

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN  
TS. LÊ MẠNH

GIÁO TRÌNH

**LINH KIỆN ĐIỆN TỬ  
&  
VI MẠCH ĐIỆN TỬ**



**ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN  
TS. LÊ MẠNH**

**GIÁO TRÌNH**

**LINH KIỆN ĐIỆN TỬ**

**&**

**VI MẠCH ĐIỆN TỬ**

**Giáo trình**  
**LINH KIẾN ĐIỆN TỬ**  
**& VI MẠCH ĐIỆN TỬ**  
*Lê Mạnh*

**NHÀ XUẤT BẢN**  
**ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**  
Khu phố 8, Phường Linh Trung, Quận Thủ Đức, TP Hồ Chí Minh  
Số 3, Công trường Quốc tế, Quận 3, TP Hồ Chí Minh  
ĐT: 38238171 - 38226227 - 38238172  
Fax: 38238172  
E-mail: [vnuhc@vnuehcm.edu.vn](mailto:vnuhc@vnuehcm.edu.vn)

**PHÒNG PHÁT HÀNH**  
Số 3, Công trường Quốc tế, Quận 3, TP Hồ Chí Minh  
ĐT: 38238170 - 0982920509 - 0913943468  
Fax: 38238172 - Website: [www.nxbdthqghcm.edu.vn](http://www.nxbdthqghcm.edu.vn)

Nhà xuất bản ĐHQG-HCM và tác giả giữ  
tất cả bản quyền giấy in.

Copyright © by VNU-HCM Publishing  
House and author(s)-partnership  
All rights reserved

Chịu trách nhiệm xuất bản  
**NGUYỄN HOÀNG DŨNG**

Chịu trách nhiệm nội dung  
**NGUYỄN HOÀNG DŨNG**

**Xuất bản năm 2014**

Tổ chức biên tập và chịu trách nhiệm về tác quyền  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN**  
**ĐHQG TPHCM**

Biên tập  
**PHẠM ANH TÚ**

Sửa bản in  
**THUY DƯƠNG**

Trình bày bìa  
**TRUNG HẬU**

Kỹ thuật vẽ hình  
**ANH TÊY**

Số lượng 500 cuốn,  
Khổ 14,5 x 20,5 cm,  
ĐHQG-HCM số 1680-2013/CXB/  
08-99/ĐHQGTPHCM,  
Quyết định XB số 224/QĐ  
của NXB ĐHQG-HCM,  
In tại Công ty TNHH  
In & bao bì Hưng Phú  
Độc 182A/1 - KP1A - P. An Phú -  
TX Thuận An - Bình Dương  
Hợp lưu chiếu sáng 11/2014

# LỜI NÓI ĐẦU

*Giáo trình Linh kiện điện tử và vi mạch điện tử* là một môn học cơ sở cho các sinh viên đại học và cao đẳng ngành Điện tử viễn thông. Các chuyên ngành Mạng và Truyền thông, Kỹ thuật máy tính của Ngành Công nghệ thông tin cũng rất cần kiến thức cơ sở này. Nội dung giáo trình được biên soạn theo tính thần ngắn gọn, dễ hiểu. Các kiến thức trong toàn bộ giáo trình có mối liên hệ logic chặt chẽ. Tuy vậy, giáo trình cũng chỉ là một phần trong nội dung của chuyên ngành đào tạo, cho nên người dạy, người học cần tham khảo thêm các giáo trình có liên quan đối với ngành học để việc sử dụng giáo trình có hiệu quả hơn.

Khi biên soạn giáo trình, chúng tôi đã cố gắng cập nhật những kiến thức mới có liên quan đến môn học và phù hợp với đối tượng sử dụng cũng như cố gắng gắn những nội dung lý thuyết với những vấn đề thực tế thường gặp trong sản xuất, đời sống để giáo trình có tính thực tiễn cao. Trong giáo trình này, chúng tôi giới thiệu nhiều hình vẽ các linh kiện điện tử trong thực tế, điều này giúp bạn đọc làm quen với các linh kiện khi gặp trong khi làm việc. Cuối giáo trình chúng tôi cung cấp cho bạn đọc và các sinh viên các thiết bị vi mạch thông dụng.

Nội dung của giáo trình được biên soạn gồm 7 chương:

**Chương 1:** Cơ sở vật lý của vật liệu linh kiện điện tử. Trong chương này sẽ cung cấp các kiến thức về đặc tính vật lý và hóa học các vật liệu cách điện, dẫn điện, bán dẫn và vật liệu từ, trên cơ sở này sẽ có các cách tính toán các thông số, giá trị của các linh kiện điện tử thụ động.

**Chương 2:** Các linh kiện điện tử thụ động. Từ các vật liệu cách điện, dẫn điện, vật liệu từ, tài liệu sẽ cung cấp các kiến thức về các linh kiện điện tử như điện trở, tụ điện, cuộn cảm và biến áp. Giáo trình

mạch điện khi lắp các linh kiện trên trong các mạch điện thông thường, nêu lên một vài ứng dụng chính của các linh kiện thụ động này. Trong chương này cũng cung cấp cho các sinh viên các hình vẽ cụ thể và các ứng dụng của linh kiện thụ động trong mạch điện tử. Cuối chương sẽ có các câu hỏi và bài tập cho sinh viên ôn tập và làm quen với các tính toán giá trị linh kiện thụ động trong các mạch điện tử thông dụng.

**Chương 3:** Các đặc điểm linh kiện bán dẫn. Với các chất bán dẫn, đặc tính vật lý và hóa học đã nêu trong chương 1, Trong chương này, chúng tôi cung cấp các đặc điểm các lớp tiếp xúc P-N và N-P, các phân cực thuận và nghịch trong chất bán dẫn, cách tạo ra dòng điện qua các lớp tiếp xúc này. Chúng tôi giới thiệu đặc tuyến Volt - Amper để khảo sát các đèn transistor trong mạch điện tử dùng các linh kiện chủ động (Diot, Transistor các loại, Thyristor, Triac, Diac,...) Đây là các linh kiện chủ động trong các mạch điện tử, trong các linh kiện này còn có các đèn điện tử, nhưng do trong thời đại vi mạch và trong thực tế cũng chỉ các chuyên ngành hẹp mới sử dụng, nên trong giáo trình chỉ cung cấp các linh kiện bán dẫn

**Chương 4:** Diot bán dẫn. Tài liệu sẽ cung cấp các đặc tính kỹ thuật, các cách ghép nối và các ứng dụng của DIOT thông thường và các DIOT đặc biệt (DIOT Tunnel, DIOT Zener, DIOT Shotky,...)

**Chương 5:** Transistor lưỡng cực (Bipolar Junction Transistor, BJT), tài liệu cung cấp các kiến thức căn bản của loại transistor thông dụng nhất trong các loại transistor. Các tính chất ngắt, bão hòa và khuếch đại của loại transistor này. Các cách ghép nối trong thực tế và đặc tuyến Volt - Amper của transistor này.

**Chương 6:** Transistor trường (Field Effect Transistor, FET) tiếp xúc và loại MOSFET, FET hoạt động dựa trên sự điều khiển độ dẫn điện của phiên bán dẫn bằng điện trường ngoài. FET chỉ sử dụng một loại hạt dẫn (hạt đa số: điện tử hoặc lỗ) nên thuộc loại đơn tính (unipolar). Loại Transistor này sẽ có các ứng dụng cụ thể trong thực tế.

**Chương 7: Transistor trường đơn tiếp giáp (Uni Junction Transistor UJT) và loại transistor đặc biệt khác.** Chương này sẽ mô tả các loại UJT, các sơ đồ sẽ cung cấp các chiều dòng điện của các loại UJT trong thực tế, trong chương này sẽ cung cấp các loại TRANSISTOR đặc biệt (*THYRISTOR*, *TRIAC* và *DIAC*).

Cuối chương sẽ có các câu hỏi và bài tập cho sinh viên ôn tập, vẽ các đặc tuyến điện áp và tính toán giá trị dòng điện, điện áp trong các mạch điện tử thông dụng khi có các loại Transistor.

Tài liệu cũng cung cấp các hình vẽ các linh kiện chủ động hay gặp trong thực tế.

**Phần phụ lục** chúng tôi cung cấp các mạch IC số đơn giản như TTL, MOSFE, CMOS và các mạch tổ hợp thông dụng, đơn giản.

Trong quá trình sử dụng, tùy theo yêu cầu cụ thể có thể điều chỉnh số tiết trong mỗi chương. Trong quá trình biên soạn giáo trình này, chúng tôi không đề ra nội dung thực tập của từng chương, vì trong thiết bị phục vụ cho thực tập của các trường không đồng nhất.

Giáo trình được biên soạn cho đối tượng là sinh viên các trường đại học, nó cũng là tài liệu tham khảo bổ ích cho sinh viên kỹ thuật cũng như kỹ thuật viên đang làm việc ở các cơ sở kinh tế nhiều lĩnh vực khác nhau. Giáo trình đã được giảng cho sinh viên Khoa Kỹ thuật máy tính và Khoa Mạng và Truyền thông của Trường Đại học Công nghệ thông tin thuộc Đại học Quốc gia Hồ Chí Minh.

Chúng tôi xin cảm ơn tập thể giảng viên hai Khoa trên và Kỹ sư Nguyễn Quang Minh đã đóng góp nhiều ý kiến trong quá trình biên soạn. Chúng tôi cũng tham khảo nhiều giáo trình điện tử của trang Web Bộ Giáo dục và Đào tạo để cập nhật các kiến thức mới nhất về môn học cơ sở này. Mặc dù đã cố gắng, nhưng chắc chắn không tránh khỏi khiếm khuyết, nên chúng tôi rất mong nhận được ý kiến đóng góp của người sử dụng để lần tái bản được hoàn chỉnh hơn.

**TÁC GIẢ**

(Mail: [manhlie@uit.edu.vn](mailto:manhlie@uit.edu.vn))

# MỤC LỤC

<b>CHƯƠNG I. CƠ SỞ VẬT LÝ CỦA VẬT LIỆU LINH KIỆN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Chất cách điện (chất điện môi).....	1
1.1.1. Định nghĩa .....	1
1.1.2. Các tính chất của chất điện môi .....	1
1.1.3. Phân loại và ứng dụng.....	3
1.2. Chất bán dẫn .....	4
1.2.1. Định nghĩa và đặc tính.....	4
1.2.2. Chất bán dẫn thuần khiết Si và Ge (Bán dẫn I - Integrity) .....	5
1.2.3. Chất bán dẫn thuần có pha tạp chất (Bán dẫn I - Integrity).....	7
1.2.4. Chất bán dẫn loại P (Positive).....	7
1.3. Chất dẫn điện.....	9
1.3.1. Định nghĩa.....	9
1.3.2. Đặc tính của chất dẫn điện.....	10
1.3.3. Phân loại và ứng dụng.....	10
1.4. Vật liệu từ .....	11
1.4.1. Định nghĩa.....	11
1.4.2. Các tính chất của vật liệu từ.....	11
1.4.3. Phân loại và ứng dụng.....	13
1.5. Câu hỏi ôn tập.....	14
<b>CHƯƠNG II. LINH KIỆN ĐIỆN TỬ THỤ ĐỘNG.....</b>	<b>15</b>
2.1. Điện trở .....	15
2.1.1. Định nghĩa, ký hiệu.....	15
2.1.2. Các tham số kỹ thuật chủ yếu.....	17
2.1.3. Cách ghép điện trở.....	19
2.1.4. Nhận biết điện trở theo mã ghi trên thân.....	20
2.1.5. Phân loại và ứng dụng.....	22



<b>2.2. Tụ điện</b>	<b>31</b>
2.2.1. Cấu tạo và ký hiệu	31
2.2.2. Đặc tính của tụ điện	32
2.2.3. Các tham số chính của tụ điện	36
2.2.4. Các ghép tụ điện	41
2.2.5. Nhận biết tụ điện theo mã trên thân	42
2.2.6. Phân loại và ứng dụng	46
<b>2.3. Cuộn cảm</b>	<b>53</b>
2.3.1. Cấu tạo và ký hiệu	53
2.3.2. Đặc tính của cuộn cảm	58
2.3.3. Các tham số chủ yếu của cuộn cảm	62
2.3.4. Cách ghép cuộn dây	63
2.3.5. Phân loại và ứng dụng	64
<b>2.4. Biến áp</b>	<b>65</b>
2.4.1. Cấu tạo và ký hiệu	65
2.4.2. Nguyên lý làm việc và đặc tính kỹ thuật	66
2.4.3. Phân loại và ứng dụng	76
<b>2.5. Cầu hồi ôn áp</b>	<b>77</b>

## **CHƯƠNG III. CÁC ĐẶC ĐIỂM LINH KIỆN BÁN DẪN**

3.1. Lớp tiếp xúc P-N ( P-N JUNCTION)	80
3.2. Lớp tiếp xúc P-N với phân cực ngược	85
3.3. Lớp tiếp xúc P-N với phân cực thuận	86
3.4. Đặc tính của tiếp xúc P-N	86
3.5. Đặc tuyến Von-Ampe của tiếp xúc P-N	88

