm phân bố Fecmi và giản đồ dải năng lượng của chất bán dẫn nguyên tính ở các nhiệt độ khác nhau

Khi pha tạp chất vào và ở nhiệt độ đã cho giả thiết là tất cả các nguyên tử tạp chất đều bị ion hoá thì mức Fecmi sẽ phải di chuyển vì mức Fecmi biểu thị xác suất chiếm đóng các trạng thái năng lượng cho phép.

Với bán dẫn loại N mức Fecmi sẽ di chuyển lên phía trên về phía đáy dải dẫn để biểu thị rằng có rất nhiều trạng thái năng lượng trong dải dẫn được các điện tử donor chiếm đầy. Với bán dẫn loại P thì ngược lại, mức Fecmi di chuyển xuống phía dưới về phía dải hoá trị để biểu thị một số lượng lớn điện tử tập trung ở mức năng lượng acceptor rất gần đỉnh vùng hoá trị.

Chú ý: Nếu nồng độ tạp chất pha vào rất cao ($> 10^{17}$ nguyên tử/cm³) thì mức Fecmi có thể trùng với đáy vùng dẫn hoặc đỉnh vùng hoá trị, người ta gọi đó là bán dẫn suy biến. Ngoài ra có một định nghĩa chính xác hơn là khi $E_C - E_F < 3KT$ thì đó là bán dẫn suy biến. Nhóm chất bán dẫn suy biến được sử dụng để chế tạo các loại linh kiện có tính chất điện – quang đặc biệt như diode tunen, LED, LASER ...

Hơn nữa, hàm Fecmi còn là một hàm của nhiệt độ.



5. Dòng điện trong chất bán dẫn

Dòng điện trong chất bán dẫn gồm 2 thành phần là dòng khuếch tán và dòng trôi.

a. Dòng điện khuếch tán (diffusion current)

Dòng điện khuếch tán là dòng điện xuất hiện khi có sự chênh lệch nồng độ hạt dẫn ở các vùng khác nhau trong khối chất. Khi đó hạt dẫn sẽ chuyển từ nơi có nồng độ cao xuống nơi có nồng độ thấp.

Hiện tượng này mang tính chất thống kê:

+ Mật độ dòng lỗ trống:

$$J_p = -e \cdot D_p \cdot \frac{dp}{dx}$$

+ Mật độ dòng điện tử:

$$J_n = e \cdot D_n \cdot \frac{dn}{dx}$$

Với dn/dx và dp/dx là gradien nồng độ của điện tử và lỗ trống

D_p , D_n là hệ số khuếch tán của lỗ trống và điện tử

Trong đó hệ số khuếch tán D và độ linh động μ quan hệ với nhau theo hệ thức

sau:

$$\frac{D_p}{\mu_p} = \frac{D_n}{\mu_n} = V_T \text{ với } V_T = \frac{KT}{e} \text{ gọi là điện thế nhiệt (} V_T = 26\text{mV tại } T = 300\text{K)}$$

Hệ số khuếch tán (cm ² /s)	Ge	Si
D _n	99	34
D _p	47	13

b. Dòng điện trôi (drift current)

Dòng điện trôi là dòng chuyển động của hạt dẫn dưới tác dụng của điện trường

Trong chất bán dẫn có 2 loại hạt tải điện là điện tử với điện tích âm, độ linh động μ_n , nồng độ n và lỗ trống với điện tích dương, độ linh động μ_p , nồng độ p . Khi thiết lập một điện trường E thì các hạt tải điện này sẽ chuyển động theo 2 hướng ngược nhau nhưng chiều dòng điện của 2 loại hạt này sẽ cùng một hướng.

Do đó mật độ dòng trôi J_{tr} được tính:

$$J_{tr} = J_n + J_p = (\sigma_n + \sigma_p).E = \sigma.E$$

với $\sigma = (n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p).e$ / độ dẫn điện (conductivity)

Độ linh động (tại 300K)	Ge	Si	GaAs
μ_n (cm ² /V-s)	3900	1400	8800
μ_p (cm ² /V-s)	1900	450	400

Từ công thức của độ dẫn điện ta thấy nồng độ pha tạp chất càng cao độ dẫn điện càng lớn, điện trở suất càng giảm. Nhưng khi đó độ linh động của hạt dẫn lại giảm.

Vậy, mật độ dòng điện tổng trong chất bán dẫn là:

$$J = J_{kt} + J_{tr}$$

Chương II

CÁC LINH KIỆN THỤ ĐỘNG

Trạng thái điện của một phần tử được thể hiện qua hai thông số trạng thái là điện áp u giữa 2 đầu và dòng điện i chảy qua nó, khi phần tử tự nó tạo được các thông số này thì nó được gọi là **phần tử tích cực** (có thể đóng vai trò như một nguồn điện áp hay nguồn dòng điện). Ngược lại, phần tử không tự tạo được điện áp hay dòng điện trên nó thì cần phải được nuôi từ một nguồn sức điện động bên ngoài. Người ta gọi đó là các **phần tử thụ động**, cụ thể trong mạch điện và thiết bị điện tử là điện trở, tụ điện và cuộn dây. Chương này sẽ đề cập đến một số tính chất quan trọng của các loại linh kiện đó.

I. ĐIỆN TRỞ (RESISTOR)

1 - Định nghĩa và ký hiệu

a - Định nghĩa

Điện trở là linh kiện dùng để ngăn cản dòng điện trong mạch. Nói một cách khác là nó điều khiển mức dòng và điện áp trong mạch.

Để đạt được một giá trị dòng điện mong muốn tại một điểm nào đó của mạch điện hay giá trị điện áp mong muốn giữa hai điểm của mạch người ta phải dùng điện trở có giá trị thích hợp. Tác dụng của điện trở không khác nhau trong mạch điện một chiều và cả mạch xoay chiều, nghĩa là chế độ làm việc của điện trở không phụ thuộc vào tần số của tín hiệu tác động lên nó.

Hầu hết điện trở đều làm từ chất cách điện và nó có mặt ở hầu khắp các mạch điện. Có thể xác định giá trị điện trở theo định luật Ohm như sau:

Trong chế độ tĩnh: $R = \frac{U}{I}$ [Ω]

Trong chế độ tín hiệu nhỏ: $r = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ hay $\frac{\partial u}{\partial i}$ gọi là điện trở vi phân

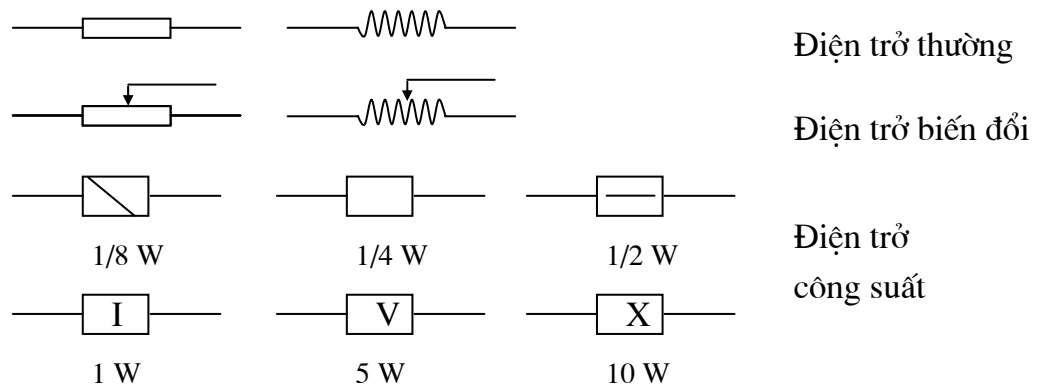
Với U : sụt áp trên điện trở [V]

I : dòng điện chạy qua điện trở [A]

Các giá trị của R thường là: mΩ, Ω, kΩ, MΩ, GΩ.

Điện trở dẫn cả dòng một chiều và xoay chiều. Điện áp và dòng điện trên điện trở thuần có độ lệch pha bằng 0 (cùng pha).

b - Ký hiệu của điện trở trong mạch điện

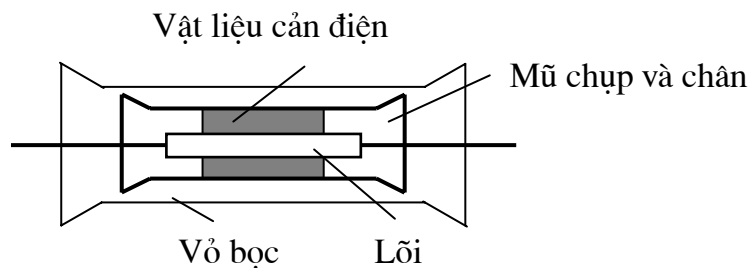


Hình dáng thực tế:



c - Cấu trúc của điện trở

Điện trở có nhiều dạng kết cấu khác nhau tùy theo loại nhưng nói chung có thể biểu diễn cấu trúc tổng quát của một điện trở như sau:



2- Các tham số kỹ thuật đặc trưng cho điện trở.

Khi sử dụng một điện trở thì các tham số cần quan tâm là: giá trị điện trở tính bằng Ohm (Ω); sai số hay dung sai là mức thay đổi tương đối của giá trị thực so với giá trị sản xuất danh định ghi trên nó tính theo phần trăm (%); công suất tối đa cho phép tính bằng oát (W) và đôi khi cả tham số về đặc điểm cấu tạo và loại vật liệu được dùng để chế tạo điện trở.

a - Trị số điện trở và dung sai

Trị số của điện trở là tham số cơ bản, yêu cầu đối với trị số là ít thay đổi theo nhiệt

Chương II: Linh kiện thụ động

độ, độ ẩm, thời gian... Nó đặc trưng cho khả năng cản điện của điện trở.

Trị số của điện trở phụ thuộc vào vật liệu cản điện, kích thước của điện trở và nhiệt độ môi trường.

Công thức: $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$

Trong đó:

ρ : điện trở suất của vật liệu cản điện [Ωm]

l : chiều dài dây dẫn [m]

S : tiết diện dây dẫn [m^2]

Dung sai (sai số) biểu thị mức độ chênh lệch trị số thực tế của điện trở so với trị số danh định và được tính theo %.

Dung sai được tính: $\frac{R_{tt} - R_{dd}}{R_{dd}} \cdot 100\%$

Với R_{tt} và R_{dd} là giá trị điện trở thực tế và danh định

Dựa vào đó người ta sản xuất điện trở theo 5 cấp chính xác

Cấp 005 : có sai số $\pm 0.5\%$ } Dùng trong mạch yêu cầu độ

Cấp 001 : có sai số $\pm 0.1\%$ } chính xác cao

Cấp I : có sai số $\pm 5\%$ } Dùng trong kỹ thuật

Cấp II : có sai số $\pm 10\%$ } mạch điện tử thông thường

Cấp III : có sai số $\pm 20\%$ }

b - Công suất tiêu tán cho phép ($P_{tt \max}$)

Khi có dòng điện chạy qua điện trở sẽ tiêu tán năng lượng điện dưới dạng nhiệt, với công suất là:

$$P_{tt} = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R \text{ [W]}$$

Tuỳ theo vật liệu cản điện được dùng mà điện trở chỉ chịu được tới một nhiệt độ nào đó. Vì vậy số W chính là thông số cho biết khả năng chịu nhiệt của điện trở.

Công suất tiêu tán cho phép là công suất điện cao nhất mà điện trở có thể chịu đựng được, nếu quá ngưỡng đó thì điện trở sẽ nóng lên và có thể bị cháy.

$$P_{tt \max} = \frac{U_{\max}^2}{R} = I_{\max}^2 \cdot R$$

Để điện trở làm việc bình thường thì:

$$P_{tt} < P_{tt \max}$$

Thông thường người ta sẽ chọn công suất của điện trở theo công thức:

$$P_R \geq 2P_{tt}$$

Trong đó 2 là hệ số an toàn. Trường hợp đặc biệt có thể chọn hệ số an toàn lớn hơn.

Điện trở than có công suất tiêu tán thấp trong khoảng 0.125; 0.25; 0.5; 1.2W

Điện trở dây quấn có công suất tiêu tán từ 1W trở lên và công suất càng lớn thì yêu cầu điện trở có kích thước càng to (để tăng khả năng tỏa nhiệt).

Trong tất cả các mạch điện, tại khu vực cấp nguồn tập trung dòng mạnh nên các điện trở phải có kích thước lớn. Ngược lại, tại khu vực xử lý tín hiệu, nơi có dòng yếu nên các điện trở có kích thước nhỏ bé.

c - Hệ số nhiệt của điện trở: TCR (temperature co-efficient of resistor)

Hệ số nhiệt của điện trở biểu thị sự thay đổi trị số của điện trở theo nhiệt độ môi trường và được tính theo công thức:

$$TCR = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta T} \cdot 100\% \text{ [ppm/}^{\circ}\text{C]}$$

ΔR : lượng thay đổi của trị số điện trở khi nhiệt thay đổi một lượng ΔT .

TCR là trị số biến đổi tương đối tính theo phần triệu của điện trở trên 1°C . TCR càng bé tức độ ổn định nhiệt độ càng cao.

Điện trở than làm việc ổn định nhất ở nhiệt độ 20°C . Khi nhiệt độ tăng hay giảm thì trị số của điện trở than đều tăng.

Điện trở dây cuốn có sự thay đổi điện trở theo nhiệt độ như chất dẫn điện thông thường, nghĩa là trị số của điện trở tăng giảm theo sự giảm tăng của nhiệt độ.

Có thể tính sự thay đổi của trị số điện trở theo TCR và ΔT như sau:

$$\Delta R = \pm \frac{R}{10^6} \cdot TCR \cdot \Delta T \text{ } [\Omega]$$

\Rightarrow TCR càng nhỏ càng tốt. Để $TCR \rightarrow 0$ thì người ta thường dùng vật liệu cảm điện có $\rho \approx 0.5 \mu\Omega\text{m}$ và có hệ số nhiệt của điện trở rất nhỏ.

Ví dụ: Bột than nén, màng than tinh thể, màng kim loại (Ni Cr), màng oxit kim loại...

d - Tap âm của điện trở

Có 2 loại tap âm là tap âm xáo động nhiệt và tap âm dòng điện.

+ Tap âm xáo động nhiệt là loại tap âm chung cho tất cả các trở kháng, trở tĩnh dưới ảnh hưởng của nhiệt độ.

+ Tap âm dòng điện là do các thay đổi bên trong của điện trở khi có dòng điện chạy qua nó.

Mức tap âm chủ yếu phụ thuộc vào vật liệu cảm điện.

Bột than nén có mức tap âm cao nhất.

Màng kim loại và dây quấn có mức tap âm thấp nhất.

3 - Cách ghi và đọc tham số trên thân điện trở

Trên thân điện trở thường ghi các tham số đặc trưng để tiện cho việc sử dụng, như là: trị số điện trở, dung sai, công suất tiêu tán (nếu có). Có thể ghi trực tiếp trên thân điện trở hoặc theo qui ước.

a - Cách ghi trực tiếp

Nếu thân điện trở đủ lớn (ví dụ như điện trở dây quấn) thì người ta ghi đầy đủ giá trị và đơn vị đo

Ví dụ: 220K 1W

(điện trở có trị số 220Ω , dung sai 10%, công suất tiêu tán cho phép là 1W).

b - Ghi theo qui ước

Không ghi đơn vị Ohm. Quy ước như sau:

+ Các chữ cái biểu thị đơn vị: R (hoặc E) = Ω ; M = $M\Omega$; K = $K\Omega$.

+ Vị trí của chữ cái biểu thị dấu thập phân

Chương II: Linh kiện thụ động

+ Chữ số cuối biểu thị hệ số nhân

Ví dụ: 6R8 = 6.8Ω
R3 = 0.3Ω
K47 = $0.47K\Omega$
150 = 150Ω
2M2 = $2.2M\Omega$
4R7 = $4E7 = 4.7\Omega$
332R = 33.100Ω

Qui ước theo mã

Gồm các số để chỉ thị trị số (chữ số cuối chỉ hệ số nhân hay số số 0 thêm vào) và chữ cái để chỉ % dung sai.

F = 1%; G = 2%; J = 5%; K = 10%; M = 20%

Ví dụ: 681J = 680Ω 5%
153K = 15000Ω 10%
4703G = $470K\Omega$ 2%

Qui ước màu

Khi các điện trở có kích thước nhỏ (ví dụ như điện trở than) thì người ta không thể ghi số và chữ lên được. Người ta sử dụng các vạch màu để ghi tham số. Có 2 loại vòng màu là loại 4 màu và 5 màu.

4 vòng màu

Hai vòng đầu chỉ số có nghĩa thực

Vòng ba chỉ số số 0 thêm vào

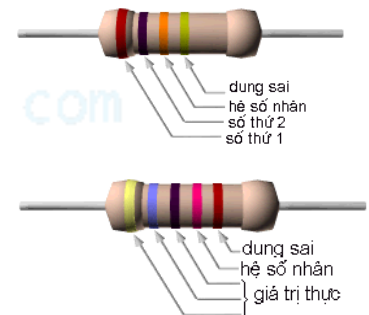
Vòng bốn chỉ dung sai

5 vòng màu

Ba vòng đầu chỉ số có nghĩa thực

Vòng bốn chỉ số số 0 thêm vào

Vòng năm chỉ dung sai



Bảng quy ước màu cho điện trở

Màu	Trị số thực Vạch 1,2 (3)	Hệ số nhân Vạch 3 (4)	Dung sai Vạch 4 (5)
Đen	0	10^0	
Nâu	1	10^1	1 %
Đỏ	2	10^2	2%
Cam	3	10^3	-
Vàng	4	10^4	-
Lục	5	10^5	-
Lam	6	10^6	-
Tím	7	10^7	-
Xám	8	10^8	-
Trắng	9	10^9	-

Chương II: Linh kiện thụ động

Vàng kim	-	10^{-1}	5 %
Bạch kim	-	10^{-2}	10%

Chú ý:

+ Vòng 1 là vòng gần đầu điện trở hơn vòng cuối cùng. Tuy nhiên, có nhiều điện trở có kích thước nhỏ nên khó phân biệt đầu nào gần đầu điện trở hơn, khi đó ta xem vòng nào được tráng nhũ thì vòng đó là vòng cuối. Nên để điện trở ra xa và quan sát bằng mắt, khi đó ta sẽ không nhìn thấy vòng tráng nhũ, nghĩa là dễ dàng nhận ra được vòng nào là vòng 1.

+ Trường hợp chỉ có 3 vòng màu thì sai số là $\pm 20\%$

+ Người ta không chế tạo điện trở có đủ các trị số từ nhỏ nhất đến lớn nhất mà chỉ chế tạo điện trở có trị số theo tiêu chuẩn (xem bảng dưới đây). Do vậy nếu cần những giá trị đặc biệt phải chọn giá trị gần trong bảng nhất hoặc phải đấu nối kết hợp nhiều điện trở với nhau để có giá trị thích hợp.

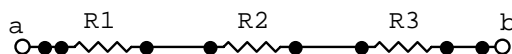
Bảng các giá trị sản xuất thực của điện trở

$<10 \Omega$	Ω		$K\Omega$		$M\Omega$	
0,33	10	180	1	18,0	0,27	6,5
0,5	12	220	1,2	22,0	0,33	8,2
1	15	270	1,5	27,0	0,39	10,0
1,5	18	330	1,8	33,0	0,47	12,0
2	22	390	2,2	39,0	0,56	15,0
3	27	470	2,7	47,0	0,68	18,0
3,3	33	560	3,3	56,0	0,82	22,0
3,9	39	680	3,9	68,0	1,0	
4	47	820	4,7	82,0	1,2	
4,7	56		5,6	100	1,8	
5	68		6,8	120	2,2	
5,6	82		8,2	150	2,7	
6	100		10,0	180	3,3	
6,5	120		12,0	220	4,7	
8	150		15,0		5,6	

4. Các kiểu mắc điện trở

a. Mắc nối tiếp

Giả sử mắc 3 điện trở nối tiếp nhau như hình vẽ, khi đó 3 điện trở này sẽ tương đương với 1 điện trở R_{td} .



Khi sử dụng điện trở thì cần quan tâm tới hai thông số kỹ thuật là trị số điện trở R và công suất tiêu tán P của nó. Bằng cách mắc nối tiếp nhiều điện trở ta sẽ có điện trở

Phạm Thanh Huyền_GTVT

Chương II: Linh kiện thụ động

tương đương có tham số như sau:

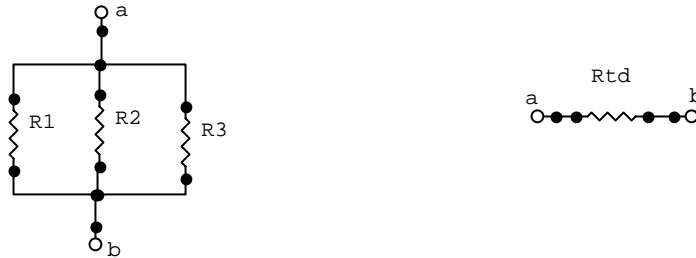
$$R_{td} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1)$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

Như vậy cách ghép nối tiếp sẽ làm tăng trị số điện trở và tăng công suất tiêu tán.

b. Mắc song song

Giả sử mắc 3 điện trở song song, khi đó coi như ta có 1 điện trở tương đương R_{td}



R_{td} có trị số điện trở và công suất tiêu tán như sau:

$$\frac{1}{R_{td}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (2)$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

Như vậy cách ghép song song làm tăng công suất tiêu tán nhưng làm giảm trị số điện trở.

Nếu mắc điện trở kiểu hỗn hợp (vừa nối tiếp, vừa song song) thì ta tính điện trở tương đương theo các công thức (1) và (2) còn công suất tiêu tán thì bằng tổng công suất tiêu tán của các điện trở thành phần.

Chú ý: Khi ghép nối điện trở nên chọn loại có cùng công suất nhiệt để tránh hiện tượng có một điện trở chịu nhiệt lớn. Khi thay thế điện trở cũng cần phải thay bằng điện trở không chỉ cùng trị số mà còn phải cùng công suất nhiệt.

5 - Phân loại và ứng dụng của điện trở

a - Phân loại

Có nhiều cách phân loại điện trở. Thông thường người ta chia thành 2 loại là điện trở có trị số cố định và điện trở có trị số biến đổi (biến trở).

Trong mỗi loại lại được chia nhỏ hơn theo những chỉ tiêu khác nhau

Điện trở có trị số cố định thường được phân loại:

+ Theo vật liệu cản điện

1. Điện trở than ép dạng thanh hoặc trụ chế tạo từ bột than (cacbon, chất dẫn điện rất tốt) trộn với chất liên kết (thường là pheno, chất không dẫn điện). Nung nóng để làm hoá thể rắn hỗn hợp trên theo dạng hình trụ và được bảo vệ bằng một lớp vỏ giấy phủ gốm hay lớp sơn. Trở kháng của sản phẩm cuối cùng phụ thuộc vào tỉ lệ của cacbon so với chất không dẫn điện cũng như khoảng cách giữa các đầu dây. Điện trở hợp chất carbon có độ ổn định cao, là loại điện trở phổ biến nhất, có công suất danh định từ 1/8W đến 1W hoặc 2W. Loại điện trở này có trị số có thể rất nhỏ hoặc rất lớn, giá trị từ 10Ω đến $20M\Omega$. Mặt khác, nó mang tính thuận trở, các yếu tố điện dung cũng như điện cảm hầu như

Chương II: Linh kiện thụ động

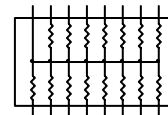
không đáng kể. Điều này làm cho điện trở hợp chất carbon được sử dụng rộng rãi trong các bộ xử lý tín hiệu radio.

3. Điện trở màng kim loại (còn gọi là điện trở dạng phim – film resistor) chế tạo theo cách kết lắng màng Ni-Cr trên thân gốm có xẻ rãnh xoắn sau đó phủ lớp sơn, loại này có độ ổn định cao hơn loại than nhưng giá thành cũng cao hơn vài lần.

4. Điện trở oxit kim loại: kết lắng màng oxit thiếc trên thanh SiO₂, có khả năng chống nhiệt và chống ẩm tốt, công suất danh định 1/2W

5. Điện trở dây quấn thường dùng khi yêu cầu giá trị điện trở rất thấp, chịu dòng lớn và công suất từ 1W đến 25W (trường hợp đặc biệt chúng chính là bộ đốt nóng bằng điện và có công suất lên tới hàng ngàn oát). Nó được cấu tạo bằng cách sử dụng một đoạn dây dẫn làm từ chất không dẫn điện tốt, ví dụ như nicrome. Dây dẫn sẽ quấn quanh một vật hình trụ giống như một cuộn dây (nên còn được gọi là điện trở cuộn dây). Trở kháng khi đó phụ thuộc vào vật liệu làm dây dẫn, đường kính và chiều dài dây dẫn. Nhược điểm chính của điện trở loại này là nó hoạt động như một bộ cảm ứng điện từ, nghĩa là không phù hợp với các mạch tần số cao.

6. Điện trở mạch tích hợp là các điện trở được chế tạo ngay trên một chip bán dẫn tạo thành một IC. Độ dài, loại vật liệu và độ tập trung của các chất pha trộn thêm vào sẽ quyết định giá trị của điện trở.



+ Theo công dụng

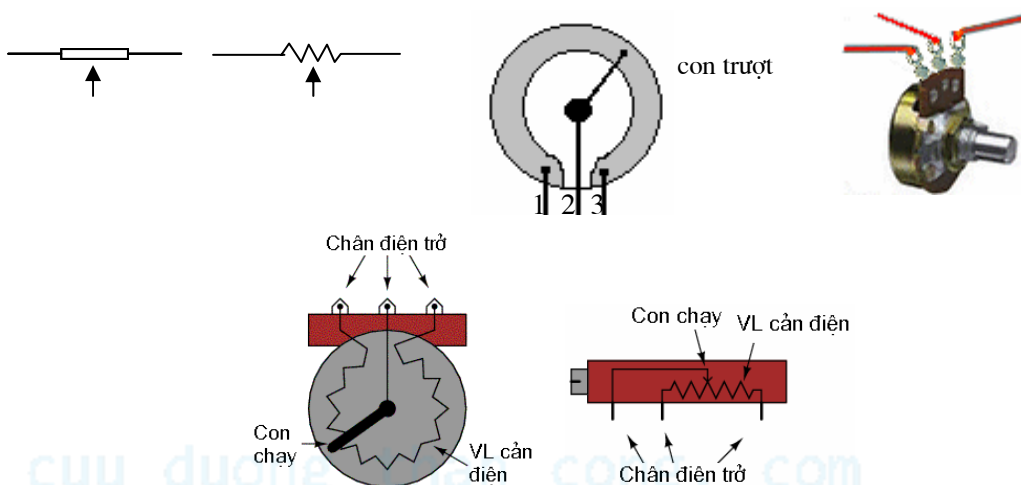
Loại chính xác

Loại bán chính xác

Loại đa dụng

Loại công suất

Điện trở có trị số thay đổi (biến trở – VR – Variable Resistor) có ký hiệu, hình dáng và cấu tạo như hình dưới đây.



Trong nhiều trường hợp khi muốn thay đổi giá trị trở kháng một cách linh hoạt và thuận tiện người ta phải sử dụng các linh kiện có trở kháng thay đổi, sự thay đổi này phụ thuộc vào vị trí của con trượt (gọi là potentiometer)

Biến trở còn được gọi là chiết áp được cấu tạo gồm một điện trở màng than hay dây quấn có dạng hình cung góc quay 270°. Chiết áp có một trục xoay ở giữa nối với một con trượt làm bằng than (cho biến trở dây quấn) hay làm bằng kim loại cho biến trở

Chương II: Linh kiện thụ động

than, con trượt sẽ ép lên mặt điện trở để tạo kiểu nối tiếp xúc làm thay đổi trị số điện trở khi xoay trục.

Biến trở dây quấn là loại biến trở tuyến tính có trị số điện trở tỉ lệ với góc xoay. Biến trở than là loại biến trở phi tuyến có trị số điện trở thay đổi theo hàm logarit với góc xoay (tức là ban đầu tăng nhanh sau con chạy càng dịch ra xa giá trị điện trở sẽ càng tăng chậm lại). Loại than có công suất danh định thấp từ $1/4 - 1/2$ W với giá trị điện hình: 100, 220, 470, 1K, 2.2K, 4.7K, 10K, 22K, 47K, 100K, 220K, 470K, 1M, 2.2M và 4.7M. Loại dây quấn có công suất danh định cao hơn từ 1W đến 3W với các giá trị điện hình: 10, 20, 47, 100, 220, 470, 1K, 2.2K, 4.7K, 10K, 22K và 47K.

Có 3 loại biến trở: đa dụng, chính xác và điều chuẩn (loại này còn gọi là trimơ, nó không có trục xoay mà phải điều chỉnh bằng cái vặn vít với độ chính xác rất cao)

b - Ứng dụng của điện trở

Trong sinh hoạt, điện trở được dùng để chế tạo các loại dụng cụ điện như bàn là, bếp điện, bóng đèn sợi đốt ...

Trong công nghiệp, điện trở được dùng để chế tạo các thiết bị sấy, sưởi, giới hạn dòng điện khởi động của động cơ ...

Trong lĩnh vực điện tử, điện trở được sử dụng để giới hạn dòng điện, tạo sụt áp, phân áp, định hằng số thời gian, phối hợp trở kháng, tiêu thụ năng lượng ...

c - Một số điện trở đặc biệt

+ Điện trở nhiệt (Th – Thermistor)

Là một linh kiện có trị số điện trở thay đổi theo nhiệt độ. Có 2 loại nhiệt trở là nhiệt trở âm và nhiệt trở dương. Trị số của nhiệt trở ghi trong sơ đồ là trị số đo được ở 25°C .

Ký hiệu và hình dáng của nhiệt trở:

Nhiệt trở có hệ số nhiệt dương là loại điện trở khi nhận nhiệt độ cao hơn thì trị số



của nó tăng lên và ngược lại. Nếu nhiệt trở làm bằng vật liệu kim loại thì nó có hệ số nhiệt dương. Điều này được giải thích là khi nhiệt độ tăng các nguyên tử ở các nút mạng sẽ dao động mạnh và làm cản trở quá trình di chuyển của điện tử.

Nhiệt trở có hệ số nhiệt âm là loại nhiệt trở khi nhận nhiệt độ cao hơn thì điện trở của nó giảm xuống và ngược lại khi nhiệt độ thấp hơn thì điện trở của nó tăng lên.

Các chất bán dẫn thường có hiệu ứng nhiệt âm (NTC). Trong chất bán dẫn không chỉ có vận tốc của hạt dẫn, mà quan trọng hơn, cả số lượng hạt dẫn cũng thay đổi theo nhiệt độ. Tại nhiệt độ thấp, các điện tử và lỗ trống không đủ năng lượng để nhảy từ vùng hoá trị lên vùng dẫn. Khi tăng nhiệt độ khiến các hạt dẫn đủ năng lượng để vượt qua vùng cấm, bởi thế độ dẫn sẽ gia tăng cùng với nhiệt độ. Nói cách khác khi nhiệt độ tăng thì trở kháng chất bán dẫn giảm. Với các chất NTC thì quan hệ giữa điện trở và nhiệt độ theo luật:

$$\frac{R_1}{R_2} = e^{B \cdot (1/T_1 - 1/T_2)}$$

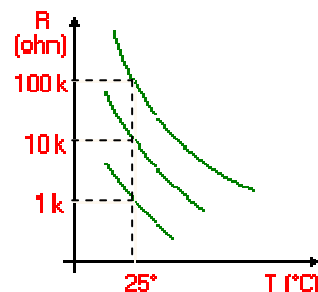
trong đó:

- $B = E_g / K$ là hệ số nhiệt trở
- $R_1 ; R_2$ là điện trở chất bán dẫn tại nhiệt độ T_1 và T_2 .
- E_g là độ rộng vùng cấm.
- K là hằng số Boltzmann.

Biến đổi công thức trên ta được:

$$B = \frac{\ln(R_1 / R_2)}{1/T_1 - 1/T_2}$$

Hình trên thể hiện sự phụ thuộc của điện trở vào nhiệt độ của chất NTC với các giá trị khác nhau của R .



Tuy nhiên, các chất nhạy cảm nhiệt có thể có hiệu ứng nhiệt dương, bởi thế chúng được gọi là các chất PTC.

Nhiệt trở thường được sử dụng để ổn định nhiệt cho các mạch của thiết bị điện tử (đặc biệt là tầng khuếch đại công suất) để điều chỉnh nhiệt độ hay làm linh kiện cảm biến trong các hệ thống tự động điều khiển theo nhiệt độ.

Ví dụ: Trong các bộ ampli, khi hoạt động lâu các sò công suất sẽ nóng lên, nhờ sử dụng nhiệt trở mà sự thay đổi của nhiệt độ được thể hiện ở sự thay đổi của trị số điện trở làm cho dòng điện qua sò công suất yếu đi, tức là bớt nóng hơn.

+ Điện trở tùy áp (VDR – Voltage Dependent Resistor)

VDR còn gọi là varistor là một linh kiện bán dẫn có trị số điện trở thay đổi khi điện áp đặt lên nó thay đổi.

Ký hiệu và hình dáng của VDR như hình sau:

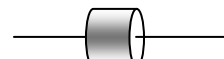
Khi điện áp giữa hai cực ở dưới trị số quy định thì VDR có trị số điện trở rất lớn



VDR



VDR



coi như hở mạch. Khi điện áp này tăng lên thì VDR sẽ có trị số giảm xuống để ổn định điện áp ở hai đầu nó. Giá trị điện áp mà VDR ổn định được cho trước bởi nhà sản xuất, đây chính là thông số đặc trưng cho VDR.

VDR thường được mắc song song với các cuộn dây có hệ số tự cảm lớn để dập tắt các điện áp cảm ứng quá cao khi cuộn dây bị mất dòng điện đột ngột tránh làm hỏng các linh kiện trong mạch.

+ Điện trở quang (Photo Resistor)

Điện trở quang hay còn gọi là quang trở là thiết bị bán dẫn nhạy cảm với bức xạ điện từ quanh phổ ánh sáng nhìn thấy (có bước sóng từ 380 và 780 nm).

Quang trở được tạo nên từ một lớp vật liệu bán dẫn mỏng, thường là CdS (Cadmi sulfua). Bức xạ ánh sáng ngẫu nhiên sẽ truyền một phần năng lượng của nó cho các cặp điện tử-lỗ trống, các cặp này có thể đạt mức năng lượng đủ lớn để nhảy lên vùng dẫn. Kết quả hình thành nhiều cặp hạt dẫn tự do, khiến độ dẫn tăng và trở kháng giảm. Số lượng các hạt dẫn tạo ra sẽ tỷ lệ với cường độ bức xạ ánh sáng. Độ chiếu sáng càng

Chương II: Linh kiện thụ động

mạnh thì điện trở có trị số càng nhỏ và ngược lại. Khi quang trở bị che tối điện trở của nó khoảng vài trăm $K\Omega$ đến vài $M\Omega$. Khi được chiếu sáng thì giá trị điện trở này khoảng vài trăm Ω đến vài $K\Omega$.

Trong ứng dụng thực tế một điện áp ngoài sẽ được đấu vào các cực của quang trở. Cho ánh sáng chiếu vào, khi đó dòng có thể chảy qua quang trở và chảy trong mạch ngoài với cường độ tùy thuộc vào cường độ sáng.

Quang trở thường được sử dụng trong các mạch tự động điều khiển bằng ánh sáng như: phát hiện người qua cửa, tự động mở đèn khi trời tối, điều chỉnh độ sáng và độ nét tự động ở màn hình LCD, camera ...

(các thông số cụ thể của quang trở xem chi tiết ở chương 4 – Linh kiện quang điện tử)

II. TỤ ĐIỆN (CAPACITOR)

Tụ điện là phần tử có giá trị dòng điện i qua nó tỉ lệ với tốc độ biến đổi điện áp u trên nó theo thời gian với công thức:

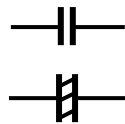
$$i = C \frac{du}{dt}$$

Tụ điện dùng để tích và phóng điện.

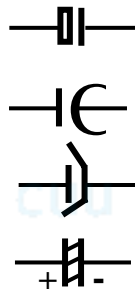
1. Ký hiệu và cấu tạo của tụ điện

a. Ký hiệu và hình dáng của tụ điện

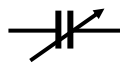
Tụ thường
(Tụ không
phân cực)



Tụ phân cực



Tụ biến đổi



b. Cấu tạo

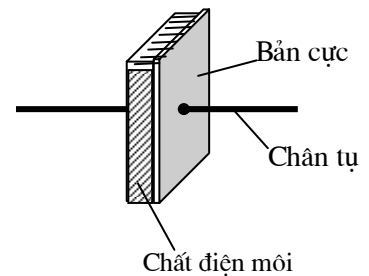
Tụ thường

Về cấu tạo, tụ không phân cực gồm các lá kim loại xen kẽ với các lá làm bằng chất cách điện gọi là chất điện môi. Tên của tụ được đặt theo tên chất điện môi như tụ giấy, tụ gốm, tụ mica, tụ dầu ...

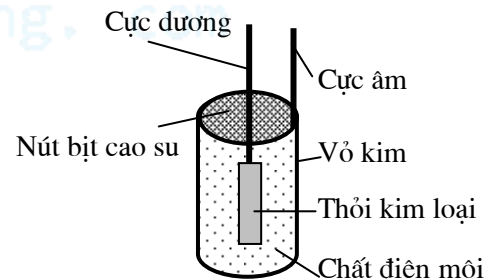
Giá trị của tụ thường có điện dung từ $1,8\text{pF}$ tới $1\mu\text{F}$, khi giá trị điện dung lớn hơn thì kích thước của tụ khá lớn nên khi đó chế tạo loại phân cực tính sẽ giảm được kích thước đi một cách đáng kể.

Tụ điện phân

Tụ điện phân có cấu tạo gồm 2 điện cực tách rời nhau nhờ một màng mỏng chất điện phân, khi có một điện áp tác động lên hai điện cực sẽ xuất hiện một màng oxit kim loại không dẫn điện đóng vai trò như lớp điện môi. Lớp điện môi càng mỏng kích thước của tụ càng nhỏ mà điện dung lại càng lớn. Đây là loại tụ có cực tính được xác định và đánh dấu trên thân tụ, nếu nối ngược cực tính lớp điện môi có thể bị phá huỷ và làm hỏng tụ (nổ tụ), loại này dễ bị rò điện do lượng điện phân còn dư.

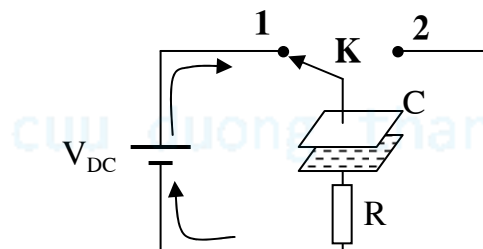


Ví dụ: Tụ hoá có cấu tạo đặc biệt, vỏ ngoài bằng nhôm làm cực âm, bên trong vỏ nhôm có thỏi kim loại (đồng hoặc nhôm) làm cực dương. Giữa cực dương và cực âm là chất điện phân bằng hoá chất (thường là axitboric) nên gọi là tụ hoá.



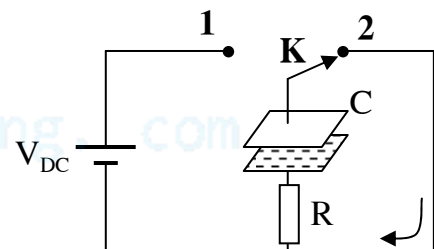
2. Đặc tính nạp và xả điện của tụ

Tụ điện hoạt động dựa trên nguyên tắc nạp và xả điện được minh hoạ trong hình dưới đây:



Tụ nạp điện (hình bên trái)

Khi khoá K ở vị trí 1 tụ được nạp điện với bản cực phía trên mang điện tích dương, bản cực phía dưới mang điện tích âm. Điện áp trên tụ tăng dần từ 0 V đến điện áp nguồn



Chương II: Linh kiện thụ động

V_{DC} theo hàm mũ với thời gian t . Điện áp tức thời trên hai bản tụ được tính theo công thức :

$$v_C(t) = V_{DC}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

trong đó : t : thời gian tụ nạp, đơn vị là giây (s)

$$e = 2,71828$$

$\tau = RC$ là hằng số thời gian nạp của tụ, đơn vị là giây (s)

Sau khoảng thời gian $t = \tau$ tụ nạp được $0,63V_{DC}$ và sau $t = 5\tau$ tụ nạp được $0,99V_{DC}$ và coi như tụ được nạp đầy.

Trong khi điện áp trên tụ tăng theo hàm mũ như phân tích ở trên thì dòng điện nạp cho tụ lại giảm dần từ trị số cực đại ban đầu $I = \frac{V_{DC}}{R}$ xuống trị số cuối cùng là 0A.

Dòng điện nạp tức thời được tính theo công thức:

$$i_C(t) = \frac{V_{DC}}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Tụ xả điện (hình bên phải)

Sau khi tụ được nạp đầy, điện áp trên tụ là $V_C \approx V_{DC}$, chuyển khoá K sang vị trí 2 tụ xả điện qua điện trở R, dòng và áp trên tụ giảm dần từ giá trị lớn nhất về 0 theo hàm mũ với thời gian (nếu sử dụng bóng đèn thay cho điện trở R sẽ thấy bóng đèn sáng lên và yếu dần rồi tắt hẳn). Dòng điện do tụ xả chính là nhờ năng lượng đã được nạp trong tụ. Năng lượng này được tính theo công thức :

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

với W : điện năng tính bằng Jun (J)

C : điện dung của tụ tính bằng Fara (F)

V : điện áp trên tụ tính bằng Vôn (V)

Điện áp và dòng điện tức thời trên tụ được tính theo công thức:

$$v_C(t) = V_{DC} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$i_C(t) = \frac{V_{DC}}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Sau một khoảng thời gian $t = \tau$ tụ xả, điện áp trên tụ còn $0,37V_{DC}$ và khi $t = 5\tau$ coi như tụ xả hết, điện áp trên tụ bằng 0

3. Đặc tính của tụ điện đối với dòng điện xoay chiều.