## **CHƯƠNG IV. DIÓT BÁN DẪN(DIODE -D)**

4.1. Cấu tạo và ký hiệu	90
4.2. Nguyên lý làm việc và đặc tuyến Von-Ampe của diốt	90
4.3. Các tham số và sơ đồ tương đương của diốt bán dẫn	95
4.4. Phân loại và ứng dụng	97

<b>CHƯƠNG V. TRANSISTOR LƯỜNG CỰC</b> <b>(BIPOLAR JUNCTION TRANSISTOR - BJT).....</b>	<b>116</b>
5.1. Cấu tạo và ký hiệu.....	116
5.2. Nguyên lý làm việc và tính chất khuếch đại của BJT.....	117
5.3. Chế độ làm việc của BJT.....	120
5.4. Cách mắc BJT.....	135
5.5. Đặc tuyến Vôn-Ampe của BJT.....	137
5.6. Đặc tính tần số của BJT.....	138
5.7. Các tham số giới hạn của BJT.....	139
5.8. Phân cực cho BJT.....	155
5.9. Điểm làm việc tĩnh và đường tải tĩnh.....	168
5.10. Phân loại và ứng dụng.....	169
<b>CHƯƠNG VI. TRANSISTOR TRƯỜNG (FIELD EFFECT</b> <b>TRANSISTOR FET).....</b>	<b>171</b>
6.1. Transistor trường tiếp xúc P-N (JFET).....	171
6.2. Transistor trường loại MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET).....	187
6.3. Đặc điểm chung của FET so với BJT.....	197
<b>CHƯƠNG VII. TRANSISTOR TIẾP GIÁP (UNI JUNCTION</b> <b>TRANSISTOR UJT) VÀ CÁC LOẠI</b> <b>TRANSISTOR ĐẶC BIỆT.....</b>	<b>198</b>
7.1. UJT.....	198
7.1.1. Cấu tạo và ký hiệu.....	198
7.1.2. Nguyên lý làm việc và đặc tuyến Vôn - Ampe.....	199
7.1.3. Thông số kỹ thuật của UJT.....	202
7.1.4. Ứng dụng của UJT.....	204
7.2. THYRISTOR-SCR (Silicon Controlled Rectifier).....	205
7.2.1. Cấu tạo.....	205
7.2.2. Nguyên lý làm việc.....	206
7.2.3. Đặc tuyến Vôn-Ampe của Thyristo.....	213

7.2.4. Tham số của Thyristo .....	215
7.2.5. Một ứng dụng của Thyristo : Mạch báo động.....	216
7.3. TRIAC .....	216
7.3.1. Cấu tạo .....	216
7.3.2. Nguyên lý làm việc .....	219
7.3.3. Đặc tuyến Vôn-Ampe của Triac .....	220
7.3.4. Các cách kích Triac .....	220
7.3.5. Ứng dụng của Triac .....	220
7.4. DIAC.....	221
7.4.1. Cấu tạo .....	221
7.4.2. Nguyên lý làm việc .....	223
7.4.3. Đặc tuyến Vôn-Ampe của Diac .....	223
Câu hỏi ôn tập chương III, IV, V, VI, VII .....	224
Phụ lục: Sơ đồ các mạch IC đơn giản. ....	233
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	242

Chương I  
**CƠ SỞ VẬT LÝ CỦA VẬT LIỆU LINH KIỆN**

**1.1. CHẤT CÁCH ĐIỆN (CHẤT ĐIỆN MÔI)**

**1.1.1. Định nghĩa**

*Chất cách điện* là các chất có cấu tạo nguyên tử vòng ngoài cùng đã đủ số điện tử tối đa hay gần đủ số tối đa nên rất ít khả năng tạo ra điện tử tự do.

**1.1.2. Các tính chất của chất điện môi**

*1. Hằng số điện môi ( $\epsilon$ ):* Đặc trưng cho khả năng cách điện của vật liệu cách điện,  $\epsilon$  của vật liệu càng lớn thì độ cách điện của vật liệu càng lớn.  $\epsilon$  càng lớn thì điện dung của tụ điện càng lớn. Điện dung của tụ điện được xác định theo công thức:

$$C = \epsilon \frac{S}{d} \quad (1-1-1)$$

Trong đó:  $\epsilon$  – hằng số điện môi

$S$  – diện tích bản cực ( $m^2$ )

$d$  – bề dày lớp điện môi (m)

Hằng số điện môi của một số chất cách điện :

Không khí khô :	1	Gốm	5,5
Parafin	2	Mica	6-7
Polistiron	2,5	$Al_2O_3$	9-10
Giấy tụ điện	4-5	Sứ	12-150

Ở tần số giới hạn,  $\epsilon$  bắt đầu giảm; Và ở tần số rất cao thì  $\epsilon$  giảm tới trị số điện môi trung tính.

$\epsilon$  cũng phụ thuộc vào nhiệt độ, đại lượng chỉ sự biến đổi tương đối của  $\epsilon$  khi nhiệt độ thay đổi  $1^\circ C$  gọi là "*Hệ số nhiệt điện môi*".

**2. Tồn hao điện môi ( $\text{tg } \delta$ ):** Là sự tổn hao năng lượng điện trong chất điện môi khi chịu tác dụng của điện áp xoay chiều. Thực tế các chất cách điện đều có tồn hao điện môi, vì vậy góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện xoay chiều đặt vào chất điện môi luôn nhỏ hơn  $90^\circ$ . Hiệu số giữa góc  $90^\circ$  và góc lệch pha gọi là "*Góc tồn hao  $\delta$* ".

Người ta dùng "*tg  $\delta$* " để đặc trưng cho sự tồn hao điện môi. Công suất dòng điện xoay chiều tổn hao trong chất điện môi được tính theo công thức:

$$P_{\text{thao}} = U^2 \omega C \text{tg} \delta$$

Vì vậy,  $\text{tg} \delta$  càng nhỏ thì chất điện môi càng tốt. (vào khoảng phần ngàn đến phần mười ngàn đơn vị).

**3. Điện áp đánh thủng ( $U_{\text{đ}}$ ) - Độ bền điện môi hay cường độ điện trường đánh thủng ( $E_{\text{đ}}$ )**

Tăng điện áp đặt vào chất điện môi khi đạt đến một trị số nào đó, chất điện môi sẽ bị đánh thủng. Lúc này điện trở cách điện của chất điện môi giảm nhanh đến không và gây ngắn mạch. Nếu công suất của nguồn điện đặt vào khá lớn thì tại chỗ bị đánh thủng phát sinh hồ quang và bị cháy.

Điện áp đánh thủng chất điện môi nói trên gọi là "*Điện áp đánh thủng  $U_{\text{đ}}$* ". Điện áp đánh thủng phụ thuộc vào loại vật liệu và bề dày của vật liệu điện môi. Khi sử dụng vật liệu điện môi phải cho làm việc ở điện áp thấp hơn điện áp đánh thủng  $U_{\text{đ}}$ .

Tỉ số giữa điện áp đánh thủng  $U_{\text{đ}}$  và chiều dày vật liệu điện môi gọi là "*Độ bền điện môi*", hay "*Cường độ điện trường đánh thủng  $E_{\text{đ}}$* " (đơn vị là kV/mm).

**4. Điện trở cách điện:** Đặc trưng cho khả năng ngăn không cho dòng điện một chiều rò qua chất điện môi. Chất điện môi có điện trở cách điện càng lớn càng tốt. Người ta phân biệt :

- **Suất điện trở khối  $\rho_v$  (đơn vị  $\Omega \text{ cm}$ ):** Đặc trưng cho khả năng ngăn dòng điện một chiều xuyên qua bề dày hoặc xuyên qua toàn bộ thể tích của chất điện môi.

• *Suất điện trở mặt  $\rho$ , (đơn vị  $\Omega \text{ cm}$ ):* Đặc trưng cho khả năng ngăn dòng điện một chiều chạy trên bề mặt của chất điện môi.

### 1.1.3. Phân loại và ứng dụng

**1. Theo trạng thái vật lý:** Vật liệu cách điện (VLCĐ, chất cách điện) có thể ở thể khí, thể lỏng và thể rắn. VLCĐ thể rắn có các nhóm: cứng, đàn hồi, có sợi, băng, màng mỏng. Giữa thể rắn và lỏng còn có thể trung gian, gọi là *thể mềm nhão* như: vật liệu có tính bôi trơn, các loại sơn tĩnh.

**2. Theo thành phần hoá học:** Gồm VLCĐ hữu cơ và vô cơ.

a) *VLCĐ hữu cơ:* Chia làm hai nhóm, nhóm có nguồn gốc thiên nhiên như: vải, sợi, giấy, sơn vecni, bitum, cao su, xenluloit, phíp, lụa,...

*Nhóm nhân tạo*, thường gọi là *nhựa nhân tạo*, gồm: nhựa phenol, nhựa amino, nhựa polieste, nhựa époxy, xilicon, polyetylen, vinyl.

b) *VLCĐ vô cơ:* Gồm các chất khí, các chất lỏng không cháy, các loại vật liệu rắn như: sứ, gốm, thủy tinh, mica, amiăng.

**3. Theo tính chịu nhiệt:** Đây là sự phân loại rất cơ bản. Khi chọn VLCĐ, đầu tiên phải biết vật liệu có tính chịu nhiệt ở cấp nào (nhiệt độ làm việc lớn nhất mà vật liệu có thể chịu đựng được). Các cấp chịu nhiệt của VLCĐ xem bảng 1.1

Bảng 1.1. Cấp chịu nhiệt của vật liệu cách điện.

Cấp Cách điện	Nhiệt độ cho phép ( $^{\circ}\text{C}$ )	Các vật liệu cách điện chủ yếu
Y	90	Giấy, vải sợi, lụa, phíp, cao su, gỗ và các vật liệu tương tự không tẩm nhựa. Các loại nhựa polyetylen, polisiron, PVC, anilin, cacbarnit.
A	105	Giấy, vải sợi, lụa trong dầu. Nhựa polieste, cao su nhân tạo, các loại sơn cách điện có dầu làm khô.

E	120	Nhựa trắng polivinylphocman, poliarnit, epoxi. Bakelit giấy. Nhựa poliarnit, nhựa phenolphurphurul, nhựa melaminphocmandehit có độ xenlulo. Vải tấm poliarnit.
B	130	Nhựa polieste, amiăng, mica, thủy tinh có chất độ. Sơn cách điện có dầu làm khô, dùng ở các bộ phận không tiếp xúc với không khí. Sơn alkil. Sơn từ nhựa phenol. Các loại sản phẩm mica. Nhựa phenolphurphurul, nhựa epoxi, sợi thủy tinh, nhựa melaminphocmandehit có chất độ.
F	155	Sợi amiăng, sợi thủy tinh có chất kết dính.
H	180	Silicon, sợi thủy tinh, mica có chất kết dính.
C	>180	Mica không có chất kết dính, thủy tinh, sứ Politetraflotilen.

## 12. CHẤT BÁN DẪN

### 1.2.1. Định nghĩa và đặc tính

**1. Định nghĩa:** *Chất bán dẫn* là các chất mà cấu tạo nguyên tử ở vòng ngoài cùng có 4 electron.

#### 2. Đặc tính của chất bán dẫn

##### a) Điện trở suất ( $\rho$ )

Hai chất bán dẫn thông dụng là *Silicium* (Si) và *Germanium* (Ge), có điện trở suất là:

$$\rho_{Si} = 10^{14} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$$

$$\rho_{Ge} = 8,9.10^{12} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$$

$\rho$  của chất bán dẫn rất lớn hơn  $\rho$  của chất dẫn điện ( $\rho_{Cu} = 1,7 \cdot 10^{-4} \Omega mm^2/m$ ), nhưng rất nhỏ hơn  $\rho$  của chất cách điện, ( $\rho_{thủy tinh} = 10^{18} \Omega mm^2/m$ ).

#### b) Ảnh hưởng của nhiệt độ

Điện trở của chất bán dẫn thay đổi rất lớn theo nhiệt độ. Nhiệt độ càng tăng thì điện trở của chất bán dẫn càng giảm lớn. Dựa vào tính chất này, người ta chế tạo ra *điện trở nhiệt (Thermistor)* là điện trở có trị số thay đổi theo nhiệt độ.

#### c) Ảnh hưởng của cường độ chiếu sáng

Điện trở của chất bán dẫn thay đổi khi cường độ chiếu sáng vào nó thay đổi. Cường độ chiếu sáng càng tăng, điện trở của chất bán dẫn càng giảm lớn; Cường độ chiếu sáng càng giảm (đặt trong vỏ kín), điện trở của chất bán dẫn có trị số rất lớn.

Dựa vào tính chất này, người ta chế tạo ra *quang trở (Photoresistor)* là điện trở có trị số thay đổi theo cường độ chiếu sáng.

#### d) Ảnh hưởng của độ thuần khiết

Khối bán dẫn thuần khiết có điện trở rất lớn, nếu pha thêm vào một ít tạp chất thích hợp với tỷ lệ rất nhỏ (tạp chất *Asenic* hay *Indium* vào chất bán dẫn *Ge*, hoặc tạp chất *Phosphore* hay *Bore* vào chất bán dẫn *Si*) thì điện trở của chất bán dẫn sẽ giảm. Tỷ lệ pha tạp chất càng cao thì điện trở càng giảm nhỏ.

Dựa vào tính chất này, người ta chế tạo ra các linh kiện bán dẫn như: *diod, transistor, thyristor,...*

### 1.2.2. Chất bán dẫn thuần khiết Si và Ge (Bán dẫn i - Integrity)

*Chất bán dẫn thuần khiết* là chất bán dẫn có cấu tạo đồng nhất một loại nguyên tử bán dẫn (hoặc *Si*, hoặc *Ge*), không bị pha hoặc lẫn một tỷ lệ nhỏ tạp chất thích hợp nào có khả năng tạo ra các *hạt dẫn (điện tử hoặc lỗ)* trong khối bán dẫn.





**Hình 1.1.** Cấu tạo nguyên tử của chất bán dẫn Si và Ge.

Xét cấu tạo nguyên tử của Si và Ge: Nguyên tử Si có 14 điện tử (electron) xoay quanh hạt nhân và xếp thành 3 lớp. Nguyên tử Ge có 32 điện tử xoay quanh hạt nhân và xếp thành 4 lớp (hình 1.1). Chúng có đặc điểm chung là: *Số điện tử trên lớp ngoài cùng bằng nhau là 4 điện tử (hoá trị 4).*

Khi xét sự liên kết giữa các nguyên tử, người ta chỉ xét đến lớp điện tử ngoài cùng. Trong khối bán dẫn thuần khiết, các nguyên tử gần nhau (ở lớp ngoài cùng) sẽ liên kết với nhau theo kiểu cộng hoá trị. Bốn điện tử của mỗi nguyên tử sẽ liên kết với 4 điện tử của nguyên tử xung quanh tạo thành 4 mối liên kết hoá trị làm cho các điện tử liên kết chặt chẽ với nhau. Sự liên kết này làm cho lớp vỏ ngoài cùng đủ số điện tử tối đa (8 điện tử). Do đó, lớp ngoài trở thành bền vững, ít có khả năng nhận thêm hoặc mất điện tử (hình 1.2). Trong trạng thái này, chất bán dẫn thuần khiết *không có điện tích tự do và không dẫn điện (có điện trở rất lớn).*

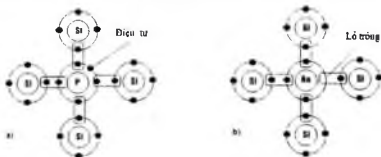


**Hình 1.2.** Cấu tạo mạng của chất bán dẫn thuần Si.

### 1.2.3. Chất bán dẫn thuần có pha tạp chất (Bán dẫn i - Integrity)

Nếu pha một lượng tạp chất thuộc nhóm 5 (hoá trị 5) với hàm lượng thích hợp vào chất bán dẫn thuần khiết (pha *Asenic* vào *Ge*, hoặc pha *Phosphore* vào *Si*); Nguyên tử tạp chất (như *Phosphore*) có 5 điện tử ở lớp vỏ ngoài cùng, trong đó 4 điện tử sẽ tham gia liên kết hoá trị với các nguyên tử lân cận. Điện tử thứ 5 liên kết yếu hơn với hạt nhân và các nguyên tử xung quanh, nên chỉ cần được cung cấp một năng lượng nhỏ (nhờ nhiệt độ, ánh sáng,...) điện tử này sẽ thoát khỏi trạng thái ràng buộc và trở thành *hạt dẫn tự do*. Nguyên tử tạp chất lúc này bị ion hoá và trở thành một ion dương (hình 1.3a).

Tạp chất nhóm 5 cung cấp điện tử cho chất bán dẫn thuần khiết ban đầu (*Si* hoặc *Ge*) được gọi là *tạp chất cho* (hoặc *tạp donor*). *Chất bán dẫn có pha tạp donor* gọi là *bán dẫn loại N* (hay *bán dẫn điện tử*).



a) Chất bán dẫn loại N.

b) Chất bán dẫn loại P.

Hình 1.3 . Cấu tạo mạng của chất bán dẫn thuần có pha tạp chất.

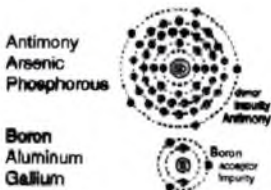
### 1.2.4. Chất bán dẫn loại P (Positive)

Nếu tạp chất pha vào thuộc nhóm 3 (pha *Bore* vào *Si*, hoặc pha *Indium* vào *Ge*); do nguyên tử tạp chất nói trên chỉ có 3 điện tử ở lớp vỏ ngoài cùng nên khi tham gia vào mạng tinh thể của chất bán dẫn thuần khiết (ví dụ *Si*) chỉ tạo nên 3 mối liên kết hoàn chỉnh, còn mối liên kết thứ tư bị bỏ hờ. Chỉ cần một kích thích nhỏ (nhờ nhiệt độ, ánh

sáng...) thì một trong những điện tử của các mối liên kết hoàn chỉnh bên cạnh sẽ chuyển đến thế vào chỗ mối liên kết bỏ hờ nói trên. Lúc này nguyên tử tạp chất trở thành một *ion âm*. Tại mối liên kết mà điện tử vừa rời khỏi sẽ thiếu một điện tử, tạo nên một điện tích dương, nghĩa là xuất hiện *lỗ trống* (hình 1.3b).

Tạp chất nhóm 3 *tiếp nhận điện tử* từ chất bán dẫn thuần khiết để tạo nên các *lỗ trống* nên được gọi là *tạp chất nhận* (hoặc *tạp chất acceptor*). Chất bán dẫn có pha tạp chất nhóm 3 nói trên gọi là bán dẫn loại P (hay bán dẫn *lỗ trống*).

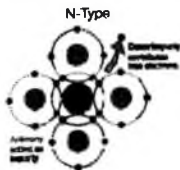
### Tạp chất nhóm hóa trị 5 và 3



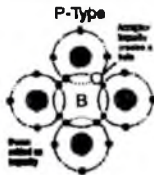
### N and P Type Semiconductors



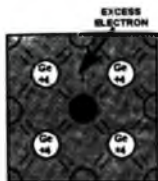
## N-Type Semiconductor



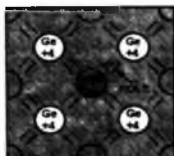
## P-Type Semiconductor



## N and P Type Semiconductors



N-TYPE SEMICONDUCTOR



P-TYPE SEMICONDUCTOR

## 1.3. CHẤT DẪN ĐIỆN

### 1.3.1. Định nghĩa và đặc tính

Các chất có cấu tạo lớp vỏ ngoài cùng của nguyên tử chỉ có một hay hai điện tử và có xu hướng trở thành *điện tử tự do*, được gọi là *chất dẫn điện*. Cũng có thể nói: *Chất dẫn điện là chất mà ở trạng thái bình thường có các điện tích tự do*.

Chất dẫn điện có thể là chất rắn (như kim loại và hợp kim, một số chất không phải là kim loại), chất lỏng (như chất lỏng dẫn điện, kim loại chảy lỏng, chất điện phân) và trong một số điều kiện phù hợp có thể là chất khí. Khí có thể trở nên dẫn điện ở cường độ điện trường lớn, chúng tạo nên sự ion hoá do va chạm hay do sự ion hoá quang.

### 1.3.2. Đặc tính của chất dẫn điện

**1. Điện trở (R):** Là quan hệ giữa hiệu điện thế không đổi đặt vào hai đầu dây dẫn và cường độ dòng điện một chiều tạo nên trong dây dẫn đó. Điện trở của dây dẫn được tính theo công thức :

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

Điện dẫn G của dây dẫn là đại lượng nghịch đảo của điện trở :

$$G = \frac{1}{R}$$

Đơn vị của điện dẫn là:

$$\frac{1}{\Omega} = \Omega^{-1} \quad \text{Còn gọi là Siemen, ký hiệu là S, hoặc mho}$$

**2. Điện trở suất ( $\rho$ ):** Là điện trở của dây dẫn có chiều dài bằng một đơn vị chiều dài và tiết diện bằng một đơn vị diện tích.

Đơn vị của điện trở suất :  $\Omega \cdot \text{mm} / \text{m}$  ,  $\mu\Omega \cdot \text{cm}$

$\Omega \text{cm}$  (trong hệ CGS điện),  $\Omega \text{m}$  (trong hệ MKSA)

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

**Điện dẫn suất ( $\gamma$ ):** Là đại lượng nghịch đảo của điện trở suất.

Đơn vị của điện dẫn suất :  $\text{m} / \Omega \cdot \text{mm}^2$  ,  $\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$  ,  $\Omega^{-1} \text{m}^{-1}$

### 1.3.3. Phân loại và ứng dụng

Chất dẫn điện được phân thành hai loại :

**1. Vật liệu có tính dẫn điện từ (hoặc vật dẫn loại 1 hay vật dẫn kim loại):** Là chất mà sự hoạt động của các điện tích không làm biến đổi thực thể tạo nên vật liệu đó. Gồm những kim loại ở trạng thái rắn hay lỏng, hợp kim và một số chất không phải là kim loại (như than)

Kim loại và hợp kim có tính dẫn điện tốt được dùng để chế tạo dây dẫn điện, dây cáp điện, dây quấn motor, máy điện, các tiếp điểm tiếp xúc,... Kim loại và hợp kim có điện trở suất lớn được dùng để chế tạo các cuộn dây gia nhiệt ở lò sưởi, để đốt nóng, dây tóc đèn chiếu sáng, làm điện trở, biến trở,...

**2. Vật liệu có tính dẫn ion (hoặc vật dẫn loại 2 hay vật dẫn điện phân):** Là các chất mà dòng điện đi qua sẽ tạo nên sự biến đổi hoá học. Thông thường gồm các dung dịch axit, kiềm, và muối; Có một số chất rắn có tính dẫn ion như ioda và bạc.

## 1.4. VẬT LIỆU TỪ (VLT)

### 1.4.1. Định nghĩa

Vật liệu từ (VLT) là loại vật liệu có độ từ thẩm ( $\mu$ ) lớn hơn 1 rất nhiều. VLT thường dùng làm lõi biến áp, lõi motor và máy phát điện, lõi cuộn cảm, lõi cuộn dây mạch dao động, lõi anten ferit, nam châm vĩnh cửu,.....

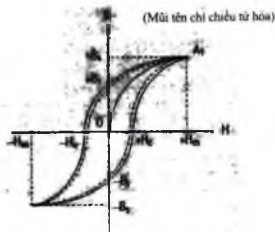
### 1.4.2. Các tính chất của vật liệu từ

**1. Đường cong từ hóa:** Là đường cong về sự phụ thuộc của mật độ từ thông  $B$  vào cường độ từ trường  $H$  (hình 1-4).

Cùng một trị số cường độ từ trường  $H$ , mật độ từ thông  $B$  có thể có các trị số khác nhau tùy theo tình trạng trước đó. Hiện tượng này gọi là từ trễ.

Đường cong  $OA_1$  gọi là đường cong từ hóa ban đầu.

Đường cong đặc trưng quá trình từ hóa ngược của VLT gọi là vòng từ trễ (đường cong từ trễ - là đường đứt đoạn trên hình 1.4).



Hình 1.4. Đường cong từ hóa vật liệu từ

## 2. Mật độ từ dư ( $B_r$ ) và mật độ từ thông bão hòa ( $B_s$ )

Mật độ từ thông  $B$  nhận được khi giảm cường độ từ trường  $H$  đến điểm  $O$  gọi là **mật độ từ dư** ( $B_r$ ).

Các đại lượng  $B_r$  và  $H_c$  phụ thuộc vào trị số cực đại của cường độ từ trường  $H_m$ . Vòng từ trễ giúp ta xác định trị số  $H_m$  làm cho VLT gần đến bão hòa. Sự bão hòa của VLT là tình trạng mật độ từ thông không thay đổi  $B$ , khi tiếp tục thay đổi trị số cường độ từ trường  $H$  (hình 1-4). Trị số mật độ từ thông tương ứng với tình trạng bão hòa gọi là mật độ từ thông bão hòa  $B_s$ .

**3. Cường độ khử từ ( $H_c$ ):** Là cường độ từ trường mà ở đó mật độ từ thông bằng 0.

Đoạn vòng từ trễ từ điểm  $+B_r$  đến  $-H_c$  và từ điểm  $-B_r$  đến  $+H_c$  gọi là **đường cong khử từ**.

**4. Hệ số nhiệt từ thẩm:** Các tham số của VLT phụ thuộc vào nhiệt độ. Độ ổn định của các tham số được đặc trưng bằng **Hệ số**

*nhiệt từ thẩm*, là sự biến đổi tương đối của từ thẩm ( $\mu$ ) khi nhiệt độ thay đổi  $1^{\circ}\text{C}$ .

### 1.4.3. Phân loại và ứng dụng

VLT được phân thành hai loại : VLT mềm và VLT cứng.

**1. Vật liệu từ mềm:** Có độ từ thẩm cao, lực khử từ không lớn và tổn hao từ trễ nhỏ. Chế tạo dưới dạng lá mỏng hay hạt nhỏ cách điện đối với nhau. Chia thành 3 nhóm :

a) *Thép lá điện kỹ thuật* : hàm lượng silic trong thép càng cao thì từ thẩm càng lớn. Độ cán mỏng đến 0,1-0,2mm, 0,03mm khi cán nguội. Dùng làm lõi biến áp, lõi mô tơ, lõi cuộn dây, lõi vòng.

b) *Hợp kim Fe-Ni* : có từ thẩm cao trong từ trường yếu ; Từ giảm trong từ trường một chiều và cả khi tần số tăng. Hợp kim Fe-Ni có từ thẩm cao rất dễ nhạy cảm với cường độ cơ khí (nén).

c) *VLT cao tần*, có thể chia làm 2 nhóm: kim loại bột (điện môi từ) và ôxide phi kim loại (ferit hay ôsife).