Đối với tụ điện, điện tích tụ nạp được tính theo công thức:

$$Q = C \cdot V = I \cdot t$$

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

Như vậy điện áp trên tụ chính là sự tích tụ của dòng điện nạp vào tụ theo thời gian

Chương II: Linh kiện thụ động

t (trong toán học biểu diễn bởi phép tính tích phân). Một cách tổng quát có thể viết như sau:

$$v_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) \cdot dt$$

Nếu dòng điện có dạng xoay chiều hình sin có trị số tức thời là:

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

$$\Rightarrow v_C(t) = \frac{1}{\omega C} \cdot I_m \cdot \sin(\omega t - 90^\circ) = V_m \cdot \sin(\omega t - 90^\circ)$$

Nghĩa là, điện áp trên tụ cũng là một trị số thay đổi theo dòng điện nhưng trễ pha đi 90° .

Ngoài ra, nếu áp dụng định luật Ohm cho tụ ta có:

$$V_m = \frac{1}{\omega C} \cdot I_m \Rightarrow \frac{V_m}{I_m} = \frac{1}{\omega C}$$

Như vậy, $\frac{1}{\omega C}$ có ý nghĩa như là điện trở, đối với tụ điện người ta gọi đó là dung kháng và ký hiệu là X_C

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \quad \text{đơn vị tính là Ohm } (\Omega)$$

4. Các tham số cơ bản của tụ điện

a. Trị số điện dung và dung sai

Để đặc trưng cho khả năng nạp, xả điện của tụ ít hay nhiều người ta đưa ra khái niệm điện dung (dung lượng điện) để ước lượng.

Điện dung của tụ được tính theo công thức:

$$C = \varepsilon \cdot \frac{S}{d} \quad [F]$$

với ε là hằng số điện môi của chất cách điện

S là diện tích hiệu dụng của bản cực [m^2]

d là khoảng cách giữa hai bản cực [m]

Hằng số điện môi của một số chất cách điện thông dụng để làm tụ điện có trị số như sau:

Không khí khô $\varepsilon = 1$

Parafin $\varepsilon = 2$

Nhựa ebonit $\varepsilon = 2,7 \div 2,9$

Giấy tẩm dầu $\varepsilon = 3,6$

Gốm $\varepsilon = 5,5$

Mica $\varepsilon = 4 \div 5$

Trị số của điện dung được tính bằng F (fara) nhưng trên thực tế đơn vị này rất lớn nên không sử dụng mà thường dùng ước số của fara

Microfara $1 \mu F = 10^{-6} F$

Chương II: Linh kiện thụ động

Nanofara 1 nF = 10^{-9} F

Picofara 1 pF = 10^{-12} F

Dung sai của tụ điện biểu thị độ chính xác của trị số điện dung thực tế so với giá trị điện dung danh định của tụ điện và được tính bằng:

$$\frac{C_{tt} - C_{dd}}{C_{dd}} 100\%$$

Tùy theo yêu cầu của mạch mà cần tụ có độ chính xác tương ứng, có tụ có dung sai 0,001% nhưng cũng có tụ có dung sai 150%. Với tụ sử dụng trong kỹ thuật điện tử thông thường thì tụ có dung sai từ 5 – 20%

b. Trở kháng của tụ điện

Tụ điện là một linh kiện có tác dụng ngăn dòng một chiều chảy qua nó (ở trạng thái xác lập ổn định). Trở kháng của tụ điện được xác định một cách tổng quát như sau:

$$Z_C = \frac{1}{j2\pi f \cdot C} = \frac{1}{j} \cdot X_C$$

với f là tần số của tín hiệu xoay chiều tác dụng lên tụ

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \text{ gọi là dung kháng của tụ}$$

Nhận xét:

- + Tụ điện không cho thành phần một chiều qua
- + Khi tần số tín hiệu tác động lên tụ càng tăng, trở kháng của tụ càng giảm. Nghĩa là, tín hiệu tần số càng cao càng dễ qua tụ. Hơn nữa, tụ có trị số điện dung càng lớn càng dễ cho tín hiệu tần số thấp qua.

c. Điện áp làm việc

Khi nạp điện cho tụ tức là đặt vào các chân tụ một điện áp, người ta gọi điện áp làm việc của tụ chính là điện áp một chiều lớn nhất mà tụ có thể chịu được, tức là nếu quá giá trị này thì tụ bị nổ (nên còn gọi là điện áp đánh thủng).

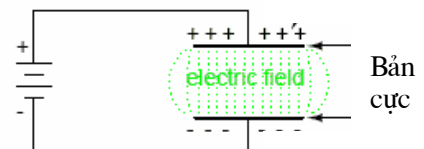
Điều này được giải thích như sau: khi đặt vào tụ một điện áp lớn thì sẽ sinh ra một lực điện trường mạnh làm cho các điện tử trong nguyên tử chất điện môi bị bức xạ thành các điện tử tự do và sẽ có dòng điện chạy qua chất điện môi, lúc này chất điện môi bị đánh thủng. Do vậy khi sử dụng tụ điện để nạp và xả điện thì cần chọn tụ có điện áp đánh thủng lớn hơn điện áp đặt vào tụ vài lần.

Điện áp đánh thủng của điện môi phụ thuộc vào tính chất của lớp điện môi và bề dày của nó nên các tụ chịu được điện áp lớn thường là tụ có kích thước lớn và làm bằng chất điện môi tốt (ví dụ như mica, gốm hay ebonit)

d. Hệ số nhiệt

Mỗi loại tụ chỉ làm việc trong một môi trường làm việc có dải nhiệt độ nhất định.

Ví dụ: -20°C - +65°C



-40°C - +65°C
-55°C - +125°C

Tương tự như với điện trở người ta dùng hệ số nhiệt TCC để đánh giá sự biến đổi của trị số điện dung khi nhiệt độ thay đổi

$$TCC = \frac{1}{C} \cdot \frac{\Delta C}{\Delta T} \cdot 10^6 \text{ [ppm/}^\circ\text{C]}$$

ΔC là lượng tăng giảm của điện dung khi nhiệt độ thay đổi một lượng ΔT
TCC càng nhỏ càng tốt vì khi đó giá trị điện dung C sẽ càng ổn định

e. Dòng điện rò

Dòng điện rò là dòng chạy qua giữa 2 bản cực của tụ điện, nó phụ thuộc vào điện trở cách điện của chất điện môi.

Khi đặt một điện áp lên tụ thì dung kháng của tụ được tính bằng:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \text{ với } f \text{ [Hz] là tần số của điện áp đặt lên tụ}$$

Như vậy dung kháng của tụ phụ thuộc vào tần số và giảm khi tần số tăng, đối với thành phần một chiều ($f=0$) có thể coi dung kháng của tụ là lớn vô cùng, nghĩa là không có dòng rò nhưng trên thực tế, thành phần này luôn tồn tại và phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ.

Tụ điện giải có dòng rò lớn nhất (cỡ vài mA khi điện áp đặt lên tụ lớn hơn 10V). Tụ điện mica và tụ gốm có dòng rò nhỏ nhất.

5. Cách ghi và đọc tham số trên tụ điện

Các tham số ghi trên thân tụ điện là điện dung (có kèm theo dung sai) và điện áp làm việc.

Có hai cách ghi là ghi trực tiếp và ghi theo quy ước.

a. Cách ghi trực tiếp

Cách ghi này áp dụng cho tụ có kích thước lớn như tụ hoá, tụ mica

Ví dụ: trên thân tụ hoá có ghi 100 μF , 50V, +85°C nghĩa là tụ có điện dung 100 μF , điện áp một chiều lớn nhất mà tụ chịu được là 50V và nhiệt độ cao nhất mà nó không bị hỏng là 85°C.

b. Cách ghi theo quy ước

Cách ghi này dùng cho tụ có kích thước nhỏ, gồm các số và chữ với một số kiểu quy ước như sau:

Với loại tụ ký hiệu bằng 3 chữ số và 1 chữ cái

+ Đơn vị là pF

+ Chữ số cuối cùng chỉ số số 0 thêm vào

Chương II: Linh kiện thụ động

+ Chữ cái chỉ dung sai

Bảng ý nghĩa của chữ số thứ 3

Chữ số	Hệ số nhân
0	1
1	10
2	100
3	1000
4	10.000
5	100.000
6	Không sử dụng
7	Không sử dụng
8	0,01
9	0,1

Bảng quy ước dung sai cho chữ cái cuối cùng

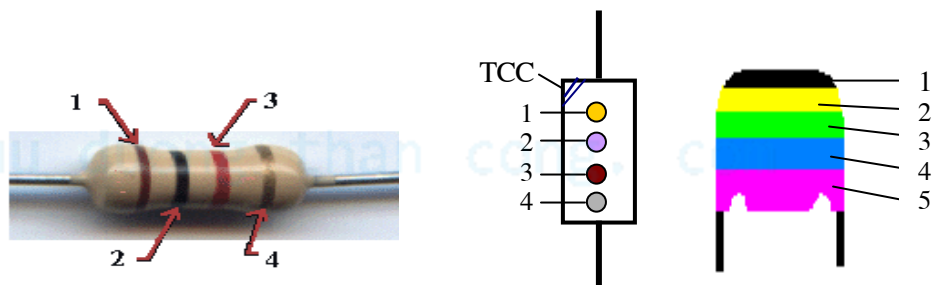
Chữ cái	Dung sai	Chữ cái	Dung sai
B	+/- 0.10%	J	+/- 5%
C	+/- 0.25%	K	+/- 10%
D	+/- 0.5%	M	+/- 20%
E	+/- 0.5%	N	+/- 0.05%
F	+/- 1%	P	+100% , -0%
G	+/- 2%	Z	+80%, -20%
H	+/- 3%		

ví dụ:

Cách ghi	Ý nghĩa
0.047 200 VDC	Tụ có điện dung 0,047 μF , điện áp một chiều lớn nhất mà tụ chịu được là 200 V (tụ màng mỏng)
2.2 / 35	Tụ có điện dung 2,2 μF , điện áp chịu đựng là 35V (tụ tantan)
102J	Tụ có điện dung 1000 pF = 1 nF, dung sai 5%
.22K	Tụ có điện dung 0,22 μF , dung sai 10%
474F	Tụ có điện dung 0,47 μF , dung sai 1%

Trong kỹ thuật điện tử thông thường tụ điện thường có dung sai từ $\pm 5\%$ đến $\pm 20\%$

Ghi theo quy ước vạch màu (gần giống như điện trở)



Chương II: Linh kiện thụ động

Loại 4 vạch màu

Vạch 1, 2 là số thực có nghĩa

Vạch 3 là chỉ số số 0 thêm vào (với đơn vị pF)

Vạch 4 chỉ điện áp làm việc

Loại 5 vạch màu

Vạch 1, 2 là số thực có nghĩa

Vạch 3 là chỉ số số 0 thêm vào (với đơn vị pF)

Vạch 4 chỉ dung sai

Vạch 5 chỉ điện áp làm việc

Bảng quy ước màu cho tụ điện

Màu	Trị số thực	Hệ số nhân	Dung sai	Điện áp làm việc [V]	
				Nhôm	Tantan
Đen	0	10^0	-	-	10
Nâu	1	10^1	$\pm 1\%$	100	-
Đỏ	2	10^2	$\pm 2\%$	250	-
Cam	3	10^3	-	-	-
Vàng	4	10^4	-	400	6,3
Lục	5	10^5	$\pm 0,5\%$	-	16
Lam	6	10^6	$\pm 0,2\%$	630	20
Tím	7	10^7	$\pm 0,1\%$	-	-
Xám	8	10^8	-	-	25
Trắng	9	10^9	+ 5%, -20%	-	3
Vàng kim	-	10^{-1}	$\pm 5\%$	-	-
Bạch kim	-	10^{-2}	$\pm 10\%$	-	-
Hồng	-	-	-	-	35

Bảng mã màu TCC

Màu	TCC [ppm/ $^{\circ}$ C]	Màu	TCC [ppm/ $^{\circ}$ C]
Đen	0	Vàng	220
Đỏ	75	Xanh lá cây	330
Đỏ tím	100	Xanh lam	430
Cam	150	Tím	750

Tương tự như điện trở, tụ điện chỉ được sản xuất với các trị số điện dung tiêu chuẩn với các số thứ nhất và thứ 2 như sau:

10	27	68
12	33	75
15	39	82
18	47	
22	56	

Phạm Thanh Huyền_GTVT

Chương II: Linh kiện thụ động

Do vậy để có trị số điện dung mong muốn cần mắc tụ theo kiểu nối tiếp, song song hay hỗn hợp.

6. Các kiểu ghép tụ

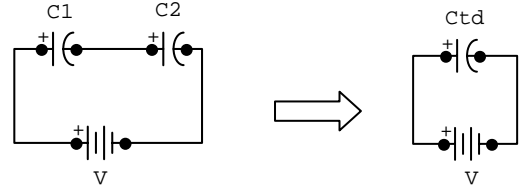
a. Tụ điện ghép nối tiếp

Khi ghép các tụ nối tiếp ta sẽ có trị số điện dung và điện áp làm việc của tụ tương đương như sau:

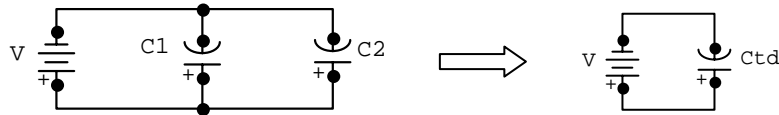
$$\frac{1}{C_{td}} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2}$$

$$U = U1 + U2$$

Như vậy ghép nối tiếp tụ điện sẽ làm tăng điện áp làm việc nhưng làm giảm trị số điện dung.



b. Tụ điện mắc song song



Công thức tính điện dung và điện áp làm việc của tụ tương đương như sau:

$$C_{td} = C1 + C2$$

$$U = \min(U1, U2)$$

Như vậy ghép song song cho làm tăng giá trị điện dung còn điện áp làm việc bằng điện áp làm việc nhỏ nhất của các tụ thành phần (do đó nên chọn các tụ có điện áp làm việc bằng nhau nếu ghép song song).

7. Phân loại tụ điện

Người ta thường phân loại tụ điện thành loại tụ có trị số không đổi và tụ có trị số biến đổi. Trong các loại tụ này người ta lại tiếp tục phân chia theo chất điện môi làm tụ đó.

Tụ có trị số điện dung không đổi

a. Tụ oxit hoá (gọi tắt là tụ hoá)

Ký hiệu và hình dáng của tụ hoá



Tụ hoá (hay còn gọi là tụ điện phân, tụ điện giải) có điện dung lớn từ 1 μF đến 10.000 μF là loại tụ có phân loại cực tính dương và âm, điện áp làm việc nhỏ hơn 500V.

Chương II: Linh kiện thụ động

Tụ hoá được chế tạo với bản cực nhôm và bề mặt cực dương có một lớp oxit nhôm và lớp bột khí có đặc tính cách điện để làm chất điện môi. Do lớp oxit nhôm rất mỏng nên điện dung của tụ lớn và điện áp đánh thủng nhỏ. Tụ có kích thước càng lớn thì điện dung càng lớn. Khi sử dụng tụ cần chú ý cực tính của tụ để tránh làm hỏng tụ. Do có kích thước lớn nên các giá trị điện dung, điện áp làm việc, nhiệt độ, đánh dấu cực tính đều được ghi rất rõ ràng trên thân tụ hoá.

Do có điện dung lớn nên tụ hoá thường được sử dụng làm tụ san phẳng điện áp trong các mạch nguồn (tụ có điện dung càng lớn càng tốt) hay tụ lọc khu vực tần số thấp.

b. Tụ gốm (ceramic)

Tụ gốm có điện dung từ 1 pF đến 1 μ F là loại tụ không có cực tính và điện áp làm việc lớn đến vài trăm vôn nhưng dòng điện rò khá lớn. Tụ gốm có thường có dạng đĩa, dạng phiến, đơn khối hoặc dạng ống.

Tụ gốm được cấu tạo bằng cách lắng đọng màng kim loại trên hai mặt của một đĩa

Ký hiệu và hình dáng của tụ gốm



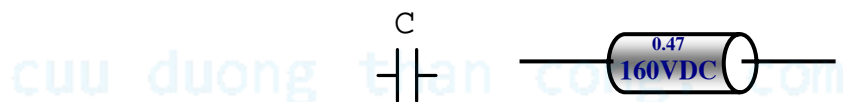
gốm mỏng. Dây dẫn nối tới màng kim loại và tất cả được bọc trong vỏ chất dẻo. Về hình dáng tụ gốm có nhiều dạng và nhiều cách ghi trị số khác nhau.

Tụ gốm thường được sử dụng để nối tắt tín hiệu cao tần xuống đất. Do tính ổn định không cao, gây nhiễu cho tín hiệu nên tụ gốm không được dùng cho các mạch gia công tín hiệu tương tự.

c. Tụ giấy

Tụ giấy là loại tụ không có cực tính gồm có hai bản cực là các băng kim loại dài, ở giữa có lớp cách điện là giấy tẩm dầu và cuộn lại thành ống. Điện áp làm việc của tụ giấy có thể lên tới 1000V với giá trị điện dung từ 0,001 μ F – 0,1 μ F. Loại tụ này càng ngày càng ít được sử dụng do kích thước lớn.

Ký hiệu và hình dáng của tụ giấy

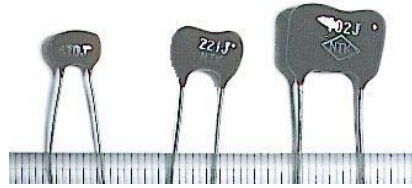
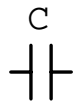


d. Tụ mica

Tụ mica tráng bạc là loại tụ không có cực tính, điện dung từ 2,2pF - 10nF, điện áp làm việc rất cao, trên 1000V.

Ký hiệu và hình dáng của tụ mica

Phạm Thanh Huyền_GTVT



Tụ mica được cấu tạo từ các lá kim loại đặt xen kẽ với các lá mica, một chân tụ là dây nối các lá kim loại chẵn và chân tụ kia là dây dẫn nối các lá kim loại lẻ, tất cả được bọc trong vỏ chất dẻo. Thông thường người ta dùng phương pháp lắng đọng kim loại lên các lớp mica để tăng hệ số phẩm chất của tụ.

Tụ mica đắt tiền hơn tụ gốm vì ít sai số, đáp tuyến tần số cao tốt, độ bền cao. Cách ghi và đọc thông số của tụ mica giống như tụ gốm nhưng với một số loại kích thước quá nhỏ thì người ta sử dụng các chấm màu để ghi trị số điện dung và đọc như điện trở.

e. Tụ màng mỏng

Là loại tụ không có cực tính có chất điện dung là polyeste, polyetylen, polystyrene hay polypropylene Tụ màng mỏng có điện dung từ vài trăm pF đến vài chục μF , điện áp làm việc từ hàng trăm đến hàng chục ngàn vôn.

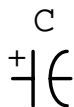
Ký hiệu và hình dáng của tụ màng mỏng



f. Tụ tantan

Tụ tantan là **loại tụ có phân biệt cực tính** với điện cực làm bằng tantan, điện dung của tụ có thể rất cao từ 0,1 μF đến 100 μF nhưng kích thước cực nhỏ. Điện áp làm việc của tụ tantan thấp chỉ vài chục vôn.

Ký hiệu và hình dáng của tụ tantan



Xét về mặt ổn định nhiệt và đặc tuyến tần số ở khu vực tần số cao thì tụ tantan tốt hơn nhiều so với tụ nhôm, do vậy với các mạch yêu cầu độ ổn định trị số điện dung cao

thì người ta phải sử dụng tụ tantan thay cho tụ nhôm dù tụ này có đắt hơn tụ nhôm.

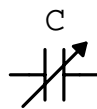
Tụ có trị số điện dung biến đổi

Đây là loại tụ mà trong quá trình làm việc ta có thể điều chỉnh trị số điện dung của chúng.

g. Tụ xoay

Tụ xoay (hay còn gọi là tụ đa dụng) được cấu tạo bởi 2 má kim loại đặt song song với nhau, trong đó có một má tĩnh và một má động. Chất điện môi có thể là không khí, mica, gốm hay màng chất dẻo ...

Ký hiệu và hình dáng của tụ xoay



Khi xoay trục của tụ xoay các lá động sẽ di chuyển giữa các lá tĩnh để làm thay đổi trị số điện dung của tụ.

Tụ xoay thường được sử dụng trong các mạch cộng hưởng chọn sóng để dò kênh trong máy thu thanh (với điện dung thay đổi từ 0 đến 270 pF).

h. Tụ vi chỉnh (trimcap)

Tụ vi chỉnh (hay còn gọi là tụ điều chuẩn) có cấu tạo tương tự như tụ xoay nhưng kích thước nhỏ hơn rất nhiều, không có núm vặn điều chỉnh mà chỉ có rãnh điều chỉnh bằng tuốc vít.

Ký hiệu và hình dáng của trimcap



Trị số của tụ vi chỉnh thường nhỏ từ 0 đến vài chục pF. Loại tụ này thường được mắc kết hợp với tụ xoay và dùng chủ yếu để cân chỉnh mạch.

i. Tụ đồng trục chỉnh

Đây là loại tụ có một lá tĩnh và nhiều lá động cùng gắn trên một trục, khi xoay trục sẽ cùng lúc thay đổi giá trị của nhiều tụ. Ứng dụng này thường gặp trong các mạch chọn đài của máy radio, chọn cộng hưởng ...

Ký hiệu và hình dáng thực tế của tụ đồng trục chỉnh



8. Các ứng dụng của tụ điện

a. Tụ dẫn điện ở tần số cao

Dung kháng của tụ được tính theo công thức

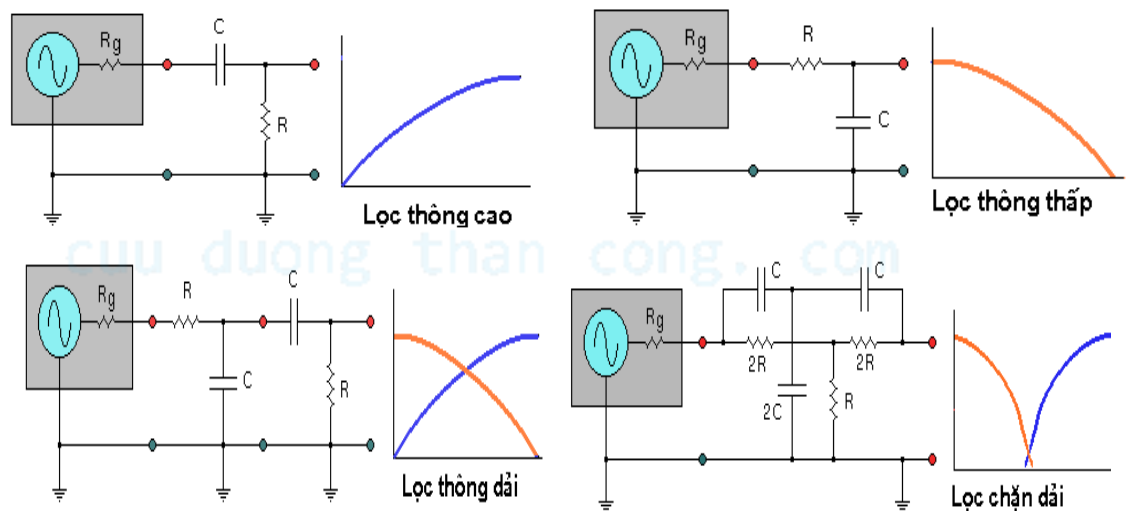
$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

Như vậy dung kháng của tụ tỉ lệ nghịch với tần số f của dòng điện qua nó. Ở tần số càng cao thì dung kháng X_c càng nhỏ nên dòng điện qua dễ dàng, ngược lại tần số thấp qua tụ khó hơn và có thể coi tụ chặn thành phần một chiều (khi $f = 0$, $X_c = \infty$). Hơn nữa, nếu ở cùng một tần số thì tụ có điện dung lớn sẽ có dung kháng nhỏ hơn tụ có điện dung nhỏ.

Dựa vào đặc tính dẫn điện phụ thuộc vào tần số người ta sử dụng tụ cho các mục đích:

- + Tụ liên lạc: để dẫn tín hiệu xoay chiều đồng thời chặn thành phần một chiều qua các tầng. (nếu tín hiệu xoay chiều tần số cao có thể sử dụng cả tụ phân cực và tụ thường nhưng nếu ở tín hiệu tần số thấp thì phải sử dụng tụ phân cực vì loại tụ này có điện dung lớn)
- + Tụ thoát: dùng để loại bỏ tín hiệu không cần thiết (thường là tạp âm) xuống đất
- + Tụ lọc: dùng trong các mạch lọc để phân chia dải tần (lọc thông cao, thông thấp hay lọc dải). Khi này có thể kết hợp tụ với điện trở hoặc với cuộn dây để tạo ra các mạch lọc thụ động.

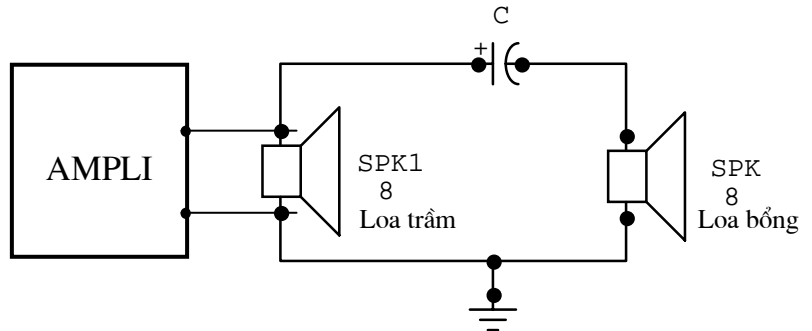
Dưới đây là một số ví dụ về sơ đồ mạch lọc thụ động RC



Chương II: Linh kiện thụ động

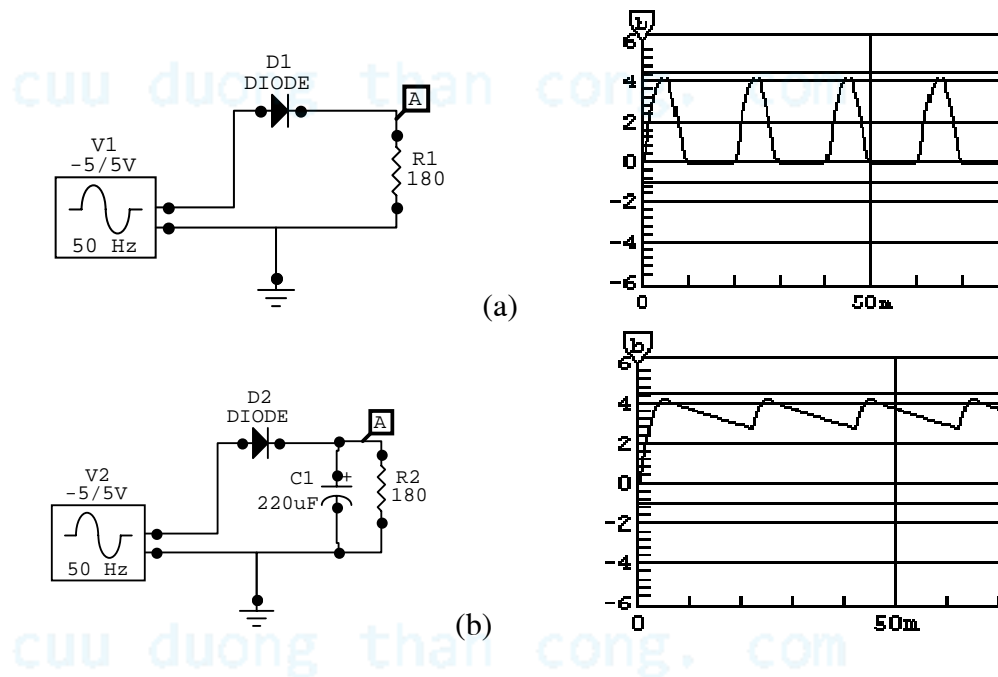
+ Tự cộng hưởng: dùng trong các mạch cộng hưởng LC để bắt tín hiệu hay triệt tín hiệu ở tần số cộng hưởng của mạch.

Ví dụ: Đối với tín hiệu âm thanh thì âm bổng thuộc loại tần số cao nên tín hiệu âm bổng sẽ qua được tụ để đưa vào loa bổng còn âm trầm tần số thấp sẽ bị chặn lại và đi vào loa trầm.



b. Tụ nạp xả điện trong mạch lọc nguồn

Giả sử có mạch nắn điện sử dụng một diode như hình vẽ dưới đây. Diode có tác dụng chỉ cho bán kỳ dương của dòng điện xoay chiều đi qua và chặn lại bán kỳ âm. Dòng điện qua tải sẽ có dạng là những bán kỳ dương gián đoạn (hình a). Nếu mắc thêm tụ song song với tải thì tụ sẽ nạp điện ở bán kỳ dương và xả điện ở bán kỳ âm, như vậy nhờ có tụ mà dòng điện qua tải được liên tục và giảm bớt hệ số đập mạch của dòng điện xoay chiều hình sin (hình b).



Chương II: Linh kiện thụ động

III. CUỘN CẢM

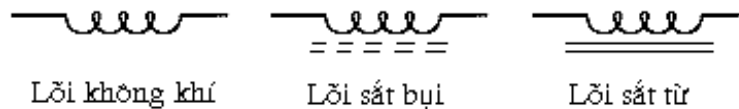
Cuộn cảm cùng với tụ điện là hai loại linh kiện chống lại dòng điện xoay chiều bằng cách lưu trữ tạm thời một số lượng điện. Cuộn cảm sẽ lưu trữ một lượng điện như một từ trường. Hoạt động của thành phần này gọi là tự cảm.

Các cuộn cảm thường bao gồm các cuộn dây, đôi khi là một đoạn dây hay một cặp dây. Độ tự cảm có thể có ở nhiều nơi và trở nên đáng quan tâm khi tần số của dòng xoay chiều tăng lên. Phần này chúng ta sẽ đi sâu tìm hiểu các đặc tính và hoạt động của cuộn cảm ở dạng cuộn dây.

1. Cấu tạo và ký hiệu của cuộn dây

Cuộn dây là một dây dẫn điện có bọc bên ngoài lớp sơn cách điện (thường được gọi là dây điện từ) quấn nhiều vòng liên tiếp trên một lõi. Lõi có thể có từ tính hoặc không có từ tính (tương ứng với khả năng gia tăng mật độ thông lượng từ hay không)

Tùy vào loại lõi mà cuộn dây có ký hiệu như sau:



Cuộn dây có lõi sắt lá dùng cho các dòng điện xoay chiều tần số thấp, lõi sắt bụi cho tần số cao và lõi không khí cho tần số rất cao.

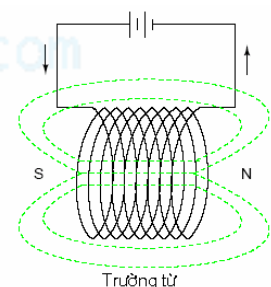
Hình dáng thực tế của cuộn dây



* Tạo cảm ứng điện từ

Cuộn dây được dùng để tạo ra cảm ứng điện từ. Cho dòng điện một chiều cường độ I chạy qua cuộn dây thì cuộn dây sẽ tương đương như một nam châm với cực tính được xác định theo chiều dòng điện I chạy trong cuộn dây đó (quy tắc vặn nút chai), khi đó ta nói cuộn dây là một nam châm điện.

Nếu đặt thêm một cuộn dây thứ 2 di chuyển một cách tương đối với cuộn dây trên thì trên cuộn thứ 2 này



Chương II: Linh kiện thụ động

xuất hiện một dòng điện, người ta nói có sự cảm ứng điện từ truyền từ cuộn 1 sang cuộn 2 và trên cuộn 2 có dòng điện cảm ứng. Tốc độ dịch chuyển càng nhanh thì cảm ứng từ càng mạnh.

Khi cho dòng điện xoay chiều cường độ i chạy qua cuộn dây L1 thì cuộn dây sẽ tương đương một nam châm biến thiên, do đó tạo ra từ trường biến thiên xung quanh nó. Nếu đặt gần cuộn L1 một cuộn dây L2 thì 2 đầu cuộn dây L2 sẽ xuất hiện dòng điện. Ta nói rằng có sự cảm ứng về điện từ truyền từ L1 sang L2. Như vậy tác dụng của dòng xoay chiều cũng giống như tác dụng của dòng một chiều với điều kiện cuộn dây phải di chuyển, nghĩa là, từ trường biến thiên sẽ sinh ra cảm ứng điện từ với cuộn dây đặt trong khu vực đó. Khi dòng điện i_1 trên cuộn L1 và i_2 trên cuộn L2 cùng chiều thì gọi là cảm ứng thuận, ngược lại gọi là cảm ứng nghịch. Sau khi xuất hiện dòng điện trên cuộn L2 thì bản thân dòng điện này cũng sẽ sinh ra một từ trường biến thiên gây cảm ứng ngược trở lại cuộn L1, người ta gọi đó là hiện tượng cảm ứng tương hỗ hay hồ cảm.

2. Các tham số của cuộn dây

a. Hệ số tự cảm

Khi cuộn dây do nhiều vòng dây quấn lại thì rõ ràng phải mất một khoảng thời gian nhất định để dòng điện di chuyển dọc theo dây và khi dòng điện chạy quanh toàn bộ cuộn dây, từ trường đạt đến mức cực đại. Như vậy, một năng lượng nhất định được lưu lại trong cuộn dây. Khả năng của cuộn dây lưu năng lượng bằng cách này là đặc điểm của độ tự cảm, viết tắt bằng L. Độ tự cảm L là một hàm phụ thuộc vào số lượng vòng dây, đường kính cuộn dây, chiều dài của cuộn dây và vật liệu làm lõi.

+ Với cuộn dây không có lõi

$$L = \mu_0 \cdot \frac{n^2}{l} \cdot S$$

+ Với cuộn dây có lõi

$$L = \mu_r \mu_0 \cdot \frac{n^2}{l} \cdot S$$

μ_0 : hệ số từ thẩm của chân không
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$

Trong đó:

L: hệ số tự cảm [H]

l: chiều dài lõi [m]

S: diện tích lõi [m²]

n: số vòng dây

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

Khi cho dòng điện I qua cuộn dây n vòng sẽ tạo ra từ thông Φ . Để tính quan hệ giữa dòng điện I và từ thông Φ người ta đưa ra hệ thức:

$$L = n \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta I} \text{ gọi là hệ số tự cảm của cuộn dây, đơn vị là henry [H]}$$

Khi đó có thể tính sức điện động cảm ứng theo công thức:

$$e = -n \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (\text{dấu “-” biểu thị tác dụng chống lại sự biến thiên})$$

“Đơn vị của độ tự cảm là tỉ số giữa tỉ lệ thay đổi của dòng điện và điện áp qua một cuộn cảm. Một độ tự cảm là một Henry (H), đại diện cho hiệu điện thế một volt qua một cuộn cảm trong đó dòng điện tăng lên hoặc giảm xuống một ampe mỗi giây”.

Trên thực tế, đơn vị H là một giá trị khá lớn và hiếm khi gặp, thông thường người ta sử dụng đơn vị mH và μ H.

Pham Thanh Huyền_GTVT

Chương II: Linh kiện thụ động

b. Trở kháng của cuộn dây

Một cuộn dây có tác dụng như một điện trở dây quấn bình thường đối với thành phần dòng một chiều, nhưng với thành phần dòng xoay chiều thì hiện tượng tự cảm có xu thế đối lập lại dòng điện ban đầu chảy qua và sự cản trở này được đặc trưng bởi thông số cảm kháng của cuộn dây X_L .

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \quad [\Omega]$$

với f là tần số của dòng xoay chiều và L là độ tự cảm của cuộn dây

Khi đó trở kháng của cuộn dây là:

$$Z_L = R_L + jX_L$$

Và modun của hệ thức trên được tính bằng:

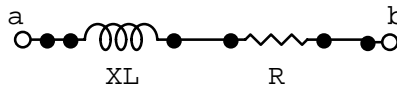
$$|Z_L| = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \quad [\Omega]$$

Nhận xét:

- + Tần số dòng xoay chiều qua cuộn dây càng lớn thì điện kháng càng tăng
- + Nếu tín hiệu có chứa cả thành phần một chiều và xoay chiều cao tần thì khi tác động vào cuộn dây nó sẽ dễ dàng cho qua thành phần 1 chiều (hay tần số thấp) và chặn thành phần cao tần. (như vậy phản ứng của cuộn dây với tín hiệu ngược với phản ứng của tụ điện)

c. Hệ số phẩm chất Q của cuộn dây

Khi dòng điện chạy qua cuộn dây thì trên thực tế cuộn dây sẽ nóng lên, nghĩa là có tổn hao năng lượng. Người ta biểu thị tổn hao này bằng một điện trở mắc nối tiếp với cuộn dây như sau:



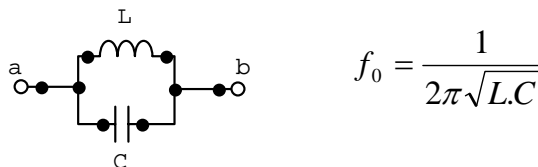
Với R là điện trở của dây dẫn làm cuộn dây, X_L là cảm kháng của cuộn dây. Hệ số phẩm chất Q là tỷ số giữa thành phần cảm và thành phần trở của cuộn dây.

$$Q = \frac{X_L}{R} \quad \text{với } X_L = 2\pi fL$$

Q càng cao chứng tỏ tổn thất trên cuộn dây càng nhỏ, có thể giảm R để tăng Q bằng cách sử dụng dây quấn là kim loại có độ dẫn điện tốt.

d. Tần số làm việc giới hạn của cuộn dây

Trên thực tế cuộn dây có tần số làm việc bị giới hạn bởi điện dung riêng là điện dung phân tán giữa các vòng dây. Vì vật liệu làm dây dẫn là kim loại đóng vai trò như bản cực tụ còn chất cách điện giữa các vòng dây đóng vai trò như chất điện môi nên có thể coi các cặp vòng dây có vai trò như một tụ điện.



$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

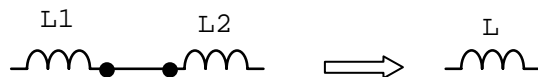
Chương II: Linh kiện thụ động

Ở khu vực tần số thấp thành phần điện dung này có thể bỏ qua nhưng ở khu vực tần số cao thì cuộn dây lúc này trở thành một mạch cộng hưởng song song có tần số làm việc bị giới hạn bởi tần số riêng của mạch.

Nếu cuộn dây làm việc ở khu vực tần số cao hơn f_0 thì nó mang tính dung nhiều hơn tính cảm, do đó tần số làm việc của cuộn dây phải nhỏ hơn f_0 .

3. Các cách ghép cuộn dây

a. Ghép nối tiếp



Các cuộn dây ghép nối tiếp sẽ có hệ số tự cảm tương đương bằng tổng các hệ số tự cảm của các cuộn dây thành phần (tính như điện trở nối tiếp)

$$L = L1 + L2 \text{ [H]}$$

b. Ghép song song



Các cuộn dây mắc song song sẽ có hệ số tự cảm tương đương được tính như điện trở mắc song song.

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L1} + \frac{1}{L2}$$

4. Phân loại và ứng dụng của cuộn dây

Có nhiều cách phân loại cuộn dây

a. Theo lõi của cuộn dây

Cuộn dây lõi không khí (hay không lõi) là cuộn dây được quấn trên cốt bằng bìa, sứ hoặc không có cốt. Loại cuộn dây này có hệ số tự cảm nhỏ ($< 1\text{mH}$) và thường được sử dụng ở khu vực tần số cao hoặc siêu cao. Cuộn dây lõi không khí được sử dụng phần lớn trong các thiết bị thu phát tần số vô tuyến và các hệ thống anten. Vì không khí không tiêu thụ nhiều năng lượng ở dạng nhiệt nên có thể coi cuộn dây lõi rỗng có độ hao phí bằng 0 và có khả năng dẫn điện không hạn chế miễn là có kích cỡ lớn và đường kính sợi dây lớn.

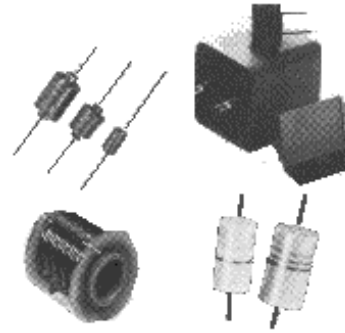
Cuộn dây lõi sắt bụi là cuộn dây có lõi làm bằng bột sắt nguyên chất trộn với chất dính không có từ tính. Loại cuộn dây này có hệ số tự cảm lớn hơn loại không lõi nhưng nhỏ hơn loại lõi sắt từ tùy vào hỗn hợp được sử dụng. Chúng thường được sử dụng ở khu vực tần số cao và trung tần.

Cuộn dây lõi ferit thường được sử dụng ở khu vực tần số cao và trung tần, có khi cả ở khu vực tần thấp như âm tần vì ferit có độ từ thẩm cao hơn bột sắt rất nhiều. Lõi

Phạm Thanh Huyền_GTVT

Chương II: Linh kiện thụ động

ferit có nhiều hình dạng khác nhau như: dạng thanh, hình ống, hình xuyên, chữ E, chữ C, hình nổi ... xem hình dưới đây:



Một số hình dạng lõi ferit và cuộn dây lõi ferit

Cuộn dây lõi sắt từ sử dụng ở khu vực tần số thấp (âm tần). Loại này được làm từ lõi sắt cacbon, sắt silic hay sắt niken ... dây dẫn là dây đồng tráng men cách điện quấn thành nhiều lớp, các lớp được chống ẩm và cách điện với nhau. Do lõi bằng sắt từ có độ từ thẩm lớn nên cuộn dây lõi sắt từ có hệ số tự cảm cao nhưng kích thước và trọng lượng cũng rất lớn.

Chú ý:

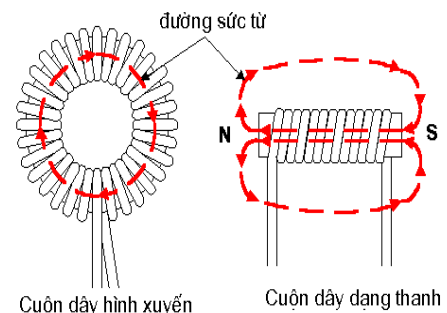
- . Các cuộn dây có lõi sắt từ khi chịu dòng lớn có thể làm cho lõi bị bão hoà. Điều này xảy ra khi lõi bằng vật liệu sắt từ không thể tạo ra từ thông tăng khi dòng điện tăng, kết quả là làm độ tự cảm thay đổi, làm giảm dòng điện của cuộn dây.
- . Bản thân lõi sắt từ tiêu tốn một lượng điện khá lớn dưới dạng nhiệt và nếu lõi bị nóng đến một mức nào đó nó sẽ bị gãy, nghĩa là làm hỏng cuộn dây và hạn chế khả năng quản lý dòng điện của nó.

b. Theo hình dáng

Cuộn dây dạng thanh, trụ (solenoid): loại được sử dụng đầu tiên và phổ biến nhất do dễ chế tạo và dễ điều chỉnh độ từ thẩm.

Cuộn dây hình xuyên (toroid): loại này nhiều ưu điểm hơn loại solenoid vì cần ít cuộn dây hơn để có được độ tự cảm nhất định và kích thước cũng nhỏ hơn. Nhưng ưu điểm hơn cả là tất cả thông lượng trong một cuộn cảm toroid được chứa bên trong vật liệu lõi, nghĩa là không có hồ cảm không mong muốn với các thành phần xung quanh. Tuy nhiên, nó cũng có nhược điểm là khó điều chỉnh độ từ thẩm và khó quấn hơn cuộn solenoid.

Xem hình bên.



Chương II: Linh kiện thụ động

Cuộn dây hình nõi: loại này có ưu điểm như toroid ở chỗ lõi có khuynh hướng ngăn chặn từ thông vượt ra ngoài kết cấu vật lý. Độ tự cảm của cuộn dây lõi nõi được tăng lên một cách đáng kể với một kích thước nhỏ. Nhược điểm chính là việc điều chỉnh rất khó khăn và phải chuyển đổi số vòng dây nhờ các van tại các điểm khác nhau của cuộn dây.



c. Theo sự thay đổi của hệ số tự cảm

Cuộn dây có hệ số tự cảm không đổi là cuộn dây không điều chỉnh được hệ số tự cảm.

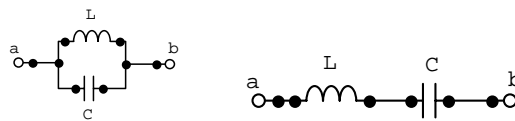
Cuộn dây có hệ số tự cảm thay đổi là cuộn dây có thể thay đổi hệ số tự cảm bằng cách điều chỉnh lõi hay số vòng dây của nó. Việc di chuyển vào ra của lõi sẽ làm thay đổi độ từ thẩm bên trong cuộn dây. Chuyển động vào của lõi làm độ tự cảm tăng lên còn khi lõi chuyển động ra độ tự cảm sẽ giảm.

d. Theo khu vực tần số làm việc

Cuộn cao tần
Cuộn trung tần
Cuộn âm tần

e. Theo ứng dụng

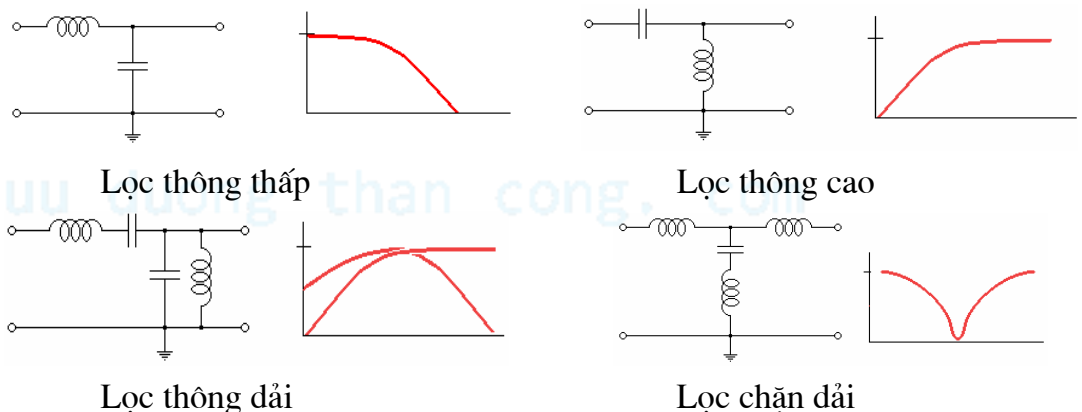
Cuộn cộng hưởng là cuộn dây cùng với tụ điện kết hợp thành một mạch cộng hưởng để tạo dao động, chọn sóng, bẫy nhiễu ...



Mạch cộng hưởng LC song song và nối tiếp

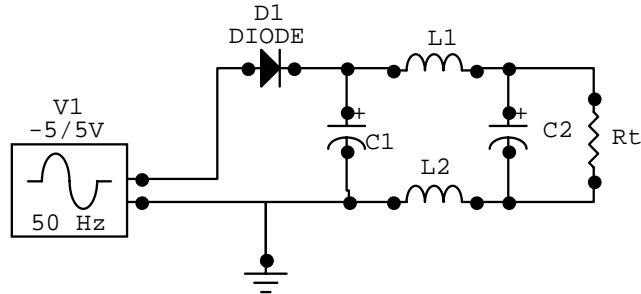
Cuộn lọc là cuộn dây kết hợp với tụ điện để tạo thành các mắt lọc để phân chia dải tần.

Dưới đây là một số mạch lọc LC thụ động và đáp ứng tần số – biên độ của chúng.

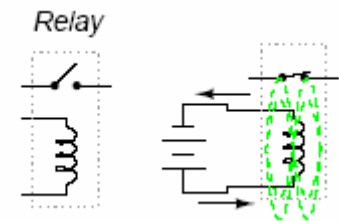


Chương II: Linh kiện thụ động

Cuộn chặn thường là cuộn có lõi sắt từ để chặn thành phần cao tần, lọc phẳng điện áp nguồn cung cấp, tránh cho dòng một chiều có biến động bất thường. Những cuộn cảm làm nhiệm vụ này phải có trị số lớn (vài H)



Role điện từ đây là một ứng dụng rất phổ biến của cuộn dây cho phép điều khiển công tắc bằng điện thay vì đóng mở bằng tay. Hoạt động của role điện từ dựa vào hiện tượng cảm ứng từ của cuộn dây khi có dòng điện đi qua. Như đã biết, dòng điện qua cuộn dây sẽ làm cho cuộn dây hoạt động như một nam châm điện có khả năng hút lá kim loại chạm vào tiếp điểm. Khi sử dụng role cần chú ý điện áp hoạt động và dòng chịu đựng của các tiếp điểm, các thông số này đều được ghi trên thân của role



Liên lạc vô tuyến. Anten của đài phát thanh hay truyền hình ... thực chất cũng là một cuộn dây tạo nên sóng điện từ có từ trường biến thiên lan toả trong không gian. Từ trường biến thiên này sẽ cảm ứng sang các anten (cũng là những cuộn dây) ở máy thu và như vậy ta thu được thông tin từ xa mà không cần truyền tải qua đường dây.

Máy phát điện được cấu tạo với bộ phận chính là các cuộn dây bố trí trong lòng của một nam châm. Khi cho các cuộn dây quay hoặc cho nam châm quay (nhờ thủy lực, khí nóng, gió hay năng lượng mặt trời ...) sẽ có từ trường biến thiên và do đó sinh ra cảm ứng điện từ sang các cuộn dây, nghĩa là tạo ra các dòng điện (một pha hoặc ba pha)

Biến áp là một trường hợp đặc biệt khi mắc song song hai cuộn dây qua một lõi sắt từ hay lõi ferit, phần tiếp theo đây sẽ trình bày cụ thể về biến áp.

IV. BIẾN ÁP

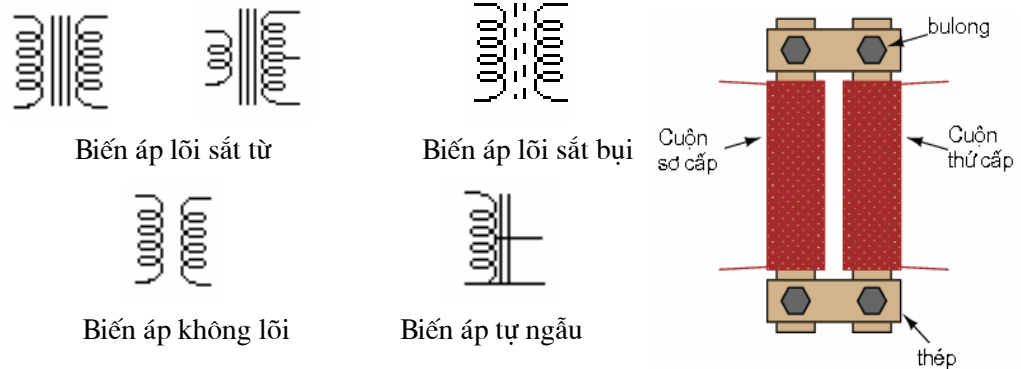
Biến áp là linh kiện dùng để ngăn dòng một chiều giữa hai cuộn dây và biến đổi giá trị điện áp (hoặc cường độ) của các dòng xoay chiều từ cuộn nọ sang cuộn kia nhưng vẫn giữ nguyên tần số.

1. Ký hiệu và cấu tạo của biến áp

Biến áp gồm hai hay nhiều cuộn dây tráng sơn cách điện quấn chung trên một lõi thép (mạch từ)

Lõi của biến áp có thể là sắt lá, sắt bụi hay không khí

Cuộn dây đầu vào nguồn cung cấp gọi là cuộn sơ cấp, cuộn đầu ra tải tiêu thụ gọi là cuộn thứ cấp.



Năng lượng từ cuộn sơ cấp sang cuộn thứ cấp thông qua cảm ứng điện từ, biến áp có tác dụng biến đổi từ một điện áp vào thành nhiều điện áp ra khác nhau.

Khi hai cuộn dây cùng được quấn trên một lõi thì biến áp gọi là biến áp tự ngẫu hay biến áp không được cách ly về điện.

2. Nguyên tắc hoạt động của máy biến áp

Khi cho dòng điện xoay chiều vào cuộn dây sơ cấp thì dòng điện sẽ tạo ra từ trường biến thiên chạy trong mạch từ (chính là lõi hình chữ nhật rỗng hoặc hình xuyên) và sang cuộn dây thứ cấp, cuộn dây thứ cấp nhận được từ trường biến thiên và trong nó sẽ xuất hiện một dòng cảm ứng xoay chiều cùng tần số.

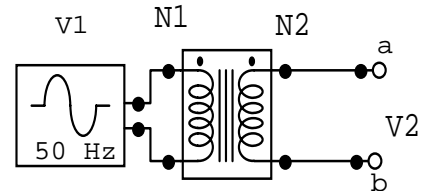
Ở cuộn sơ cấp ta có:

$$u_1 = e_1 = -N_1 \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

Ở cuộn thứ cấp ta có:

$$u_2 = e_2 = -N_2 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

trong đó N_1 là số vòng dây của cuộn sơ cấp và N_2 là số vòng dây của cuộn thứ cấp.



3. Các tham số kỹ thuật của biến áp

a. Hệ số ghép biến áp K

Hệ số ghép biến áp K là tỉ số giữa từ thông liên kết giữa hai cuộn dây và tổng từ thông sinh ra bởi cuộn sơ cấp.

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

với M là hệ số hồ cảm được tính bằng công thức:

$$M = - \frac{e_L}{\Delta i / \Delta t}$$

với $\Delta i / \Delta t$ là tốc độ thay đổi của dòng điện chạy trong cuộn sơ cấp

Chương II: Linh kiện thụ động

Hỗ cảm M là thông số biểu thị sự liên hệ về từ giữa hai cuộn dây.

Hệ số K tùy thuộc vào cách ghép hai cuộn dây. Hệ số ghép biến áp $K = 1$ là trường hợp lý tưởng khi toàn bộ số từ thông sinh ra do cuộn sơ cấp đều được đi qua cuộn thứ cấp và ngược lại. Khi hai cuộn dây không có liên hệ với nhau về từ trường thì $K = 0$

$K \ll 1$ gọi là ghép lỏng

$K \approx 1$ gọi là ghép chặt

b. Các tỉ lệ của biến áp

Tỉ lệ về điện áp:
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = n$$

Như vậy, muốn tăng điện áp ra cần tăng số vòng dây cuộn thứ cấp hoặc giảm số vòng dây cuộn sơ cấp và ngược lại, khi muốn giảm điện áp ra cần giảm số vòng cuộn thứ cấp hoặc tăng số vòng cuộn sơ cấp.

Tỉ lệ về dòng điện:
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{n}$$

Hệ thức trên cho thấy một biến áp tăng áp bao giờ cũng làm hạ dòng và ngược lại, biến áp hạ áp sẽ làm tăng dòng.

Tỉ lệ về công suất: $P_1 = P_2$

Một biến áp lý tưởng coi như không có tổn hao trên hai cuộn dây và mạch từ sẽ có công suất ở sơ cấp và thứ cấp bằng nhau.

Tuy nhiên trên thực tế công suất tiêu thụ ở bên thứ cấp luôn nhỏ hơn công suất của nguồn cung cấp cho sơ cấp. Nguyên nhân là do các cuộn sơ cấp và thứ cấp có điện trở của dây dẫn nên tiêu hao năng lượng dưới dạng nhiệt. Thêm vào đó, lõi từ có dòng điện cảm ứng do từ thông thay đổi sẽ tự kích mạch trong lõi (gọi là dòng Fuco) cũng tiêu thụ năng lượng dưới dạng nhiệt.

Vì những tổn hao trên người ta đưa ra thông số hiệu suất của biến áp là tỉ số giữa công suất ra và công suất vào tính theo % như sau:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{tổn hao}}} \cdot 100\%$$

với: P_1 là công suất của cuộn sơ cấp

P_2 là công suất thu được ở cuộn thứ cấp

$P_{\text{tổn hao}}$ là công suất mất mát do tổn hao trên cuộn dây và mạch từ

Khi hở mạch tải trên mạch bên thứ cấp thì vẫn có tổn hao trên biến áp gọi là tổn hao không tải, nó thường chiếm khoảng 5% công suất danh định của biến áp. Khi biến áp có tải lớn nhất theo công suất danh định (gọi là đầy tải) thì hiệu suất cao nhất khoảng 80% đến 90%.

Để tăng hiệu suất của biến áp phải giảm tổn hao bằng cách dùng lõi làm bằng các lá sắt từ mỏng có quét sơn cách điện, dây quấn dùng loại có tiết diện lớn và ghép chặt.

Tỉ lệ về tổng trở:

Có: $U_1 = n \cdot U_2$ và $I_1 = \frac{1}{n} \cdot I_2$

$$\Rightarrow R_1 = \frac{U_1}{I_1} = n^2 \cdot \frac{U_2}{I_2} = n^2 \cdot R_2 \quad \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 = n^2$$

với R_2 là tải thứ cấp và R_1 được gọi là điện trở tải phản ánh về sơ cấp.

Khi có tải với trở kháng Z_2 nối tới cuộn thứ cấp, trở kháng của cuộn sơ cấp lúc đó là $Z_1 = n^2 \cdot Z_2$, từ đó có thể xác định n theo hệ thức:

$$n = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} \approx \sqrt{\frac{R_1}{R_2 + R_t}} \approx \sqrt{\frac{R_1}{R_t}}$$

đây chính là hệ thức để xác định loại biến áp dùng để phối hợp trở kháng giữa mạch sơ cấp R_1 và mạch thứ cấp R_t ($\gg R_2$)

4. Phân loại và ứng dụng của biến áp

Biến áp là linh kiện dùng để biến đổi điện áp, biến đổi dòng, ngăn cách thành phần dòng một chiều giữa các mạch khi hai cuộn dây được cách điện với nhau và có khi là phối hợp trở kháng giữa các tầng.

Người ta thường phân loại biến áp theo ứng dụng của chúng.

Một số loại biến áp thường gặp:

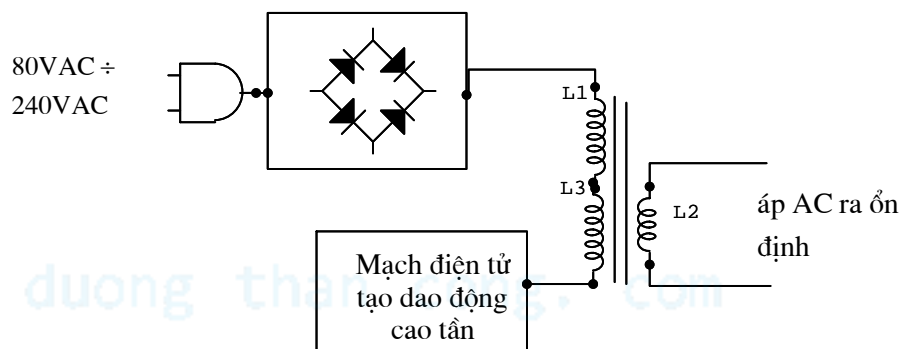
a. Biến áp nguồn (biến áp cấp điện)

Biến áp nguồn là biến áp làm việc ở tần số 50 đến 60 Hz để biến đổi điện áp lưới (thường là 110V – 60 Hz hoặc 220V – 50Hz) thành điện áp và dòng điện đầu ra theo yêu cầu đồng thời ngăn cách thiết bị khỏi nguồn điện cao áp.

Các biến áp nguồn thường có 3 đầu vào (0V, 110V và 220V) và nhiều đầu ra (0V, 1.5V, 3V, 4.5V, 6V ... 12V ... 24V)

Các thông số chính để chọn biến áp nguồn là trị số điện áp đầu ra và dòng điện lớn nhất qua được biến áp. Hai thông số này sẽ quyết định tới kích thước và giá thành của biến áp.

Các yêu cầu đối với một biến áp nguồn tốt là tổn hao trong lõi nhỏ, hệ số ghép cao, kích thước nhỏ gọn.



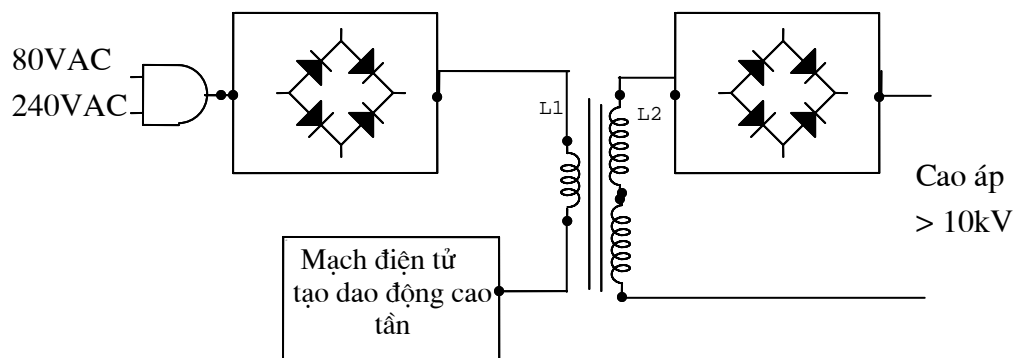
Hiện nay, với một số thiết bị yêu cầu nguồn cung cấp có độ ổn định cao như máy tính, màn hình, tivi, VCR ... người ta sử dụng mạch ổn áp dải rộng gọi là autovolt với sơ đồ như hình trên.

Sơ đồ trên có nguyên tắc hoạt động như sau: Nguồn điện lưới không ổn định được

Chương II: Linh kiện thụ động

đưa vào mạch nắn điện để tạo ra điện áp một chiều. Dòng dc này chạy qua cuộn dây bên sơ cấp rồi qua mạch điện tử tạo dao động cao tần. Dao động cao tần làm ức chế dòng dc, lúc có lúc mất, do đó tạo nên dòng i (ac) biến đổi nhanh, tạo ra sức điện động tự cảm rất lớn do di/dt lớn. Sức điện động này có thể lên tới 1kVAC và như vậy sự không ổn định của điện lưới ban đầu (80VAC – 240VAC) có thể coi như không ảnh hưởng tới sức điện động của cuộn thứ cấp, tức là cũng chẳng ảnh hưởng tới cuộn sơ cấp, đầu ra ac của mạch được ổn định.

Dưới đây là mạch tạo cao áp cho đèn hình của tivi hoặc monitor máy tính cũng với nguyên tắc hoạt động giống như trên nhưng số vòng dây của L2 lớn hơn nhiều số vòng dây của L1 và bộ nắn điện thứ 2 đồng thời là bộ bội áp và đầu ra ta sẽ có cao áp có thể lên tới 20 – 30kV.



b. Biến áp cộng hưởng

Đây là biến áp cao tần có lõi không khí, sắt bụi hoặc ferit được ghép lỏng để có thể điều chỉnh lõi. Các tụ được mắc với các cuộn sơ cấp và thứ cấp để tạo thành các mạch cộng hưởng. Nếu chỉ có một tụ gọi là mạch cộng hưởng đơn, nếu có hai tụ gọi là cộng hưởng kép hoặc cộng hưởng lệch (nếu tần số cộng hưởng lệch nhau)

Biến áp cộng hưởng thường được sử dụng làm tải cho các tầng khuếch đại trộn tần, chọn lọc tần số ...



c. Biến áp âm tần

Biến áp âm tần làm việc ở dải tần số âm tần từ 20 Hz đến 20 kHz. Biến áp này cho phép biến đổi điện áp mà không gây méo dạng sóng, ngăn cách thành phần một chiều giữa các tầng, biến đổi pha ...

Do làm việc ở tần số thấp nên các biến áp âm tần thường có lõi sắt từ, kích thước và trọng lượng lớn. Chính vì lý do này mà biến áp âm tần càng ngày càng ít được sử dụng.

Chương III

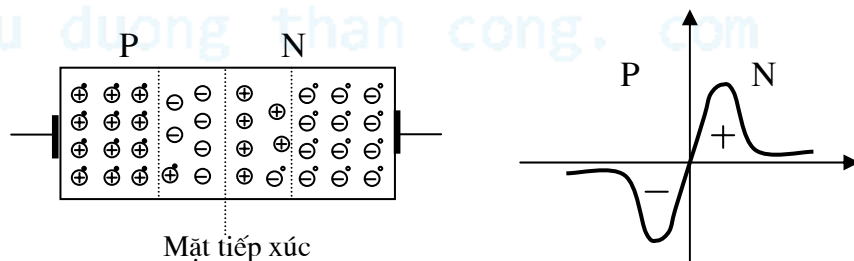
LINH KIỆN TÍCH CỰC

I. LỚP CHUYỂN TIẾP P-N

1. Sự hình thành lớp chuyển tiếp P – N và tính chất của nó

Trên một phiến tinh thể đơn bằng phương pháp công nghệ nào đó (plana khuếch tán – epitaxi) ta nhận được 2 miền: một miền chứa tạp chất acceptor (miền P) và một miền chứa tạp chất donor (miền N). Ranh giới tiếp xúc của 2 miền P và N được gọi là lớp tiếp xúc công nghệ hay lớp tiếp xúc luyện kim hay lớp chuyển tiếp P – N. Nghĩa là, để nhận được chuyển tiếp P – N trên thực tế không thể lấy 2 phiến bán dẫn P và N ghép với nhau một cách đơn giản mà người ta phải tiến hành pha tạp chất vào bán dẫn thuần sau đó pha tiếp tạp chất khác loại để nó chuyển từ loại P sang loại N hoặc ngược lại. Tại nơi chuyển đặc tính điện hình thành chuyển tiếp P - N và đó chính là sự quá độ từ bán dẫn P sang N hoặc ngược lại.

Mặt tiếp xúc chỉ nơi nồng độ donor bằng nồng độ acceptor.

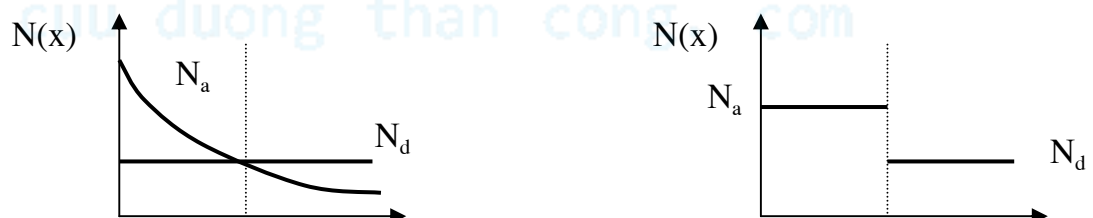


Cấu trúc của tiếp xúc P - N và phân bố điện tích âm/dương trong vùng điện tích không gian

Tùy theo sự phân bố tạp chất tại miền gần bề mặt tiếp xúc, người ta chia chuyển tiếp P - N thành 2 loại chính là:

- + Chuyển tiếp P - N nhảy bậc nếu sự biến đổi nồng độ tạp chất xảy ra đột ngột
- + Chuyển tiếp P - N tuyến tính nếu sự biến đổi nồng độ tạp chất xảy ra từ từ

Hình dưới đây biểu diễn kiểu pha tạp tuyến tính và nhảy bậc



Chương III: Linh kiện tích cực

Tuy nhiên đặc tính của cả 2 loại này giống nhau nên trong quá trình nghiên cứu chuyển tiếp P - N ta không cần chú ý tới chuyển tiếp P - N thuộc loại nào.

Chuyển tiếp P-N là một dạng tiếp xúc phi tuyến có tính chất dẫn điện không đối xứng theo hai chiều điện áp đặt vào.

Khi chưa có điện áp ngoài đặt vào chuyển tiếp P-N ở dạng cân bằng nhiệt động và không có dòng qua nó. Các ion âm bên P và ion dương bên N tạo nên một điện trường trong gọi là điện trường tiếp xúc E_{tx} hướng từ N sang P làm cân bằng dòng khuếch tán của các hạt dẫn đa số (do sự chênh lệch nồng độ) và dòng trôi của các hạt thiểu số (do được E_{tx} gia tốc). Chính vì vậy, trạng thái này của chuyển tiếp P-N gọi là trạng thái cân bằng động (có hai dòng ngược nhau qua chuyển tiếp nhưng dòng tổng bằng 0).

Miền được tạo thành từ các khối ion âm và dương gọi là miền điện tích không gian (SCR) hay miền nghèo vì hầu như không có hạt dẫn tự do ở đây. Đặc tính điện của miền này sẽ quyết định đặc tính điện của chuyển tiếp P-N.

2. Lớp chuyển tiếp P – N phân cực thuận (Forward Bias)

Khi đặt một điện trường ngoài lên lớp chuyển tiếp P - N theo chiều cực dương nối với P và cực âm nối với N thì chuyển tiếp P - N được gọi là phân cực thuận. Xem hình bên

Điện trường ngoài ngược chiều với điện trường tiếp xúc và phá vỡ trạng thái cân bằng của chuyển tiếp P - N. Cực dương của nguồn điện áp ngoài sẽ đẩy các lỗ trống từ bên P về phía bên N và bị hút về cực âm của nguồn. Ngược lại, cực âm của nguồn đẩy electron bên N về phía bên P và bị hút về dương nguồn tạo thành mạch kín. Như vậy, nguồn điện áp ngoài đã làm cho các hạt dẫn đa số dễ dàng di chuyển qua chuyển tiếp tạo thành dòng thuận I_{th} . Thực chất đây là dòng tổng của dòng khuếch tán và dòng trôi nhưng dòng khuếch tán lớn hơn nhiều so với dòng trôi.

Dòng điện thuận tăng theo quy luật hàm mũ cùng với sự tăng của điện áp ngoài theo chiều thuận:

$$i_p(0) = \frac{q.S}{L_p} . D_p . p^{(N)} . \left[\exp\left(\frac{q.E_{ng}}{KT}\right) - 1 \right]$$

Trong đó:

q : điện tích của điện tử ($q = 1,6.10^{-19} C$)

S : diện tích tiếp xúc

L_p : độ dài khuếch tán của lỗ trống

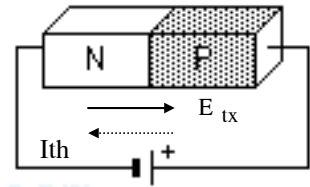
D_p : hệ số khuếch tán của lỗ trống

$p^{(N)}$: nồng độ lỗ trống ở bán dẫn lại N

E_{ng} : điện áp ngoài (+)

$i_p^{(0)}$: mật độ dòng lỗ trống đi qua chuyển tiếp

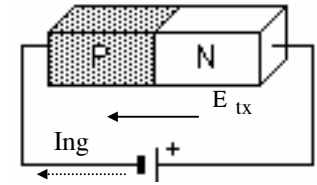
Những hạt dẫn đa số sau khi vượt qua chuyển tiếp P - N sang phía bán dẫn bên kia gọi là các hạt thiểu số trôi và hiện tượng này gọi là hiện tượng tiêm hạt dẫn thiểu số trôi qua miền điện tích không gian.



3. Lớp chuyển tiếp P-N phân cực ngược (Reverse Bias)

Đặt một điện áp ngoài lên chuyển tiếp P - N với cực dương đặt lên N và cực âm đặt lên P ta có chuyển tiếp P - N phân cực ngược. Xem hình bên

Hiện tượng hoàn toàn ngược với trường hợp phân cực thuận. Nghĩa là do điện áp ngoài cùng chiều với điện trường trong nên điện trường tổng trong miền điện tích không gian tăng lên, kéo theo sự gia tăng của độ cao rào thế và độ rộng của miền này. Dòng khuếch tán bị giảm còn dòng trôi được tăng cường.



Tiếp tục tăng điện áp ngược thì dòng ngược tăng nhưng do nồng độ các hạt thiểu số rất ít nên ban đầu dòng ngược tăng theo quy luật hàm mũ theo sự tăng của điện áp ngoài sau đó nó nhanh chóng đạt tới giá trị bão hoà (i_s) và không tăng nữa cho dù vẫn tăng điện áp ngược.

$$i_n(0) = \frac{q.S}{L_n} \cdot D_n \cdot n^{(P)} \cdot \left[\exp\left(\frac{q.E_{ng}}{KT}\right) - 1 \right]$$

Có thể tính i_s như sau:

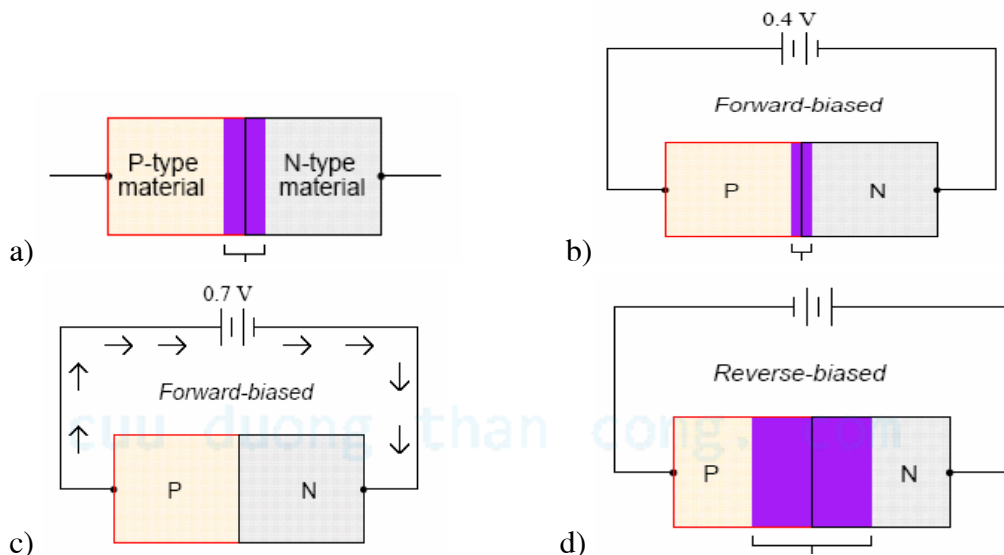
$$i_s = q.S \cdot \left(\frac{D_n}{L_n} \cdot n^{(P)} + \frac{D_p}{L_p} \cdot p^{(N)} \right)$$

$n^{(P)}$: nồng độ điện tử ở bán dẫn loại P

$p^{(N)}$: nồng độ lỗ trống ở bán dẫn loại N

Chú ý: Đối với bán dẫn Ge: $i_s \sim 100\text{nA}$; với bán dẫn Si: $i_s \sim 10\text{pA}$

Tóm lại, các chế độ phân cực cho diode và độ rộng tương ứng của vùng nghèo được minh hoạ ở hình dưới đây.



- trong đó:
- a). Chưa phân cực (không có dòng, độ rộng của vùng nghèo không đổi)
 - b). Phân cực thuận nhỏ hơn điện áp ngưỡng (dòng thuận rất nhỏ, vùng

Chương III: Linh kiện tích cực

nghèo thu hẹp dần)

c). Phân cực thuận ở mức ngưỡng (dòng thuận lớn, vùng nghèo biến mất)

d). Phân cực ngược (không có dòng, vùng nghèo rộng ra)

4. Đặc tuyến Von - Ampe của chuyển tiếp P - N

Đặc tuyến Von-ampe biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện chạy qua chuyển tiếp P - N với điện áp đặt lên nó.

$$I = f(U_{\text{ngoài}})$$

Dòng điện tổng qua chuyển tiếp được tính:

$$i = i_s \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot E_{ng}}{KT}\right) - 1 \right]$$

$$\text{với } i_s = q \cdot S \cdot \left(\frac{D_n}{L_n} \cdot n^{(P)} + \frac{D_p}{L_p} \cdot p^{(N)} \right)$$

Khi E_{ng} là điện thế phân cực ngược và $E_{ng} \gg KT/q$ ta có:

$$i \approx i_s \cdot \exp\left(\frac{q \cdot E_{ng}}{KT}\right)$$

Từ phương trình này có thể vẽ được đặc tuyến Von-ampe của chuyển tiếp P - N như hình bên.

Đoạn đặc tuyến thuận:

$$i_{th} = i_s \cdot \left[\exp\left(\frac{V_{ng}}{V_T}\right) - 1 \right] \quad \text{với } V_T = KT/q \text{ là}$$

điện thế nhiệt, $V_T \sim 26 \text{ mV}$ ở nhiệt độ phòng $T = 300\text{K}$; $K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$; $e = 2,73$;

Qua đặc tuyến có thể thấy dòng điện thuận $\sim \text{mA}$ trong khi dòng điện ngược chỉ $\sim \mu\text{A}$. Như vậy, $i_{th} \gg i_{ng}$ chứng tỏ chuyển tiếp P - N có đặc tính dẫn điện gần như 1 chiều nên được gọi là **lớp chuyển tiếp chỉnh lưu**.

Dòng tổng qua chuyển tiếp được tính theo công thức:

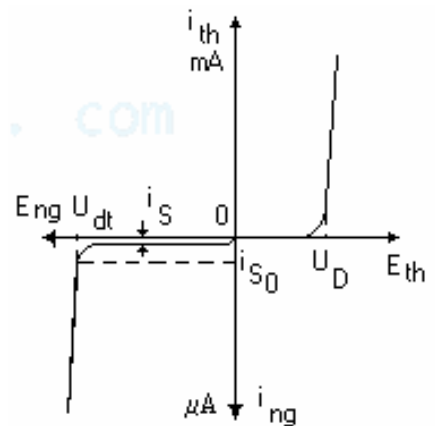
$$I = I_s \cdot \left[\exp\left(\frac{V_{ng}}{\eta \cdot V_T}\right) - 1 \right]$$

$\eta = 1$ với Ge (dòng điện lớn) $\eta = 2$ với Si (dòng điện nhỏ)

Đoạn đặc tuyến ngược :

Khi điện áp ngược nhỏ, dòng ngược nhỏ và tăng chậm do số hạt dẫn thiểu số ở 2 phiên bán dẫn ít. Ở đoạn này dòng điện ngược là một hằng số không phụ thuộc vào điện áp ngược và được gọi là dòng điện ngược bão hoà (I_s)

Khi điện áp ngược đạt giá trị lớn xác định nào đó thì dòng điện ngược tăng đột ngột gây ra hiện tượng đánh thủng chuyển tiếp P - N.



Chương III: Linh kiện tích cực

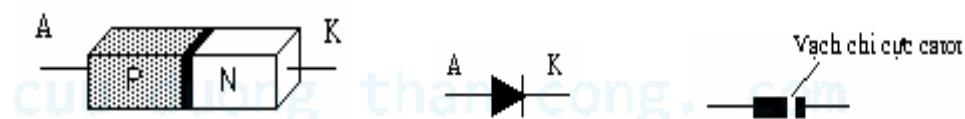
Nguyên nhân: do điện trường lớn nên các hạt chuyển động qua vùng điện tích không gian có tốc độ cao và do đó làm ion hoá các nguyên tử bán dẫn nên để tạo ra các cặp điện tử- lỗ trống mới. Quá trình tiếp diễn nhanh và mạnh nên dòng ngược rất lớn và hiện tượng này gọi là đánh thủng thác lũ (ion hoá do va chạm). Ngoài ra, nếu điện trường đủ lớn để ion hoá trực tiếp nguyên tử bán dẫn thì chuyển tiếp P-N cũng bị đánh thủng theo hiệu ứng xuyên hầm (hiệu ứng zene). (xem phân tích chi tiết trong phần diode)

II. DIODE

“Diode” nghĩa là “hai nguyên tố”. Trong những năm đầu của điện tử và vô tuyến, hầu hết các diode là các ống chân không hai cực. Catot phát ra các electron và anốt sẽ thu các electron đó. Trong các ống chân không này điện áp của catot và anốt lên tới hàng trăm thậm chí hàng ngàn Volt một chiều.

Ngày nay, khi nói tới diode chúng ta hình dung đó là không phải là ống chân không nặng nề mà chỉ là các mẫu nhỏ làm từ silicon hoặc các vật liệu bán dẫn khác, người ta gọi đó là diode bán dẫn. Diode bán dẫn có những đặc tính tuyệt vời mà ống chân không không thể có và chúng được ứng dụng rất rộng rãi trong ngành kỹ thuật điện tử. Phần dưới đây sẽ giới thiệu chi tiết diode bán dẫn.

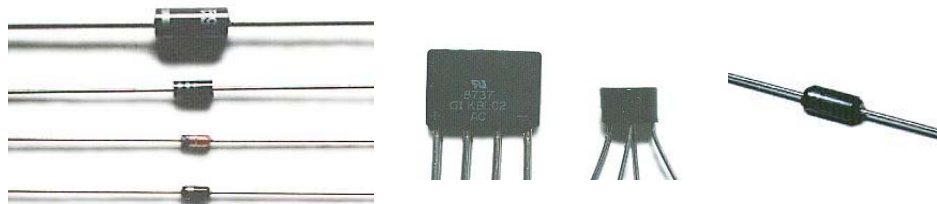
1. Cấu tạo và ký hiệu



Cấu tạo, ký hiệu diode

Diode bán dẫn là một linh kiện điện tử gồm 1 chuyển tiếp P - N và 2 chân cực anốt nối với bán dẫn P và catốt nối với bán dẫn N.

Hình dạng thực tế của một số loại diode:

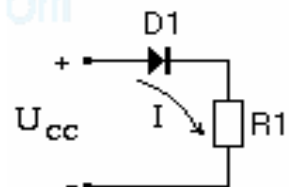


2. Nguyên tắc làm việc, đặc tuyến Von-ampe của diode

+ Nguyên tắc làm việc của diode

Dựa trên tính chất dẫn điện một chiều của chuyển tiếp P - N. Hình bên là sơ đồ cấp nguồn cho diode.

Khi đưa điện áp ngoài có cực dương nối vào anốt, cực âm nối vào catốt ($U_{AK} > 0$) thì diode sẽ dẫn điện và trong mạch có dòng điện chạy qua (coi như ngắn mạch). Khi electron dịch chuyển từ bên N (catot) sang bên P (anot) do sự chênh lệch nồng độ thì sự thiếu hụt này sẽ được cực âm

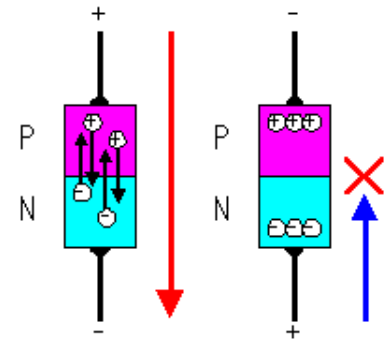


Phạm Thanh Huyền_GTVT

Chương III: Linh kiện tích cực

của nguồn pin cung cấp. Đồng thời, cực dương của nguồn cũng thu lại các electron này từ bên P. Khi này người ta nói chuyển tiếp P - N được phân cực thuận và diode như một khoá đóng làm ngắt mạch.