- *Điện môi từ (Chất từ môi)* là VLT hằng bột nén (bột sắt cacbon, alusife và pecmalôit), mỗi hạt bột của VLT được bao quanh bằng chất điện môi, hạt nọ cách biệt hạt kia. Do vậy *điện môi từ* có điện trở cách điện cao, tổn hao nhỏ, được dùng trong băng sóng radio. Độ từ thẩm không lớn, không quá 80.

*Sắt cacbon*, dùng làm lõi cuộn cao tần.

*Alusife* là hợp kim sắt với silic và nhôm, có độ từ thẩm ban đầu và điện trở suất cao. Lõi alusife có các dạng hình trụ, kiểu hộp, hình xuyên, dùng ở tần số 1-1,5MHz.

- *Ôxit sắt từ mềm (ferit hay ôsife)*, là dung dịch rắn của một vài ferit sắt từ (ferit Ni, ferit Mn) với ferit phi sắt từ Zn. Ôsife rất rắn, giòn như gốm; Điện trở riêng rất lớn (đến  $10\Omega/\text{cm}$ ), do vậy tổn hao vì dòng fucô trong trường cao tần nhỏ. Lõi ôsife có nhiều dạng và kích thước khác nhau: hình trụ, hình ống, tấm phẳng, hình vòng xuyên, hình chữ E,  $\Gamma$ ,  $\Pi$ , hình hộp,.....



2. *Vật liệu từ cứng*: Khác VLT mềm ở chỗ có lực khử từ và dùng làm nam châm vĩnh cửu. Loại thép này ngoài sắt và cacbon còn có một lượng nhỏ crôm, vonfram, molipđen, coban.

Ví dụ: *Nam châm ôxit bari*, chế tạo từ gốc *ferit bari* (là hợp chất của ôxit bari và  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), dùng nhiều trong các mạch từ của loa, micro, bộ biến đổi âm tần, làm tải tiêu thụ từ, trong hệ thống làm lệch, làm rotor và stato của các động cơ điện công suất nhỏ,....

## 1.5. CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Chất bán dẫn là gì ?

2. Phân biệt về cấu trúc và đặc tính giữa ba loại chất bán dẫn: chất bán dẫn thuần, chất bán dẫn loại P, và chất bán dẫn loại N ?

## Chương II

# LINH KIỆN ĐIỆN TỬ THỤ ĐỘNG

### 2.1. ĐIỆN TRỞ

#### 2.1.1. Định nghĩa, ký hiệu

##### 1. Định nghĩa

**Điện trở** là linh kiện làm giảm (cản trở) dòng điện trong mạch, đồng thời tiêu thụ công suất dưới dạng nhiệt. Dòng điện đi qua các vật liệu đều có một trở lực nhất định, gọi là *điện trở*. Linh kiện trong nó mang tính chất vật lý của một điện trở gọi là *điện trở*.

**Tính chất vật lý của điện trở** là: Điện áp  $U$  giữa hai đầu điện trở  $R$  tỉ lệ thuận với dòng điện  $I$  đi qua điện trở:

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{hoặc} \quad U = I.R \quad (\text{Định luật Ohm}).$$

Điện trở dẫn điện phụ thuộc vào chất liệu và kích thước của vật liệu chế tạo. Trị số của điện trở dây dẫn được tính theo công thức

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

**Đơn vị cơ bản của điện trở** là Ôm (Ohm), ký hiệu là  $\Omega$ .

**Bội số của Ôm** là: Kilo ôm  $1\text{k}\Omega = 10^3\Omega$ .

Mega ôm  $1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega$ .

**Điện trở suất  $\rho$**  của một số chất tiêu biểu:

Bạc  $0,016 \Omega.\text{mm}^2/\text{m}$       Kẽm  $0,06 \Omega.\text{mm}^2/\text{m}$

Đồng  $0,017 \Omega.\text{mm}^2/\text{m}$       Thép  $0,1 \Omega.\text{mm}^2/\text{m}$

Vàng	0,02 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	Thủy tinh	$10^{18} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
Nhôm	0,026 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$		

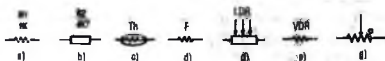
Điện trở suất  $\rho$  thay đổi theo nhiệt độ và được tính theo công thức:  
 $\rho = \rho_0 (1 + \alpha t)$

Trong đó:  $\rho_0$ : Điện trở suất ở  $0^\circ\text{C}$ .

$\alpha$ : Hệ số nhiệt điện trở.

$t$ : Nhiệt độ làm việc ( $^\circ\text{C}$ ).

## 2 Ký hiệu của điện trở



Hình 2.1. Ký hiệu điện trở trên sơ đồ

a, b) Điện trở thường.

d) Điện trở cầu chì (Fuse resistor).

c) Nhiệt trở (Thermistor).

e) Điện trở phụ thuộc điện áp (Voltage dependent resistor)

đ) Quang trở (Light dependent resistor).

g) Biến trở.

## Điện trở suất $\rho$ của một số chất tiêu biểu

Loại vật liệu	Điện trở suất
Bạc	0,016 $\Omega \text{mm}^2/\text{m}$
Đồng	0,017 $\Omega \text{mm}^2/\text{m}$
Vàng	0,02 $\Omega \text{mm}^2/\text{m}$
Nhôm	0,026 $\Omega \text{mm}^2/\text{m}$
Kẽm	0,06 $\Omega \text{mm}^2/\text{m}$
Thép	0,1 $\Omega \text{mm}^2/\text{m}$
Thủy tinh	$10^{18} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$

## 2.1.2. Các tham số kỹ thuật chủ yếu

**1. Trị số danh định:** là trị số điện trở ghi (hoặc dùng vòng màu ký hiệu) trên thân điện trở. Để tiện sản xuất và thoả mãn yêu cầu sử dụng, các quốc gia đều quy định chỉ sản xuất một loạt trị số điện trở tiêu chuẩn, hệ trị số điện trở này gọi là *trị số điện trở chuẩn* hay *trị số điện trở danh định*.

Hệ trị số danh định của điện trở do dung sai quyết định và gồm một hệ các số sau:

1 - 1,2 - 1,5 - 1,8 - 2,2 - 2,7 - 3,3 - 3,9 - 4,7 - 5,1 - 5,6 - 6,8 - 8,2

Trị số đo được của điện trở sản xuất có thể khác so với trị số danh định, nhưng phải nằm trong phạm vi sai số cho phép:

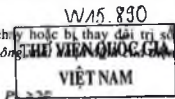
$$\delta = \frac{R - R_R}{R_R} \times 100\%$$

$R$  - Trị số thực đo.       $R_R$  - Trị số danh định ghi trên thân điện trở.

**2. Công suất danh định:** là công suất cực đại (một chiều hoặc xoay chiều) cho phép sử dụng điện trở trong điều kiện bình thường, làm việc trong một thời gian dài mà không làm thay đổi trị số điện trở hoặc không bị hư.

Trị số công suất danh định của điện trở (công suất nhỏ) thường được sản xuất gồm các loại sau: 1/8W, 1/4W, 1/2W, 1W, 2W, 5W. Điện trở có công suất 2W trở lên thường ghi công suất danh định trên thân điện trở. Kích thước điện trở càng lớn thì công suất danh định càng lớn.

Để điện trở không bị cháy hoặc bị thay đổi trị số khi làm việc trong mạch, cần chọn công suất danh định của điện trở theo công thức:



$P_R$ . Công suất danh định của điện trở chọn.

$P$  - Công suất tiêu thụ trên điện trở khi làm việc.

2 - Hệ số an toàn (trường hợp đặc biệt có thể chọn hệ số an toàn lớn hơn).

3. **Điện áp làm việc lớn nhất (giới hạn):** Điện áp làm việc trên điện trở phụ thuộc vào trị số và công suất tiêu thụ của điện trở, được tính theo công thức :

$$U_R = \sqrt{P_R \times R_R}$$

Điện áp làm việc của điện trở không được vượt quá điện áp làm việc danh định, nếu không sẽ gây nên vượt quá công suất dẫn đến gây tác hại cho điện trở như sinh hồ quang, đánh lửa giữa các phần tử của điện trở.  $U_R$  thường từ 100V đến 1.000V với tải liên tục.

4. **Hệ số nhiệt điện trở ( $\alpha_R$ ):** Khi nhiệt độ thay đổi thì trị số điện trở cũng thay đổi. **Hệ số nhiệt điện trở** là sự biến thiên tương đối của điện trở khi nhiệt độ thay đổi  $1^\circ\text{C}$ , được tính theo công thức:

$$\alpha_R = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (t_2 - t_1)$$

Đối với điện trở thường, hệ số này không vượt quá  $\pm 2\%$  khi nhiệt độ thay đổi  $1^\circ\text{C}$ .

5. **Tạp âm của điện trở:** Trong điện trở có dòng điện chạy qua, cùng với các chuyển động tuần tự hoặc hỗn loạn của điện tử tạo nên trên điện trở một sức điện động xoay chiều nào đó. Sức điện động này sẽ được khuếch đại cùng với tín hiệu hữu ích, vì là tạp âm nên gọi là **Sức điện động tạp âm**.

Thông thường điện trở màng vàng, than có tạp âm nhỏ; điện trở màng tổng hợp và điện trở lõi đặc có tạp âm tương đối lớn. Đối với mạch khuếch đại có hệ số khuếch đại lớn cần chọn điện trở có tạp âm nhỏ.

6. **Điện cảm và điện dung tạp tán:** Điện trở nào cũng có điện cảm và điện dung tạp tán, phụ thuộc vào cấu tạo và kích thước của điện trở; Và làm giảm tần số giới hạn.

Điện trở dây quấn có điện cảm và điện dung tập tán đáng kể, (thường không sử dụng trong các mạch cao tần. Điện trở không dây quấn điện cảm rất nhỏ, điện dung không lớn (0,5pF) nhưng ở mạch cao tần lại làm thay đổi trị số của nó một cách đáng kể.

### 2.1.3, Cách ghép điện trở

#### 1. Điện trở ghép nối tiếp: (Hình 2.2a)

- Tổng điện áp trên các điện trở ( $V_m$ ):  $V_m = V_1 + V_2 + \dots + V_n$ .
- Điện trở tương đương ( $R_m$ ):  $R_m = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ .
- Công suất tiêu tán trên điện trở tương đương ( $P_m$ ):  $P_m = P_1 + P_2 + \dots + P_n$ .

Khi  $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R$ , Ta có:  $V_m = nV$ ,  $R_m = nR$ ,  $P_m = nP$

$n$  - Số lượng điện trở mắc trong mạch.

Cách ghép nối tiếp làm tăng trị số điện trở và tăng công suất tiêu tán trên điện trở trong mạch.



**Hình 2.2.** Cách ghép điện trở

a) Ghép nối tiếp.

b) Ghép song song.

#### 2. Điện trở ghép song song: (Hình 2.2b)

- Tổng dòng điện trên các điện trở ( $I_m$ ):  $I_m = I_1 + I_2 + \dots + I_n$
- Điện trở tương đương ( $R_m$ ):

$$\frac{1}{R_{ss}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

• Công suất tiêu tán trên điện trở tương đương ( $P_{ss}$ ):  $P_{ss} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$

Khi  $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R$ , Ta có:  $I_{ss} = nI$ ,  $R_{ss} = R/n$ ,  $P_{ss} = nP$

$n$  - Số lượng điện trở mắc trong mạch.

Cách ghép song song làm giảm trị số điện trở và tăng công suất tiêu tán trên điện trở trong mạch.

#### 2.1.4. Nhận biết điện trở theo mã ghi trên thân

Trên thân điện trở có ghi ký hiệu theo mã vòng màu, hoặc mã số và chữ để chỉ trị số danh định, dung sai, hoặc công suất của điện trở.

##### 1. Mã vòng màu

a) Mã màu: Qui ước con số tương ứng của mã màu:

Đen	0	Lục	5
Nâu	1	Xanh	6
Đỏ	2	Tím	7
Cam	3	Xám	8
Vàng	4	Trắng	9

b) Điện trở 4 vòng màu: (Hình 2.3a)

Vòng 1 - Số có nghĩa.

Vòng 2 - Số có nghĩa.

Vòng 3 - Số số không (0) thêm vào sau hai số có nghĩa (bội số).

Vòng 4 - Dung sai, gồm các màu chính sau:

Nhũ bạc	$\pm 10\%$	Đỏ	$\pm 2\%$
Vàng kim	$\pm 5\%$	Nâu	$\pm 1\%$

c) Điện trở 4 vòng màu có trị số  $< 10\Omega$ : (Hình 2.3a)

Vòng 1 - Số có nghĩa đứng trước đơn vị điện trở: "X  $\Omega$ ".

Vòng 2 - Số có nghĩa đứng sau đơn vị điện trở: "-  $\Omega$  X".

Vòng 3 - Màu vàng kim, vòng đánh dấu các điện trở có trị số  $< 10\Omega$

Vòng 4 - Màu vàng kim, dung sai  $\pm 5\%$



Hình 2.3 . a) Điện trở 4 vòng màu

b) Điện trở 5 vòng màu .

Ví dụ 1:

Nâu - Đen - Đen - Nhũ bạc	$10\Omega \pm 10\%$
Nâu - Đen - Nâu - Nhũ bạc	$100\Omega \pm 10\%$
Nâu - Đen - Đỏ - Nhũ bạc	$1K\Omega \pm 10\%$
Nâu - Đen - Cam - Nhũ bạc	$10K\Omega \pm 10\%$
Nâu - Đen - Vàng - Nhũ bạc	$100K\Omega \pm 10\%$
Nâu - Đen - Lục - Nhũ bạc	$1M\Omega \pm 10\%$
Vàng - Tím - Đỏ - Nhũ bạc	$4,7K\Omega \pm 10\%$

Ví dụ 2:

Nâu - Đỏ - Vàng kim - Vàng kim	$1,2\Omega \pm 5\%$
Đỏ - Đỏ - Vàng kim - Vàng kim	$2,2\Omega \pm 5\%$



d/ Điện trở 5 vòng màu : (Hình 2.3b)

Vòng 1 - Số có nghĩa.

Vòng 2 - Số có nghĩa.

Vòng 3 - Số có nghĩa.

Vòng 4 - Số số không (0) thêm vào sau 3 số có nghĩa (bội số).

Vòng 5 - Dung sai (gồm các màu như điện trở 4 vòng màu).

## 2. Mã số và chữ

Số thứ 1 và 2 - Số có nghĩa.

Số thứ 3 - Số số "0" thêm vào sau 2 số có nghĩa (bội số).

Chữ ở giữa - Đơn vị điện trở:

R, E:  $\Omega$                       K:  $K\Omega$                       M:  $M\Omega$

Chữ sau cùng - Dung sai, gồm có một số ký hiệu sau:

M      20%                      H      2,5%

K      10%                      G      2%

J      5%                      F      1%

Ví dụ 3:

101J       $100 \Omega \pm 5\%$                       4R7J       $4,7 \Omega \pm 5\%$

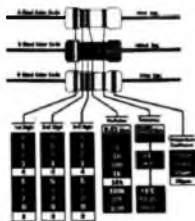
102K       $1 K\Omega \pm 10\%$                       M47K       $470 K\Omega \pm 10\%$

473K       $47 K\Omega \pm 10\%$

### 2.1.5. Phân loại và ứng dụng



Hình 2.3a. Mã màu và điện trở 4 vòng màu



Hình 2.3 b. Điện trở 4, 5, 6 vòng màu.

### 1. Phân loại theo cấu tạo

a) **Điện trở than ép:** Than trộn với chất gắn nung nóng hoá rắn, bảo vệ bề mặt bằng sơn hoặc giấy bọc gỗm. Công suất danh định (P<sub>dd</sub>) từ 1/8W đến vài watt. Trị số danh định (R<sub>dd</sub>) từ vài Ω đến vài chục MΩ.

b) **Điện trở than có độ ổn định cao:** Hình dạng nhỏ, bằng than, thường được dùng vì có độ ổn định cao, tạp âm thấp, giá hạ. Công suất danh định có các loại: 1/20, 1/10, 1/8, 1/3, 1/2, 3/4, 1W. Trị số danh định: 1Ω đến 10MΩ.

c) **Điện trở màng kim loại:** Chế tạo bằng cách kết lắng màng kim loại Ni – Cr trên thân gốm chất lượng cao có xẻ rãnh hình xoắn ốc, hai đầu lắp dây, thân phủ sơn. Trị số điện trở ổn định, giá đắt gấp 4 lần điện trở than. Công suất danh định từ 1/10W trở lên. Trị số danh định từ 1Ω đến 1MΩ.

Điện trở màng dày có : Công suất danh định  $1/2W$ , dung sai  $1\%$ , điện áp làm việc lớn nhất  $200V$ .

d) *Điện trở ôxyt kim loại*: Chế tạo bằng cách kết lắng màng ôxyt thiếc trên thanh thủy tinh đặc biệt. Chịu nhiệt độ cao và chịu ẩm (độ ẩm cao). Công suất danh định  $1/2W$ , dung sai  $\pm 2\%$ , trị số danh định từ  $10\Omega$  đến  $1M\Omega$ .

đ) *Điện trở dây quấn*: Dùng ở mạch đặc biệt yêu cầu có trị số điện trở rất nhỏ, chịu dòng lớn. Công suất danh định  $1 - 5W$  với loại điện trở  $0,5\Omega$ ;  $\geq 25W$  với loại điện trở lớn hơn  $0,5\Omega$ .

## 2. Phân loại theo công dụng

a) *Điện trở cố định*: Gồm điện trở có trị số cố định (không điều chỉnh được), và loại điện trở tích hợp.

b) *Biến trở (chiết áp - Variable Resistor - VR)*: Cấu tạo gồm một điện trở màng than hình móng ngựa hay dây quấn có dạng hình cung góc quay  $270^\circ$ . Có trục xoay ở giữa nối với con trượt bằng than (cho biến trở dây quấn) hoặc bằng kim loại (với biến trở than).

Biến trở dây quấn thay đổi trị số dạng tuyến tính, có tỉ số điện trở tỉ lệ với góc xoay. Biến trở than có loại thay đổi trị số dạng tuyến tính, có loại thay đổi theo hàm logarit.

c) *Nhiệt trở (Thermistor - Th)*: Trị số điện trở thay đổi theo nhiệt độ, có 2 loại:

Nhiệt trở có hệ số nhiệt âm (NTC): Khi nhiệt độ tăng, trị số điện trở giảm (và ngược lại).

Nhiệt trở có hệ số nhiệt dương (PTC): Khi nhiệt độ tăng, trị số điện trở tăng (và ngược lại).

Nhiệt trở dùng để ổn định nhiệt độ trong các mạch khuếch đại công suất, dùng làm phần tử cảm biến trong các hệ thống tự động điều khiển nhiệt.

d) *Quang trở (Photoresistor, Light dependent resistor - LDR Photo conductor, Photoconductor Cells)*: Có trị số điện trở thay đổi theo cường độ chiếu sáng:

$R = f(\phi)$  Trong đó:  $\phi$  - Quang thông (đơn vị là  $\text{lumen}^2$  -  $\text{lumen/mét vuông}$ ).

Chế tạo từ vật liệu có điện trở suất phụ thuộc vào ánh sáng: Cadimium Sulfid ( $\text{CdS}$ ), Cadimium Seleniide ( $\text{CdSe}$ ), Cadimium Telluride ( $\text{CdTe}$ ).

Khi cường độ quang thông tăng thì trị số điện trở của quang trở giảm và ngược lại, khi cường độ quang thông giảm thì trị số điện trở của quang trở tăng. Điện trở tối ( $R_t$ ) của quang trở khoảng từ vài trăm  $\text{k}\Omega$  đến vài  $\text{M}\Omega$ ; Điện trở sáng ( $R_s$ ) từ vài trăm  $\Omega$  đến vài  $\text{k}\Omega$ .

Quang trở dùng trong các mạch điều khiển ánh sáng và báo động.

**d) Điện trở cầu chì (Fuse resistor F):** Trị số điện trở rất nhỏ, từ vài phần mười  $\Omega$  đến vài  $\Omega$ .

Khi dòng điện đi qua lớn hơn trị số cho phép điện trở sẽ bị nóng và bị đứt. Điện trở cầu chì có tác dụng bảo vệ quá tải trong các mạch nguồn, mạch khuếch đại công suất, mạch nguồn thứ cấp của tivi,...

**e) Điện trở tùy áp (Voltage dependent resistor - VDR):** là loại điện trở thay đổi theo điện áp đặt vào hai đầu. Khi điện áp đặt vào dưới trị số quy định thì trị số điện trở của VDR rất lớn xem như hở mạch; Khi điện áp tăng quá mức quy định thì trị số điện trở của VDR giảm rất nhỏ xem như ngắn mạch.

VDR có dạng giống nhiệt trở nhưng nặng như kim loại. VDR mắc song song với các cuộn dây có hệ số tự cảm lớn để dập tắt điện áp cảm ứng quá cao khi cuộn dây bị mất dòng đột ngột, bảo vệ các linh kiện trong mạch khỏi bị hỏng.

**3. Ứng dụng của điện trở:** Điện trở và dây điện trở dùng chế tạo các dụng cụ điện (bàn ủi, bếp điện, dây tóc bóng đèn điện, quần các cuộn dây của mô tơ, máy phát,...); Chế tạo các thiết bị sấy, hạn chế dòng khởi động động cơ, điều khiển các thiết bị điện-điện tử, bảo vệ thiết bị. Sử dụng lắp ráp trong các mạch điện để thay đổi dòng điện và điện áp theo thiết kế của mạch, tích hợp trong các mạch IC,....

## CÁC HÌNH VẼ MÔ TẢ CÁC LOẠI ĐIỆN TRỞ TRONG THỰC TẾ

### ĐIỆN TRỞ MÀNG CACBON ỔN ĐỊNH CAO (High Stability Carbon Film Resistors)



0.25W carbon film resistors



1w carbon film resistors

### ĐIỆN TRỞ MÀNG KIM LOẠI (Metal Film Resistors)



### ĐIỆN TRỞ MÀNG KIM LOẠI CHÍNH XÁC (Precision Metal Film)

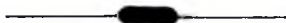
0-25W Metal Film RN Series - [View details](#)



0.5W Metal Film



0.25W,  $\pm 0.1\%$ ,  $\pm 15\text{ppm}/^\circ\text{C}$ , 51R1 to 768R - [View details](#)



## DIỆN TRỞ DÂY QUẤN SỨ, SILICON (Ceramic, Silicon Wirewound Resistor)

10W (30mm) Ceramic Resistor - [View details](#)



Silicone Coated 5.1W Wirewound Resistor - [View details](#)



5W Vertical Mounting Ceramic Body Wirewound & Power Grids Resistor - [View details](#)



6W Silicone Coated Wirewound Resistor - [View details](#)



**Điện trở dây quấn điều chỉnh  
lỗi thủy tinh**



**Điện trở dây quấn có học  
nhôm tản nhiệt**



**Biến trở dây quấn  
25 500W Rheostats**



**Biến trở trục đơn 1w**



## **BIẾN TRỞ MÀNG THAN**

**Biến trở Mũi trục đơn**



**Biến trở Mũi dạng tụ xony**



## POTENTIOMETER JOYSTICKS

Hiện trở cầu gai



Hiện trở gốm kim loại



## DIỆN TRỞ NHIỆT

PTC - Nhiệt trở dương dùng chỉ thị nhiệt độ



PTC - Nhiệt trở dương dùng cho remote



PTC - Nhiệt trở dương dùng trong thiết bị viễn thông



NTC - Nhiệt trở âm

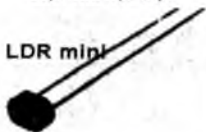




**LIGHT DEPENDENT RESISTOR**  
**LDR - QUANG TRỞ**



**DIỆN TRỞ ĐẶC BIỆT**



**DIỆN TRỞ NHIỀU CHÂN**



## ĐIỆN TRỞ CAO ÁP, CAO OHM (100M)

**Điện trở cao áp  
công suất 100W**



**Điện trở tiếp mặt (dán)**



## 2.2. TỤ ĐIỆN

### 2.2.1. Cấu tạo và ký hiệu

1. *Cấu tạo*: Tụ điện gồm hai bản cực bằng chất dẫn điện đặt song song nhau, ở giữa là lớp điện môi (giấy, dầu cách điện, mica, gốm, không khí,...). Tên lớp chất điện môi cũng được gọi làm tên loại tụ điện.

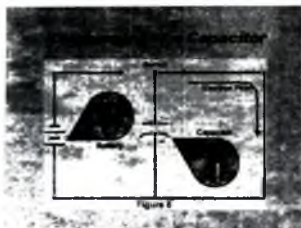
### 2. *Ký hiệu của tụ điện*

	Tụ điện thường không phân cực		Tụ biến đổi
	Tụ hoá phân cực		Tụ vi điều chỉnh
	Tụ hoá không phân cực		Tụ áp điện
			Tụ biến đổi dòng trực

**Hình 2.4. Ký hiệu trên sơ đồ của tụ điện**

## 2.2.2. Đặc tính của tụ điện

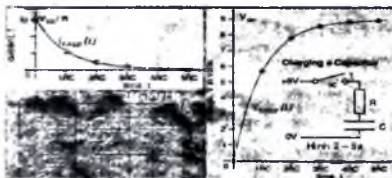
1. **Tính chất nạp điện của tụ điện:** Bật công tắc K sang vị trí 1 (hình 2.5), tụ điện C bắt đầu được nạp điện từ mức 0V đến mức điện áp  $V_{DC}$  theo hàm số mũ đối với thời gian ( $t$ ).



Hình 2.5. Sơ đồ thực hiện nạp, xả tụ điện

Điện áp tức thời trên tụ điện C tính bằng :

$$V_C(t) = V_{DC}(1 - e^{-t/\tau}). \quad (2-1)$$



Hình 2.6. Đặc tuyến nạp tụ điện

Trong đó:  $t$  – thời gian tụ nạp (s).

$$e = 2,71828$$

$\tau = RC$  (s) – Hằng số thời gian nạp điện.