Khi điện áp ngoài có cực âm nối vào anốt, dương nối vào catốt ($U_{AK} < 0$) diode sẽ bị khoá (coi như làm hở mạch). Sở dĩ vậy là do các điện cực hút electron bên N về phía cực dương còn lỗ trống bên P lại bị hút về phía cực âm, nghĩa là các hạt dẫn điện bị kéo về hai đầu cực. Điều này làm cho số hạt dẫn trong vùng nghèo giảm đi rõ rệt và hoạt động như một chất cách điện. Ta nói chuyển tiếp P - N phân cực ngược và diode như một khoá mở làm ngắt mạch (thực chất là chỉ có dòng điện ngược rất nhỏ chạy qua)

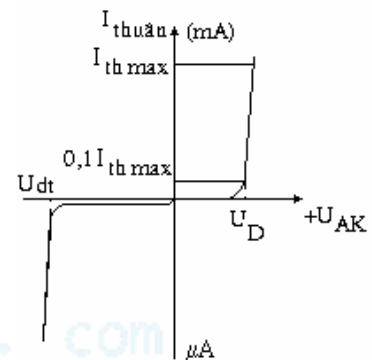


+ Đặc tuyến Von-ampe của diode

Đặc tuyến Von-ampe của diode biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện qua diode và điện áp đặt giữa 2 chân cực anốt và catốt (U_{AK}). Đây chính là đặc tuyến Von-ampe của lớp chuyển tiếp P - N vì bộ phận chính của diode là lớp chuyển tiếp P - N.

$$I = f(U_{AK})$$

Dòng điện chạy qua diode được tính theo công thức tính dòng điện qua chuyển tiếp P - N. Trong biểu thức này ta chỉ việc thay U_{AK} vào vị trí của $V_{ngoài}$ và ta sẽ có:



$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{V_{AK}}{\eta V_T}\right) - 1 \right]$$

$\eta = 2$ với dòng điện nhỏ (Si) và $\eta = 1$ với dòng điện lớn (Ge)

Phần thuận của đặc tuyến (khi $U_{AK} > 0$)

+ Khi $U_{AK} < U_D$: dòng điện tăng chậm theo quy luật hàm mũ là: $\left[\exp\left(\frac{V_{AK}}{2V_T}\right) - 1 \right]$

(thông thường khi này $I_{th} < 1\% I_{thmax}$)

+ Khi $U_{AK} > U_D$: dòng điện tăng nhanh hơn theo quy luật hàm mũ là:

$$\left[\exp\left(\frac{V_{AK}}{V_T}\right) - 1 \right] \quad (\text{tăng gần như tuyến tính với điện áp})$$

Trong đó U_D được gọi là điện áp ngưỡng của diode. Khi $U_{AK} = U_D$ thì diode mới bắt đầu được tính là phân cực thuận, lúc này dòng điện thuận mới đủ lớn và bằng $0,1 I_{thmax}$

I_{thmax} là dòng điện thuận cực đại cho phép của diode, diode không được làm việc với dòng điện cao hơn trị số này. Điện áp ứng với giá trị I_{thmax} được gọi là U_{bh} , nó có giá trị khoảng 0,8V đối với diode Ge và khoảng 1,2V đối với diode Si.

Với diode Ge giá trị $U_D \approx 0,3V$ và với diode Si giá trị $U_D \approx 0,7V$

Vùng phân cực thuận có đặc trưng là dòng lớn (mA), điện áp nhỏ và điện trở nhỏ (Ω)

Phần ngược của đặc tuyến Von-ampe

Vùng phân cực ngược (hay còn gọi là vùng khoá của diode) với đặc trưng là dòng nhỏ có giá trị I_{S0} (μA) gần như không đổi, áp lớn (hàng chục cho tới hàng trăm V tùy từng loại diode) và điện trở lớn (hàng chục nghìn Ω).

Khi U_{AK} tăng tới một giá trị U_{dt} thì dòng điện ngược tăng vọt, người ta gọi đó là **hiện tượng đánh thủng** chuyển tiếp P - N. Hiện tượng này làm mất khả năng chỉnh lưu của diode (trừ diode Zene là diode sử dụng đoạn đánh thủng của đặc tuyến để ổn định điện áp). Điện áp tại điểm đánh thủng gọi là điện áp đánh thủng và ký hiệu là U_{dt} .

U_{dt} có giá trị khoảng 12V đối với diode tách sóng và khoảng 100V đối với diode nắn điện.

Có 2 hiện tượng đánh thủng: đánh thủng vì điện và đánh thủng vì nhiệt

+ **Đánh thủng vì nhiệt** thường xảy ra với Ge khi nhiệt lượng thoát ra nhỏ hơn nhiệt lượng sinh ra trong chuyển tiếp. Nói cách khác, có sự tích lũy nhiệt trong quá trình hoạt động của diode. Khi đó dòng ngược tăng nhanh, dòng ngược tăng lại làm nhiệt độ tăng Quá trình liên tục theo một chu trình và tới một giới hạn nào đó thì dòng ngược lớn sẽ đánh thủng chuyển tiếp (đánh thủng vĩnh viễn).

Nguyên nhân: nhiệt năng được cung cấp trực tiếp cho nguyên tử bán dẫn nên và làm bật ra các điện tử, người ta gọi đây là hiện tượng phát xạ cặp điện tử - lỗ trống do nhiệt. Khi này số điện tử và lỗ trống trội hơn hẳn so với hạt dẫn sinh ra do quá trình ion hoá tạp chất.

+ **Đánh thủng vì điện** thường xảy ra với diode Si. Có 2 cơ chế là đánh thủng xuyên hầm và đánh thủng thác lũ

Đánh thủng xuyên hầm (đánh thủng Zene) là hiện tượng đánh thủng lớp chuyển tiếp P - N theo cơ chế xuyên hầm. Sự đánh thủng sẽ xảy ra khi điện trường đặt lên chuyển tiếp đạt giá trị tới hạn nào đó. Khi này **điện trường ion hoá chính những nguyên tử chất bán dẫn nên** và làm số hạt dẫn tăng đột ngột, kéo theo dòng ngược tăng đột ngột.

Thông thường giá trị tới hạn của cường độ điện trường đặt lên chuyển tiếp P - N là $3.10^7 V/m$ với diode Ge và $8.10^7 V/m$ với diode Si.

Đánh thủng thác lũ là hiện tượng đánh thủng lớp chuyển tiếp P - N theo cơ chế thác lũ, nghĩa là **sự ion hoá các nguyên tử của mạng tinh thể bởi sự va chạm với các hạt tải điện mạng năng lượng lớn**. Khi này điện trường gia tốc cho điện tử và lỗ trống làm cho chúng chuyển động nhanh và va chạm với các nguyên tử trong mạng gây ra hiện tượng ion hoá do va chạm. Như vậy số cặp điện tử và lỗ trống tăng lên và kết quả là dòng điện qua chuyển tiếp tăng mạnh.

Chú ý:

+ Điện áp đánh thủng tỉ lệ nghịch với nồng độ pha tạp chất trong chất bán dẫn. Chất bán dẫn pha tạp càng nhiều thì điện áp đánh thủng càng nhỏ. Tùy theo vật liệu mà điện áp đánh thủng có thể từ vài V tới vài chục ngàn V.

+ Đánh thủng xuyên hầm là quá trình xảy ra tức thời. Đánh thủng thác lũ cần có một thời gian để gia tốc cho hạt dẫn.

+ Độ rộng miền điện tích không gian càng rộng thì đánh thủng thác lũ càng xảy ra mãnh liệt (do đoạn tăng tốc cho hạt dẫn dài nên tốc độ hạt dẫn lớn) còn đánh thủng zene không bị ảnh hưởng.

+ Có thể làm quá trình thác lũ xảy ra mạnh hơn nếu tăng số hạt dẫn bằng một

Chương III: Linh kiện tích cực

phương pháp bên ngoài nào đó (chiếu sáng hoặc bắn phá ion...) nhưng điều này không làm ảnh hưởng tới đánh thủng zene.

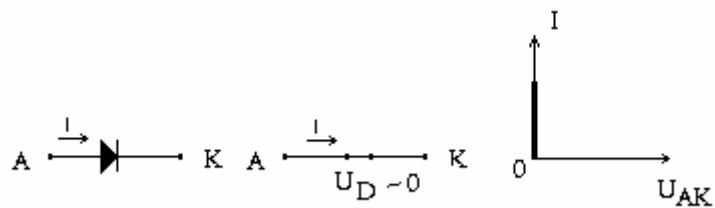
3. Mô hình gần đúng và tham số của diode

Mô hình tương đương gần đúng của diode đưa ra nhằm thay thế diode trong mạch điện để dễ tính toán hay xác định các tính chất của nó.

a. Sơ đồ tương đương khi diode phân cực thuận

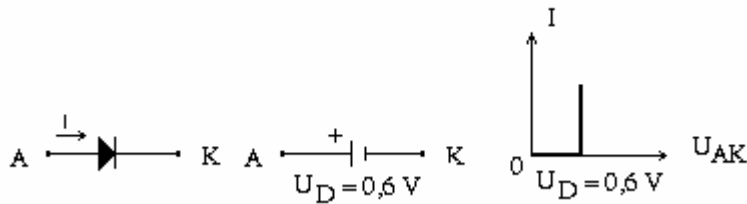
+ Khi điện áp trong mạch lớn hơn nhiều điện áp ngưỡng U_D ($U_D \sim 0,6V$ với Si và $0,2V$ với Ge). Lúc này coi diode như một khoá điện tử ở trạng thái đóng và đặc tuyến Von-ampe coi như trường hợp ngắn mạch

+ Khi điện áp đúng bằng U_D . Đặc tuyến Von-ampe là một đường thẳng song



Diode như một khoá điện tử đóng

song với trục I tại U_D và diode được coi là nguồn điện áp lý tưởng.

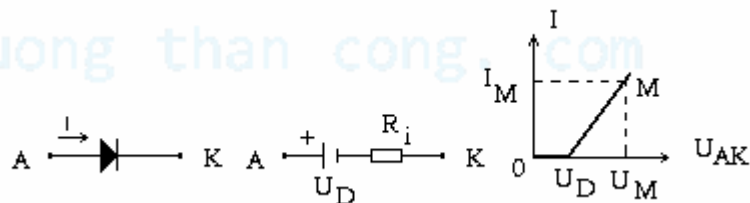


Diode như một nguồn điện áp lý tưởng

+ Khi diode có điện trở trong là một điện trở thuần. Trường hợp này diode được coi như một nguồn điện áp thực.

Điện áp thuận của diode lúc này được tính bằng :

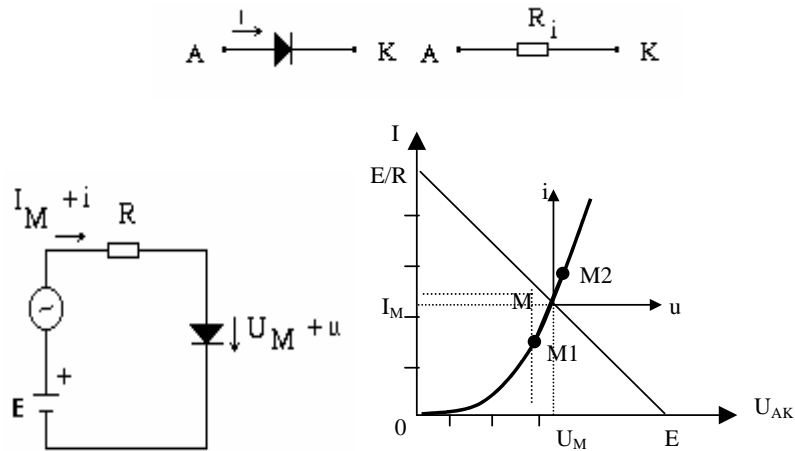
$$U_{th} = U_D + I_{th}.R_i$$



Diode là một nguồn điện áp thực

Chương III: Linh kiện tích cực

+ Sơ đồ tương đương ở chế độ tín hiệu nhỏ tần số thấp



Diode được coi như một phần tử tuyến tính

Chế độ tĩnh là chế độ diode làm việc với nguồn một chiều E

Chế độ động là chế độ diode làm việc với nguồn xoay chiều $U \sim$

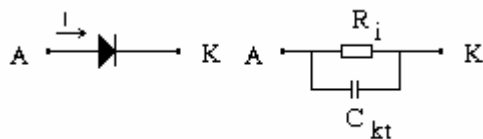
Ở chế độ tĩnh diode là một phần tử phi tuyến vì điểm làm việc có thể di chuyển theo các giá trị khác nhau của đặc tuyến Von-ampe.

Ở chế độ động sự biến thiên của tín hiệu là nhỏ để giới hạn điểm M chỉ trên đoạn M_1M_2 . Do đó, diode được coi là một phần tử tuyến tính và điện trở động của diode được

tính như sau :

$$R_i = \frac{26mV}{I_M}$$

+ Sơ đồ tương đương ở chế độ tín hiệu nhỏ tần số cao



Diode ở chế độ tín hiệu nhỏ tần số cao

Khi này có thể coi diode như là một điện trở thuần R_i mắc song song với một điện dung khuếch tán C_{kt} .

Điện dung C_{kt} xuất hiện trong khoảng thời gian τ là khoảng thời gian lệch pha giữa i và u . Có thể tính C_{kt} như sau:

$$C_{kt} = \frac{\tau}{R_i} \text{ trong đó } \tau \text{ có giá trị từ vài ns đến } \mu s$$

b. Sơ đồ tương đương khi diode phân cực ngược

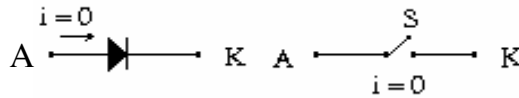
+ Sơ đồ tương đương như một khoá ở trạng thái hở

Khi bị phân cực ngược, diode hầu như không cho dòng đi qua, do đó có thể coi

Phạm Thanh Huyền_GTVT

Chương III: Linh kiện tích cực

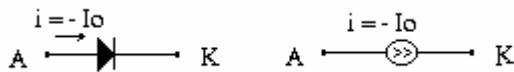
như một khoá điện tử mở.



Diode là một khoá điện tử mở

+ Sơ đồ tương đương như một nguồn dòng lý tưởng

Khi đặt một điện áp ngược nằm trong khoảng cho phép (nhỏ hơn điện áp đánh thủng) lên diode, dòng qua diode lúc này là dòng ngược có giá trị gần như không đổi (dòng ngược bão hoà) nên có thể coi nó như một nguồn dòng lý tưởng.



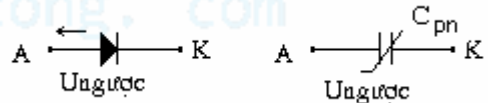
Diode là như một nguồn dòng lý tưởng

+ Sơ đồ tương đương như một tụ điện ở chế độ tín hiệu nhỏ

Lớp chuyển tiếp P-N của diode khi bị phân cực ngược có thể coi như một tụ điện với giá trị điện dung tiếp giáp C_{pn} .

C_{pn} có trị số biến thiên theo điện áp ngược đặt lên diode theo quy luật:

$$C_{pn} = \frac{C_0}{|U_{ngược}|^{1/n}} \text{ với } n = 2 \div 3$$



Tuy nhiên, khi điện áp thuận đảo cực thì cũng làm xuất hiện điện dung, gọi là điện dung khuếch tán C_{kt} . So với điện dung khuếch tán C_{kt} thì C_{pn} nhỏ hơn từ 100 tới 1000 lần

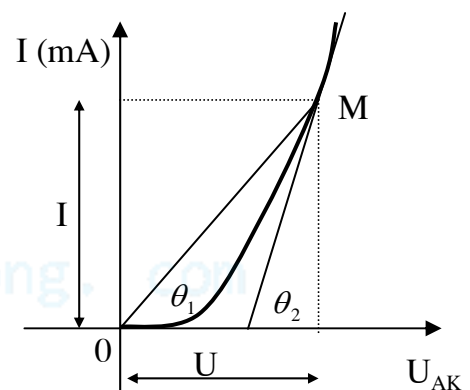
Diode như một tụ điện

4. Các tham số tĩnh của diode

Để đánh giá, lựa chọn và sử dụng đúng diode ta cần biết các tham số kỹ thuật của nó, để từ đó có thể xác định các chế độ làm việc với các đại lượng đặc trưng là dòng điện, điện áp và công suất.

a. Điện trở tĩnh R_0

Điện trở tĩnh hay điện trở một chiều là điện trở của diode khi làm việc ở chế độ nguồn một chiều.



Xác định điện trở một chiều và điện trở động của diode

$$R_0 = \frac{U}{I}$$

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{I}{U} = \theta_1 = \frac{1}{R_0}$$

R_0 chính là nghịch đảo góc nghiêng của đặc tuyến Von-ampe tại điểm làm việc tĩnh (góc θ_1). Như vậy R_0 không phải là một giá trị cố định, nó phụ thuộc vào trị số điện áp và dòng điện.

b. Điện trở động R_i

R_i là nghịch đảo của góc nghiêng của tiếp tuyến với đặc tuyến Von-ampe, nghĩa là tỉ lệ với cotg góc nghiêng của đường tiếp tuyến Von-ampe tại điểm làm việc của diode, góc θ_2 .

$$R_i = \frac{dU}{dI} = \frac{\eta V_T}{I_0 \cdot e^{\frac{U}{\eta V_T}}} = \frac{\eta V_T}{I + I_0} = \cot g \theta_2$$

Do đặc tính dẫn điện một chiều của diode nên $I \gg I_0$ và $\left| \frac{U}{\eta V_T} \right| \gg 1$, do đó

$$R_i = \frac{\eta V_T}{I}$$

Do $\theta_2 > \theta_1$ nên $R_0 > R_i$

c. Hệ số chỉnh lưu k

Hệ số chỉnh lưu là thông số đặc trưng cho độ phi tuyến của diode và xác định bằng biểu thức sau:

$$k = \frac{I_{th}}{I_0} = \frac{R_{0nguoc}}{R_{0thuan}} \text{ khi } U_{AK} = \pm 1V$$

d. Điện dung C_d của diode

Điện dung của chuyển tiếp P - N gồm 2 thành phần:

$$C_d = C_{pn} + C_{kt}$$

Với: C_{pn} là điện dung bản thân hay điện dung rào thế của chuyển tiếp P - N

C_{kt} là điện dung khuếch tán của chuyển tiếp P - N

+ Điện dung rào thế C_{pn}

Khi ta đặt một điện áp ngược lên chuyển tiếp P - N, các hạt dẫn đa số sẽ di chuyển ra xa mặt tiếp xúc và ở đó chỉ còn lại các ion cố định. Khi này nếu biến đổi điện áp phân cực ngược thì số lượng điện tích trong miền điện tích không gian cũng biến đổi, kéo theo sự biến đổi của điện áp rơi trên 2 bờ miền điện tích không gian. Vậy, chuyển tiếp P - N khi phân cực ngược có hiệu ứng điện dung và người ta gọi đó là điện dung rào thế C_{pn} . Tham số C_{pn} không phải là một trị số cố định, nó phụ thuộc vào điện áp ngược đặt lên chuyển tiếp và được xác định theo công thức:

Chương III: Linh kiện tích cực

$$C_{pn} = \left| \frac{dQ}{dU} \right| \Rightarrow C_{pn} = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0}{X_m} \cdot A \text{ với } A \text{ là diện tích mặt tiếp xúc và } X_m \text{ là}$$

bề dày lớp tiếp xúc

Giá trị điện dung rào thế C_{pn} là hàm của điện áp ngược và sự biến thiên của C_{pn} ngược chiều với sự biến thiên của điện áp ngược. Lợi dụng tính chất này người ta chế tạo loại diode đặc biệt gọi là diode biến dung (xem chi tiết ở phần sau)

+ Điện dung khuếch tán C_{kt}

C_{kt} chỉ xuất hiện khi hiện tượng khuếch tán xảy ra (phân cực thuận). Khi chuyển tiếp phân cực thuận, qua chuyển tiếp P - N có dòng I_{th} chảy. Nếu đổi cực tính của chuyển tiếp dòng thuận sẽ ngừng chảy, tại thời điểm đó các hạt dẫn do dòng thuận mang tới chưa thể đi ra khỏi vùng này và do vậy tạo ra sự tích tụ điện tích. Các điện tích này sẽ phóng ra theo chiều ngược với dòng thuận đưa chúng tới, thời gian phóng hết các hạt dẫn này chính là bằng thời gian thiết lập lại trạng thái cân bằng ban đầu trước khi chuyển sang phân cực ngược. Như vậy, I_{ng} ban đầu bằng I_{th} sau giảm xuống bằng I_{s0} . Giá trị điện dung khuếch tán tỷ lệ thuận với dòng thuận I_{th} . Dòng này càng lớn, số điện tích lưu trong chuyển tiếp P - N càng lớn và do đó giá trị C_{kt} càng lớn.

Chú ý:

+ Cả 2 đại lượng C_{pn} và C_{kt} đều gây ảnh hưởng lớn tới đặc tính tần số và đặc tính quá độ của dụng cụ bán dẫn, đặc biệt là ở khu vực tần số cao.

+ Khu vực tần số thấp điện dung có thể coi như không đáng kể nhưng ở khu vực tần số cao dung kháng giảm nên có thể coi diode bị nối tắt. Người ta giảm điện dung bằng cách giảm diện tích tiếp xúc, do vậy diode cao tần còn gọi là diode tiếp điểm còn diode nắn dòng cần có mặt tiếp xúc lớn để có khả năng chịu tải nên gọi là diode tiếp mặt.

e. Điện áp ngược cực đại cho phép

$U_{ng\max}$ là giá trị điện áp ngược lớn nhất có thể đặt lên diode mà nó vẫn làm việc bình thường. Trị số này thường được chọn là $0,8U_{dt}$ với U_{dt} là điện áp đánh thủng diode.

Tuỳ theo cấu tạo của diode mà $U_{ng\max}$ có thể nằm trong khoảng từ vài V tới 10 ngàn V.

f. Khoảng nhiệt độ làm việc

Đây là khoảng nhiệt độ bảo đảm cho diode làm việc bình thường. Tham số này quan hệ với công suất tiêu tán cho phép của diode. Khi diode làm việc, dòng điện chạy qua nó sẽ làm cho diode nóng lên, điện năng biến thành nhiệt năng. Công suất cực đại mà diode có thể chịu được là:

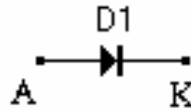
$$P_{tt\max} = I_{\max} \cdot U_{AK\max}$$

hoặc là: $P_{tt\max} = P_{\max}(20^{\circ}) \cdot \frac{t_{\max}^0 - t_0^0}{t_{\max}^0 - 20^{\circ}}$ với t_{\max}^0 là nhiệt độ cho phép cực đại của chuyển tiếp P - N và t_0^0 là nhiệt độ môi trường

Như vậy nhiệt độ môi trường tăng thì $P_{tt\max}$ sẽ giảm. Khoảng nhiệt độ làm việc của diode Ge là -60°C đến $+85^{\circ}\text{C}$; Si là -60°C đến 150°C

5. Phân loại và ứng dụng

a. Diode chỉnh lưu (nắn điện – Rectifier)



Ký hiệu của diode chỉnh lưu

Diode chỉnh lưu sử dụng đặc tính dẫn điện một chiều để chỉnh lưu dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều. Nghĩa là nó chỉ chuyển dòng điện theo một hướng thuận khi anốt có điện áp dương hơn catốt (dương hơn một giá trị điện áp nhất định tùy thuộc loại diode, đó chính là điện áp ngưỡng)

Cần quan tâm tới 2 tham số quan trọng sau khi sử dụng diode chỉnh lưu:

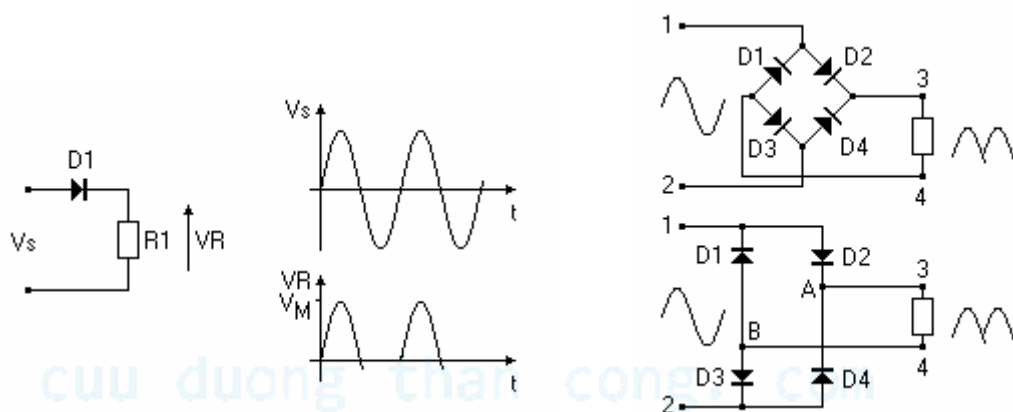
+ Dòng điện thuận cực đại I_{\max} là dòng điện cho phép xác định dòng chỉnh lưu cực đại.

+ Điện áp ngược tối đa cho phép $U_{\text{ngược max}}$ sẽ xác định điện áp chỉnh lưu lớn nhất. Người ta thường chọn $U_{\text{ngược max}} = 0,8 U_{\text{đi}}$.

Trong trường hợp chỉnh lưu công suất nhỏ, nhiệt độ thấp (khoảng 75°C) người ta dùng Ge và công suất lớn nhiệt độ cao (khoảng 125°C) dùng Si. Do dòng điện chỉnh lưu và điện áp ngược cực đại phụ thuộc vào nhiệt độ môi trường nên các diode công suất thường được gắn trên các bộ tản nhiệt.

Diode chỉnh lưu dùng để biến đổi dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều. Có 2 kiểu chỉnh lưu là chỉnh lưu nửa chu kỳ và chỉnh lưu cả chu kỳ.

Hiện nay người ta sản xuất sẵn cầu diode nhưng lắp 4 diode theo kiểu cầu cho chất lượng mạch tốt hơn và dễ sửa chữa hơn dù mạch có công kênh hơn.

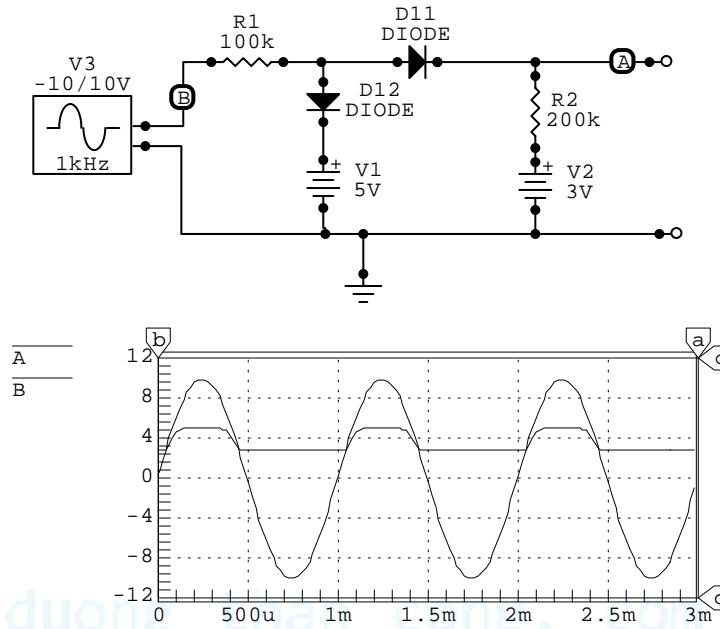


Mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ và mạch chỉnh lưu cả chu kỳ

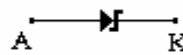
Ngoài ứng dụng làm mạch chỉnh lưu như trên người ta còn lợi dụng các điện áp ngưỡng của diode (0,3V cho diode Ge và 0,6V cho diode Si) để hạn chế biên độ của tín

Chương III: Linh kiện tích cực

hiệu. Cơ chế này đôi khi được áp dụng trong các thiết bị nhận sóng radio để ngăn chặn tiếng ồn khi một tín hiệu lớn đến. Với một số mạch âm thanh để bảo vệ mạch khỏi sự vượt quá ngưỡng người ta cũng sử dụng diode để hạn biên mặc dù điều này có thể làm biến dạng chất lượng âm thanh. Dưới đây là ví dụ về một mạch hạn biên với các dạng sóng đầu vào (B) và đầu ra (A)



b. Diode ổn áp (Zene)



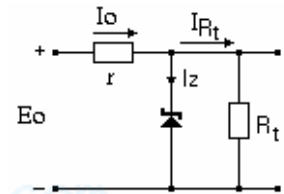
Ký hiệu của diode Zene

Cấu tạo: Diode Zene có cấu tạo tương đối đặc biệt ở chỗ nó có nồng độ pha tạp chất rất cao, có vỏ bằng thủy tinh trong suốt và kích thước khá nhỏ.

Nguyên tắc làm việc: diode ổn áp làm việc trên đoạn đặc tuyến ngược. Người ta lợi dụng chế độ đánh thủng về điện của chuyển tiếp P - N để ổn định điện áp (từ 3V đến 300V). Giá trị điện áp đánh thủng này phụ thuộc vào bề dày lớp tiếp xúc, tức là phụ thuộc vào nồng độ pha tạp chất.

Đa số các diode ổn áp đều được chế tạo từ Si và là diode tiếp mặt (do phải chịu dòng lớn)

Khi phân cực thuận diode Zene hoạt động như một diode bình thường. Khi phân cực ngược và làm việc ở chế độ đánh thủng thì nó không bị hỏng như diode khác. Từ sơ đồ trên ta thấy khi điện áp thấp hơn điện áp ngưỡng diode coi như làm hở mạch, khi điện áp vượt quá điện áp ngược điện trở của diode bắt đầu giảm. Điện áp càng tăng dòng qua diode càng lớn, nghĩa là nó ngăn chặn một cách hiệu quả điện áp đảo vượt quá điện áp



cho phép trên hai đầu điện trở tải.

Độ ổn định của mạch được tính:

$$\Delta U_{od} = \frac{\Delta E_0}{1 + \frac{r}{R_t} + \frac{r}{R_i}}$$

với r là điện trở để hạn dòng chạy trong mạch;

$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ là điện trở trong, R_i càng nhỏ thì chất lượng ổn định càng cao.

Các tham số quan trọng của diode ổn áp là:

+ Điện áp ổn định U_Z

+ Điện trở trong R_i

+ Công suất định mức P_Z , nó là công suất tiêu tán trên diode khi có dòng I_Z chảy qua

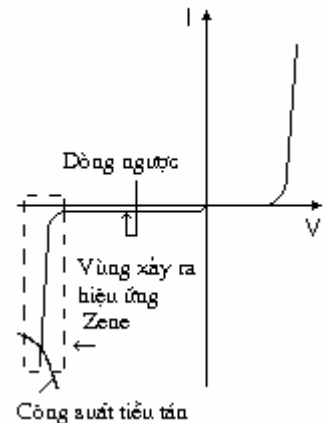
$$P_Z = U_Z \cdot I_Z$$

+ I_{\min} là trị số dòng điện nhỏ nhất tại điểm mà hiện tượng đánh thủng ổn định

+ I_{\max} là trị số dòng điện cực đại qua diode được xác định bởi công suất tiêu tán cực đại trên diode (nếu $I > I_{\max}$ diode sẽ bị cháy)

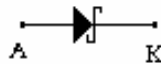
Diode Zene có đặc tuyến Von-ampe gần như của diode thường nhưng vùng làm việc ở đoạn đặc tuyến ngược với hiệu ứng đánh thủng Zene.

Diode Zene được sử dụng trong các mạch nguồn và các mạch có yêu cầu độ ổn định điện áp cao.



Đặc tuyến Von-ampe của diode Zene

c. Diode xung



Ký hiệu của diode xung

Khi này diode được sử dụng như một khoá điện tử ở một trong 2 trạng thái:

“dẫn” khi điện trở trong của diode rất nhỏ

“ngắt” khi điện trở trong của diode rất lớn

Thời gian chuyển trạng thái của diode xung yêu cầu phải nhanh và nó xác định tốc độ hoạt động của diode và do đó xác định tốc độ làm việc của thiết bị.

Diode xung có các loại là diode hợp kim, diode meza và diode Sotky. Trong đó diode Sotky được sử dụng rộng rãi nhất với $U_D \sim 0,4V$ và $t_p \sim 100$ ps.

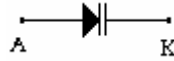
Diode xung có thể đóng vai trò làm công tắc tốt hơn bất cứ một công tắc cơ khí nào với tần số làm việc lên tới 30MHz. Để thực hiện được vai trò đó, thông thường người ta thêm một tầng bán dẫn thuận (i) kẹp giữa bán dẫn N và P, do đó còn gọi là PiN diode.

Diode xung thường được sử dụng trong các mạch kỹ thuật số, logic để làm nhiệm vụ đóng ngắt.

Chương III: Linh kiện tích cực

d. Diode biến dung (Varicap)

Diode biến dung (diode varicap) làm từ silicon hoặc galium arsenide là loại diode



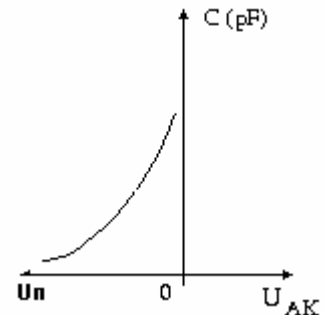
Ký hiệu của diode biến dung

được sử dụng như một tụ điện có trị số điện dung điều khiển được bằng điện áp.

Nguyên tắc làm việc của diode biến dung là dựa vào sự phụ thuộc của điện dung rào thế của chuyển tiếp P - N với điện áp ngược đặt vào nó.

Trị số của diode biến dung tùy thuộc vào cấu tạo của nó và tỉ lệ nghịch với căn bậc hai của điện áp ngược đặt lên nó. Xem hình bên

Varicap thường được sử dụng trong các mạch dao động cần điều khiển tần số cộng hưởng bằng điện áp ở khu vực siêu cao tần như: mạch tự động điều chỉnh tần số AFC (automatic frequency controller), các mạch điều tần và thông dụng nhất là các bộ dao động khống chế bằng điện áp VCO (Voltage Controlled Oscillator)



e. Diode tunen (diode xuyên hầm hay diode esaki)



Ký hiệu của diode tunen

Diode tunen được chế tạo từ bán dẫn có nồng độ pha tạp rất cao ($n = 10^{19}$ đến 10^{23} nguyên tử / cm^3). Khi này bán dẫn bị suy biến, nghĩa là mức Fermi đi vào vùng hoá trị của bên P và vùng dẫn của bên N.

Diode này có khả năng dẫn theo cả 2 chiều thuận và ngược.

Hiện tượng tunen (xuyên hầm) là hiện tượng các hạt dẫn chuyển động qua chuyển tiếp P - N mà không bị tổn hao năng lượng do mức năng lượng Fermi không nằm trong vùng cấm mà đi vào dải dẫn của N và dải hoá trị của P, tức là hạt dẫn không cần vượt qua hàng rào thế năng. Sự di chuyển này mới đầu là rất lớn (khi U_{AK} còn nhỏ) sau đó U_{AK} tăng dần làm cho số hạt dẫn di chuyển xuyên qua chuyển tiếp P - N giảm (lúc này độ chênh lệch mức năng lượng giữa hai bên giảm hơn nên cản trở quá trình xuyên hầm của điện tử). Do vậy đặc tuyến Von-ampe của diode tunen có đoạn điện trở âm (điện áp tăng nhưng dòng điện lại giảm), người ta sử dụng đoạn đặc tuyến này để tạo các mạch dao động phóng nạp.

Diode tunen có kích thước nhỏ, độ ổn định cao và tần số làm việc lên tới hàng nghìn MHz. Chúng được sử dụng trong các mạch khuếch đại tín hiệu cao tần.

f. Diode cao tần

Diode cao tần được dùng để xử lý các tín hiệu cao tần. Chúng thường là các diode tiếp điểm để giảm thiểu trị số điện dung.

Ký hiệu của diode cao tần giống như diode chỉnh lưu. Kích thước của chúng nhỏ hơn diode chỉnh lưu và thường có vỏ bằng thủy tinh.

Các loại diode cao tần thường dùng:

+ Diode tách sóng để tách tín hiệu tần thấp từ dao động cao tần.

Hình bên là sơ đồ minh họa của một máy thu vô tuyến tinh thể. Diode làm nhiệm vụ khôi phục lại tín hiệu vô tuyến, gọi là tách sóng. Để bộ tách sóng làm việc hiệu quả diode phải có điện dung thấp để hoạt động như một bộ chỉnh lưu tần số vô tuyến.

+ Diode nhân tần dùng để thay đổi tần số của các sóng. Do tính không tuyến tính của đặc tuyến diode nên sóng vào và ra khỏi diode rất khác nhau, nói cách khác ở sóng ra đã xuất hiện các thành phần hài mới là bội của tần số sóng ở đầu thu. Hình bên là một mạch nhân tần đơn để lấy ra tần số hài bậc n nhờ mạch cộng hưởng LC

$$(với \ n.f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}})$$

+ Diode trộn tần. Khi hai sóng có tần số khác nhau được kết hợp trong một mạch không tuyến tính thì sẽ tạo ra các tần số mới. Hiện tượng này gọi là tạo phách (heterodyne), các tần số mới được tạo ra gọi là các tần số nhíp. Một ứng dụng rất phổ biến của diode trong trường hợp này là để điều biến các dao động cao tần (sóng mang) theo tín hiệu âm tần. (sẽ được trình bày chi tiết trong giáo trình Kỹ thuật mạch điện tử)

g. Diode phát sáng (LED – Light emitting Diode)



Đây là loại diode có khả năng phát ra ánh sáng nhìn thấy hoặc các bước sóng khác tùy theo vật liệu cấu tạo khi được phân cực thuận. LED có ký hiệu và hình dạng thực tế như hình trên. Loại diode này sẽ được thảo luận chi tiết ở chương 4.

Chương III: Linh kiện tích cực

h. Diode thu sáng (Photo diode)



Loại diode này khi đặt điện áp phân cực ngược lên hai cực và có ánh sáng rọi vào mới làm cho diode dẫn, cường độ sáng mạnh hay yếu sẽ làm cho diode dẫn mạnh hay yếu tương ứng. (sẽ được nói chi tiết trong chương 4.)

i. Tế bào quang điện

Một diode silicon được chiếu sáng bằng ánh sáng mặt trời sẽ tạo ra dòng điện một chiều (nếu có đủ bức xạ điện từ tác động lên chuyển tiếp P – N), đây chính là hiệu ứng quang điện, đó cũng là nguyên tắc hoạt động của các tế bào mặt trời. Như vậy các tế bào này đã chuyển năng lượng mặt trời thành năng lượng điện. Tế bào quang điện được chế tạo để có được bề mặt chuyển tiếp P – N lớn nhất, nghĩa là diện tích nhận ánh sáng là lớn nhất. Một tế bào quang điện silicon đơn có thể tạo ra khoảng 0,6V điện thế một chiều, với ánh sáng mặt trời trực tiếp 1 inch vuông bề mặt P – N có thể tạo ra khoảng 160mA. Để tăng dòng và áp người ta mắc song song một chuỗi các tế bào quang điện để tạo thành pin mặt trời cung cấp cho các thiết bị điện tử.

III. TRANSISTOR LƯƠNG CỰC - BJT

Transistor = transfer resistor / điện trở truyền đạt

Tên gọi của transistor xuất phát từ công dụng cơ bản của nó là có khả năng biến đổi điện trở bản thân nhờ điều khiển bằng dòng hoặc áp. Nghĩa là việc thay đổi giá trị điện trở của linh kiện được thực hiện tự động chứ không phải tác động bằng tay như đối với chiết áp. Chỉ cần tác dụng một dòng điện nhỏ vào cực gốc thì điện trở giữa hai cực còn lại sẽ thay đổi ứng với các trường hợp:

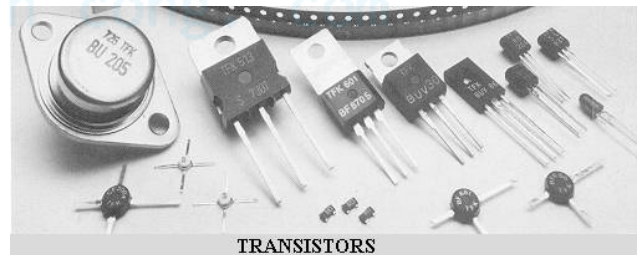
- + Nội trở giảm mạnh, tức là transistor dẫn mạnh
- + Nội trở tăng, tức là transistor dẫn yếu

Với tính chất cơ bản như trên, sự ra đời của transistor đã làm thay đổi hoàn toàn xu hướng cũng như tốc độ phát triển của kỹ thuật điện tử, nó là một minh chứng cho thời điểm chấm dứt vai trò của các ống chân không để thay vào đó là các thiết bị bán dẫn. Đây thực sự là một bước ngoặt cho kỹ thuật điện tử nói riêng và cuộc sống của con người nói chung.