Theo đặc tuyến nạp của tụ điện C (hình 2.6):

Sau thời gian  $t = \tau$ , tụ nạp đến điện áp  $v_C = 0,63V_{DC}$ .

Sau thời gian  $t = 5\tau$ , tụ nạp đến điện áp  $v_C = 0,99V_{DC}$  (tương ứng với tụ nạp đầy).

Dòng nạp giảm dần từ trị cực đại  $I = V_{DC}/R$  đến 0.

Dòng nạp tức thời của tụ tính theo công thức :

$$i_{\text{C nạp}}(t) = \frac{V_{DC}}{R} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (2-2)$$

**2. Tính chất xả điện của tụ điện:** Khi tụ nạp đầy,  $V_C = V_{DC}$ . Bật công tắc K sang vị trí 2 (hình 2.6). Tụ xả qua điện trở R.

Điện áp trên tụ khi xả giảm dần từ mức  $V_{DC}$  xuống đến 0 theo hàm mũ đối với  $t$ :

$$v_{\text{C xả}}(t) = V_{DC} \cdot e^{-t/\tau} \quad (2-3)$$

$t$  – thời gian tụ xả (s).

Theo đặc tuyến xả của tụ (hình 2.7):

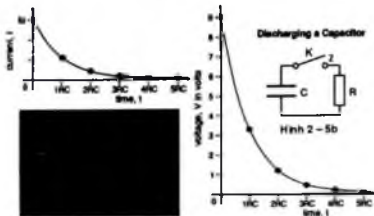
Sau thời gian  $t = \tau$ , điện áp trên tụ xả còn  $v_C = 0,37V_{DC}$  (xả hết  $0,63 V_{DC}$ )

Sau thời gian  $t = 5\tau$ , điện áp trên tụ xả còn  $v_C = 0,01V_{DC}$  (xem như tụ xả hết).

Dòng xả cũng giảm dần theo hàm mũ từ trị số cực đại  $I_{\text{max}} = V_{DC}/R$  đến 0

Dòng xả của tụ cũng được tính theo công thức như dòng nạp ở trên :

$$i_{\text{dis}}(t) = \frac{V_{\text{DC}}}{R} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (2-4)$$



Hình 2.7. Đặc tuyến xả của tụ điện

### 3. Tụ điện trong mạch AC

Cường độ dòng điện tính theo công thức:

$$I = Q/t \text{ hay } Q = I.t \quad (2-5)$$

$$\text{Điện tích tụ nạp tính theo công thức: } Q = C.V \quad (2-6)$$

Từ (2-5) và (2-6) suy ra :

$$C.V = I.t \text{ hay } V_{\text{eff}} = (I/C).t \quad (2-7)$$

a) *Điện áp nạp trên tụ*, là sự tích điện của dòng nạp vào tụ theo thời gian (mang ý nghĩa toán học là *tích phân*)

Trị số tức thời của dòng điện xoay chiều hình sin là:

$$i(t) = I_m \sin \omega t \quad (2-8)$$

Hệ thức liên hệ giữa điện áp nạp trên tụ  $v_C$  và dòng điện hình sin  $i(t)$  là :

$$v_C(t) = \frac{1}{C} \int i(t) \cdot dt \quad (2-9)$$

Thay phương trình (2-8) vào (2-9), ta có :

$$v_C(t) = \frac{1}{C} \int i(t) \cdot dt = \frac{1}{C} \int I_m \sin \omega t \cdot dt$$

Và lấy tích phân, ta được:

$$v(t) = \frac{1}{\omega C} \cdot I_m (-\cos \omega t) = \frac{1}{\omega C} \cdot I_m \sin(\omega t - 90^\circ) \quad (2-10)$$

Từ (2-10) ta thấy: Điện áp nạp trên tụ  $v_C$  cũng là một trị số thay đổi theo dòng điện hình sin.

b) Biên độ cực đại của dòng điện hình sin

Trị số tức thời của dòng điện hình sin được biểu diễn theo :

$$v(t) = V_m \cdot \sin \omega t \quad (2-11)$$

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

So sánh biểu thức tính trị số điện áp tức thời của dòng điện hình sin (2-11) với biểu thức trị số điện áp nạp trên tụ (2-10), ta có :

$$V_m = \frac{I_m}{\omega C} = \frac{I_m}{2\pi f C} \quad (2-12)$$

$V_m$  - điện áp cực đại nạp trên tụ C.

c) Điện kháng của tụ điện trong mạch AC:

$$\text{Theo định luật Ôm: } R = \frac{V}{I} \quad (2-13)$$

Áp dụng định luật Ôm cho tụ điện trong mạch điện AC, ta có (theo 2-12):

$$V_m = \frac{I_m}{\omega C} \quad \text{hay} \quad \frac{V_m}{I_m} = \frac{1}{\omega C} \quad (2-14)$$

Đại lượng  $\frac{1}{\omega C}$  tương đương điện trở  $R$  trong mạch thuần trở.

Trong mạch AC thuần dung,  $\frac{1}{\omega C}$  được gọi là *Dung kháng*, ký hiệu là  $X_C$ :

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2-15)$$

*d) Góc pha giữa điện áp và dòng điện:*

Từ công thức tính điện áp nạp trên tụ (2-10) và dòng điện AC nạp cho tụ (2-11):

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

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

Nhận xét:  $v_C(t)$  chậm pha hơn  $i_C(t)$  một góc  $90^\circ$

### 2.2.3. Các tham số chính của tụ điện

**1. Điện dung:** là khả năng tích điện của tụ điện, ký hiệu là  $C$ , đơn vị cơ bản là  $F$  (Fara).

Điện dung của tụ điện tính theo công thức (1-1) trong chương 1:

$$C = \epsilon \cdot \frac{S}{d}$$

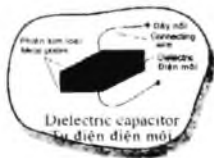
Điện dung của tụ điện nhiều lá tính theo công thức:

$$C = \frac{0,009\varepsilon \cdot S(n-1)}{d} \quad (2-16)$$

C - điện dung của tụ điện (pF)      n - số bản cực, lá cực.

S - diện tích bản cực (mm<sup>2</sup>)      D - khoảng cách giữa các bản cực (mm)

## CẤU TẠO CỦA TỤ ĐIỆN



Dielectric Materials Chất điện môi	
Vacuum	1,0
Air	1,00059
Polystyrene	2,5
Paper	4,0
Mica	5,4
Fired glass	9,9
Methyl alcohol	36
Glycerin	60,3
Pure water	81

Hình 2.8. Cấu tạo và chất điện môi của tụ điện





**Hình 2.9.** Một số loại tụ điện

a) *Điện dung danh định (Dung lượng danh định):* là hệ trị số điện dung quy định sản xuất thực tế. Thường có hệ trị số sau: 1 - 2, 2 - 3, 3 - 4, 7 - 5

Điện dung danh định ghi trên thân tụ điện, và phụ thuộc vào cấp chính xác.

b) *Cấp chính xác:* Có 8 cấp:

Cấp chính xác	00(01)	0(02)	I	II	III	IV	V	VI
Sai số cho phép $\delta$ (%)	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 5$	$\pm 10$	$\pm 20$	+20 -10	+50 -20	+50 -30

c) *Sai số cho phép ( $\delta$ ):* được tính theo công thức:

$$\delta = \frac{C - C_{dt}}{C_{dt}} \times 100\% \quad (2-17)$$

$C$  - điện dung thực tế đo được;  $C_{dt}$  - điện dung danh định (ghi trên tụ điện)

## 2. Điện áp làm việc

a) *Điện áp làm việc một chiều:* là điện áp một chiều lớn nhất ( $V_{DCmax}$ ) của tụ làm việc thường xuyên trong thời gian dài vẫn an toàn.

b) *Điện áp thử nghiệm:* điện áp lớn nhất nạp cho tụ trong thời gian ngắn mà tụ không thủng (Tụ hóa không có thông số này).

c) *Điện áp làm việc xoay chiều:* là trị số hiệu dụng của điện áp AC làm việc trong thời gian dài vẫn an toàn. Điện áp làm việc AC trên tụ có thể nhỏ hơn 1,5 - 2 lần điện áp làm việc DC.

Chọn điện áp làm việc ( $WV$ ) phải lớn hơn điện áp đặt lên tụ ( $V_C$ ):

$$WV \geq 2V_C \quad (2-18)$$

## 3. Tổn hao tụ điện ( $tg\delta$ )

Tụ điện sử dụng mạch AC có tổn hao năng lượng, người ta dùng đại lượng  $tg\delta$  để biểu thị cho trị số tổn hao của tụ điện trong mạch AC.

Nguyên nhân tổn hao là do: Tổn hao điện môi, tổn hao dẫn điện, tổn hao điện trở tiếp xúc và điện trở của các bộ phận kim loại của tụ điện. Do đó, sự lệch pha giữa  $I$  và  $V$  trong mạch AC có dùng tụ luôn  $< \pi/2$ , hình thành góc  $\delta$  gọi là góc tổn hao của tụ điện.

Tổn hao tụ điện tính theo công thức:  $tg\delta = \frac{1}{2\pi f C r}$  (2-19)

$f$  - Tần số dòng điện AC (Hz)

$r$  - Điện trở tổn hao tương đương của tụ ( $\Omega$ )

Tổn hao tụ điện của một số loại chất điện môi:

Men thủy tinh	$10^{-3} + 1,5 \cdot 10^{-3}$	Sứ 0,04
Mica	0,01	Tụ hóa $0,15 + 0,2$
Giấy, giấy kim loại	0,015	

Phẩm chất của tụ điện tính theo công thức:

$$Q_C = 1/\operatorname{tg} \delta = 2\pi f C r \quad (2-20)$$

$$(Q_C \geq 1000)$$

#### 4. Điện trở cách điện ( $R_{cd}$ ) và dòng rò ( $I_C$ )

Tính chất và kích thước điện môi quyết định điện trở cách điện của tụ điện :

$R_{cd}$  của tụ sứ, mica : Hàng chục đến hàng trăm ngàn  $M\Omega$ ;

$R_{cd}$  của giấy : Hàng trăm đến hàng ngàn  $M\Omega$ .

$R_{cd}$  cho phép dòng rò ( $I_C$ ) qua tụ lớn hay nhỏ :

Tụ điện  $\leq 0,1 \mu F$  :  $R_{cd}$  biểu thị bằng trị số tuyệt đối

Tụ điện có điện dung lớn :  $R_{cd}$  có đơn vị là  $M\Omega/\mu F$ .

Tụ hóa không dùng thông số  $R_{cd}$  mà dùng dòng rò ( $I_C$ ), là dòng điện lớn nhất đi qua tụ điện (chất điện môi của tụ điện), tính bằng  $\mu A$ . Dòng rò của tụ được tính theo công thức:

$$I_C = 10^4 \cdot C V + m \quad (2-21)$$

$I_C$  - dòng rò lớn nhất qua tụ ( $\mu A$ ).  $m = 0,2$  với tụ điện  $\leq 5 \mu F$ .

$C$  - điện dung của tụ điện ( $\mu F$ ).  $m = 0,1$  với tụ điện  $5 + 10 \mu F$ .

$V$  - điện áp làm việc DC trên tụ điện ( $V$ ).  $m = 0$  với tụ điện  $\geq 50 \mu F$ .

Với  $I_C \leq 0,9 mA$  có thể xem tụ điện dùng được.

#### 5. Hệ số nhiệt của tụ điện ( $\alpha_c$ )

Khi nhiệt độ của môi trường thay đổi, làm cho  $S, d, \epsilon$  thay đổi, dẫn đến điện dung  $C$  thay đổi.

Sự biến thiên tương đối của điện dung khi nhiệt độ thay đổi  $1^\circ C$ , gọi là hệ số nhiệt của tụ điện ( $\alpha_c$ ), được tính theo công thức:

$$\alpha_c = \frac{C_2 - C_1}{C_1} \times \frac{1}{t_2^0 - t_1^0} \quad (1/^{\circ}\text{C}) \quad (2-22)$$

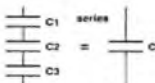
$C_1$  - điện dung đo ở nhiệt độ trong phòng  $t_1$ .

$C_2$  - điện dung đo ở nhiệt độ giới hạn  $t_2$ .

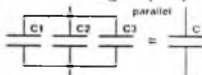
$\alpha_c$  ở nhiệt độ  $t^0 = +20^0$  bằng  $10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$ .

Khi nhiệt độ tăng mà điện dung của tụ cũng tăng, ta có hệ số nhiệt dương ( $\alpha_c > 0$ ); Khi nhiệt độ tăng mà điện dung của tụ giảm, ta có hệ số nhiệt âm ( $\alpha_c < 0$ ).