Transistor gồm các loại cơ bản là:

- + BJT (Bipolar Junction Transistor): transistor lưỡng cực (hai mối nối)
- + JFET (Junction Field Effect Transistor): Transistor hiệu ứng trường mối nối
- + MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET): transistor hiệu ứng trường oxit kim loại
- + UJT (Unijunction Transistor): transistor đơn nối

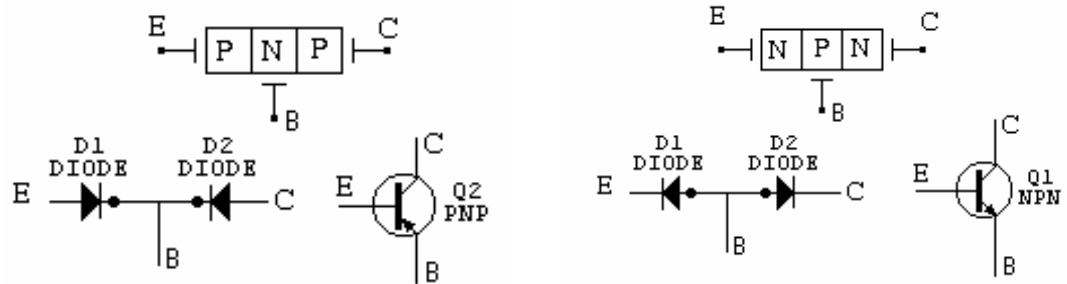
Ngoài ra, người ta còn đặt tên cho transistor theo phương pháp công nghệ chế tạo:



transistor hợp kim; transistor khuếch tán; transistor plana ...

Dưới đây ta sẽ xét tới transistor lưỡng cực – BJT và gọi tắt là transistor. (các loại khác sẽ nói tới ở phần IV, V)

1. Cấu tạo và ký hiệu BJT



Cấu tạo và ký hiệu của transistor loại PNP và NPN

Transistor được tạo thành bởi 2 chuyển tiếp P - N ghép liên tiếp trên 1 phiến đơn tinh thể. Nghĩa là về mặt cấu tạo transistor gồm các miền bán dẫn P - N xếp xen kẽ nhau. Do trình tự sắp xếp các miền P - N mà ta có 2 loại cấu trúc transistor là PNP (transistor thuận) và NPN (transistor ngược).

Miền thứ nhất gọi là miền phát (emitor), điện cực nối với miền này gọi là cực emitor. Miền ở giữa gọi là miền bazo (miền gốc) điện cực nối với miền này gọi là cực bazo. Miền còn lại gọi là miền góp (miền collector) điện cực nối với nó gọi là cực góp (cực collector).

Chuyển tiếp P - N giữa emitor và bazo gọi là chuyển tiếp E-B hay là chuyển tiếp emitor. Ký hiệu là T_E

Chuyển tiếp P - N giữa bazo và collector gọi là chuyển tiếp C-B hay chuyển tiếp collector. Ký hiệu là T_C

Về mặt cấu tạo có thể xem transistor được tạo thành từ 2 diode mắc ngược nhưng không có nghĩa là cứ ghép 2 diode thì sẽ tạo ra được transistor.

3 miền của transistor được pha tạp với nồng độ khác nhau và có độ rộng cũng khác nhau. Điều này cho phép các miền thực hiện được chức năng của mình là:

- + Emitor đóng vai trò phát xạ hạt dẫn có điều khiển trong transistor (pha tạp nhiều). Nên Emitor có nồng độ pha tạp nhiều nhất.

- + Bazo đóng vai trò truyền đạt hạt dẫn từ E sang C nên có nồng độ pha tạp ở mức trung bình để số lượng hạt từ E sang ít bị tái hợp.

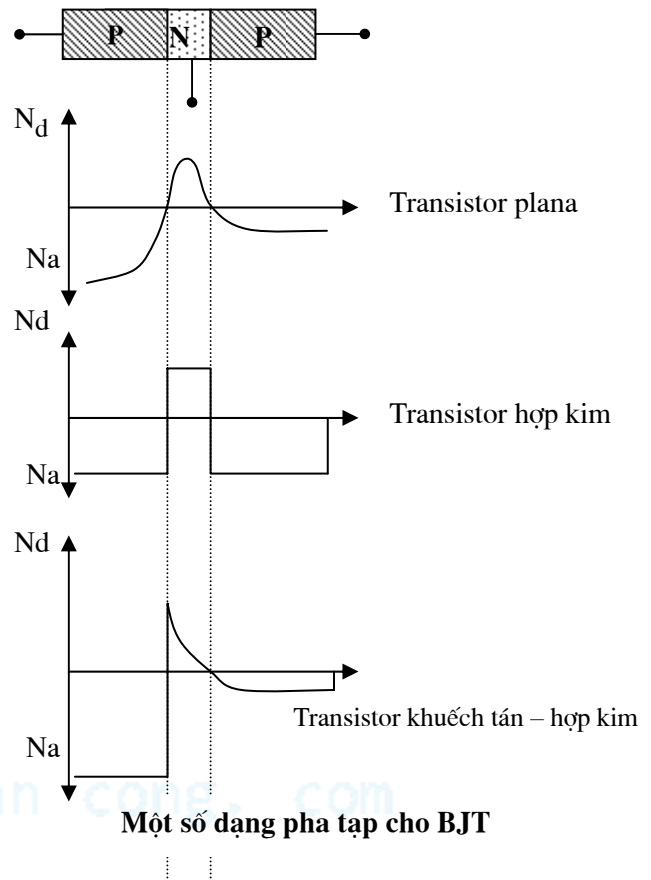
- + Collector đóng vai trò thu góp hạt dẫn từ E qua B, do đó có nồng độ pha tạp ít nhất để điện trở của vùng này là lớn nhất.

Để tạo ra các vùng P - N xen kẽ nhau trong tinh thể bán dẫn người ta áp dụng các công nghệ khác nhau để đưa tạp chất acceptor (tạo bán dẫn loại P) và donor (tạo bán dẫn loại N) vào bán dẫn nền. Tùy theo công nghệ sử dụng mà sự phân bố nồng độ tạp chất trong các miền của transistor đồng đều hay không đồng đều.

Một số kiểu pha tạp chất trong transistor được cho ở hình sau:

Chương III: Linh kiện tích cực

Sự phân bố tạp chất này (đặc biệt là trong miền E và B) ảnh hưởng rất lớn đến tham số điện của transistor.



Tuỳ vào chiều điện áp phân cực cho chuyển tiếp emitter và chuyển tiếp collector mà có thể phân biệt 4 miền làm việc của transistor như sau:

T_E	T_c	Miền làm việc	Ứng dụng
Phân cực thuận	Phân cực thuận	Miền bão hoà	Khoá điện tử
Phân cực thuận	Phân cực ngược	Miền tích cực	Khuếch đại
Phân cực ngược	Phân cực ngược	Miền cắt	Khoá
Phân cực ngược	Phân cực thuận	Miền tích cực ngược	

Các cách kí hiệu trên thân transistor

Ký hiệu của transistor phụ thuộc vào tiêu chuẩn của mỗi nước sản xuất

+ Ký hiệu theo tiêu chuẩn SNG

. Ký tự thứ nhất (hoặc chữ số) để chỉ vật liệu làm transistor

Γ (hay 1): Ge; K (hay 2): Si; A (hay 3): GaAs

. Ký tự thứ hai chỉ loại linh kiện

Δ : diode; T: transistor; B: varicap; A: diode siêu cao tần; Φ : linh kiện điện quang

. Các ký hiệu tiếp theo chỉ số series của sản phẩm

Chương III: Linh kiện tích cực

Ví dụ: 1T403A: transistor loại Ge; KT312B: transistor loại Si

+ Ký hiệu theo tiêu chuẩn của Nhật

. Ký tự đầu chỉ hai loại linh kiện

1 là diode ; 2 là transistor

. Ký tự thứ 2 là chữ S (semiconductor) chỉ linh kiện bán dẫn

. Ký tự thứ 3 chỉ chức năng

A- tần số cao ($f > 5$ MHz) loại PNP

B- tần số thấp loại PNP

C- tần số cao loại NPN

D- tần số thấp loại NPN

F- linh kiện chuyển mạch PNPN cổng P

H- linh kiện 4 cực

G- linh kiện chuyển mạch NPNP cổng N

. Các ký tự tiếp chỉ số series của sản phẩm

Ví dụ: 2SB405 :transistor bán dẫn tần số thấp loại PNP

+ Ký hiệu theo tiêu chuẩn Mỹ

. Ký tự đầu chỉ số lớp tiếp xúc P - N của linh kiện

1- một tiếp xúc P - N (diode)

2- hai tiếp xúc P - N (transistor)

3- ba tiếp xúc P - N (thyristor, diac, triac, diode, diode 4 lớp)

. Ký tự thứ 2 là chữ N

Ví dụ: 2N2222 transistor Si loại NPN có ký hiệu 2222

+ Ký hiệu theo tiêu chuẩn châu Âu

. Ký tự đầu chỉ vật liệu bán dẫn

A- Ge

D- SbIn

B- Si

C- GaAs

. Ký tự thứ 2 chỉ công dụng của linh kiện

A- diode tách sóng

B- varicap

C- transistor tần số thấp, công suất nhỏ

D- transistor tần số thấp, công suất

lớn

E- diode tunen

F- transistor tần số cao, công suất

nhỏ

L- transistor tần số cao, công suất cao P- linh kiện quang

Y- diode nắn điện

Z- diode ổn áp

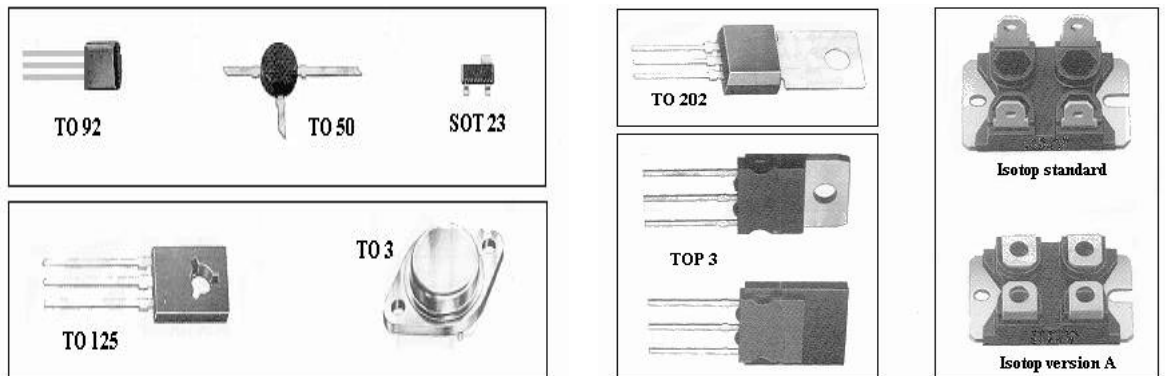
Ví dụ: AF240 transistor Ge loại tần số cao

Tuy nhiên để biết các thông số cụ thể của linh kiện như công suất lớn nhất, tần số giới hạn, nhiệt độ chịu đựng, hệ số khuếch đại, vật liệu ... thì ta cần tra bảng của nhà sản xuất.

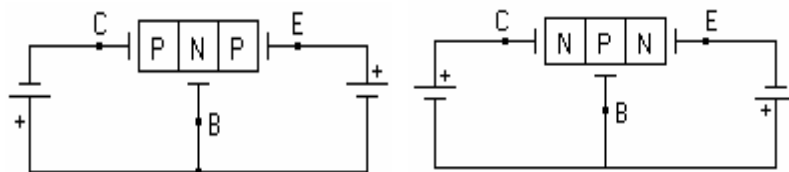
Khi sử dụng transistor điều rất quan trọng là phải xác định chính xác vị trí các chân của transistor, việc này có thể thực hiện theo quy ước của nhà sản xuất (như hình dưới đây) hoặc xác định bằng ohm kế.

Dưới đây là một số hình dạng thực tế của một số loại BJT mà qua đó có thể xác định được các cực theo quy ước của nhà sản xuất.

Chương III: Linh kiện tích cực



2. Nguyên tắc làm việc của transistor ở chế độ tích cực (chế độ khuếch đại)



Sơ đồ phân cực cho transistor PNP và NPN ở chế độ tích cực

Đây là chế độ làm việc thông dụng nhất của transistor. Khi này transistor đóng vai trò là phần tử tích cực có khả năng khuếch đại hay nói cách khác, trong transistor có quá trình điều khiển dòng, điện áp hay công suất.

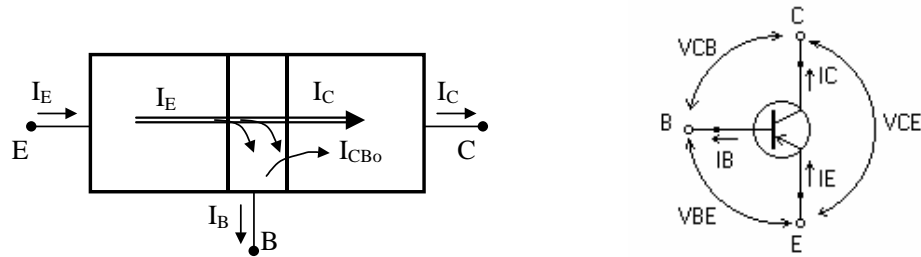
Như đã nói, để transistor làm việc ở chế độ tích cực cần cấp nguồn điện một chiều sao cho T_E phân cực thuận và T_C phân cực ngược.

Nói chung, các transistor PNP và NPN có thể hoạt động như nhau trong các mạch điện tử nhưng có điểm khác biệt là đảo chiều sự phân cực điện áp và hướng của dòng điện. Do vậy, ở đây ta chỉ cần xét hoạt động của loại PNP như sau:

+ Trong trường hợp chưa có điện áp ngoài đặt vào các chuyển tiếp emitor và collector thì qua các cực của transistor không có dòng điện, hai chuyển tiếp ở trạng thái cân bằng. Hiện tượng không có dòng chảy qua transistor cũng xảy ra khi đặt điện áp lên cực C và E nhưng cực B để hở.

+ Khi phân cực cho transistor, trạng thái cân bằng ban đầu bị phá vỡ. T_E được phân cực thuận nên các hạt đa số trong emitor (là lỗ trống) tăng cường khuếch tán sang base. Khi này hạt đa số trong base (là điện tử) cũng khuếch tán sang emitor nhưng do nồng độ pha tạp trong base ít nên thành phần ngược này không đáng kể. Các hạt đa số của emitor phun vào base và trở thành các hạt thiểu số trôi. Do chênh lệch nồng độ mà chúng sẽ khuếch tán tới bờ miền điện tích không gian của chuyển tiếp T_C . Tại đây do chuyển tiếp T_C phân cực ngược nên sẽ cuốn trôi các hạt thiểu số sang miền collector. Nếu sự phân cực vẫn tiếp tục được duy trì thì rõ ràng trên 3 cực của transistor sẽ xuất hiện dòng điện.

Có thể biểu diễn các thành phần dòng điện và điện áp trong transistor như sau:



Các thành phần dòng điện và điện áp trên các chân cực của transistor loại PNP

Dòng điện cực emitter I_E khi đi vào miền base, một phần tái hợp với điện tử, phần còn lại sẽ qua T_C sang miền collector và tạo nên dòng cực góp I_C . Khi đó ta có:

$$I_C = \alpha \cdot I_E$$

với α là hệ số truyền đạt dòng điện (hay hệ số khuếch đại dòng điện cực phát)

α = số lỗ trống không bị tái hợp / tổng số lỗ trống xuất phát từ cực emitter

$$\alpha \approx 0,95 \div 0,999$$

Ngoài ra, qua chuyển tiếp T_C còn có thành phần dòng điện ngược do bản thân T_C phân cực ngược. Đây là dòng của hạt thiểu số của miền base chuyển động dưới tác động của điện trường. Dòng điện ngược này còn gọi là dòng rò cực base I_{CB0} . I_{CB0} không phụ thuộc vào dòng I_E nên không điều khiển được, nó phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ và là thành phần dòng không cần thiết.

Vậy dòng tổng qua cực góp thực chất là: $I_C = \alpha \cdot I_E + I_{CB0}$

Dòng điện cực gốc I_B là dòng lỗ trống và điện tử tái hợp nhau trừ đi thành phần dòng ngược I_{CB0}

$$I_B = (1 - \alpha)I_E - I_{CB0}$$

Như vậy quan hệ giữa các thành phần dòng trong transistor là:

$$I_E = I_C + I_B$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad \text{gọi là hệ số truyền đạt của transistor}$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad \text{gọi là hệ số khuếch đại của transistor (giá trị từ vài chục}$$

tới vài trăm, giá trị điển hình 50 – 150)

β là thông số đánh giá tác dụng điều khiển của dòng I_B tới dòng I_C

2 tham số α và β có giá trị xác định đối với mỗi loại transistor và được ghi trong bảng thông số kỹ thuật.

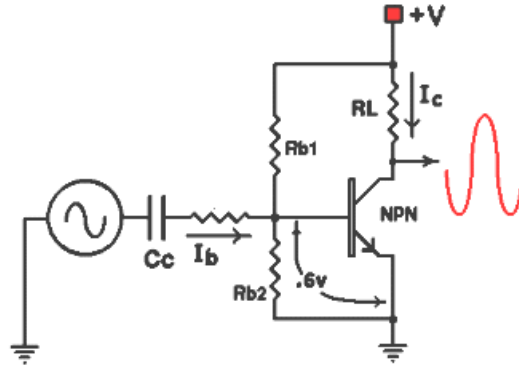
Khả năng khuếch đại của transistor :

Khi đặt giữa cực emito và bazo một nguồn tín hiệu U_{\sim} thì điện áp phân cực cho T_E sẽ thay đổi, tức là làm thay đổi dòng phun từ emito sang bazo (I_E). Tuy điện áp phân cực cho T_C không đổi nhưng do số hạt thiểu số trội trong miền bazo thay đổi nên dòng ngược qua chuyển tiếp T_C (dòng I_C) cũng thay đổi theo đúng quy luật của tín hiệu đầu vào.

Nếu mắc điện trở tải ở cực collector thì điện áp rơi trên điện trở này cũng có quy luật biến thiên như điện áp tín hiệu đặt ở đầu vào. Thêm vào đó, trong khi điện trở của E-B không đáng kể thì điện trở của B-C lại rất lớn và dòng I_C xấp xỉ dòng I_E nên theo

Chương III: Linh kiện tích cực

định luật Ohm điện áp của tín hiệu ở lối ra lớn hơn rất nhiều lần điện áp của tín hiệu ở lối vào. Đây chính là khả năng khuếch đại của transistor. Xem hình dưới đây



Trong kĩ thuật điện tử người ta còn gọi hệ số khuếch đại cực phát α là hệ số truyền đạt vì phân dòng cực phát

$$\alpha = \frac{dI_C}{dI_E} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \quad | \quad U_C = \text{const}$$

$$\alpha = 0,95 \div 0,99$$

Dòng cực góp I_C tạo ra trên tải R_L một điện áp thay đổi theo sự thay đổi của điện áp tín hiệu

$$U_{R_L} = I_C \cdot R_L = \alpha \cdot I_E \cdot R_L = \beta \cdot I_B \cdot R_L$$

Khi đó hệ số khuếch đại được tính:

$$K_U = \frac{U_{R_L}}{U_{\sim}} \approx \frac{R_L}{R_{\sim}} > 1$$

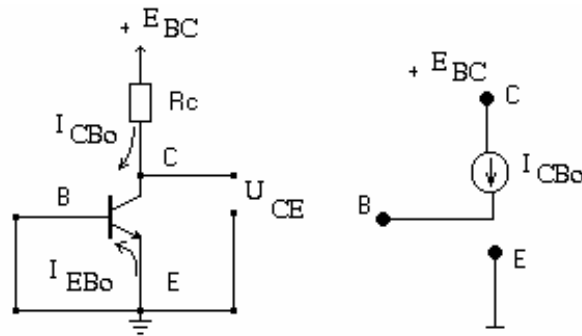
3. Transistor làm việc như khoá điện tử

Đây là chế độ làm việc thông dụng thứ 2 của transistor, chế độ làm việc này của transistor còn gọi là chế độ đóng mở. Khi này nó chỉ có 2 trạng thái ổn định: hoặc đóng (nối mạch cho dòng qua transistor) hoặc mở (ngắt mạch không cho dòng chảy qua transistor).

Đôi khi transistor chuyên dụng làm việc ở chế độ đóng mở còn gọi là transistor xung vì có thể coi chúng làm việc ở chế độ xung.

Trong kĩ thuật điều khiển tự động và kĩ thuật số nói chung các transistor hầu hết đều hoạt động như khoá điện tử.

a. Chế độ ngắt

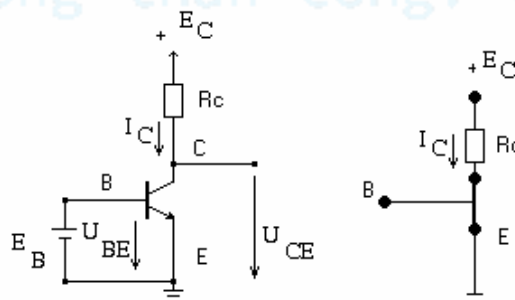


Sơ đồ mạch điện transistor trong chế độ ngắt và sơ đồ tương đương

Ở chế độ ngắt nguồn một chiều được cấp cho transistor sao cho cả 2 chuyển tiếp T_E và T_C đều phân cực ngược. Lúc này qua 2 chuyển tiếp chỉ có dòng điện ngược I_{EBo} và I_{CBo} nên có thể coi mạch cực phát hở và coi điện trở của transistor rất lớn, dòng qua transistor bằng 0. Như vậy transistor như 1 khoá ở trạng thái mở. Khi đó điện áp U_{CE} được tính bằng:

$$U_{CE} \approx E_{BC}$$

b. Chế độ dẫn bão hoà



Sơ đồ mạch và sơ đồ tương đương của transistor ở chế độ bão hoà

Transistor được phân cực sao cho chuyển tiếp T_E và T_C đều phân cực thuận. Khi đó điện trở của cả 2 chuyển tiếp đều nhỏ nên có thể coi 2 cực phát và góp được nối tắt.

Dòng qua transistor I_C khi này khá lớn và chỉ phụ thuộc vào điện áp nguồn cung cấp E_C và không phụ thuộc vào transistor. Khi này:

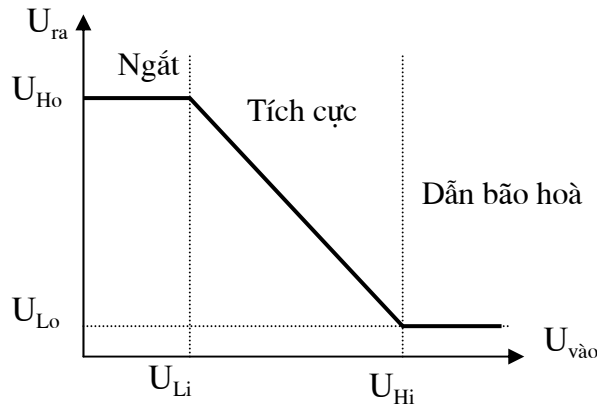
$$I_C = \frac{E_C}{R_C} \quad \text{và} \quad U_{CE} \approx 0 \quad (\text{thực tế thường lấy } = 0,3 \text{ V})$$

Hai chế độ ngắt và bão hoà của transistor được sử dụng trong kỹ thuật xung và kỹ thuật mạch logic. Ở đây điện áp đặt lên lối vào chỉ có 2 mức là mức cao và mức thấp

Nếu U_{BE} = mức thấp thì transistor ngắt lối ra có $U_{CE} \approx E_C$

Chương III: Linh kiện tích cực

U_{BE} = mức cao thì transistor dẫn bão hoà lối ra có $U_{CE} = 0$
 Như vậy transistor làm việc như 1 phần tử tuyến tính không có khả năng biến đổi



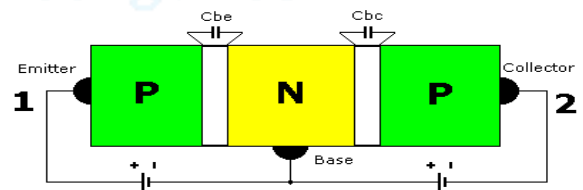
Đặc tuyến truyền đạt của transistor làm việc ở chế độ đóng mở

tín hiệu và làm việc như 1 khoá điện tử

4. Đặc tính tần số của Transistor

Khi đưa một tín hiệu có tần số cao vào transistor thì khả năng khuếch đại của transistor đối với tín hiệu này bị giảm đi so với tín hiệu có tần số thấp hơn. Hiện tượng này là do ảnh hưởng của một số thông số sau:

- + Điện dung của các chuyển tiếp T_E và T_C đáng kể
- + Trở kháng của các miền bán dẫn (base và collector)
- + Thời gian chuyển dời các hạt dẫn thiểu số qua base



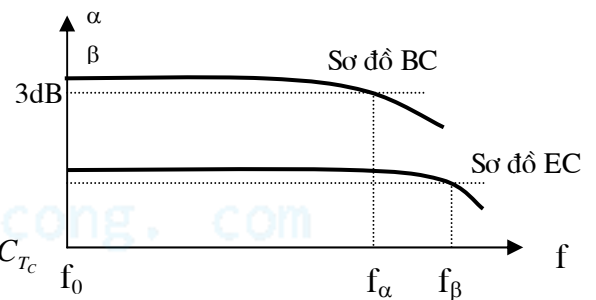
Để đánh giá đặc tính tần số của transistor người ta sử dụng tham số f_α gọi là tần số giới hạn của transistor. Tần số giới hạn f_α là tần số mà tại tần số này độ khuếch đại của transistor trong sơ đồ gốc chung BC giảm đi 3dB.

Sự phụ thuộc của hệ số khuếch đại vào tần số được thể hiện trong hình sau:

f_β là tần số giới hạn đối với sơ đồ mắc emito chung EC

Có thể tính f_α theo công thức sau:

$$\frac{1}{2\pi f_\alpha} = R_E \cdot C_{T_E} + \frac{W^2}{2.48 D_{pB}} + \frac{d}{2V_C} + R_C \cdot C_{T_C}$$



với: R_E là điện trở của miền bán dẫn cực phát

C_{T_E} là điện dung của lớp chuyển tiếp T_E
 W là bề dày của miền base

Đặc tính tần số của Transistor

D_{pB} là độ dài khuếch tán của lỗ trống trong miền base

d là bề dày lớp chuyển tiếp T_C

V_C là vận tốc chuyển dời các hạt dẫn qua chuyển tiếp T_C

R_C là điện trở miền góp collector

C_{TC} là điện dung của lớp chuyển tiếp T_C

Như vậy nếu tăng một trong các thông số R , C , W và d thì đều làm giảm f_α

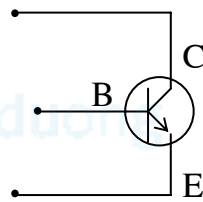
$$f_\beta = K_\theta (1 - \alpha) \cdot f_\alpha \text{ với } K_\theta \text{ là hằng số công nghệ } (0,5 \div 1)$$

5. Phân cực và định điểm làm việc cho Transistor

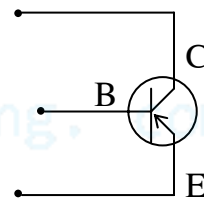
a. Nguyên tắc chung

Để Transistor làm việc cần đặt điện áp ngoài lên chuyển tiếp emito và colecto với cực tính và trị số thích hợp, việc này gọi là phân cực (hay phân áp, định thiên) cho transistor hay xác định điểm làm việc tĩnh cho transistor. Vị trí của điểm công tác tĩnh quyết định chế độ làm việc của mạch, vì vậy tùy vào mục đích sử dụng mà phân cực cho phù hợp.

Trong trường hợp transistor làm việc ở chế độ khuếch đại cần đặt điện áp một chiều lên các chân cực sao cho chuyển tiếp T_E phân cực thuận và chuyển tiếp T_C phân cực ngược.



$$V_C > V_B > V_E$$



$$V_C < V_B < V_E$$

Nguyên tắc phân cực cho Transistor loại NPN và PNP ở chế độ khuếch đại

Đường tải tĩnh và điểm công tác tĩnh

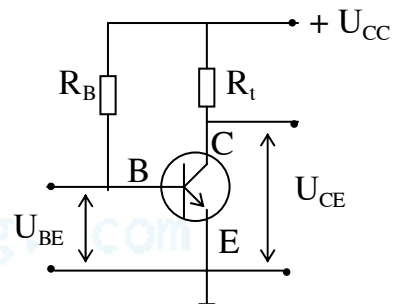
Xét một sơ đồ phân cực cho transistor như hình bên:

Khi này phương trình biểu diễn mối quan hệ giữa dòng và áp ra một chiều gọi là đường tải tĩnh.

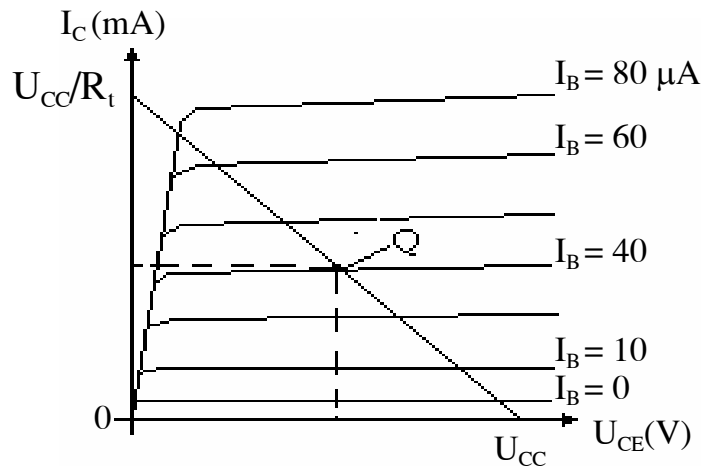
Cụ thể ở đây là phương trình giữa I_C và U_{CE} . Ta có:

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

Vẽ đường tải tĩnh trên đặc tuyến ra ta có hình dưới đây:



Chương III: Linh kiện tích cực



Đường tải tĩnh và điểm công tác tĩnh Q

Giao điểm của đường tải tĩnh và đường đặc tuyến ra gọi là điểm công tác tĩnh Q.

Việc chọn Q có ý nghĩa rất lớn đối với chế độ làm việc của transistor (sẽ được xem xét cụ thể trong giáo trình Kỹ thuật mạch điện tử), thông thường người ta chọn Q nằm giữa đường tải tĩnh để tín hiệu đầu ra có thể có biên độ lớn nhất mà không bị méo. Khi Q dịch khỏi vị trí giữa thì để tín hiệu ra không bị méo thì tín hiệu phải có biên độ nhỏ.

Dưới đây là một sơ đồ phân cực phổ biến nhất. (sơ đồ phân cực cho NPN hay PNP là hoàn toàn tương tự như nhau nhưng đảo chiều nguồn cung cấp)

b. Mạch phân dòng cố định

Hình bên là sơ đồ mạch phân dòng cố định cho transistor loại NPN

Trong đó:

E_C là nguồn cung cấp một chiều

R_B đấu từ dương nguồn E_C về cực gốc để dẫn điện áp dương về cực gốc.

R_C dẫn điện áp từ dương nguồn E_C về cực góp.

Dòng điện I_B chạy từ dương nguồn E_C qua R_B , qua BJT về âm nguồn.

Dòng điện I_C chạy từ dương nguồn E_C qua R_C , qua BJT về âm nguồn.

Đây là sơ đồ lấy tín hiệu ra trên cực C (sơ đồ emito chung) nên phương trình đường tải tĩnh chính là phương trình thể hiện mối quan hệ giữa dòng điện và điện áp đầu ra, tức là giữa I_C và U_{CE}

$$U_{CE} = E_C - I_C \cdot R_C$$

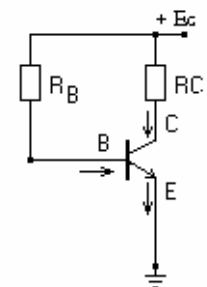
Vậy đường tải tĩnh chính là đường nối 2 điểm $(0, E_C/R_C)$ và $(E_C, 0)$

Khi này vị trí của điểm làm việc tĩnh được xác định tại Q (U_{CEQ}, I_{CQ}) như sau:

- Xác định $I_{CQ} = \alpha \cdot I_B$ với $I_B = \frac{E_C - U_{BE}}{R_B}$.

- Thay I_{CQ} vào phương trình đường tải tĩnh tính được U_{CEQ} .

Trong sơ đồ trên dòng I_B có giá trị cố định nên độ ổn định của sơ đồ này không tốt.



c. Mạch hồi tiếp âm điện áp

Sơ đồ như ở hình bên.

Hồi tiếp âm điện áp là hiện tượng một phần điện áp ra được đưa ngược trở lại đầu vào sao cho tác dụng của nó ngược pha với điện áp vào.

E_C là nguồn cung cấp một chiều

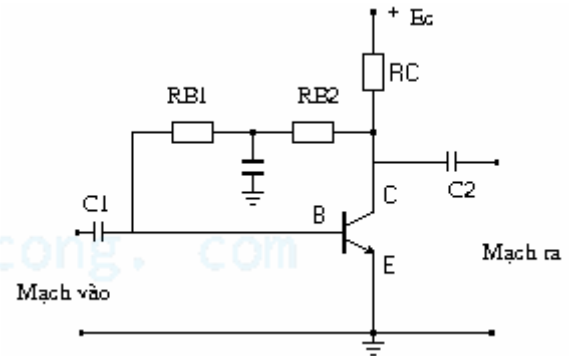
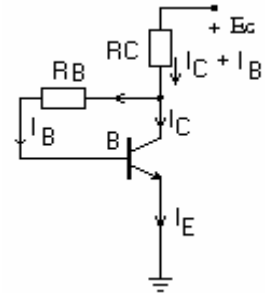
R_C dẫn điện áp từ dương nguồn E_C về cực góp.

Trong sơ đồ này điện trở R_B không nối trực tiếp với nguồn E_C mà nối giữa cực C và cực B. Nghĩa là cực B được cấp nguồn từ R_C qua R_B .

Sơ đồ này có độ ổn định tốt hơn sơ đồ trên do sự thay đổi của I_C được hồi tiếp trở lại đầu vào làm cho dòng I_B thay đổi theo hướng ngược lại để giữ ổn định cho dòng I_C . Cụ thể như sau:

Nếu vì một lý do nào đó dòng I_C tăng lên (có thể do nhiệt độ tăng) thì sụt áp trên R_C tăng, do vậy điện áp tại cực C là V_C giảm xuống. Mặt khác, $V_B = V_C - I_B \cdot R_B$ do đó V_B cũng giảm xuống, làm cho góc mở U_{BE} nhỏ lại, BJT dẫn yếu đi, tức là các dòng qua BJT giảm (I_C giảm chống lại sự thay đổi ban đầu). Quá trình hoàn toàn ngược lại khi I_C giảm. Như vậy, nhờ điện trở hồi tiếp âm R_B mà điểm làm việc tĩnh của mạch sẽ ổn định hơn.

Để loại bỏ thành phần xoay chiều của tín hiệu hồi tiếp trở lại đầu vào làm giảm hệ số khuếch đại của mạch người ta mắc thêm tụ như hình bên.



d. Mạch hồi tiếp âm dòng điện (mạch tự phân cực)

Sơ đồ cho ở hình bên.

R_1, R_2 tạo thành mạch phân áp để cấp điện áp cho cực B

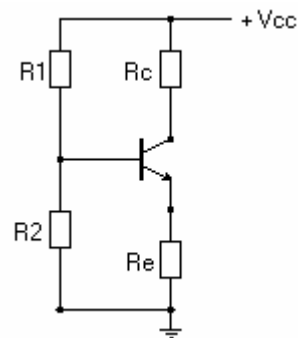
R_C dẫn điện áp dương nguồn về cực C.

R_E tạo điện áp trên cực E tùy vào giá trị dòng I_E đi qua BJT (do vậy gọi là tự phân cực)

Đây là sơ đồ có độ ổn định tốt nhất so với các sơ đồ trên.

Dòng điện trên R_E sẽ tạo một sụt áp trên nó có xu hướng chống lại sự phân cực thuận của lớp tiếp xúc phát.

Sự ổn định dòng I_C như sau: nếu vì lý do nào đó dòng chảy qua các cực của transistor tăng lên (ví dụ nhiệt độ tăng), trong đó sự gia tăng của dòng I_C là nguy hiểm nhất. Dòng I_E tăng làm cho sụt áp trên R_E (là U_E) tăng. Mà ta lại có $U_{BE} = U_B - U_E$ khi đó U_E tăng thì U_{BE} giảm, nghĩa là transistor dẫn yếu đi và I_C sẽ giảm theo. Hiện tượng ngược lại khi I_C giảm. Như vậy dòng I_C đã được ổn định.



Chú ý: Trên thực tế, người ta thường sử dụng phương pháp bù để ổn định điểm làm việc.

Chương III: Linh kiện tích cực

Phương pháp này sử dụng diode để bù lại sự biến thiên của điện áp U_{BE} và dòng I_{CB0} (do diode có hệ số nhiệt âm). Ưu điểm của phương pháp bù là không làm mất mát hệ số khuếch đại nhưng tác động của chúng không tức thì như phương pháp hồi tiếp âm.

6. Ổn định điểm công tác tĩnh

Như đã nói, vị trí của điểm làm việc tĩnh rất quan trọng trong hoạt động của BJT. Nguyên nhân dẫn đến sự thay đổi vị trí của điểm Q có khá nhiều như nhiệt độ thay đổi, sự hoá già của linh kiện theo thời gian hoạt động, sự không ổn định của nguồn cung cấp ... Trong đó yếu tố về nhiệt độ là yếu tố thường xuyên tác động và có thể hạn chế được. Do tính chất chung của bán dẫn là đặc tính điện phụ thuộc vào nhiệt độ nên dòng điện và điện áp trên transistor phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ. Nghĩa là điểm làm việc tĩnh sẽ bị di chuyển khi nhiệt độ thay đổi.

Xét về nguyên nhân sâu xa ảnh hưởng của nhiệt độ chính là ảnh hưởng tới hai tham số là dòng ngược I_{CB0} và điện áp U_{BE} .

- U_{BE} biến đổi $-2,2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ đối với transistor loại Si và $-1,8\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ đối với transistor Ge.
- I_{CB0} tăng gấp 2 lần khi nhiệt độ tăng 10°C

Kết quả của việc thăng giáng 2 tham số trên sẽ làm cho dòng I_C thay đổi rất nhiều (nghĩa là Q dịch chuyển vị trí). Để thể hiện ảnh hưởng của I_{CB0} và U_{BE} tới dòng I_C người ta đưa ra 2 tham số s và s' . Trong đó, s là hệ số ổn định nhiệt của dòng I_C theo I_{CB0} và s' là hệ số ổn định nhiệt của dòng I_C theo U_{BE} .

$$s = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CB0}} \quad \text{và} \quad s' = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{BE}}$$

Có:

$$\begin{aligned} I_C &= h_{21e} \cdot I_B + (1 + h_{21e}) \cdot I_{CB0} \\ \Rightarrow \Delta I_C &= h_{21e} \cdot \Delta I_B + (1 + h_{21e}) \cdot \Delta I_{CB0} \\ \Rightarrow 1 &= h_{21e} \cdot \frac{\Delta I_B}{\Delta I_C} + (1 + h_{21e}) \cdot \frac{\Delta I_{CB0}}{\Delta I_C} \\ \Rightarrow s &= \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CB0}} = \frac{1 + h_{21e}}{1 - h_{21e} \cdot \frac{\Delta I_B}{\Delta I_C}} \end{aligned}$$

Với h_{21e} là hệ số khuếch đại dòng trong sơ đồ EC

Nếu dòng I_B không đổi thì $s = 1 + h_{21e}$

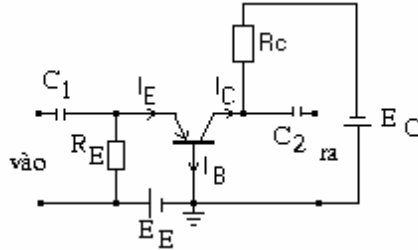
Muốn ổn định nhiệt các giá trị s và s' càng nhỏ càng tốt.

7. Các cách mắc cơ bản của transistor làm việc ở chế độ khuếch đại

Khi mắc transistor vào trong mạch về nguyên tắc có 6 sơ đồ (coi transistor có 3 chân như một mạng 4 cực với 2 đầu vào và hai đầu ra) nhưng trên thực tế chỉ có 3 cách mắc EC, BC và CC là có thể khuếch đại công suất, 3 cách còn lại không có ý nghĩa trong thực tế.

a. Sơ đồ mắc cực gốc chung (BC - base common)

E_E , E_C là điện áp một chiều cung cấp cho T



Sơ đồ mắc cực gốc chung cho transistor PNP

R_E là điện trở định thiên có nhiệm vụ tạo sụt áp của E_E để phân cực thuận cho T_E và đưa tín hiệu vào.

R_C là điện trở tải để tạo sụt áp dòng xoay chiều của tín hiệu và đưa điện áp âm từ E_C lên cực collector để T_C phân cực ngược

C_1 , C_2 là tụ ghép tầng có nhiệm vụ dẫn tín hiệu vào mạch và dẫn tín hiệu ra

Tín hiệu xoay chiều được đưa vào cực emitter và base. Tín hiệu sau khi khuếch đại được lấy ra giữa collector và base nên sơ đồ này được gọi là sơ đồ mắc base chung.

Các họ đặc tuyến tĩnh

+ Họ đặc tuyến vào

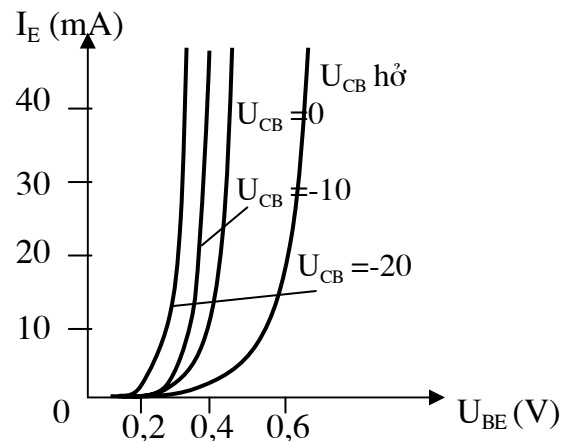
Họ đặc tuyến vào mô tả mối quan hệ giữa dòng điện vào I_E và điện áp vào U_{EB}

$$U_{EB} = f(I_E) | U_{CB} = \text{const}$$

Để vẽ được đặc tuyến này người ta giữ U_{CB} ở giá trị không đổi, thay đổi giá trị U_{EB} sau đó ghi lại giá trị I_E . Kết quả là ta được các đường đặc tuyến ứng với mỗi giá trị của U_{CB} .

T_E luôn phân cực thuận nên họ đặc tuyến vào của sơ đồ BC giống như phân đặc tuyến thuận của diode.

Điện áp U_{CB} càng lớn thì T_C được phân cực càng mạnh làm cho độ rộng hiệu dụng của miền base càng hẹp và do đó dòng I_E tăng lên.



Họ đặc tuyến vào của transistor Ge loại PNP trong sơ đồ BC

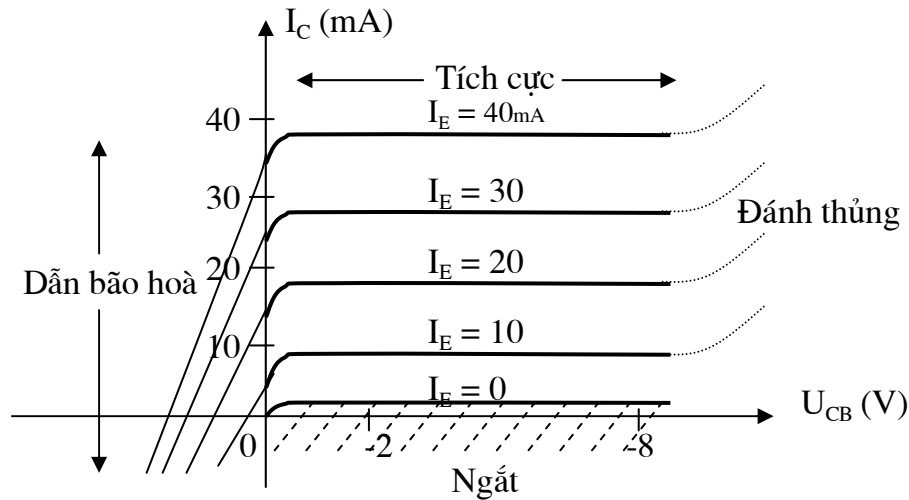
+ Họ đặc tuyến ra

Họ đặc tuyến ra biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện và điện áp cực góp. Để khảo sát mối quan hệ này cần loại bỏ ảnh hưởng của dòng I_E bằng cách giữ I_E ở giá trị xác định trong quá trình khảo sát (mỗi giá trị cố định này cho một đường đặc tuyến ra và tập

Phạm Thanh Huyền_GTVT

Chương III: Linh kiện tích cực

hợp của nhiều đặc tuyến ra cho ta họ đặc tuyến ra ứng với các giá trị của I_E khác nhau).



Họ đặc tuyến ra của transistor Ge loại PNP trong sơ đồ BC

Khi U_{CB} còn nhỏ, đoạn đặc tuyến ra gần như nằm ngang thể hiện giá trị $I_C \approx I_E$

Khi U_{CB} tăng mạnh làm miền SCR của chuyển tiếp T_C rộng ra tới mức tiếp xúc với miền SCR của chuyển tiếp $T_E \Rightarrow I_C$ bị tăng đột ngột và gây ra hiện tượng đánh thủng làm hư hỏng BJT.

Đặc điểm của sơ đồ BC:

- + Tín hiệu vào và tín hiệu ra đồng pha
- + Trở kháng vào nhỏ: $30 \div 300 \Omega$
- + Trở kháng ra lớn: $100k \div \mu\Omega$

+ Hệ số khuếch đại cực phát $\alpha = \frac{I_C}{I_E} = 0,95 : 0,99$

+ Hệ số khuếch đại điện áp K_U

$$K_U = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{vao}} = \frac{\Delta I_C \cdot Z_t}{\Delta I_E \cdot Z_{vao}} \approx \frac{Z_t}{Z_{vao}} = (10^2 \div 10^3) \text{ (phụ thuộc vào điện trở tải)}$$

+ Hệ số khuếch đại công suất K_P

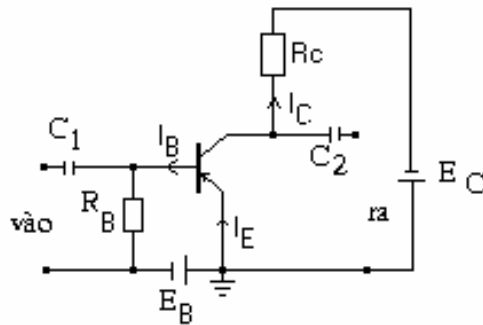
Từ các biểu thức trên có thể thấy rằng mặc dù không có khả năng khuếch đại dòng điện nhưng do có khuếch đại điện áp nên vẫn có hệ số khuếch đại công suất cỡ vài trăm lần

- + Dòng rò I_{CB0} nhỏ với BJT loại Si : từ vài nA tới vài μA
Ge : vài chục μA

+ Tần số làm việc giới hạn cao do điện dung tiếp giáp nhỏ

+ Sơ đồ BC có độ ổn định nhiệt cao, tần số làm việc cao. Thường sử dụng ở các mạch cao tần, tầng dao động nội cho máy thu thanh, tầng tiền khuếch đại cho máy tăng âm hay tầng khuếch đại cơ sở kiểu đẩy kéo cho máy tăng âm.

b. Sơ đồ mắc cực phát chung (EC - Emitter Common)



Sơ đồ mắc cực phát chung của transistor loại PNP

E_B, E_C là điện áp một chiều cung cấp cho T

R_B là điện trở định thiên có nhiệm vụ tạo sụt áp của E_B để phân cực thuận cho T_E và đưa tín hiệu vào.

R_C là điện trở tải để tạo sụt áp dòng xoay chiều của tín hiệu đưa ra mạch sau và đưa điện áp âm từ E_C lên cực collector để T_C phân cực ngược

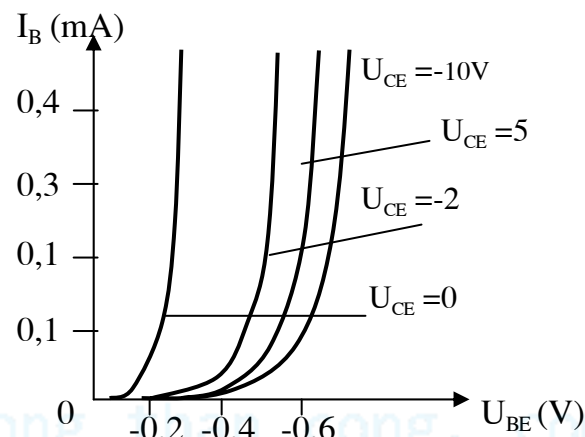
C_1, C_2 là tụ ghép tầng có nhiệm vụ dẫn tín hiệu vào mạch và dẫn tín hiệu ra, đồng thời ngăn cản thành phần dòng một chiều từ tầng này sang tầng kia.

Điện áp tín hiệu xoay chiều cần khuếch đại được đưa vào giữa cực gốc và cực phát. Tín hiệu sau khi khuếch đại được lấy ra giữa cực góp và cực phát

Các họ đặc tuyến tĩnh:

+ Họ đặc tuyến vào mô tả mối quan hệ giữa điện vào U_{BE} với dòng điện I_B .

$$U_{BE} = f(I_B) | U_{CE} = \text{const}$$



Họ đặc tuyến vào của transistor Ge loại PNP trong sơ đồ EC

Chương III: Linh kiện tích cực

Nhận xét:

Khi điện áp $U_{BE} > 0$ thì tiếp xúc phát T_E phân cực ngược, $I_E \sim 0$ nên $I_B \sim 0$

Khi điện áp $U_{BE} < 0$ thì T_E phân cực thuận và lúc đó có hiện tượng chích các hạt dẫn vào miền gốc và do đó có hiện tượng tái hợp trong miền gốc và trong mạch cực gốc sẽ có thành phần dòng điện tái hợp nên I_B được tính như sau:

$$I_B = (1 - \alpha)I_E - I_{CB0}$$

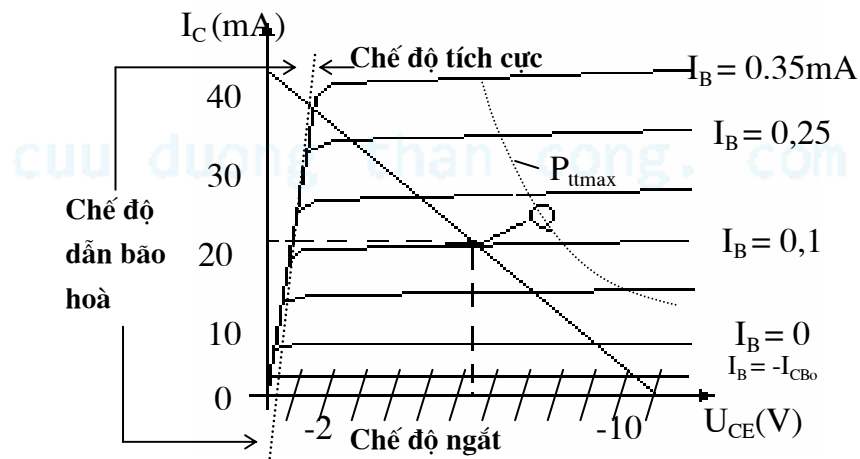
Do dòng điện I_E tăng theo quy luật hàm số mũ với U_{BE} nên I_B cũng tăng theo quy luật hàm mũ với U_{BE}

Khi thay đổi điện áp trên mạch ra U_{CE} thì dòng điện vào I_B thay đổi rất ít. Khi U_{CE} càng âm thì dòng I_B giảm một chút do I_{CB0} tăng.

+ Họ đặc tuyến ra biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện trên mạch ra I_C và điện áp trên mạch ra U_{CE}

$$I_C = f(U_{CE})|I_B = \text{const}$$

có thể tính I_C như sau:
$$I_C = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_B + \frac{1}{1 - \alpha} I_{CB0} = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CB0}$$



Đây chính là biểu thức biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện điều khiển (I_B) và dòng điện bị điều khiển (I_C) trong sơ đồ mắc cực phát chung.

Nhận xét:

I_C có giá trị cực tiểu khi cả T_E và T_C đều phân cực ngược, transistor làm việc ở chế độ ngắt. Lúc này $I_C = I_{CB0}$

Khi $I_B = 0$ tức là điện áp U_{BE} bắt đầu phân cực thuận cho T_E , $I_C = (\beta + 1)I_{CB0}$

Khi tăng điện áp trên mạch ra (U_{CE} âm hơn) thì dòng điện cực góp I_C không giữ nguyên mà tăng lên do T_C bị phân cực mạnh hơn nên độ rộng miền base giảm, dòng tái hợp giảm, do vậy hệ số khuếch đại dòng điện cực phát α tăng và hệ số khuếch đại dòng điện cực gốc β cũng tăng.

Đặc điểm của sơ đồ mắc cực phát chung

- . Tín hiệu vào và ra ngược pha nhau
- . Trở kháng vào bé (nhưng lớn hơn trong sơ đồ BC) $200 \div 2000 \Omega$
- . Trở kháng ra lớn (nhưng nhỏ hơn trong sơ đồ BC) $20k \div 100k \Omega$
- . Hệ số khuếch đại dòng cực gốc

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (\text{vài chục đến vài}$$

trăm lần)

- . Hệ số khuếch đại K_U

$$K_U = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{vao}} = -S(R_C // r_{CE}) \quad (\text{có giá}$$

trị từ $10^3 \div 10^4$ lần)

- . Hệ số khuếch đại công suất $K_P = \frac{P_{ra}}{P_{vao}}$ vài chục

- . Dòng điện rò I_{Ceo} (lớn hơn ở BC)

Si: vài μ : vài chục μA

Ge: vài trăm μA

- . Tần số làm việc khá cao (thấp hơn BC) do điện dung nhỏ

Sơ đồ này được sử dụng rộng rãi do có β , K_U , K_P rất lớn. Mạch làm việc ổn định về nhiệt, trở kháng đầu vào/ra chênh lệch ít.

c. Sơ đồ mắc cực góp chung (CC – Collector common) (còn gọi là sơ đồ lắp cực phát)

Hình bên là một sơ đồ mắc transistor kiểu colecto chung.

Trong đó:

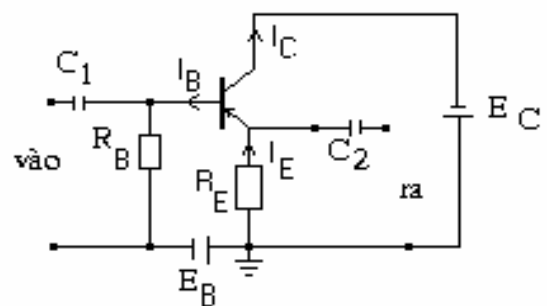
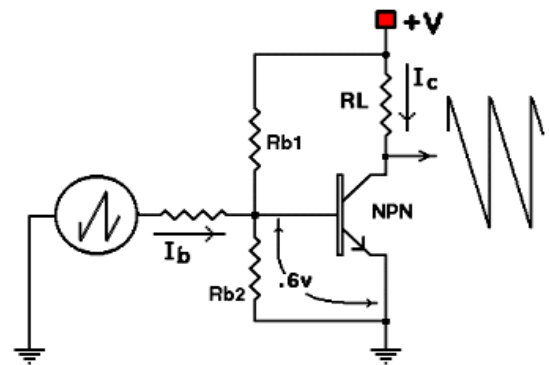
E_B , E_C là điện áp một chiều cung cấp cho transistor

R_B là điện trở định thiên có nhiệm vụ tạo sụt áp của E_B để phân cực thuận cho T_E và đưa tín hiệu vào.

R_E là điện trở phân cực cho cực E và là điện trở tải để tạo sụt áp dòng xoay chiều của tín hiệu đưa ra mạch sau

C_1 , C_2 là tụ ghép tầng có nhiệm vụ dẫn tín hiệu vào mạch và dẫn tín hiệu ra

Như thế tín hiệu cần khuếch đại được đưa vào giữa cực gốc và cực góp, tín hiệu sau khi khuếch đại được lấy ra trên R_E đặt giữa cực phát và cực góp. Cực góp chính là cực chung của mạch vào và ra nên sơ đồ được gọi là mắc cực góp chung.



Chương III: Linh kiện tích cực

Đặc điểm của sơ đồ mắc cực góp chung:

. Tín hiệu vào và tín hiệu ra đồng pha

. Trở kháng vào lớn

$$Z_{vao} = \beta R_E = 20K\Omega \div 500K\Omega$$

. Trở kháng ra nhỏ $Z_{ra} = 50\Omega \div 5K\Omega$

. Hệ số khuếch đại điện áp

$$K_u = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{vao}} = \frac{\Delta U_{BC} - \Delta U_{BE}}{\Delta U_{BC}} < 1$$

thường lấy $K_u \sim 1$.

. Hệ số khuếch đại dòng điện cực gốc

$$K_i = \frac{I_E}{I_B} = \frac{1}{1 - \alpha} = \beta + 1 \approx \beta$$

vì $\beta \gg 1$ nên hệ số khuếch đại dòng điện

trong sơ đồ mắc cực góp chung tương đương với hệ số khuếch đại dòng điện của sơ đồ mắc cực phát chung.

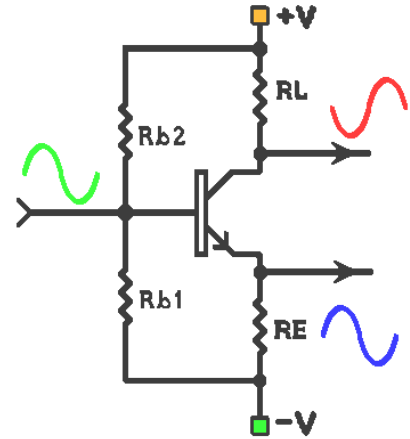
. Hệ số khuếch đại công suất K_p có trị số từ vài chục đến vài trăm lần

. Dòng điện rò nhỏ và có trị số tương đương như trong sơ đồ mắc cực phát chung

. Tần số làm việc giới hạn cũng có giá trị giống như ở sơ đồ mắc cực phát chung

Do có trở kháng vào rất lớn nhưng trở kháng ra lại rất nhỏ nên sơ đồ này thường được dùng như một bộ biến đổi trở kháng, tức là phối hợp trở kháng giữa một mạch có trở kháng ra cao và một mạch có trở kháng vào thấp.

Đặc tuyến và tham số của sơ đồ mắc cực góp chung cũng tương tự như ở sơ đồ mắc cực phát chung.



IV. TRANSISTOR HIỆU ỨNG TRƯỜNG (FET – Field effect Transistor)

1. Khái niệm chung

a. Nguyên tắc hoạt động

Nguyên tắc hoạt động cơ bản của FET là làm cho dòng điện cần điều khiển đi qua một môi trường bán dẫn có tiết diện dẫn điện thay đổi dưới tác dụng của điện trường vuông góc với lớp bán dẫn đó. Sự thay đổi cường độ điện trường sẽ làm thay đổi điện trở của lớp bán dẫn và do đó làm thay đổi dòng điện đi qua nó. Lớp bán dẫn này được gọi là kênh dẫn điện. Đây là điểm khác biệt so với BJT vì BJT dùng dòng điện cực gốc để điều khiển.

Trong FET, dòng điện hình thành do một loại hạt dẫn duy nhất, hoặc là điện tử hoặc là lỗ trống.

b. Phân loại

Transistor trường có 2 loại là:

+ Transistor trường có điều khiển bằng tiếp xúc P - N (hay còn gọi là transistor mối nối – JFET- Junction field effect transistor)

+ Transistor có cực cửa cách điện (IGFET – insulated gate field effect transistor)

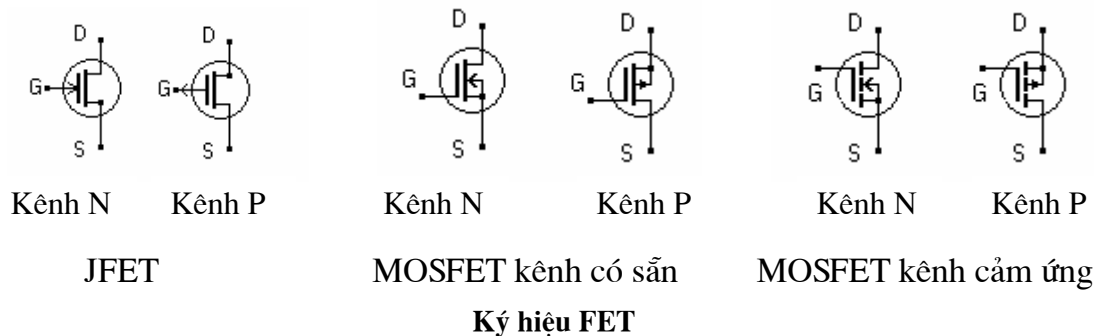
Chương III: Linh kiện tích cực

hay MOSFET (metal oxide semiconductor field effect transistor).

MOSFET được chia làm 2 loại là MOSFET kênh có sẵn và MOSFET kênh cảm ứng

Mỗi loại FET ở trên lại được chia thành loại kênh N hoặc kênh P (tùy theo hạt dẫn điện là điện tử hay lỗ trống)

c. Ký hiệu FET trong sơ đồ mạch



S: source – cực nguồn mà qua đó các hạt đa số đi vào kênh và tạo ra dòng điện nguồn I_s

D: drain – cực máng là cực mà ở đó các hạt dẫn đa số rời khỏi kênh dẫn

G: gate – cực cửa là cực điều khiển dòng điện chạy qua kênh dẫn

d. Ưu điểm và nhược điểm của FET

Ưu điểm:

- + Trở kháng vào rất cao
- + Tạp âm ít hơn nhiều so với transistor lưỡng cực
- + Độ ổn định nhiệt cao
- + Tần số làm việc cao

Nhược điểm:

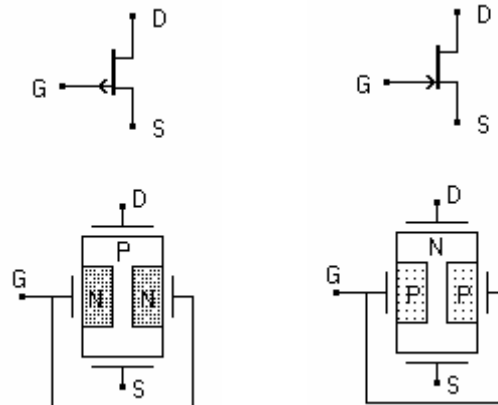
- + Công nghệ chế tạo phức tạp nên khó sản xuất hơn BJT
- + Hệ số khuếch đại thấp hơn nhiều so với BJT

2. Transistor trường điều khiển bằng tiếp xúc P - N (JFET)

a. Cấu tạo và nguyên tắc hoạt động

JFET có cấu tạo gồm có một miếng bán dẫn mỏng loại N (ta có JFET kênh loại N) hoặc loại P (ta có JFET kênh loại P) ở giữa 2 tiếp xúc P - N và được gọi là kênh dẫn điện. Hai đầu của miếng bán dẫn được đưa ra 2 chân cực gọi là cực máng (D) và cực nguồn (S). Hai miếng bán dẫn ở 2 bên của kênh được nối với nhau và đưa ra một chân cực gọi là cực cửa (G)

Chương III: Linh kiện tích cực

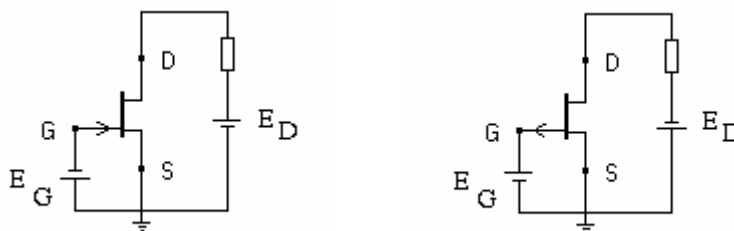
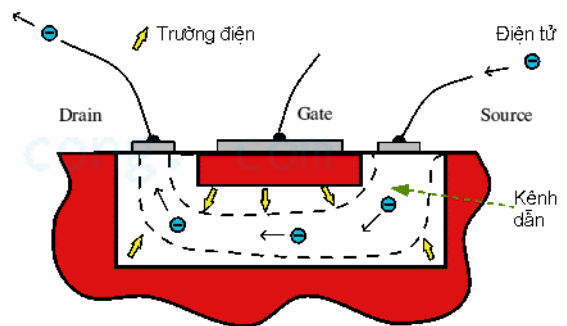


Cấu tạo của JFET kênh dẫn loại P và N

Các JFET hầu hết là loại có cấu trúc đối xứng, nghĩa là khi đấu trong mạch có thể đổi chỗ 2 chân cực máng và nguồn mà tính chất và tham số của FET không thay đổi.

Nguyên tắc làm việc:

Muốn JFET làm việc ở chế độ khuếch đại cần phải cung cấp nguồn điện một chiều giữa cực cửa và cực máng U_{GS} có chiều sao cho cả 2 tiếp xúc P - N đều được phân cực ngược còn nguồn điện cung cấp giữa cực máng và cực nguồn U_{DS} có chiều sao cho các hạt dẫn đa số phải chuyển động từ cực nguồn S đi qua kênh về cực máng để tạo nên dòng điện cực máng I_D .



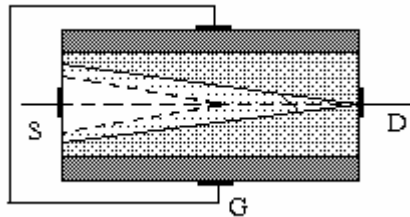
Sơ đồ phân cực cho JFET kênh N và kênh P

JFET kênh N và kênh P có nguyên tắc hoạt động giống nhau. Chúng chỉ khác nhau về chiều của nguồn điện cung cấp là ngược chiều nhau. Ở đây ta xét trường hợp JFET kênh loại N.

Với JFET kênh loại N cần mắc nguồn cung cấp sao cho:

$U_{GS} < 0$ để 2 chuyển tiếp P và N phân cực ngược

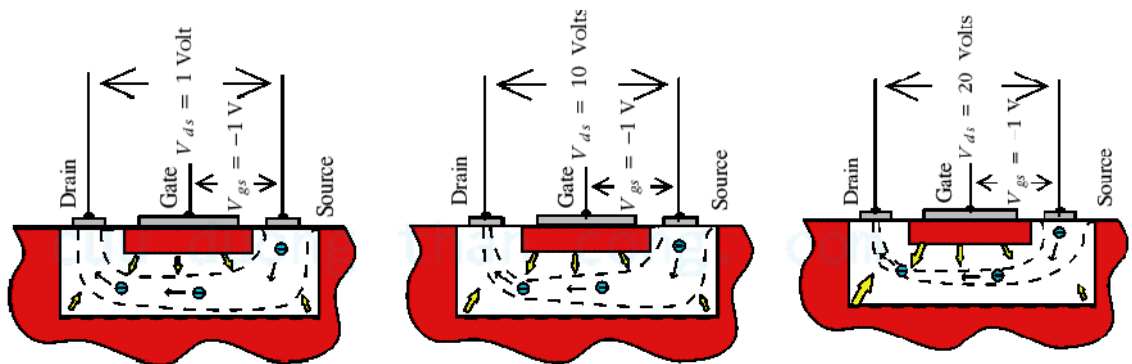
$U_{DS} > 0$ để điện tử di chuyển từ S tới D



Điểm thắt kênh dịch chuyển về phía S khi tăng U_{DS}

Khi $U_{DS} > 0$ thì điện thế tại mỗi điểm dọc theo kênh từ cực nguồn S đến cực máng D sẽ tăng từ 0V tới U_{DS} ở cực máng D, do đó chuyển tiếp P - N phân cực ngược mạnh dần về phía cực máng làm cho bề dày lớp chuyển tiếp tăng dần về phía D và tiết diện của kênh sẽ hẹp dần về phía cực máng D. (càng tăng U_{DS} thì điểm thắt càng dịch về phía S, nghĩa là hiện tượng thắt kênh dẫn sớm xảy ra).

Hình dưới đây minh họa hình ảnh kênh dẫn bị thắt khi tăng U_{DS} .

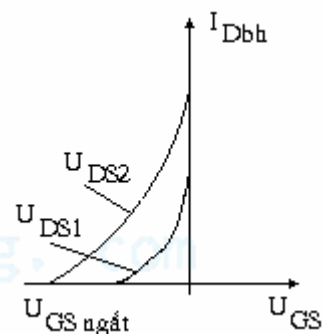


b. Đặc tuyến truyền đạt, đặc tuyến ra

U_{GS} ngắt là điện áp ngược lớn nhất mà tại đó $I_D = 0$, hai miền điện tích không gian của 2 chuyển tiếp P - N phủ trùm lên nhau, kênh dẫn biến mất, dòng qua kênh bằng 0.

Qua đường đặc tuyến truyền đạt ta thấy: khi thay đổi điện áp trên cực cửa thì bề dày của lớp tiếp xúc P - N sẽ thay đổi làm cho tiết diện của kênh cũng thay đổi theo, kéo theo điện trở của kênh thay đổi và cường độ dòng điện qua kênh cũng thay đổi. Như vậy điện áp trên cực cửa U_{GS} đã điều khiển được dòng điện ở cực máng I_D .

Khi đặt điện áp U_{DS} lên giữa cực máng D và cực nguồn S thì sẽ có một dòng điện I_D chạy qua kênh. Vì dòng điện không chảy trong vùng nghèo hạt dẫn nên ta có thể tính như sau:



Đặc tuyến truyền đạt của JFET kênh loại N

Chương III: Linh kiện tích cực

$$I_D = S \cdot q \cdot N_D \cdot \mu_n \cdot E = 2b \cdot w \cdot q \cdot N_D \cdot \mu_n \frac{U_{DS}}{L}$$

$S = 2bw$ là tiết diện của kênh dẫn

$2b$ là độ rộng của kênh tương ứng với khi dòng điện $I_D = 0$

w là kích thước vuông góc với hướng b của kênh

L là chiều dài kênh dẫn

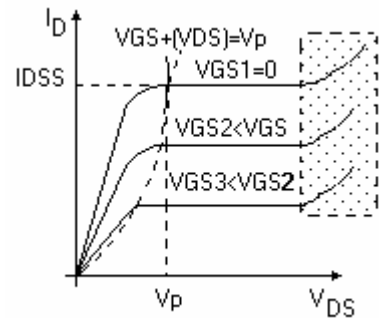
U_{DS} là điện áp đặt giữa cực máng và cực nguồn

Nhận xét đặc tuyến ra:

. Vùng gần gốc: I_D tỉ lệ tuyến tính theo U_{DS} . JFET giống như một điện trở thuần

. Vùng thắt (vùng bão hoà): I_D phụ thuộc vào U_{GS} , JFET hoạt động như phần tử khuếch đại, dòng I_D được điều khiển bằng điện áp U_{GS} . Điểm A được gọi là điểm thắt của kênh, tại đó 2 tiếp xúc P - N chạm nhau và trị số điện áp U_{DS} đạt giá trị bão hoà.

. Vùng đánh thủng: khi trị số U_{DS} tăng quá cao tiếp xúc P - N bị đánh thủng, dòng điện I_D tăng vọt. Điểm B được gọi là điểm đánh thủng. Trên thực tế hiện tượng này hiếm khi xảy ra.



Đặc tuyến ra của JFET kênh loại N

Chú ý: U_{GS} càng âm thì điểm A và B càng gần gốc, nghĩa là quá trình bão hoà và đánh thủng sớm xảy ra khi tăng dần U_{DS} .

Bảng: Giá trị một số tham số của FET

Tham số	JFET	MOSFET
Độ dẫn S	0,1 ÷ 10 mA/V	0,1 ÷ 20 mA/V
Điện trở cực máng r_d	0,1 ÷ 1 MΩ	1 ÷ 50 KΩ
Điện dung giữa cực máng và cực nguồn C_{ds}	0,1 ÷ 1 pF	0,1 ÷ 1 pF
Điện dung giữa cực cửa và các cực nguồn, máng C_{gs}, C_{gd}	1 ÷ 10 pF	1 ÷ 10 pF
Điện trở giữa cực cửa và cực nguồn r_{gs}	$> 10^8 \Omega$	$> 10^{10} \Omega$
Điện trở giữa cực cửa và cực máng r_{gd}	$> 10^8 \Omega$	$> 10^{14} \Omega$

3. Transistor trường loại MOSFET

Đây là loại transistor trường có cực cửa cách điện với kênh dẫn điện bằng một lớp cách điện mỏng. Lớp cách điện thường được dùng là chất oxit nên transistor trường loại này còn được gọi là transistor MOS.

a. Cấu tạo của MOSFET

Điện cực cửa của MOSFET được cách điện đối với kênh dẫn điện bằng một màng điện môi mỏng thường là oxit silic (SiO_2). Đế của linh kiện là một chất bán dẫn khác loại với chất bán dẫn làm cực S và D. (MOS – Metal – oxit – semiconductor)

MOSFET có 2 loại là MOSFET kênh có sẵn (còn gọi là DMOSFET - Depleted MOSFET - loại nghèo) và MOSFET kênh cảm ứng (còn gọi là EMOSFET – Enhanced MOSFET - loại giàu). Trong mỗi loại này lại có 2 loại là kênh dẫn loại N và kênh dẫn loại P.

MOSFET kênh có sẵn là loại transistor mà khi chế tạo người ta đã chế tạo sẵn kênh dẫn. Loại này có nhược điểm là có dòng rò lớn nên hiện nay người ta sử dụng loại này rất ít.

Ký hiệu của loại DMOSFET như sau:



Kênh N



Kênh P

MOSFET kênh cảm ứng là loại transistor khi chế tạo người ta không chế tạo sẵn kênh dẫn mà kênh dẫn được hình thành trong quá trình transistor làm việc. Ký hiệu của EMOSFET như sau:

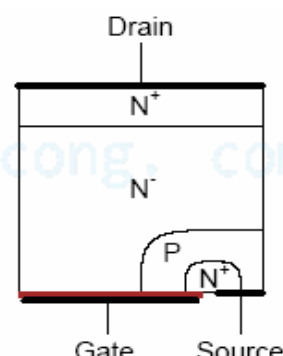
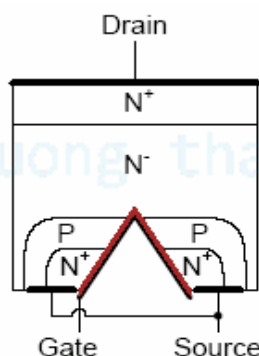


Kênh N



Kênh P

Dưới đây là một số hình ảnh pha tạp thực tế để tạo EMOSFET loại N.



Chương III: Linh kiện tích cực

b. Nguyên tắc làm việc

Nguyên tắc hoạt động của MOSFET kênh loại P và MOSFET kênh loại N giống nhau nhưng cực tính nguồn cung cấp ngược nhau.

MOSFET kênh có sẵn (loại N)

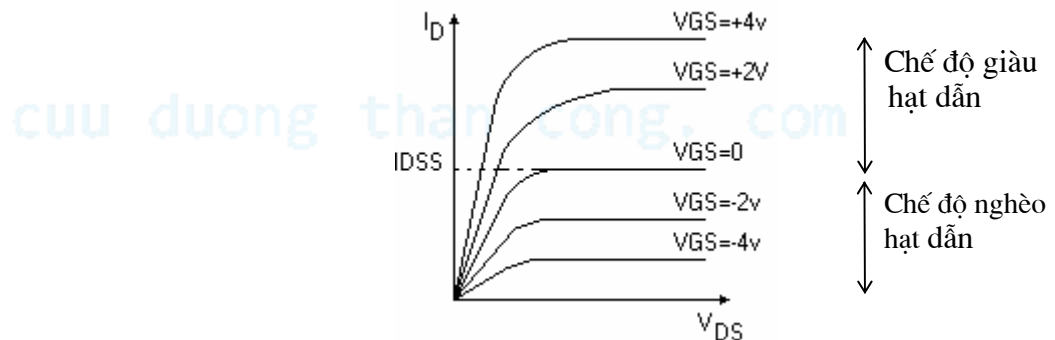
Khi transistor làm việc thông thường cực nguồn S được nối với đế của linh kiện và nối đất nên $U_S = 0$. Các điện áp đặt vào các chân cực cửa G và cực máng D là so với chân cực S.

Các chân cực được cấp nguồn sao cho dòng điện chạy từ cực S tới cực D, điện áp trên cực cửa sẽ quyết định MOSFET làm việc ở chế độ giàu hạt dẫn hay nghèo hạt dẫn.

Khi $U_{GS} = 0$ trong mạch vẫn có dòng điện cực máng (dòng các hạt điện tử) nối giữa cực S và cực D

Khi $U_{GS} > 0$ điện tử bị hút vào vùng kênh đối diện với cực cửa làm giàu hạt dẫn cho kênh, tức là làm giảm điện trở của kênh do đó tăng dòng cực máng I_D . Chế độ làm việc này gọi là chế độ giàu của MOSFET

Khi $U_{GS} < 0$ quá trình xảy ra ngược lại, tức là điện tử bị đẩy ra xa kênh dẫn làm điện trở của kênh tăng lên, do vậy dòng cực máng I_D giảm. Chế độ này gọi là chế độ nghèo hạt dẫn của MOSFET.



Hồ đặc tuyến ra của MOSFET kênh có sẵn loại N

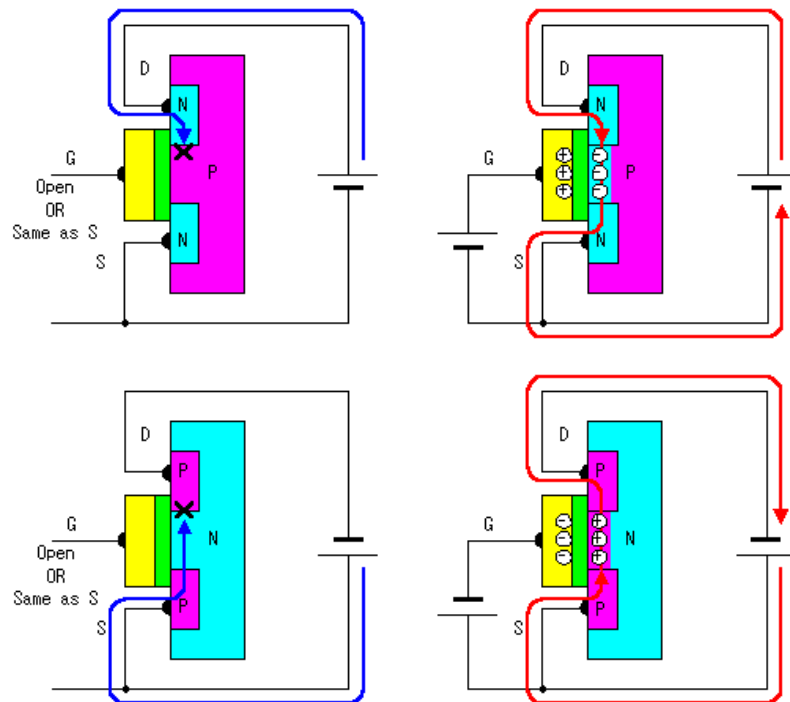
MOSFET kênh cảm ứng (loại N)

Loại MOSFET này kênh dẫn chỉ xuất hiện trong quá trình làm việc

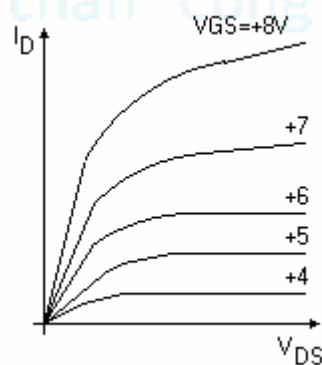
Khi $U_{GS} \leq 0$, kênh dẫn không tồn tại, dòng $I_D = 0$

Khi $U_{GS} > 0$ tại vùng đế đối diện cực cửa xuất hiện các điện tử tự do và hình thành kênh dẫn nối giữa nguồn và máng. Độ dẫn điện của kênh phụ thuộc vào U_{GS} . Như vậy, MOSFET kênh cảm ứng chỉ làm việc với một loại cực tính của U_{GS} và chỉ ở chế độ giàu.

Dưới đây là hình minh họa cho các trường hợp trên với từng loại EMOSFET.



Họ đặc tuyến đầu ra của EMOSFET



Họ đặc tuyến ra của MOSFET kênh cảm ứng loại N

c. Các sơ đồ mắc FET

Cũng như BJT, FET có 3 cách mắc cơ bản trong các sơ đồ khuếch đại: sơ đồ mắc cực nguồn chung, mắc cực máng chung và mắc cực cửa chung.

Sơ đồ mắc cực nguồn chung (SC – source common)

Sơ đồ mắc cực nguồn chung của FET giống như sơ đồ mắc cực phát chung đối với BJT nhưng có điểm khác là dòng I_G thực tế bằng 0 và trở kháng vào rất lớn.

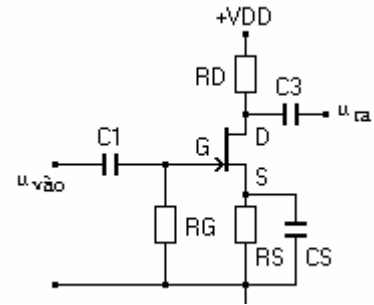
Đặc điểm của sơ đồ SC:

- + Tín hiệu vào và tín hiệu ra ngược pha
- + Trở kháng vào vô cùng lớn $Z_{vao} = R_{GS} \approx \infty$

Phạm Thanh Huyền_GTVT

Chương III: Linh kiện tích cực

- + Trở kháng ra $Z_{ra} = R_D // r_d$
- + Hệ số khuếch đại điện áp $\mu \sim (150 \div 300 \text{ lần đối với JFET kênh N và } 75 \div 150 \text{ lần đối với JFET kênh P})$



Sơ đồ mắc nguồn chung của JFET kênh loại N

Sơ đồ mắc cực máng chung (DC – drain common)

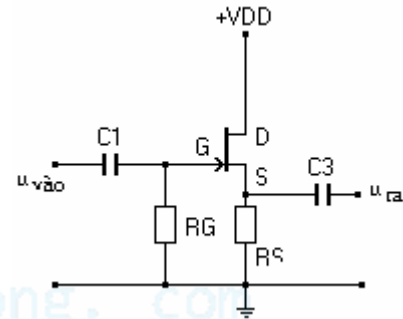
Sơ đồ mắc cực máng chung giống như sơ đồ mắc cực góp chung của BJT

Đặc điểm của sơ đồ DC:

- + Tín hiệu vào và tín hiệu ra đồng pha
- + Trở kháng vào cực lớn (lớn hơn cả trong sơ đồ SC)
- + Trở kháng ra rất nhỏ $Z_{vào} = R_S //$

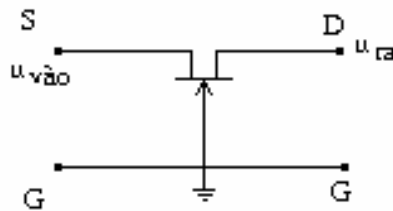
$$\frac{1}{S}$$

- + Hệ số khuếch đại điện áp $\mu < 1$



Sơ đồ mắc cực máng chung của JFET kênh N

Sơ đồ mắc cực cửa chung (GC – gate common)



Sơ đồ mắc cực cửa chung của JFET kênh N

Sơ đồ này không được dùng trên thực tế do có trở kháng vào rất nhỏ còn trở kháng ra rất lớn nên không sử dụng được lợi thế của FET.