#### 2.2.4. Cách ghép tụ điện



**a/ Ghép nối tiếp:**  $\frac{1}{C_w} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$



**b/ Ghép song song:**  $C_w = C_1 + C_2 + \dots + C_n$

Hình 2.10. Cách ghép tụ điện

##### 1. Tụ điện ghép nối tiếp: (Hình 2.10.a)

Điện dung tương đương của tụ ghép nối tiếp được tính theo:

$$\frac{1}{C_w} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (2-23)$$

Khi  $C_1 = C_2 = \dots = C_n$ , điện dung tương đương của tụ ghép nối tiếp được tính theo:

$$C_M = C_M / n \quad (2-24)$$

Khi ghép nối tiếp, điện dung tương đương của tụ nhỏ hơn, điện áp làm việc sẽ chịu được lớn hơn,

## 2. Tụ điện ghép song song: (Hình 2.10b)

Điện dung tương đương của tụ ghép song song được tính theo:

$$C_M = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (2-25)$$

Điện áp làm việc trên tụ điện:

$$V_M = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (2-26)$$

Khi ghép song song, điện dung tương đương của tụ điện tăng (bằng tổng các điện dung trong mạch); điện áp làm việc trên các tụ điện đều bằng nhau.

## 2.2.5. Nhận biết tụ điện theo mã ghi trên thân

### 1. Đơn vị (ghi trên tụ điện)

Picôfara (pF) =  $10^{-6}$   $\mu$ F.

Nanôfara (nF) =  $10^{-3}$   $\mu$ F =  $10^3$  pF.

Micrôfara ( $\mu$ F) =  $10^3$  nF =  $10^6$  pF

### 2. Mã chữ và số

a) Ý nghĩa các nhóm mã chữ và số:

- Chữ đầu: đầu dòng chữ C, là tụ điện.

- Chữ thứ hai: chỉ chất điện môi,

C – Sứ

L – Polyester

Y – Mica

F – Polytetra Fluoroethylene (PTFE)

I – Trục thủy tinh	D – Chất điện giải Al
O – Màng thủy tinh	A – Chất điện giải Tantalum
B – Polystyren	N – Chất điện giải Niobium
Z – Giấy	G – Chất điện giải hợp kim
J – Giấy kim loại	V – Giấy mica
H – Điện môi hỗn hợp	LS – Poly carbonate
T – Sứ tần số thấp.	

• *Số thứ nhất*: chỉ đặc điểm.

• *Nhóm số thứ hai*: chỉ điện áp làm việc giới hạn (hoặc điện dung).

• *Nhóm số thứ ba*: chỉ điện dung (hoặc điện áp làm việc giới hạn).

• *Số cuối (có số La mã)*: chỉ dung sai.

*Ví dụ:*

CT1 – 0,022 $\mu$ F – 63V (Gốm – 0,022 $\mu$ F – 63V)

CJ3 – 400V – 0,01 – II (Giấy mạ kim loại – 400V – 0,01 $\mu$ F –  $\pm 10\%$ )

CA30 – 160V – 2,2 $\mu$ F (Điện giải tantal – 160V – 2,2 $\mu$ F)

*b) Loại mã số và chữ thường gặp*

• *Con số thứ nhất và thứ hai*: số có nghĩa.

• *Con số thứ ba*: Số số "0" thêm vào sau hai số có nghĩa đứng trước.

• *Chữ in hoa*: chỉ dung sai, có các chữ tương ứng với các trị số dung sai sau:

E –  $\pm 0,001\%$

F –  $\pm 1\%$

X - $\pm 0,002\%$	G - $\pm 2\%$
Y - $\pm 0,005\%$	J - $\pm 5\%$
H - $\pm 0,01\%$	K - $\pm 10\%$
U - $\pm 0,02\%$	M - $\pm 20\%$
W - $\pm 0,05\%$	N - $\pm 30\%$
B - $\pm 0,1\%$	R - $+100\% - 10\%$
C - $\pm 0,2\%$	S - $+50\% - 20\%$
D - $\pm 0,5\%$	Z - $+ 80\% - 20\%$

### 3. Mã màu

a) Mã màu cho các tham số

Màu	Giá trị số	Bội số	Dung sai (%)	Điện áp làm việc (V)
Nhũ bạc	—	$10^2$	$\pm 10$	—
Vàng kim	—	$10^1$	$\pm 5$	—
Đen	0	$10^0$	—	4
Nâu	1	$10^1$	$\pm 1$	6,3
Đỏ	2	$10^2$	$\pm 2$	10
Cam	3	$10^3$	—	16
Vàng	4	$10^4$	—	25
Lục	5	$10^5$	$\pm 0,5$	32
Xanh	6	$10^6$	$\pm 0,2$	40
Tím	7	$10^7$	$\pm 0,1$	50
Xám	8	$10^8$	—	63
Trắng	9	$10^9$	$+5 + -20$	—
Không màu	—	—	$\pm 20$	—

b) Mã màu cho một số loại tụ điện

## Capacitor Colour Code Mã màu của tụ điện

nâu – đen – cam

$1\ 0\ 000\ \text{pF} = 10\text{nF} = 0.01\ \mu\text{F}$ .

**Chú ý:** Nếu có băng màu rộng gấp đôi, thì mang 2 giá trị như nhau.

**Ví dụ:**

Đỏ rộng – vàng

$2\ 2\ 0000\ \text{pF} = 220\text{nF} = 0.22\ \mu\text{F}$ .

Colour Code	
Colour	Number
Brown	1
Black	2
Orange	3
Yellow	4
Green	5
Blue	6
Violet	7
White	8
Grey	9

Hình 2.11. Một số loại tụ dùng mã màu

a) Tụ gốm đĩa

b) Tụ tantal dạng viên.

c) Tụ màng polyester

d) Tụ phenol va gốm ống.

1,2 - Số có nghĩa      3 - Số số không

4 - Dung sai      5 - Hệ số nhiệt

### Tụ tantal (dạng giọt nước)

blue, grey, black  $\rightarrow 0.01\ \mu\text{F}$   
 blue, grey, white  $\rightarrow 0.01\ \mu\text{F}$   
 blue, grey, grey  $\rightarrow 0.02\ \mu\text{F}$





## Marking the capacity using colors Mã màu của tụ điện

Color	Digit	Multiplier	Tolerance
Black	0	$10^0$	$\pm 20\%$
Brown	1	$10^1$	$\pm 1\%$
Red	2	$10^2$	$\pm 2\%$
Orange	3	$10^3$	$\pm 3\%$
Yellow	4	$10^4$	$\pm 4\%$
Green	5	$10^5$	$\pm 0.5\%$
Blue	6	$10^6$	$\pm 0.2\%$
Violet	7	$10^7$	$\pm 0.1\%$
Grey	8	$10^8$	$\pm 0.05\%$
White	9	$10^9$	$\pm 0.01\%$

Hình 2.11. Mã màu của tụ điện

### 2.2.6. Phân loại và ứng dụng

**1. Tụ gốm:** chế tạo từ đất, ống, phần gốm tráng kim loại. Điện dung rộng từ 1pF đến 1μF, điện áp làm việc cao (vài trăm volt), điện trở rò cao, rẻ tiền, là loại không cực tính.

Dùng trong mạch cao tần và âm tần kích thước bé

**2. Tụ mica trắng bạc:** là loại không cực tính. Điện dung từ 22pF đến 1μF. Đáp tuyến cao tần tốt, dung sai nhỏ, điện áp làm việc rất cao >1KV, tổn hao bé (khuống 0,5%), R cách điện cao (khuống 10<sup>12</sup>Ω/M<sup>2</sup>); vì vậy đất tiên "Tụ mica ghi các chấm màu trên thân".

Dùng trong các mạch cao tần, dùng làm phần tử cách ly.

**3. Tụ màng mỏng:** Điện môi là chất polyester (PE), polyetylen (PE), bản cực tráng kim loại mỏng. Điện dung từ vài pF đến vài μF.

Ty polyparen có tần haw cao tần nhỏ, độ ổn định và độ tin cậy cao, R cách điện cao (50 đến 1M $\Omega$ ), nhưng nhiệt độ làm việc thấp (< 60°C). Dùng trong các mạch điều chỉnh, lọc, tách sóng FM và các mạch điều khiển, đo lường chính xác cao.

Ty polyester thể tích nhỏ, dùng cho mạch m. Điện cảm rất thấp nên dùng để ghép và khử ghép trong máy thu, mạch lọc.

**4. Ty giấy:** là loại không cực tính, bằng các bằng lá mỏng kim loại đặt giữa lá giấy làm đầu cách điện, cuộn lại thành ống.

Điện dung lớn (vài trăm pF đến vài  $\mu$ F). Tần haw điện môn lớn. Hệ số nhiệt lớn, tính ổn nhiệt kém. R cách điện thấp (50 đến 2.000 M $\Omega$ ). Điện áp làm việc từ vài chục đến 5 - 600V; Ty giấy cao áp 2 - 30 KV.

Dùng trong các mạch điện: Có tần số làm việc vài chục MHz, thiết bị điện dân dụng (quạt, tụ khởi động quạt, máy giặt, máy lạnh, tủ lạnh, ...)

**5. Ty điện giải (ty hóa):** Là nhôm (Al) cung haw dung dịch điện phân cuốn thành ống trong vỏ nhôm. Điện dung lớn, từ phần mười  $\mu$ F đến vài chục ngàn  $\mu$ F. Điện áp làm việc thường thấp từ vài chục đến vài trăm volt. Ty điện giải có loại phản cực (có cực tính) và loại không phản cực (không cực tính). Loại không cực tính có điện dung nhỏ.

Dùng trong các mạch lọc nguồn DC, mạch loa, mạch xung và mạch LR.

**6. Ty tantan:** Sản xuất dạng trụ và viên. Kim loại làm cực dương bằng tantan. Thể tích nhỏ, chủng loại đa dạng. Trị số điện dung lớn (0,1 $\mu$ F đến 100 $\mu$ F). Điện áp làm việc thấp (10V đến 35V). Dòng rò nhỏ, R cách điện cao. Ổn định, tuổi thọ cao. Phạm vi nhiệt độ sử dụng rộng -55° đến +85°C. Giá cao.

Dùng trong mạch xung, mạch DC, thiết bị điện tử cao cấp, thiết bị quân sự, đồng hồ điện tử.

7. *Tu biến đổi:*

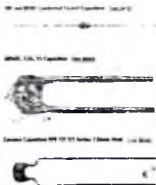
a) **Tự điều hướng:** Điện môi là không khí, hai bộ phiên lá tự xen kẽ nhau (một cố định, một quay), có trục quay làm quay bộ phiên đi đồng. Điện dung có thể điều chỉnh thay đổi từ 10pF đến 1.000pF.

Dùng trong các mạch dao động, điều hướng máy thu. Khả chính xác, tiêu hao bé, và độ ổn định cao.

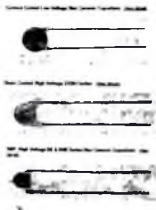
b) *Tụ tĩnh chỉnh*: Điện môi là mica, gốm, sứ, không khí. Điện dung thay đổi nhỏ từ vài pF đến vài chục pF.

Dùng điều chỉnh chính xác điện dung, mắc phụ trong mạch dao động hay mạch điều chỉnh cân điện dung chính xác.

**TU GỒM ĐỐI XỨNG**



## TU GỒM DẠNG ĐĨA



## TỤ BỌC GỐM DẠNG MINI



## TỤ GỐM



## Các loại tụ điện

### POLYCARBONATE CAPACITORS



### POLYESTER MOULDED CASE CAPACITORS



### POLYESTER



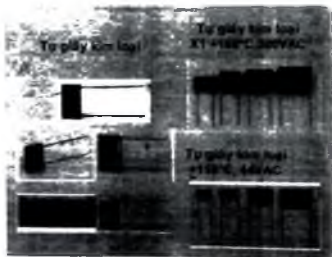
### METALLISED POLYESTER MINI CAPACITORS



POLYSTYRENE  
CAPACITOR



POLYPROPYLENE  
CAPACITOR



## TỤ HÓA VỎ NHÔM

Tụ hóa nhôm



Tụ hóa dạng mặt



Tụ hóa bền



Tụ hóa rắn



## TỤ HÓA

Tụ triết



Tụ khởi động motor



Tụ chạy motor



Tụ mạch chiếu sáng



Tụ tantan dạng rắn hàn kín



Tụ tantan dạng hạt đậu – giọt nước



Tụ tantan dán mặt



## TỤ BIẾN ĐỔI

Tụ điều hướng  
Tuning Capacitor



Tụ tinh chỉnh  
Trimmer Capacitor



Tụ xoay điện  
môi không khí



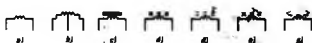
Figure 5

## 2.3. CUỘN CẢM

### 2.3.1. Cấu tạo và ký hiệu

**1. Cấu tạo:** Cuộn cảm là cuộn dây quấn bằng dây dẫn điện có sơn cách điện bên ngoài thành nhiều vòng trên lõi, gọi là *dây điện từ*. Lõi cuộn dây có thể là lõi không khí, lõi thép lá điện kỹ thuật, hoặc lõi sắt bụi (ferit,...).

**2. Ký hiệu:** Điện cảm của cuộn cảm được ký hiệu bằng chữ *L*. Ký hiệu trên sơ đồ mạch điện của một số loại cuộn cảm trình bày trên hình 2.12.