V. MỘT SỐ LOẠI LINH KIỆN TÍCH CỰC KHÁC

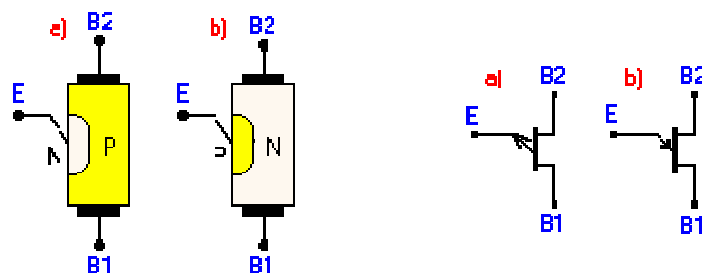
1. Transistor một tiếp giáp (UJT)

a. Cấu tạo và ký hiệu

UJT là transistor một tiếp giáp (Uni-junction Transistor) tức UJT là một linh kiện có một chuyển tiếp đơn, giống như Diode. Tuy nhiên, cấu trúc chi tiết của nó lại khác. Nó gồm một phiến bán dẫn silic loại N (hay P) hai đầu gắn điện cực gọi là cực base 1 và base 2. Trên phiến bán dẫn này, gần hơn với base 2 có một chuyển tiếp P-N như chỉ ra ở hình dưới đây. Điện cực thứ 3 được gọi là “emitter”.

Ký hiệu của Transistor một tiếp giáp UJT (hình a là cấu tạo và ký hiệu của UJT loại P, hình b biểu diễn loại N)

Trở kháng giữa base 1 và base 2 được đo khi dòng emitter = 0 được gọi là “trở



kháng giữa các base” R_{BB} và có giá trị điển hình khoảng $5K - 10 K\Omega$.

b. Nguyên tắc hoạt động

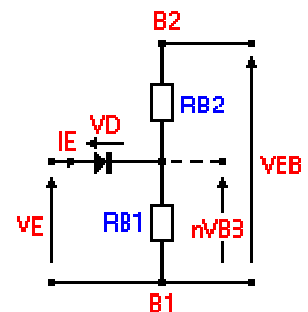
Hình bên chỉ ra mạch tương đương đơn giản của UJT với cực Base loại N. Trở kháng R_{BB} được phân đôi bởi chuyển tiếp P-N (biểu thị bởi diode) thành 2 điện trở R_{B1} và R_{B2} , mà tổng của nó bằng R_{BB} .

Trong chế độ hoạt động thông thường, điện áp V_{BB} được cung cấp cho base 1 và base 2, với base 2 dương hơn so với 1. Khi không có dòng I_E , phiến bán dẫn sẽ hoạt động giống như một bộ phân áp đơn giản và có một phân điện áp xác định của V_{BB} xuất hiện trên R_{B1} . Tỷ số n được gọi là “tỷ số cân bằng nội” và giá trị của nó khoảng 0,5 đến 0,9. Tỷ số này được cho bởi:

$$n = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

Điện áp V_{BB} khiến cathode của diode của dương hơn so với B1 và có giá trị điện thế $n.V_{BB}$. Nếu điện áp emitter V_E nhỏ hơn giá trị này, chuyển tiếp sẽ được phân cực ngược và chỉ có một dòng emitter ngược nhỏ chảy qua.

Nếu V_E lớn hơn $(nV_{BB} + V_D)$, với V_D là điện áp ngưỡng của chuyển tiếp, thì diode sẽ được phân cực ngược và có một dòng emitter thuận I_E chảy qua. Dòng này do các lỗ trống “khuếch tán” vào phần thấp hơn của thanh bán dẫn và làm tăng độ dẫn (do số lượng các hạt dẫn tự do tăng). Điều này khiến cho điện trở R_{B1} giảm. Khi R_{B1} giảm, điện áp $n.V_{BB}$ cũng giảm, bởi thế có sự gia tăng điện áp thuận qua diode và tất nhiên dòng qua diode cũng tăng. Quá trình tích lũy này tiếp tục cho đến khi đạt đến giá trị dòng I_E



Phạm Thanh Huyền_GTVT

Chương III: Linh kiện tích cực

tức đạt đến trạng thái bão hoà của thanh bán dẫn tại miền R_{B1} . Bắt đầu từ các điều kiện này, điện áp V_E , mà có giá trị nhỏ nhất V_v (điện áp điểm trũng), bắt đầu tăng khi dòng tăng, giống như đặc tuyến thông thường của diode.

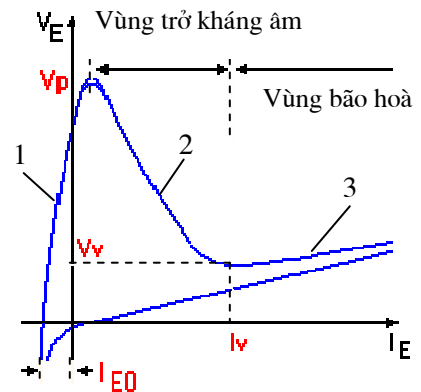
Đặc trưng của đặc tuyến dòng/áp của UJT như chỉ ra ở hình bên.

Đường cong này, có 3 miền làm việc:

Vùng 1: $0 < V_E < V_p$: dòng I_E là rất nhỏ và trở kháng vào rất cao.

Vùng 2: $V_p < V_E < V_v$: trở kháng vào là âm, có nghĩa một sự gia tăng dòng sẽ khiến cho điện áp giảm.

Vùng 3: $V_E > V_v$: trở kháng vào lại trở nên dương và có giá trị tương tự với trở kháng của diode khi dẫn.



Các điểm đặc trưng:

V_p được gọi là điện áp đỉnh và bằng:

$$V_p = n \cdot V_{B2B1} + V_D = n \cdot V_{BB} + V_D.$$

V_v : điện áp điểm trũng.

I_v : dòng điện điểm trũng.

Transistor UJT được dùng chủ yếu trong các mạch chuyển mạch, định thời, mạch trigger và mạch tạo xung.

c. Một số mạch ứng dụng của UJT

Mạch tạo xung răng cưa.

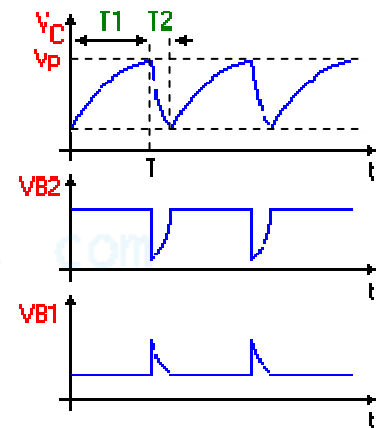
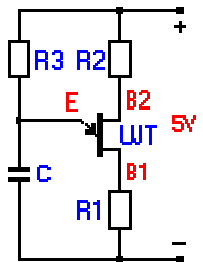
Giả thiết tại thời điểm bắt đầu của chu kỳ, tụ C đã phóng hết điện. Khi này chuyển tiếp emitter bị phân cực ngược do điện áp trên $R1 > 0$. Vì vậy, tụ sẽ nạp qua $R3$ với hằng số thời gian $R3 \cdot C$. Khi điện áp trên C đạt tới điện áp đỉnh của UJT, UJT bắt đầu dẫn, cho phép tụ điện phóng qua R_{B1} và $R1$ và giảm xuống điện áp nhỏ nhất rất gần điện áp điểm trũng. Tại thời điểm này, UJT lại khoá (ngắt) và bắt đầu chu kỳ kế tiếp.

Các tín hiệu tại các điểm khác nhau của mạch được chỉ ra ở hình bên.

Như thấy trong hình, tụ điện phóng tạo nên xung dương qua $R1$ và xung âm qua $R2$, mà chu kỳ của xung phụ thuộc hằng số thời gian $(R1 + R_{B1}) \cdot C$.

Thành phần điện áp 1 chiều dc của V_{R1} và V_{R2} được xác định bởi dòng “tĩnh”, dòng này chảy qua 2 điện trở này khi không có tín hiệu vào trên Emitter. Biên độ của xung V_{B1} và V_{B2} có thể khác nhau vì chúng được xác định bởi các điện trở $R1, R2, R_{B2}$.

Tần số f của tín hiệu (nếu hằng số thời gian phóng là rất nhỏ so với hằng số nạp) sẽ được biểu diễn bởi (chú ý $T = T1 + T2 \approx T1$):



$$f = \frac{-1}{R_3 \cdot C \cdot \ln(1-n)}$$

Từ quan hệ này có thể thấy tần số sẽ không phụ thuộc điện áp nguồn cung cấp.

Bộ tạo xung vuông.

Mạch bên có thể được sử dụng để tạo ra xung vuông.

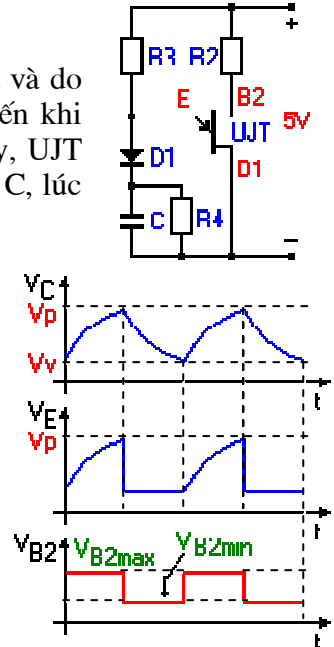
Tại thời điểm bắt đầu của chu kỳ, giả thiết C phóng hết và do vậy UJT ngắt. Sau đó tụ C sẽ nạp điện qua R3 và D1 cho đến khi điện áp trên nó đạt tới giá trị điện áp đỉnh. Tại thời điểm này, UJT bắt đầu dẫn và được nối với nguồn cung cấp qua R3. Tụ điện C, lúc này cách ly với UJT do D1, sẽ phóng điện qua R4.

Khi điện áp qua R4/C rơi xuống mức điện áp trũng, UJT sẽ ngắt và chu kỳ lại bắt đầu. Tín hiệu tại các điểm khác nhau được vẽ ở hình bên.

Chu kỳ T của tín hiệu là hàm của hằng số thời gian phóng và nạp của tụ C. Bởi thế, nó phụ thuộc vào C, R3, R4 như sau:

$$T = R_3 \cdot C \cdot \ln\left(\frac{E - V_V}{E - V_P}\right) + R_4 \cdot C \cdot \ln\left(\frac{V_P}{V_V}\right)$$

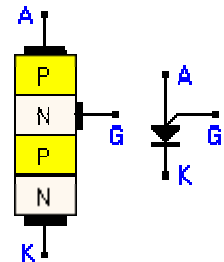
$$\approx R_3 \cdot C \cdot \ln\left(\frac{1}{1-n}\right) + R_4 \cdot C \cdot \ln\left(\frac{V_P}{V_V}\right)$$



2. PUT (Programmable UJT - UJT điều khiển được)

a. Cấu tạo và ký hiệu

PUT gồm 3 chuyển tiếp và 3 cực: anode A; cathode K và cực cửa gate G. Cấu trúc bên trong và ký hiệu của PUT được thể hiện như hình bên.

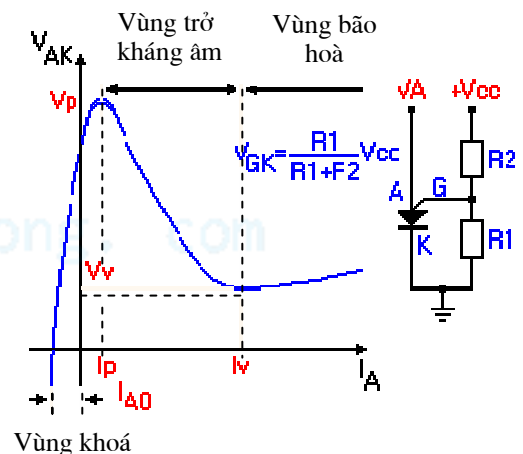


b. Nguyên tắc hoạt động

Điều kiện dẫn của PUT hay là dòng dẫn giữa anode và cathode sẽ phụ thuộc vào điện áp trên cực cửa G. Cực cửa là cực điều khiển của PUT. PUT hoạt động giống như một UJT, nhưng khác ở điểm là : dòng bắt đầu của PUT có thể được thiết lập nhờ các linh kiện bên ngoài.

Trong chế độ hoạt động thông thường của PUT, sẽ có một điện áp cố định V_{GK} giữa cực G và Cathode. Khi điện áp anode V_{AK} thay đổi sẽ có 3 vùng hoạt động sau:

Vùng khoá: V_{AK} nhỏ hơn điện áp V_P - điện áp “đỉnh” ($V_P \approx V_{GK} - 0.5 \text{ V}$) Trong miền này, dòng anode rất nhỏ.



Chương III: Linh kiện tích cực

Vùng điện trở âm: nếu $V_{AK} > V_P$; I_A sẽ tăng; điện trở giữa A và K giảm và V_{AK} cũng giảm.

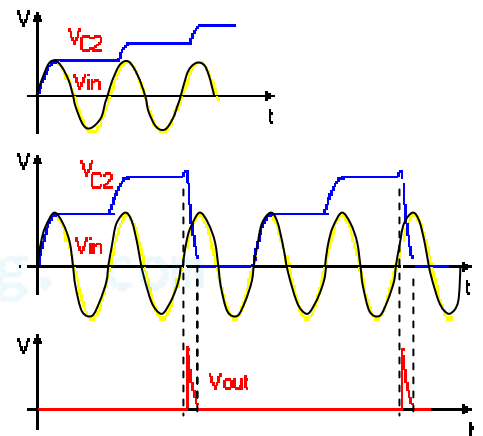
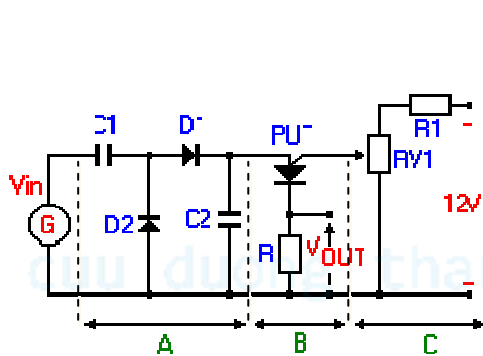
Vùng bão hoà: lúc này, V_{AK} cao hơn điện áp “trùng” V_V ; trở kháng giữa A và K có giá trị dương. PUT duy trì dẫn cho đến khi dòng anode I_A giảm thấp hơn dòng “điểm trùng” I_V .

c. Các ứng dụng của PUT.

Các ứng dụng điển hình của PUT tương tự như UJT. Ta chỉ xét ứng dụng tạo mạch chia tần.

Xét mạch trong hình dưới đây. Đoạn A là thể hiện mạch bội áp. Điện áp trên C2 sẽ gấp đôi điện áp vào. Khi nối một PUT vào mạch (đoạn B) cho phép C2 có thể phóng điện khi đạt đến điện áp ngưỡng của PUT. Do sự phóng điện sẽ có một xung điện áp trên R và tần số của xung điện áp ra này tỷ lệ với tần số của tín hiệu vào.

3. Chỉnh lưu có điều khiển SCR (Silicon Controlled Rectifier)



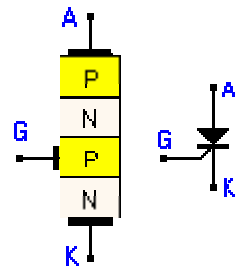
a. Cấu tạo và ký hiệu

SCR gồm 3 chuyển tiếp và có 3 cực: Anode A; cathode K; cực cửa G.

SCR (chỉnh lưu có điều khiển) còn được gọi là *thyristor*. SCR là một linh kiện điện tử có hai trạng thái hoạt động ổn định.

Trạng thái ngắt *OFF*, dòng qua là rất nhỏ và SCR có thể xem như hở mạch.

Trạng thái bật *ON*, dòng rất lớn (giới hạn bởi điện trở ngoài), và SCR thực chất là ngắn mạch.



b. Nguyên tắc hoạt động

Hoạt động của SCR được mô tả như sau:

Một xung dòng điện trên cực cửa G sẽ điều khiển trạng thái bắt đầu dẫn giữa anode và cathode.

Để giữ SCR ở trạng thái dẫn, cần một dòng nhỏ trên anode được gọi là dòng “duy trì”.

Giảm dòng anode xuống dưới giá trị ngưỡng “duy trì”, hay đảo ngược phân cực

Chương III: Linh kiện tích cực

giữa anode và cathode sẽ đưa SCR vào trạng thái ngắt.

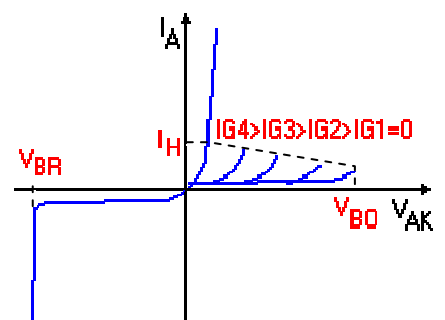
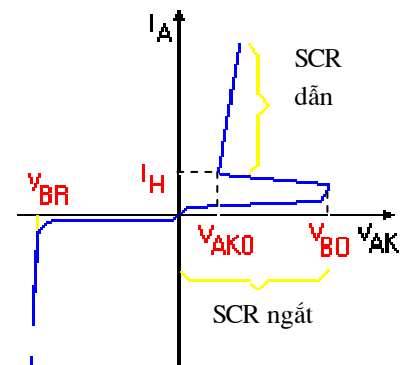
Hình bên chỉ ra đặc tuyến dòng/áp cho 1 SCR khi không có tín hiệu trên cực cửa G.

Ta có thể thấy rằng, trong miền phân cực ngược SCR sẽ hoạt động giống như một Diode.

Trong miền phân cực thuận (anode dương hơn so với cathode), ban đầu chỉ có một dòng điện nhỏ chảy qua SCR trong trạng thái mở thông. Khi điện áp phân cực thuận tăng lên và đạt đến giá trị “ngưỡng thủng” V_{BO} (break-over) thì dòng bắt đầu tăng nhanh, điện áp V_{AK} qua SCR giảm đột ngột xuống một giá trị thấp gọi là điện áp “ngưỡng thuận” V_{AK0} . Khi mà SCR dẫn, nó sẽ có mức trở kháng rất nhỏ và điện áp qua nó rất nhỏ (khoảng vài Volt), ít phụ thuộc vào dòng điện.

Tác dụng của cực cửa G là điều khiển điện áp “ngưỡng đánh thủng” V_{BO} .

Hình bên chỉ ra điện áp ngưỡng thủng phụ thuộc vào dòng cực cửa I_G .



4. DIAC và TRIAC.

a. DIAC

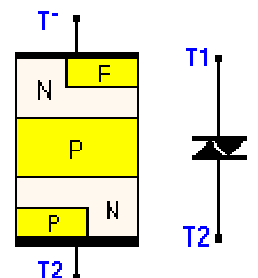
DIAC là một linh kiện gồm 2 phần PNPN kết nối song song-đối nhau, xem hình bên.

Có hai điểm khác biệt của DIAC so với SCR là:

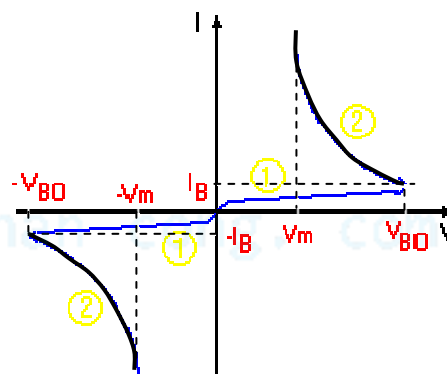
DIAC dẫn không cần điện áp đưa vào cực cửa mà chỉ cần đạt điện áp ngưỡng giữa cực T1 và T2.

DIAC có thể dẫn theo cả hai hướng.

Những đặc trưng này được chỉ ra trên đường cong dòng/áp của hình dưới đây.



Trong đoạn (1) của đặc tuyến ($-V_{BO} \div V_{BO}$), DIAC sẽ hoạt động

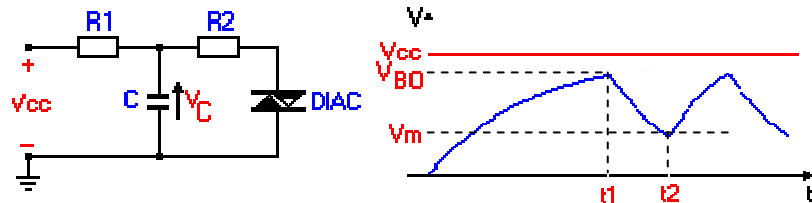


như một chuyển mạch với cả hai chiều phân cực thuận và nghịch. Khi điện áp vượt qua giá trị “ngưỡng đánh thủng” V_{BO} , dòng bắt đầu tăng nhanh và điện áp giảm xuống giá trị V_m .

Phạm Thanh Huyền_GTVT

Chương III: Linh kiện tích cực

Trong đoạn (2) của đặc tuyến ($-V_{B0} \div -V_m$ hoặc $V_m \div V_{B0}$), điện áp sụt xuống trong khoảng thời gian ngắn, trong khoảng thời gian này, DIAC có điện trở âm. Nếu điện áp đặt vào DIAC giảm xuống nhỏ hơn V_m , DIAC sẽ quay trở lại trạng thái hở mạch (ngắt).

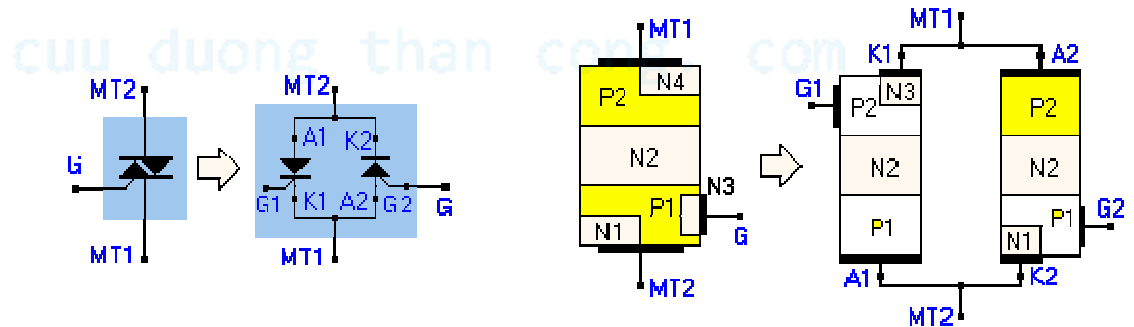


Hình trên là sơ đồ một bộ tạo dao động đơn giản sử dụng DIAC.

Với mạch này, tụ sẽ nạp qua R1 trong khoảng t_1 . Khi điện áp trên tụ bằng với V_{B0} DIAC sẽ bắt đầu dẫn. Lúc này, tụ sẽ phóng qua R2 và DIAC; điện áp trên tụ giảm xuống giá trị V_m . Khi này, DIAC chuyển về trạng thái hở mạch (ngắt). Chu kỳ lại tiếp tục.

b. TRIAC

Cấu tạo và ký hiệu



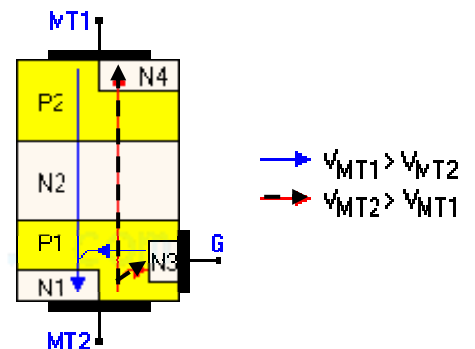
Hình bên cho thấy TRIAC về mặt cấu tạo tương đương như 2 SCR mắc song song, một kiểu P và một kiểu N.

Tuy nhiên, TRIAC khác biệt so với SCR ở khả năng dẫn theo hai hướng.

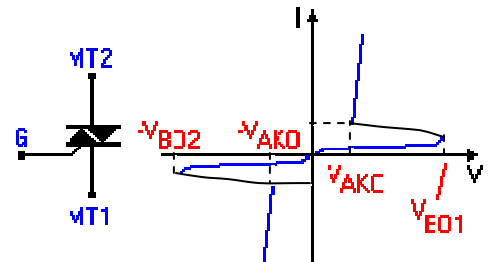
Nguyên tắc hoạt động

Đặc tuyến dòng/áp được thể hiện ở hình bên

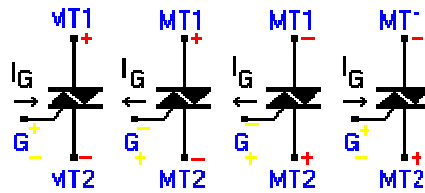
Khi không có tín hiệu vào cực cửa G, TRIAC sẽ luôn ngắt, vì luôn có một diode phân cực ngược: nếu $V_{MT2} > V_{MT1}$, chuyển tiếp N2P1 sẽ đảm bảo trạng thái ngắt; còn nếu $V_{MT1} > V_{MT2}$ chuyển tiếp N2 P2 sẽ đảm bảo cho trạng thái ngắt.



TRIAC sẽ dẫn khi điện áp giữa MT1 và MT2 vượt quá giá trị ngưỡng V_{B0} . Cũng giống như SCR, giá trị ngưỡng V_{B0} có thể được điều khiển bởi dòng trên cực cửa G. Sự dẫn có thể theo hai hướng: khi MT1 dương hơn MT2 thì P2N2P1N1 sẽ tạo đường dẫn, còn khi MT2 dương hơn so với MT1 thì dòng sẽ chảy qua P1N2P2N4



TRIAC sẽ dẫn khi có các điện áp phân cực và dòng điều khiển có chiều như hình dưới đây.



cuu duong than cong. com

cuu duong than cong. com

Chương IV

LINH KIỆN QUANG ĐIỆN TỬ

I. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ KỸ THUẬT QUANG ĐIỆN TỬ

1. Định nghĩa

Quang điện tử là những hiệu ứng tương hỗ giữa bức xạ ánh sáng và mạch điện tử. Bức xạ ánh sáng là 1 dạng của bức xạ điện từ có dải bước sóng từ 0,001 nm đến 1cm. Sự thay đổi trạng thái năng lượng trong nguyên tử và phân tử là nguồn gốc của các bức xạ ánh sáng đó.

Các bức xạ quang được chia thành 3 vùng là:

Vùng cực tím	Độ dài bước sóng từ 100 nm đến 380 nm
Vùng ánh sáng nhìn thấy	Độ dài bước sóng từ 380 đến 780 nm
Vùng hồng ngoại	Độ dài bước sóng từ 780 nm đến 1 mm

2. Phân loại linh kiện quang điện tử

Gồm 2 loại linh kiện là linh kiện bán dẫn và linh kiện không bán dẫn.

* Linh kiện bán dẫn quang điện tử là những linh kiện thể rắn được chế tạo từ vật liệu bán dẫn như điện trở quang, diode quang, transistor quang, LED, PiN, Laser, APD ...

* Linh kiện không bán dẫn quang điện tử là sợi quang, mặt chỉ thị tinh thể lỏng LCD, ống nhân quang ...

II. CÁC LINH KIỆN PHÁT QUANG

1. Nguyên lý bức xạ

Hai tiên đề của Bohr:

* Tiên đề về trạng thái dừng: nguyên tử chỉ tồn tại ở những trạng thái có mức năng lượng xác định, gọi là các trạng thái dừng. Trong các trạng thái dừng nguyên tử không bức xạ.

* Tiên đề về sự bức xạ và hấp thụ năng lượng của nguyên tử: trạng thái dừng có mức năng lượng càng thấp thì càng bền vững. Khi nguyên tử ở các trạng thái dừng có năng lượng lớn bao giờ cũng có xu hướng chuyển sang trạng thái dừng có mức năng

lượng nhỏ hơn.

Hệ quả rút ra từ hai tiên đề trên là: trong trạng thái dừng của nguyên tử, điện tử chỉ chuyển động quang hạt nhân theo những quỹ đạo có bán kính hoàn toàn xác định gọi là các quỹ đạo dừng.

Điều này cho thấy khi cung cấp cho nguyên tử một năng lượng nào đó thì điện tử sẽ hấp thụ năng lượng này và nhảy lên mức năng lượng cao hơn. Tuy nhiên, nếu quỹ đạo càng xa hạt nhân thì thời gian tồn tại ở quỹ đạo này càng ngắn và có xu hướng trở về quỹ đạo gần hạt nhân theo cách nhảy thẳng hoặc nhảy từng bước.

a. Sự bức xạ ánh sáng không kết hợp (bức xạ tự phát)

Như đã nói ở trên nếu các điện tử trở về mức năng lượng cơ bản từ các mức năng lượng cao theo cách nhảy thẳng hoặc nhảy từng bước qua các trạng thái dừng trung gian thì ánh sáng do chúng bức xạ ra sẽ là ánh sáng tổng hợp. Nghĩa là các xung ánh sáng này không cùng pha và tần số, ta nói nguyên tử đã bức xạ ra ánh sáng không kết hợp (đây chính là nguyên tắc hoạt động của LED).

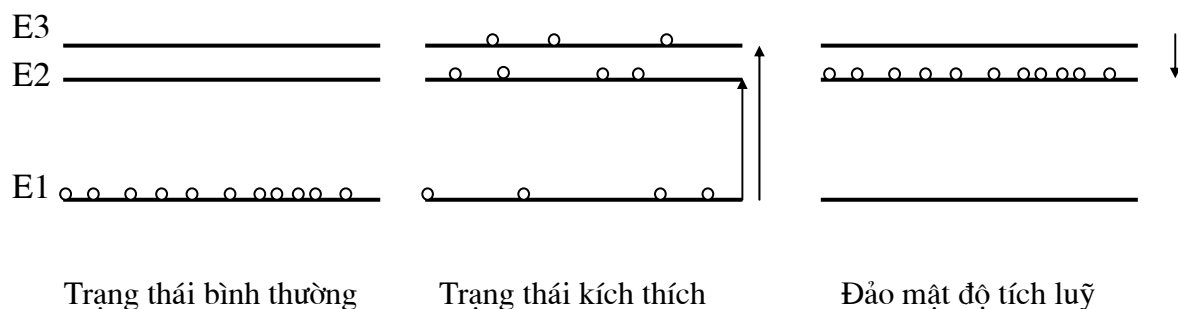
b. Sự bức xạ ánh sáng kết hợp (bức xạ kích thích)

Khi các nguyên tử tồn tại trong cùng một mạng tinh thể thì chúng ảnh hưởng lẫn nhau, do đó khái niệm mức năng lượng có thể thay bằng khái niệm dải năng lượng. Sự dịch chuyển từ trạng thái năng lượng này sang trạng thái năng lượng khác có thể bị cấm nhiều, cấm ít hay cấm hẳn.

Xét trường hợp của Laser hồng ngọc

Các điện tử có 3 mức năng lượng E1, E2, E3. Trong đó E1 là mức năng lượng cơ bản. E2 là mức năng lượng ổn định (thời gian tồn tại điện tử ở mức này là 10^{-2} s). E3 là mức năng lượng cao (thời gian điện tử tồn tại ở đây chỉ là 10^{-8} s) nên khi bị kích thích lên mức này thì điện tử nhanh chóng nhảy xuống E2.

Như vậy khi có năng lượng cung cấp thích hợp đưa vào mạng tinh thể thì điện tử



sẽ tập trung ở mức E2 ($E1 \rightarrow E2$; $E1 \rightarrow E3 \rightarrow E2$). Nghĩa là trong nguyên tử xảy ra hiện tượng đảo mật độ tích lũy (điện tử bình thường tập trung ở E1 nay chuyển sang tập trung ở E2)

Nếu ngẫu nhiên xảy ra một quá trình bức xạ của một điện tử bị kích thích nào đó thì sẽ có hiệu ứng dây chuyền xảy ra. Sở dĩ vậy là do khi chuyển từ E2 về E1 điện tử này sẽ bức xạ ra một dao động ngắn, dao động này lan truyền và tác động tới các điện tử khác và làm chúng cũng bức xạ. Tần số của bức xạ được xác định bởi mức chênh lệch năng lượng giữa E2 và E1. Do đó có thể coi rằng các điện tử nằm cùng mức năng lượng

Chương IV: Linh kiện quang điện tử

E2 được điều hưởng ở cùng một tần số và pha trùng với tần số và pha của ánh sáng kích thích. Tức là ánh sáng phát ra là ánh sáng kết hợp. Người ta gọi đây là hiện tượng khuếch đại ánh sáng nhờ bức xạ cưỡng bức. Nguyên lý này còn gọi là nguyên lý Fabry – Perot, và LASER chính là linh kiện có nguyên tắc hoạt động dựa vào nguyên lý này.

Trên thực tế năng lượng dùng để kích thích cho các quá trình đã phân tích ở trên là năng lượng điện trường và người ta gọi đó là **nguyên lý biến đổi điện / quang**. Nghĩa là từ năng lượng điện chuyển thành năng lượng quang nhờ các hiện tượng bức xạ.

2. Diode phát quang - LED (Light Emitting Diode)

LED là linh kiện bán dẫn quang có khả năng phát ra ánh sáng khi có hiện tượng tái hợp xảy ra trong chuyển tiếp P – N.

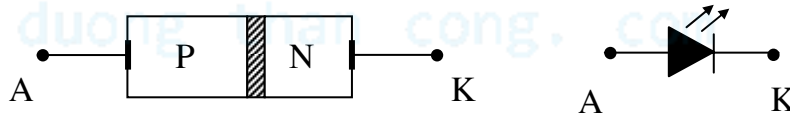
Ánh sáng do LED phát ra là ánh sáng không kết hợp, tự phát và đẳng hướng.

Tùy theo vật liệu chế tạo mà ánh sáng bức xạ của LED có thể ở những vùng bước sóng khác nhau.

LED bức xạ ra ánh sáng nhìn thấy (gọi là LED màu) được sử dụng trong các hệ thống chiếu sáng hoặc quang báo.

LED bức xạ hồng ngoại (LED hồng ngoại) được sử dụng trong hệ thống bảo vệ, sản xuất, thông tin quang....

a. Cấu tạo và ký hiệu LED



Vật liệu chế tạo LED là các nguyên tử nhóm III và V: GaAs, GaP, GaAsP ... đây là những vật liệu tái hợp trực tiếp.

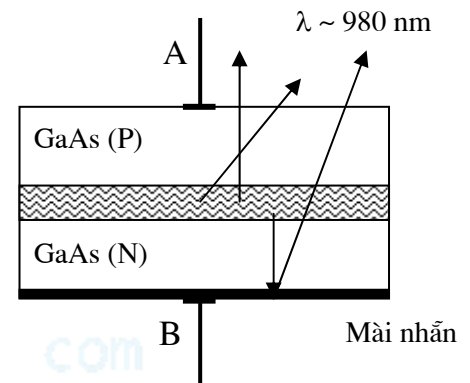
Nồng độ hạt dẫn của P và N rất cao nên điện trở của chúng rất nhỏ. Do đó khi mắc LED phải mắc nối tiếp với một điện trở hạn dòng.

Cấu tạo của LED hồng ngoại tương tự như của LED màu. Chỉ có một điểm khác biệt là một mặt của bán dẫn được mài nhẵn làm gương phản chiếu để đưa ánh sáng ra khỏi LED theo một chiều với độ tập trung cao.

b. Nguyên tắc làm việc của LED

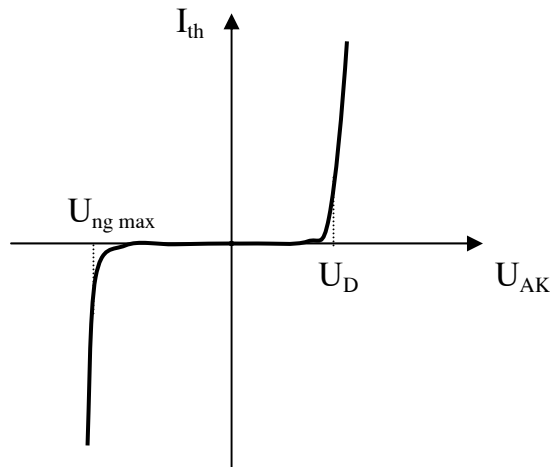
Dựa trên hiệu ứng phát sáng khi có hiện tượng tái hợp điện tử và lỗ trống ở vùng chuyển tiếp P – N. LED sẽ phát quang khi được phân cực thuận, nghĩa là biến đổi năng lượng điện thành năng lượng quang. Cường độ phát quang tỉ lệ với dòng qua LED.

Khi phân cực thuận các hạt dẫn đa số sẽ di chuyển về phía bán dẫn bên kia. Điện tử từ bên N sẽ khuếch tán sang P và lỗ trống bên P sẽ khuếch tán sang N. Trong quá trình di chuyển chúng sẽ tái hợp với nhau và phát ra các photon.



Đặc tuyến Von-Ampe của LED

Đặc tuyến V- A của LED giống như của diode thông thường.



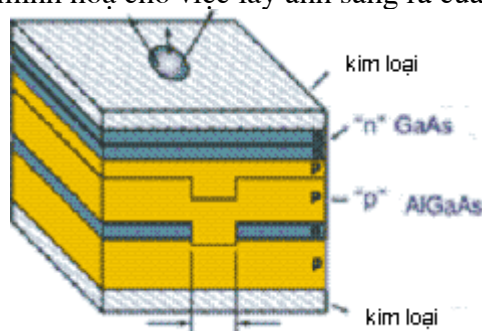
Điện áp phân cực thuận U_D : 1,6 – 3 V; điện áp phân cực ngược: 3 – 5 V; dòng I_D khoảng vài chục mA

Chú ý:

Do đặc điểm cấu tạo đặc biệt nên LED hồng ngoại tạo ra ánh sáng nằm trong vùng hồng ngoại. Ngoài ra, những tia có hướng đi vào trong lớp bán dẫn sẽ gặp gương phản chiếu và bị phản xạ trở lại để đi ra ngoài theo cùng một hướng. Việc này sẽ tăng hiệu suất một cách đáng kể cho LED.

Tia hồng ngoại có khả năng xuyên qua chất bán dẫn tốt hơn so với ánh sáng nhìn thấy nên hiệu suất phát của LED hồng ngoại cao hơn rất nhiều so với LED phát ánh sáng màu.

Để tăng cường tính định hướng cho LED, người ta thường cấu tạo LED với một lỗ cho ánh sáng đi qua. Có hai loại LED là SLED (LED phát xạ mặt) và ELED (LED phát xạ cạnh). Dưới đây là hình minh họa cho việc lấy ánh sáng ra của một SLED.



c. Tham số của LED

* Vật liệu:

Về nguyên tắc tất cả các chuyển tiếp P – N đều có khả năng phát ra ánh sáng khi được phân cực thuận nhưng chỉ có một số loại vật liệu tái hợp trực tiếp mới cho hiệu suất tái hợp cao.

Một số loại LED thông dụng:

Chương IV: Linh kiện quang điện tử

Vật liệu	E_g (eV)	Bước sóng λ (nm)	Vùng bức xạ	U_D (I=20mA)	U_{ng}
GaAs	1,43	910	Hồng ngoại	1,6 – 1,8	5
GaAsP	1,9	660	đỏ	1,6 – 1,8	5
GaAlAs	1,91	650	đỏ	1,6 – 1,8	5
GaAsP	2	635	Cam	2 - 2,2	5
GaAsP	2,1	585	Vàng	2,2 – 2,4	5
GaAsP	2,2	565	Xanh lá cây	2,4 – 2,7	5
GaP	2,24	560	Xanh lá cây	2,7 – 3	5
SiC	2,5	490	Xanh da trời	3	5
GaNO ₂	3,1	400	Tím	3	5

* Nhiệt độ

Khoảng nhiệt độ làm việc của LED : - 60°C đến + 80°C

LED rất nhạy với nhiệt độ:

Nhiệt độ càng tăng bước sóng của LED càng ngắn (bước sóng giảm 0,02 – 0,09 $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$).

Nhiệt độ tăng cường độ bức xạ quang giảm (1% / °C)

* **Công suất phát xạ:** vài trăm μW đến vài mW

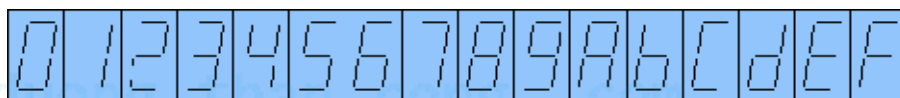
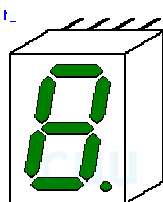
d. Phân loại và ứng dụng của LED

LED bức xạ ánh sáng nhìn thấy được sử dụng trong báo hiệu, màn hình, quảng cáo ... còn LED bức xạ ánh sáng trong vùng hồng ngoại dùng trong các hệ thống thông tin quang hoặc các hệ thống tự động điều khiển hoặc bảo mật.

Để việc sử dụng được đơn giản và gọn nhẹ người ta thường ghép nhiều LED với nhau, nếu ghép các cực anốt với nhau thì các đầu điều khiển đi vào các catốt (điều khiển bằng xung âm) và LED gọi là anốt chung. Nếu ghép các cực catốt với nhau thì cực điều khiển đi vào anốt (điều khiển bằng xung dương) và LED gọi là catốt chung. Người ta thường tạo LED theo các cấu trúc sau:

- LED đơn
- LED đôi
- LED 7 thanh .

Hình dưới đây biểu diễn các ký tự hiển thị của LED 7 thanh



- LED băng
- Ma trận LED
-

3. LASER

Như đã nói ở phần trên, LED không thể đáp ứng được những yêu cầu của hệ thống yêu cầu tốc độ cao, công suất phát lớn, tính định hướng tốt ... Trong trường hợp này người ta phải sử dụng nguồn LASER với những tính năng vượt trội so với LED. Xét về bản chất cả LED và LASER đều có nguyên tắc hoạt động dựa trên nguyên lý biến đổi điện / quang và có cấu trúc đơn giản nhất như một diode.

LASER là một linh kiện quang học dùng để tạo ra và khuếch đại ánh sáng đơn sắc có tính liên kết về pha từ bức xạ kích thích của ánh sáng.

Môi trường bức xạ có thể là chất khí, chất lỏng, tinh thể cách điện hay chất bán dẫn.

Bức xạ của các loại LASER đều có tính chất giống nhau là có tính kết hợp về không gian và thời gian, nghĩa là ánh sáng bức xạ ra ngoài là ánh sáng đơn sắc có tính định hướng cao.

Nguyên tắc hoạt động

LASER hoạt động dựa trên 3 hiệu ứng:

Hiệu ứng chích động tử: khi cho hai khối bán dẫn suy biến khác loại tiếp xúc nhau thì tại lớp tiếp xúc điều kiện đảo mật độ tích lũy được hình thành. Các phân tử mang điện khuếch tán sang nhau nhưng chỉ trong một thời gian ngắn sau khi hình thành thế cân bằng quá trình này sẽ mất đi. Để tạo ra việc đảo mật độ tích lũy thì phải đặt một điện trường ngược với điện trường tiếp xúc, nghĩa là phân cực thuận cho diode. Khi này ta nói các động tử được chích vào miền hoạt tính và chúng sẽ tham gia vào quá trình tái hợp tạo thành bức xạ LASER.

Đảo mật độ tích lũy bằng cách chiếu ánh sáng lạ hoặc cung cấp một điện trường ngoài. Khi này số trạng thái kích thích bị chiếm giữ nhiều hơn số trạng thái cơ bản bị chiếm giữ. Hiện tượng đảo mật độ tích lũy xảy ra khi có hiện tượng phun hạt dẫn và dòng bơm vượt quá dòng ngưỡng.

Phát xạ kích thích: khi điện tử chuyển từ mức năng lượng cao xuống mức năng lượng thấp thì sẽ bức xạ ra photon. Quá trình LASER là quá trình bức xạ kích thích, nó xuất hiện khi hệ số khuếch tán quang trong bộ cộng hưởng lớn hơn tổn hao bức xạ. Khi đó các photon được bức xạ ra sẽ có tần số và pha đúng bằng tần số và pha của photon đến.

III. CÁC LINH KIỆN THU QUANG

Bộ thu quang là phần tử có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện dựa trên **nguyên lý biến đổi quang / điện**. Nghĩa là, biến đổi năng lượng quang thành năng lượng điện. Khi các nguyên tử được cung cấp năng lượng dưới dạng năng lượng quang thích hợp, các điện tử ở lớp ngoài cùng của chúng có thể bật ra thành điện tử tự do, người ta gọi đó là hiện tượng phát xạ cặp điện tử - lỗ trống. Bằng cách dùng điện trường ngoài để thu nhận các điện tử và lỗ trống này ta sẽ có dòng điện ở mạch ngoài gọi là dòng quang điện có độ lớn phụ thuộc vào cường độ của ánh sáng chiếu vào.

Tùy theo mục đích sử dụng và cấu trúc mà có nhiều loại bộ thu quang khác nhau, vì thế đặc tính của chúng cũng khác nhau.

Có thể lấy một số ví dụ điển hình như sau:

Chương IV: Linh kiện quang điện tử

Loại	Hệ số đáp ứng [A/W]	Thời gian tăng saturen xung [μs]	Dòng tối [nA]
Phototransistor (Si)	18	2,5	25
Photodarlington (Si)	500	40	100
PiN photodiode (Si)	0,5	0,1 – 5	10
PiN photodiode (InGaAs)	0,8	0,01 – 5	0,1 – 3
APD (Ge)	0,6	0,3 – 1	400
APD (InGaAs)	0,75	0,3	30
PiN FET (Si)	15000V/W	10	
PiN FET (InGaAs)	5000V/W	1 - 10	

1. Các thông số cơ bản của bộ thu quang

Hiệu suất lượng tử hoá: là tỉ số giữa số lượng các đôi điện tử – lỗ trống sinh ra trên số photon có năng lượng hf đi đến

$$\eta = \frac{I_p / q}{P_0 / hf} \quad (30 - 95 \%)$$

Độ nhạy S

Đây là thông số liên quan tới khả năng đáp ứng của bộ thu đối với tín hiệu. Nó phụ thuộc vào bản thân bộ tách sóng, các mạch khuếch đại và các mạch xử lý tín hiệu điện.

Độ nhạy S là tỉ số giữa dòng quang điện sinh ra trên công suất ánh sáng đi đến diode

$$S = \frac{I_p}{P_0} = \eta \cdot \frac{q}{hf}$$

Các tham số của bộ tách sóng ảnh hưởng tới độ nhạy là:

+ **Hệ số đáp ứng** là tỉ số giữa năng lượng điện đầu ra và năng lượng quang đầu vào

$$R = \eta \cdot \frac{P}{hf}$$

+ **Hiệu suất lượng tử hoá**

+ **Độ khuếch đại của mạch.** Có thể sử dụng các bộ khuếch đại điện cũng như khuếch đại quang để làm tăng công suất tín hiệu nhưng chúng sẽ khuếch đại cả nhiễu và tín hiệu.

+ **Vật liệu chế tạo bộ tách sóng quang.** Đây là thông số sẽ quyết định bước sóng công tác, nghĩa là dải bước sóng mà bộ tách sóng sẽ làm việc tốt nhất.

Một số giá trị độ nhạy của PiN

Vật liệu	Bước sóng	Độ nhạy [μA/μW]
Si	900	0,65
Ge	1300	0,45
InGaAs	1300	0,6

Bước sóng hoạt động và vật liệu chế tạo

Vật liệu bán dẫn nền và thành phần pha tạp sẽ quyết định dải bước sóng hoạt động của bộ thu quang. Ví dụ, GaAlAs làm việc ở dải 800 – 900 nm; Ge, InGaAs, InGaAsP làm việc ở dải 1300 – 1500 nm. Bằng cách thay đổi chỉ số của In, Ga, As, P sẽ được các bước sóng khác nhau trong dải trên. Thêm vào đó, ứng với mỗi loại vật liệu này sẽ có hiệu suất lượng tử khác nhau.

2. Một số linh kiện thu quang

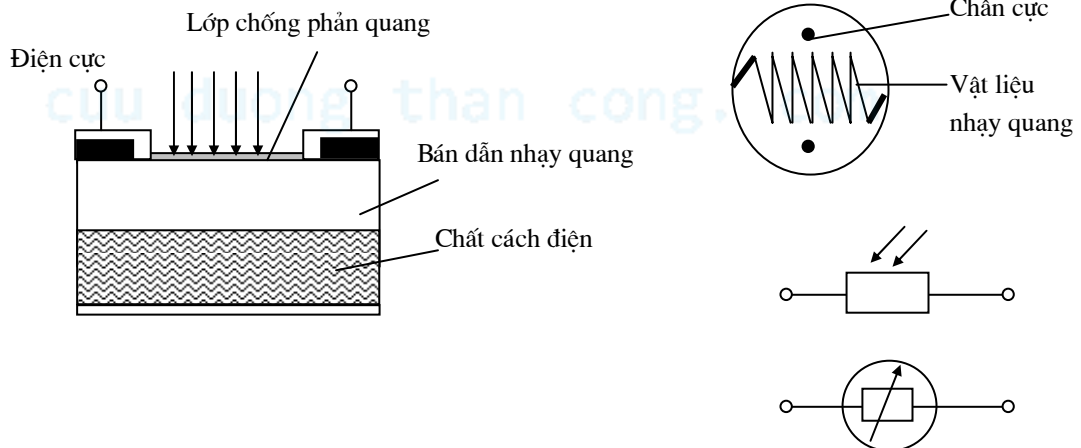
a. Điện trở quang

Điện trở quang là một linh kiện quang thụ động, không có tiếp xúc P – N. Nó hoạt động dựa trên tính chất của bán dẫn là điện trở của bán dẫn phụ thuộc vào nồng độ hạt dẫn điện. Khi vật liệu hấp thụ ánh sáng, nồng độ hạt dẫn điện của nó tăng lên, do vậy điện trở của nó giảm xuống. Hàm của điện trở phụ thuộc vào cường độ ánh sáng chiếu vào.

Cấu tạo và ký hiệu

Điện trở quang thường được chế tạo bằng vật liệu CdS, CdSe, ZnS hoặc các hỗn hợp tinh thể khác, nói chung là các vật liệu nhạy quang.

Điện trở quang gồm :



+ Một lớp vật liệu bán dẫn nhạy quang (có bề dày từ 1 μm đến 0,1 mm, tùy theo vật liệu sử dụng và công nghệ chế tạo)

+ Đế là chất cách điện

+ Tất cả được phủ một lớp chống ẩm trong suốt đối với vùng ánh sáng hoạt động của quang trở.

+ Vỏ bọc bằng chất dẻo có cửa sổ cho ánh sáng đi qua

Nguyên tắc làm việc:

Khi chiếu ánh sáng vào lớp vật liệu nhạy quang thì các cặp điện tử – lỗ trống sẽ xuất hiện làm cho nồng độ hạt dẫn điện tăng lên, nói cách khác là điện trở của khối bán dẫn giảm xuống.

Độ dẫn điện của vật liệu bán dẫn nhạy quang được tính theo công thức:

$$\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$$

Chương IV: Linh kiện quang điện tử

với μ_n, μ_p là độ linh động của điện tử và lỗ trống

n, p là nồng độ hạt dẫn của điện tử và lỗ trống

Như vậy, điện trở của quang trở phụ thuộc vào cường độ ánh sáng chiếu vào, nghĩa là cường độ dòng qua điện trở thay đổi. Nói cách khác, sự biến đổi cường độ ánh sáng đã chuyển thành sự biến đổi của cường độ dòng điện trong mạch, hay tín hiệu quang đã được chuyển thành tín hiệu điện.

Các tham số chính của quang trở

+ Điện dẫn suất σ_p là hàm số của mật độ quang khi độ dài bước sóng thay đổi.

+ Độ nhạy tương đối của quang trở $S(\lambda)$ là tỉ số giữa điện dẫn suất thay đổi theo bước sóng và điện dẫn suất cực đại khi mật độ năng lượng quang không thay đổi.

$$S(\lambda) = \frac{\sigma_p(\lambda)}{\sigma_{p\max}(\lambda)} \left| \rho_p(\lambda) = \text{const} \right.$$

+ Thời gian đáp ứng là thời gian hồi đáp của quang trở khi có sự thay đổi cường độ sáng

Thông thường khi cường độ ánh sáng mạnh quang trở làm việc nhanh hơn.

+ Hệ số nhiệt của quang trở

Hệ số này tỉ lệ nghịch với cường độ chiếu sáng. Do vậy quang trở cần làm việc ở mức chiếu sáng tốt nhất để giảm thiểu sự thay đổi trị số theo nhiệt độ.

+ Điện trở tối R_d

R_d là điện trở trong điều kiện không được chiếu sáng của quang trở, nó sẽ cho biết dòng tối (hay dòng rò) lớn nhất.

+ Công suất tiêu tán lớn nhất

Khi hoạt động cần giữ cho nhiệt độ của quang trở nhỏ hơn nhiệt độ cho phép. Kích thước của quang trở càng lớn thì khả năng tiêu tán nhiệt càng tốt.

Vật liệu chế tạo sẽ giới hạn dải nhiệt độ của quang trở từ $40 - 75^\circ\text{C}$

b. Tế bào quang điện

Cấu tạo

Vật liệu dùng để chế tạo tế bào quang điện có thể là Ge, Si, CdS, ZnS ...

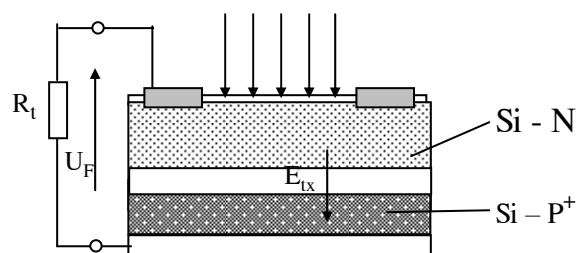
Phản xạ quang là tấm bán dẫn loại N với các cửa sổ trong suốt cho ánh sáng đi vào (thường được phủ thêm chất chống phản xạ quang).

Phía đối diện với bán dẫn N là lớp bán dẫn loại P^+

Tất cả được bọc trong lớp vỏ bảo vệ có 2 điện cực nối ra ngoài.

Nguyên tắc làm việc

Khi chiếu sáng lên lớp bán dẫn N, do quá trình lượng tử hoá các cặp điện tử – lỗ trống sẽ được sinh ra. Dưới tác dụng của điện trường tiếp xúc chúng sẽ di chuyển về 2 điện cực. Lỗ trống di chuyển về phía N còn điện tử di chuyển về phía P. Việc di chuyển này của các hạt dẫn đã hình thành một hiệu điện thế giữa 2 đầu điện cực có chiều từ P



sang N. Khi trạng thái cân bằng được thiết lập thì giá trị hiệu điện thế này ổn định và nếu mắc điện trở tải thì sẽ có dòng qua điện trở này. Như vậy năng lượng quang đã được chuyển thành năng lượng điện.

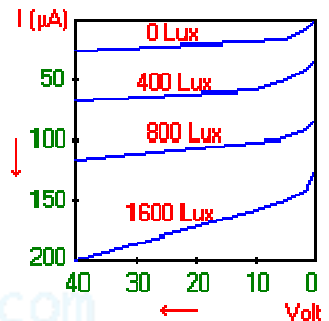
c. Diode quang (Photodiode)

Diode quang tương tự như một diode bán dẫn thông thường. Nó được chế tạo sao cho, khi có ánh sáng ngẫu nhiên rơi trên chất bán dẫn, ánh sáng này có thể tiếp cận tới vùng chuyển tiếp. Năng lượng ánh sáng ngẫu nhiên sẽ phá hủy liên kết của cặp điện tử-lỗ trống, do vậy các điện tử tự do sẽ bị hút về miền N và các lỗ trống bị hút về miền P. Dòng quang điện do đó được tạo ra trong diode phụ thuộc vào cường độ ánh sáng. Hướng của dòng quang điện này từ cathode đến anode; vì thế, trong các ứng dụng thông thường, diode được phân cực ngược.

Khi diode không được chiếu sáng (0 lux), vẫn có một **dòng tối** I_d qua chuyển tiếp P-N, bằng với dòng rò của diode thông thường được phân cực ngược. Khi photodiode được chiếu sáng, dòng tổng I_t của nó bằng tổng của dòng tối I_d và dòng quang I_p tức là:

$$I_t = I_d + I_p.$$

Hình bên chỉ ra đặc tuyến dòng/áp của diode quang tại các giá trị khác nhau của năng lượng quang ngẫu nhiên chiếu vào.



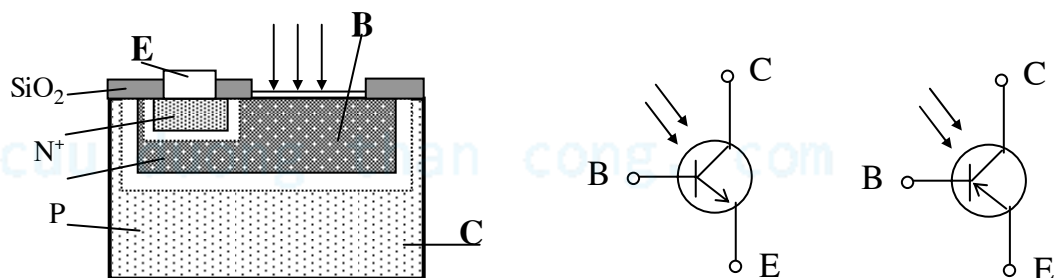
Trong các hệ thống yêu cầu cao về độ nhạy thu người ta sử dụng hai loại diode quang là diode quang qua miền tự dẫn (PIN) và diode quang thác (APD). Hai loại này được ứng dụng đặc biệt trong các hệ thống thông tin quang nên không trình bày chi tiết ở đây.

d. Transistor quang lưỡng cực (Phototransistor)

Transistor quang có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện, ngoài ra chúng còn có khả năng khuếch đại các tín hiệu này lên.

Cấu tạo và ký hiệu của transistor quang

Cũng giống như transistor lưỡng cực thông thường, transistor quang được chế tạo từ chất bán dẫn Si, Ge. Nó có 2 chuyển tiếp P – N, có 2 hoặc 3 chân cực.

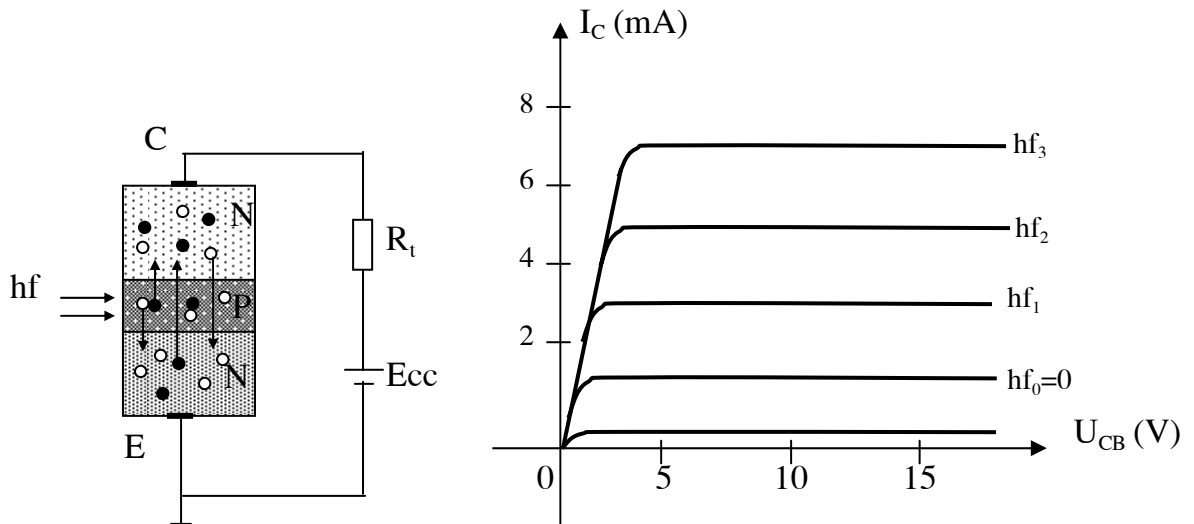


Transistor quang có 2 loại là PNP và NPN. Trên hình vẽ là cấu tạo của transistor loại NPN, còn loại PNP cũng có cấu tạo tương tự như vậy.

Chương IV: Linh kiện quang điện tử

Cực gốc B có bề mặt được ánh sáng chiếu vào, nó được chế tạo rất mỏng để có điện trở nhỏ và thường để trống (phủ lớp phản quang).

Nguyên tắc hoạt động:



Nguồn cung cấp E_{cc} tạo cho chuyển tiếp phát phân cực thuận và chuyển tiếp góp phân cực ngược.

Tải R_t để sụt bớt một phần điện áp phân cực cho C và lấy tín hiệu điện ra.

Khi không có ánh sáng chiếu vào (không có tín hiệu quang hay $hf = 0$, $I_B = 0$) trong mạch chỉ có dòng tối I_{C0} . Đây là dòng điện do điện tử khuếch tán từ phần phát sang phần góp và có trị số nhỏ.

Khi có tín hiệu quang đến, trong phần gốc sẽ xuất hiện các cặp điện tử – lỗ trống. Các điện tử sẽ di chuyển về cực góp, lỗ trống di chuyển về phía cực phát tạo thành dòng quang điện I_p . Các lỗ trống tập trung ở tiếp giáp phát làm cho tiếp giáp phát phân cực thuận càng mạnh, mặt khác điện tử tập trung ở tiếp giáp góp làm cho nó phân cực ngược càng mạnh. Kết quả là điện tử dễ dàng đi từ E, qua B và sang C làm cho dòng điện cực góp I_C tăng rõ rệt.

Nhận xét:

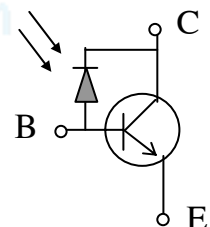
Dòng cực gốc để hở và có ánh sáng chiếu vào nên dòng điện cực gốc chính là dòng tín hiệu quang.

Hệ số khuếch đại dòng quang điện chính là hệ số khuếch đại của transistor trong sơ đồ mắc cực phát chung.

Transistor cũng có 3 cách mắc là BC, EC và CC với dòng điều khiển là dòng tín hiệu quang.

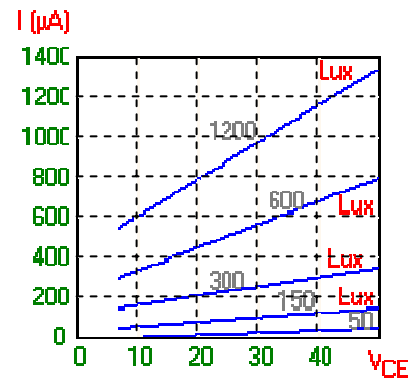
Về mặt cấu trúc có thể coi transistor quang như là một mạch gồm một diode quang làm nhiệm vụ biến đổi tín hiệu quang thành tín hiệu điện và một transistor có nhiệm vụ khuếch đại.

Khi này độ nhạy tăng lên vài trăm lần so với diode quang đơn nhưng dải tần làm việc lại bị hạn chế đi rất nhiều. Transistor quang có dải tần làm việc rộng 300 kHz còn diode quang có dải



tần làm việc cỡ vài chục MHz.

Hình bên chỉ ra đường cong biểu diễn mối quan hệ giữa dòng emitter và điện áp collector-emitter của transistor quang NPN với các giá trị khác nhau của cường độ sáng. Nếu cực B được nối vào mạch, sẽ có dòng base I_b và dòng collector được tăng thêm một lượng là $\beta \cdot I_b$.



IV. MẶT CHỈ THỊ TINH THỂ LỎNG LCD

1. Khái niệm

LCD là linh kiện quang thụ động được chế tạo dưới dạng thanh và chấm ma trận. Hiện nay LCD được sử dụng làm bảng hiển thị và màn hình

Ưu điểm:

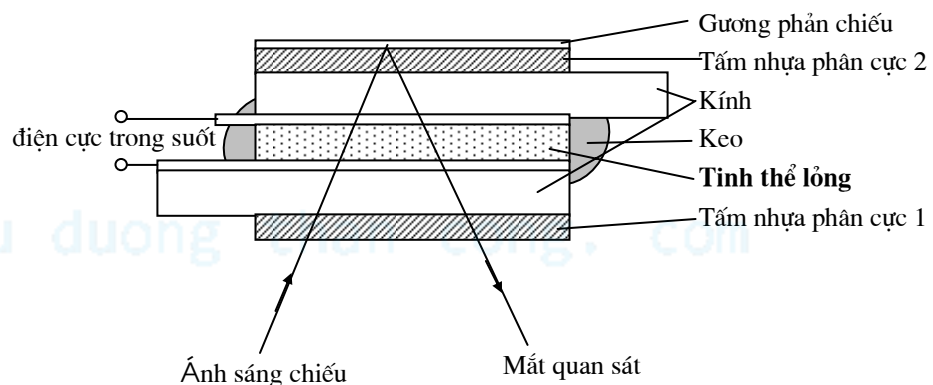
- Công suất tiêu thụ thấp, kích thước nhỏ gọn
- LCD không phát sáng nên dễ đọc nếu môi trường xung quanh sáng
- Cấu trúc phẳng dẹt có độ bền cơ học cao
- Có thể điều khiển trực tiếp bằng linh kiện bán dẫn TTL và CMOS

Nhược điểm:

- Tuổi thọ ngắn hơn LED
- Chỉ có thể đọc được với nguồn sáng bên ngoài
- Thời gian tắt mở tương đối chậm
- Khoảng nhiệt độ làm việc khá hẹp

2. Cấu tạo của thanh LCD

LCD gồm 2 tấm kính đặt cách nhau 10 μm, mặt trong tráng một lớp ZnO trong suốt làm điện cực.



Xung quanh 2 bên tấm kính hàn kín sau khi đổ đầy tinh thể lỏng vào.

Hai tấm nhựa có tính phân cực ánh sáng được dán bên ngoài tấm kính sao cho

hình ảnh được nhìn từ một phía nhờ một gương phản xạ lại.

Thể rắn Lỏng không đẳng hướng Lỏng đẳng hướng

t^0 nóng chảy t^0 trong suốt

Hiệu ứng quang học dùng cho mặt chỉ thị LCD chỉ hạn chế ở khoảng nhiệt độ mà tinh thể lỏng ở dạng không đẳng hướng.

a. Chế độ phản chiếu

Màn hình hiển thị của máy tính cá nhân, máy điện thoại di động hiện nay chủ yếu là LCD hoạt động ở chế độ phản chiếu.

Hầu hết các loại đồng hồ hiển thị số đều kết hợp cả hai chế độ phản chiếu và thông sáng.

LCD thông thường yêu cầu điện áp một chiều nhỏ hơn 100 mV còn LCD màu yêu cầu điện áp một chiều nhỏ hơn 50 mV.

3. Một số loại LCD tiêu biểu

LCD loại thông sáng
 LCD loại phản chiếu
 LCD loại thông sáng + phản chiếu
 LCD màu
 LCD ghép kênh

3 loại LCD đầu tiên là LCD hoạt động ở chế độ phản chiếu, thông sáng và phản chiếu + thông sáng

LCD màu:

Để chế tạo LCD màu các hạt màu được trộn lẫn với tinh thể lỏng.

Khi không có điện áp các tinh thể lỏng nằm song song với các phân tử màu.

Khi điện áp xoay chiều đặt vào đủ lớn các phân tử màu và tinh thể lỏng sẽ được sắp xếp lại để tạo thành màu sắc khác nhau.

LCD loại ghép kênh:

LCD có cấu trúc theo kiểu ma trận $m \times n$ nhằm giảm thiểu số dây điều khiển trong các LCD có điểm chỉ thị.

4. Tham số của LCD

Tham số	Đơn vị	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị tiêu chuẩn	Giá trị lớn nhất
Khoảng nhiệt độ làm việc	$^{\circ}\text{C}$	- 10		+ 60
Khoảng nhiệt độ dự trữ	$^{\circ}\text{C}$	- 25		+ 70
Điện áp làm việc	VAC	3	4,5	8
Thành phần một chiều	mV			100
Tần số điều khiển	Hz	30		200
Dòng tiêu thụ năng lượng	nA/mm ²		15	30
Thời gian lên hình	ms		40	
Thời gian tắt hình	ms		80	
Thời gian lên + tắt	ms			250

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Kỹ thuật điện tử - Đỗ Xuân Thụ
2. Kỹ thuật mạch điện tử – Phạm Minh Hà
3. Linh kiện bán dẫn và vi mạch – Hồ Văn Sung
4. Electronic Devices and Circuits – Mac Grar Hill
5. Sơ Đồ Linh Kiện-Tạp chí điện tử

BẢNG MỘT SỐ HẰNG SỐ VẬT LÝ

Stt	Hằng số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Tốc độ của ánh sáng trong chân không	c	299792458	m s ⁻¹
2	Độ từ thẩm của chân không	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$	N A ⁻²
3	Hằng số điện môi của chân không	ϵ_0	8.854187817E-12	F m ⁻¹
4	Hằng số Planck	h	6.6260755E-34 ± 4E - 40	J s
5	Hằng số Planck theo đơn vị eV	h	4.1356692E-15 ± 1.2E-21	eV s
6	Hằng số Boltzmann	k	1.380658E-23 ± 1.2E-28	J K ⁻¹
7	Hằng số Boltzmann tính theo đơn vị eV	k	8.617385e-05 ± 7.3e-10	eV K ⁻¹
8	Hằng số Boltzmann tính theo đơn vị Hz	k	20836740000 ± 180000	K ⁻¹ s ⁻¹
9	Khối lượng của electron	m _e	9.1093897E-31 ± 5.4E-37	kg
10	Electron volt	eV	1.60217733E-19 ± 4.9E-26	J
11	Điện tích của electron	e	1.60217733E-19 ± 4.9E-26	C
12	Bán kính Bohr	a ₀	5.29177249E-11 ± 2.4E-18	m
13	Khối lượng Proton	m _p	1.6726231E-27 ± 1.0E-33	kg

MỤC LỤC

CHƯƠNG I	4
----------------	---

CƠ SỞ VẬT LÝ CỦA VẬT LIỆU LINH KIỆN

I. KHÁI NIỆM VỀ LÝ THUYẾT VÙNG NĂNG LƯỢNG	4
1. Bản chất của nguyên tử.....	4
2. Các mức năng lượng của nguyên tử.....	6
3. Các phương pháp cung cấp năng lượng cho nguyên tử.....	7
a. Sự va chạm của điện tử với nguyên tử:	7
b. Sự va chạm của quang tử với nguyên tử	8
4. Lý thuyết dải năng lượng trong chất rắn	8
5. Sự phân bố năng lượng của điện tử – hàm Fermi.....	9
II. CHẤT CÁCH ĐIỆN (DIELECTRIC)	10
1. Định nghĩa.....	10
2. Các tham số cơ bản của chất điện môi.....	10
a. Độ thẩm thấu tương đối ϵ (hằng số điện môi).....	10
b. Độ tổn hao điện môi P_a	11
c. Độ bền về điện (E_{db}).....	12
d. Nhiệt độ chịu đựng	12
e. Dòng điện trong chất điện môi.....	12
f. Độ dẫn điện của chất điện môi.....	12
3. Phân loại và ứng dụng của chất điện môi.....	13
a. Chất điện môi thụ động.....	13
b. Chất điện môi tích cực.....	13
III. CHẤT DẪN ĐIỆN (CONDUCTOR)	14
1. Định nghĩa.....	14
2. Các tham số cơ bản của vật liệu dẫn điện	14
a. Điện trở suất:	14
b. Hệ số nhiệt của điện trở suất α	14
c. Hệ số dẫn nhiệt λ	15
d. Công thoát của điện tử trong kim loại.....	15
e. Điện thế tiếp xúc	16
3. Phân loại và ứng dụng.....	16
a. Vật liệu dẫn điện có điện trở suất thấp.....	16
b. Chất dẫn điện có điện trở suất cao	16
IV. VẬT LIỆU TỪ	17
1. Định nghĩa.....	17
2. Tính chất	17
a. Từ trở và từ thẩm	17
b. Độ từ thẩm tương đối μ_r	17
c. Độ từ dư.....	18
d. Đường cong từ hoá $B = f(H)$	18

Mục lục

3. Phân loại và ứng dụng của vật liệu từ.....	20
a. Vật liệu từ mềm.....	20
b. Vật liệu từ cứng	20
V. CHẤT BÁN DẪN (SEMICONDUCTOR)	21
1. Định nghĩa và tính chất.....	21
2. Bán dẫn thuần (bán dẫn nguyên tính – Intrinsic)	23
a. Định nghĩa và tính chất	23
b. Một số chất bán dẫn thông dụng	23
3. Bán dẫn pha tạp (bán dẫn ngoại tính – Extrinsic)	24
a. Bán dẫn loại N (bán dẫn loại cho, pha tạp chất donor)	24
b. Bán dẫn loại P (bán dẫn loại nhận, pha tạp chất acceptor).....	25
4. Mức Fermi trong chất bán dẫn (Fermi energy level).....	26
5. Dòng điện trong chất bán dẫn.....	26
a. Dòng điện khuếch tán (diffusion current)	26
b. Dòng điện trôi (drift current)	27

CHƯƠNG II	28
-----------------	----

CÁC LINH KIỆN THỤ ĐỘNG

I. ĐIỆN TRỞ (RESISTOR).....	28
1 - Định nghĩa và ký hiệu	28
a - Định nghĩa.....	28
b - Ký hiệu của điện trở trong mạch điện	28
c - Cấu trúc của điện trở.....	29
2 - Các tham số kỹ thuật đặc trưng cho điện trở.	29
a - Trị số điện trở và dung sai	29
b - Công suất tiêu tán cho phép (P_{tmax})	30
c - Hệ số nhiệt của điện trở: TCR (temperature co-efficient of resistor) ...	31
d - Tạp âm của điện trở	31
3 - Cách ghi và đọc tham số trên thân điện trở.....	31
a - Cách ghi trực tiếp.....	31
b - Ghi theo qui ước	31
4. Các kiểu mắc điện trở	33
a. Mắc nối tiếp	33
b. Mắc song song	34
5 - Phân loại và ứng dụng của điện trở.....	34
a - Phân loại.....	34
b - Ứng dụng của điện trở	36
c - Một số điện trở đặc biệt	36
II. TỤ ĐIỆN (CAPACITOR)	38
1. Ký hiệu và cấu tạo của tụ điện	38
a. Ký hiệu và hình dáng của tụ điện	38
b. Cấu tạo	39

2. Đặc tính nạp và xả điện của tụ	39
3. Đặc tính của tụ điện đối với dòng điện xoay chiều	40
4. Các tham số cơ bản của tụ điện.....	41
a. Trị số điện dung và dung sai.....	41
b. Trở kháng của tụ điện	42
c. Điện áp làm việc.....	42
d. Hệ số nhiệt	42
e. Dòng điện rò	43
5. Cách ghi và đọc tham số trên tụ điện	43
a. Cách ghi trực tiếp	43
b. Cách ghi theo quy ước	43
6. Các kiểu ghép tụ	46
a. Tụ điện ghép nối tiếp.....	46
b. Tụ điện mắc song song.....	46
7. Phân loại tụ điện	46
a. Tụ oxit hoá (gọi tắt là tụ hoá)	46
b. Tụ gốm (ceramic)	47
c. Tụ giấy.....	47
d. Tụ mica	47
e. Tụ màng mỏng.....	48
f. Tụ tantan	48
g. Tụ xoay.....	49
h. Tụ vi chỉnh (trimcap)	49
i. Tụ đồng trục chỉnh.....	49
8. Các ứng dụng của tụ điện	50
a. Tụ dẫn điện ở tần số cao	50
b. Tụ nạp xả điện trong mạch lọc nguồn	51
III. CUỘN CẢM.....	52
1. Cấu tạo và ký hiệu của cuộn dây	52
2. Các tham số của cuộn dây	53
a. Hệ số tự cảm	53
b. Trở kháng của cuộn dây.....	54
c. Hệ số phẩm chất Q của cuộn dây	54
d. Tần số làm việc giới hạn của cuộn dây	54
3. Các cách ghép cuộn dây.....	55
a. Ghép nối tiếp.....	55
b. Ghép song song.....	55
4. Phân loại và ứng dụng của cuộn dây	55
a. Theo lõi của cuộn dây	55
b. Theo hình dáng.....	56
c. Theo sự thay đổi của hệ số tự cảm	57
d. Theo khu vực tần số làm việc.....	57
e. Theo ứng dụng.....	57
IV. BIẾN ÁP	58
1. Ký hiệu và cấu tạo của biến áp.....	58
2. Nguyên tắc hoạt động của máy biến áp.....	59

Mục lục

3. Các tham số kỹ thuật của biến áp	59
a. Hệ số ghép biến áp K	59
b. Các tỉ lệ của biến áp	60
4. Phân loại và ứng dụng của biến áp	61
a. Biến áp nguồn (biến áp cấp điện)	61
b. Biến áp cộng hưởng	62
c. Biến áp âm tần	62
CHƯƠNG III	63

LINH KIỆN TÍCH CỰC

I. LỚP CHUYỂN TIẾP P-N	63
1. Sự hình thành lớp chuyển tiếp P – N và tính chất của nó	63
2. Lớp chuyển tiếp P – N phân cực thuận (Forward Bias)	64
3. Lớp chuyển tiếp P – N phân cực ngược (Reverse Bias)	65
4. Đặc tuyến Von - Ampe của chuyển tiếp P – N	66
II. DIODE	67
1. Cấu tạo và ký hiệu	67
2. Nguyên tắc làm việc, đặc tuyến Von-ampe của diode	67
3. Mô hình gần đúng và tham số của diode	70
a. Sơ đồ tương đương khi diode phân cực thuận	70
b. Sơ đồ tương đương khi diode phân cực ngược	71
4. Các tham số tĩnh của diode	72
a. Điện trở tĩnh R_0	72
b. Điện trở động R_i	73
c. Hệ số chỉnh lưu k	73
d. Điện dung C_d của diode	73
e. Điện áp ngược cực đại cho phép	74
f. Khoảng nhiệt độ làm việc	74
5. Phân loại và ứng dụng	75
a. Diode chỉnh lưu (nắn điện – Rectifier)	75
b. Diode ổn áp (Zene)	76
c. Diode xung	77
d. Diode biến dung (Varicap)	78
e. Diode tunen (diode xuyên hầm hay diode esaki)	78
f. Diode cao tần	79
g. Diode phát sáng (LED – Light emitting Diode)	79
h. Diode thu sáng (Photo diode)	80
i. Tế bào quang điện	80
III. TRANSISTOR LƯỠNG CỰC - BJT	80
1. Cấu tạo và ký hiệu BJT	81
2. Nguyên tắc làm việc của transistor ở chế độ tích cực (chế độ khuếch đại)	84

3.	Transistor làm việc như khoá điện tử.....	86
a.	Chế độ ngắt.....	87
b.	Chế độ dẫn bão hoà.....	87
4.	Đặc tính tần số của Transistor	88
5.	Phân cực và định điểm làm việc cho Transistor	89
a.	Nguyên tắc chung.....	89
b.	Mạch phân dòng cố định.....	90
c.	Mạch hồi tiếp âm điện áp.....	91
d.	Mạch hồi tiếp âm dòng điện (mạch tự phân cực)	91
6.	Ổn định điểm công tác tĩnh	92
7.	Các cách mắc cơ bản của transistor làm việc ở chế độ khuếch đại.....	92
a.	Sơ đồ mắc cực gốc chung (BC - base common)	93
b.	Sơ đồ mắc cực phát chung (EC - Emitter Common).....	95
c.	Sơ đồ mắc cực góp chung (CC – Collector common)	97
IV.	TRANSISTOR HIỆU ỨNG TRƯỜNG (FET – Field effect Transistor).....	98
1.	Khái niệm chung.....	98
a.	Nguyên tắc hoạt động.....	98
b.	Phân loại.....	98
c.	Ký hiệu FET trong sơ đồ mạch.....	99
d.	Ưu điểm và nhược điểm của FET	99
2.	Transistor trường điều khiển bằng tiếp xúc P - N (JFET).....	99
a.	Cấu tạo và nguyên tắc hoạt động.....	99
b.	Đặc tuyến truyền đạt, đặc tuyến ra	101
3.	Transistor trường loại MOSFET	102
a.	Cấu tạo của MOSFET.....	103
b.	Nguyên tắc làm việc.....	104
c.	Các sơ đồ mắc FET.....	105
V.	MỘT SỐ LOẠI LINH KIỆN TÍCH CỰC KHÁC.....	107
1.	Transistor một tiếp giáp (UJT)	107
a.	Cấu tạo và ký hiệu	107
b.	Nguyên tắc hoạt động.....	107
c.	Một số mạch ứng dụng của UJT.....	108
2.	PUT (Programmable UJT - UJT điều khiển được)	109
a.	Cấu tạo và ký hiệu	109
b.	Nguyên tắc hoạt động.....	109
c.	Các ứng dụng của PUT.	110
3.	Chỉnh lưu có điều khiển SCR (Silicon Controlled Rectifier).....	110
a.	Cấu tạo và ký hiệu	110
b.	Nguyên tắc hoạt động.....	110
4.	DIAC và TRIAC.....	111
a.	DIAC	111
b.	TRIAC	112

CHƯƠNG IV	114
-----------------	-----

LINH KIỆN QUANG ĐIỆN TỬ

I. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ KỸ THUẬT QUANG ĐIỆN TỬ.....	114
1. Định nghĩa.....	114
2. Phân loại linh kiện quang điện tử	114
II. CÁC LINH KIỆN PHÁT QUANG.....	114
1. Nguyên lý bức xạ	114
a. Sự bức xạ ánh sáng không kết hợp (bức xạ tự phát)	115
b. Sự bức xạ ánh sáng kết hợp (bức xạ kích thích)	115
2. Diode phát quang - LED (Light Emitting Diode).....	116
a. Cấu tạo và ký hiệu LED	116
b. Nguyên tắc làm việc của LED.....	116
c. Tham số của LED.....	117
d. Phân loại và ứng dụng của LED	118
3. LASER	119
Nguyên tắc hoạt động.....	119
III. CÁC LINH KIỆN THU QUANG.....	119
1. Các thông số cơ bản của bộ thu quang	120
2. Một số linh kiện thu quang.....	121
a. Điện trở quang	121
b. Tế bào quang điện	122
c. Diode quang (Photodiode).....	123
d. Transistor quang lưỡng cực (Phototransistor)	123
IV. MẶT CHỈ THỊ TINH THỂ LỎNG LCD	125
1. Khái niệm	125
2. Cấu tạo của thanh LCD	125
3. Nguyên tắc làm việc.....	126
a. Chế độ phản chiếu.....	126
b. Chế độ thông sáng	126
3. Một số loại LCD tiêu biểu.....	127
4. Tham số của LCD.....	127

TÀI LIỆU THAM KHẢO