Hình 2.12. Ký hiệu các loại cuộn dây

a) Cuộn cảm có *L* không đổi, lõi không khí

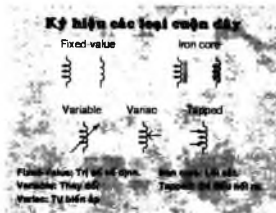
b) Cuộn cảm có *điểm giữa*

c) Cuộn cảm có lõi sắt

d) Cuộn cảm có lõi ferit

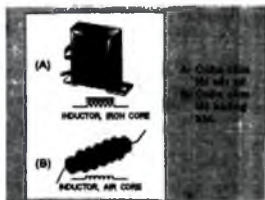
đ.e) Cuộn cảm có lõi ferit điều chỉnh

g) Cuộn cảm có hai lõi ferit điều chỉnh hai đầu

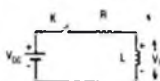


Hình 2.12. Ký hiệu các loại cuộn dây





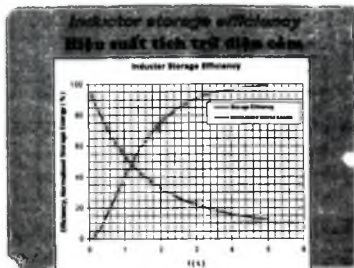
# MỘT SỐ LOẠI CUỘN CẢM



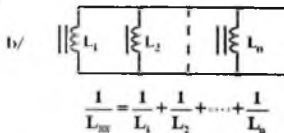
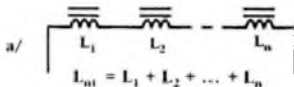
Hình 2-13



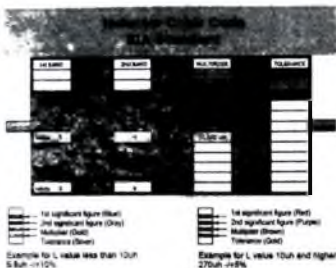
Hình 2.12a. Cuộn dây trong mạch DC

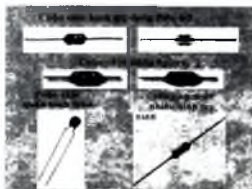


**a/ Ghép nối tiếp    b/ Ghép song song**



Hình 2.12b. Cách ghép cuộn dây





**Cuộn cảm triệt  
nhiều, quấn tròn**



**Cuộn cảm mini triệt  
nhiều, quấn tròn**



**Cuộn triệt nhiều,  
đóng cao, quấn tròn**



**Cuộn cảm mini triệt,  
nhiều, dạng hình trụ**



## **CUỘN CẢM HÌNH XUYÊN**



**Cuộn cảm hình xuyên  
tôi làm, triệt nhiều**

**Cuộn cảm hình xuyên tôi  
làm, triệt nhiều dạng mini**







**Cuộn cảm hình  
xuyên tôi làm**







## Industrial Color Code EIA Standard

1st Digit	2nd Digit	Multplier	Tolerance

-  1st significant figure (Blue)
-  2nd significant figure (Green)
-  Multiplier (Gold)
-  Tolerance (Silver)

Example for L value less than 10uh  
6.8uh  $\pm 10\%$

-  1st significant figure (Red)
-  2nd significant figure (Purple)
-  Multiplier (Brown)
-  Tolerance (Gold)

Example for L value 10uh and higher  
270uh  $\pm 5\%$

## Military Standard

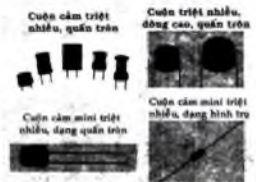
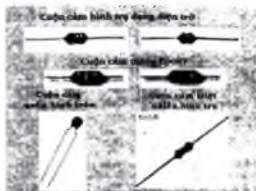
1st Digit	2nd Digit	Multplier	Tolerance

-  1st significant figure (Blue)
-  2nd significant figure (Green)
-  Multiplier (Gold)
-  Tolerance (Silver)

Example for L value less than 10uh  
6.8uh  $\pm 10\%$

-  1st significant figure (Red)
-  2nd significant figure (Purple)
-  Multiplier (Brown)
-  Tolerance (Gold)

Example for L value 10uh and higher  
270uh  $\pm 5\%$



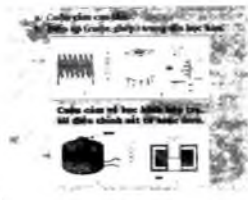
**Cuộn cảm bọc kim**



Order only New Item



Chúng ta cần biết rằng,  
bên ngoài chúng ta có một  
thế giới khác.



### 2.3.2 Đặc tính của cuộn cảm

### 1. Đặc tính ngoại xạ của cuộn dây

Đóng khóa K, dòng điện DC qua cuộn dây tạo điện áp cảm ứng  $E_C = -V_{DC}$  ngược với chiều dòng điện do nguồn  $V_{DC}$  cung cấp nên

$$i(t) = \frac{V_{DC}}{R} \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right] \quad (2-27)$$

dòng điện trong cuộn dây lúc này bằng 0 (hình 2.13 và hình 2.14).

Sau đó, dòng điện tăng dần theo hàm mũ:

$\tau = L/R$  - Hằng số thời gian nạp của cuộn dây (s).

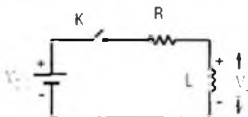
Từ đặc tuyến nạp xả của cuộn dây (hình 2.14), ta nhận thấy:

Sau thời gian  $t = \tau$ , dòng điện trong cuộn L tăng đến 0.63

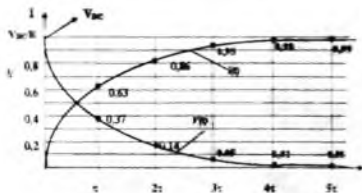
$I_{\max} \cdot I_{\max} = V_{DC}/R$ ; Điện áp trên cuộn L giảm đến 0,37  $V_{DC}$ .

Sau thời gian  $t = 5\tau$ , dòng điện tăng đến 0.99  $I_{\max}$  (xem như tỷ số cực đại); Điện áp giảm đến 0

*Nhận xét: Đặc tính nạp của cuộn dây có  $i(t)$  và  $v(t)$  ngược với đặc tính nạp của tụ điện.*



Hình 2.13. Mạch nạp cuộn dây



Hình 2.14. Đặc tuyến nạp của cuộn dây



## 2. Cuộn dây trong mạch điện AC

a) Điện áp nạp trên cuộn dây: Điện áp trên cuộn dây ngược dấu với điện áp cảm ứng:

$$V_L = -e_L = L \frac{di}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (\text{dạng vi phân}) \quad (2-28)$$

Dòng điện trên cuộn dây là dòng AC:

$$i(t) = I_m \sin \omega t. \quad (2-29)$$

Thay  $i(t)$  trong (2-29) vào (2-28) và lấy đạo hàm, ta có:

$$V_L = \omega L I_m \cos \omega t = \omega L I_m \sin(\omega t + 90^\circ) \quad (2-30)$$

Nhận xét: Từ (2-29) và (2-30) ta thấy điện áp  $V_L$  trên cuộn dây sớm pha hơn dòng điện đi qua cuộn dây một góc  $90^\circ$ .

b) Biên độ cực đại của dòng điện hình sin:

Biên độ tức thời của dòng điện xoay chiều tính theo (2-11):

$$v(t) = V_m \sin \omega t$$

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

So sánh  $v(t)$  trong (2-11) và  $V_L$  trong (2-30), ta có điện áp cực đại  $V_m$  trên cuộn dây là:

$$V_m = \omega L I_m = 2\pi f L I_m \quad (2-31)$$

c) Điện kháng của cuộn dây trong mạch AC ( $X_L$ ): Gọi là cảm kháng.

Từ (2-31) ở trên:  $V_m = \omega L I_m = 2\pi f L I_m$

Ta có:  $V_m / I_m = \omega L = X_L = 2\pi f L \quad (2-32)$

d) Góc pha giữa điện áp và dòng điện:

Từ (2-29) và (2-30) ta thấy: Điện áp trên cuộn dây sớm pha hơn dòng điện một góc  $90^\circ$  (hình 2.15).

### 3. Định luật Ôm cho mạch thuần cảm

Trong mạch điện chỉ có cuộn dây và nguồn AC  $v_A(t)$ , gọi là *mạch thuần cảm* (hình 2.16). Và có thể dùng định luật Ôm để tính các thông số của mạch.



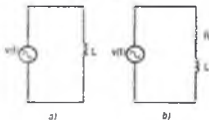
Hình 2.15. Điện áp trên cuộn dây

Nguồn AC cấp cho mạch:  $v_A(t) = V_m \cdot \sin \omega t$  (2-33)

Dòng điện qua cuộn dây:  $i_L(t) = I_m \cdot \sin(\omega t - 90^\circ)$  (2-34)

Trị số cực đại của dòng điện qua cuộn dây:

$$I_m = \frac{V_m}{X_L} = \frac{V_m}{\omega L} \quad (2-35)$$



Hình 2.16. Mạch thuần cảm

Trị số hiệu dụng của dòng điện qua cuộn dây:

Trong mạch hình 2.16a, đã bỏ qua điện trở  $r$ , của nguồn  $v$ , và điện trở  $r_L$  của cuộn dây  $L$  vì các trị số này nhỏ, không đáng kể (hình 2.16b). Do đó, mạch điện sẽ đơn giản hơn cho việc khảo sát.

$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{V_m}{\sqrt{2} \cdot X_L} = \frac{V_m}{\sqrt{2} \omega L} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (2-36)$$

### 2.3.3. Các tham số chủ yếu của cuộn cảm

1. **Điện cảm ( $L$ ):** phụ thuộc vào kích thước, hình dáng, số vòng của cuộn cảm. Các yếu tố trên có trị số càng lớn thì điện cảm càng lớn. Lỗi làm tăng trị số  $L$ , màn chắn làm giảm trị số  $L$  của cuộn cảm.

Đơn vị cơ bản của điện cảm  $L$  là:  $H$  (Henri) =  $10^3 mH = 10^6 \mu H$

Đơn vị thường dùng:  $mH$  (milihenri),  $\mu H$  (micrôhenri)

Trong radio dùng các cuộn cảm cao tần có trị số từ phần mười  $\mu H$  đến hàng chục  $\mu H$ .

2. **Hệ số phẩm chất ( $Q$ ) của cuộn cảm:** Cuộn cảm mắc trong mạch AC do có tổn hao trong cuộn dây, lõi,... nên có tiêu thụ năng lượng  $W$ . Sự tiêu hao trong cuộn cảm ứng được biểu thị bằng góc tổn hao:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{r}{2\pi fL} \quad (2-37)$$

$r$  – toàn bộ điện trở tổn hao của cuộn cảm.

Thường thì chất lượng cuộn cảm không biểu thị bằng góc tổn hao mà bằng **hệ số phẩm chất  $Q$** , là số nghịch đảo của góc tổn hao :

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} = \frac{2\pi fL}{r} = \frac{\omega L}{r} \quad (2-38)$$

Để nâng cao hệ số phẩm chất  $Q$ , có thể dùng lõi bằng vật liệu cao tần (như: Fe-C, ferit,...), hoặc bằng cách chọn cỡ dây, hoặc cách quấn dây,...

Trong máy thu và radio thường dùng cuộn cảm với  $Q$  khoảng 40-200. Cuộn cảm có  $Q > 300$  dùng trong mạch dao động và bộ lọc có đặc tuyến cộng hưởng nhọn.

**3. Điện dung tập tán ( $C_n$ ):** Các vòng dây và lớp dây tạo nên một tụ điện mắc song song với cuộn cảm. Điện dung tập tán làm giảm chất lượng cuộn cảm (giảm phẩm chất và độ ổn định, giảm tác dụng cần,...).

Khi chế tạo cần chú ý giảm nhỏ  $C_n$ . Cuộn cảm một lớp có  $C_n$  nhỏ nhất (1-3 pF), cuộn cảm nhiều lớp có  $C_n$  lớn từ 5-30pF. Giảm nhỏ  $C_n$  bằng cách quấn phân đoạn hoặc quấn tổ ong.

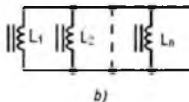
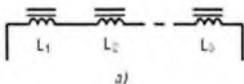
### 2.3.4. Cách ghép cuộn dây

**1. Ghép nối tiếp:** Điện cảm tương đương trong mạch ghép nối tiếp  $L_{nt}$  (hình 2.17a), giống cách tính  $R_{nt}$ :

$$L_{nt} = L_1 + L_2 + \dots + L_n \quad (2-39)$$

**2. Ghép song song:** Điện cảm tương đương trong mạch ghép song song  $L_{ss}$  (hình 2.17b), giống cách tính  $R_{ss}$ :

$$\frac{1}{L_{ss}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n} \quad (2-40)$$



Hình 2.17. Cách ghép cuộn dây

### 2.3.5. Phân loại và ứng dụng

1. *Cuộn cảm một lớp*: thường dùng ở tần số  $> 1,5\text{MHz}$ . Có hai cách quấn, quấn liền nhau và quấn cách bước. Quấn cách bước có phẩm chất và độ ổn định cao ( $Q = 150-400$ ), chủ yếu dùng trong các mạch sóng ngắn và sóng cực ngắn.

Cuộn cảm quấn liền nhau thường có  $L > 15-20\mu\text{H}$ ; có các trị số danh định sau: 1,8- 4- 10- 20- 30( $\mu\text{H}$ ).

Phẩm chất cao, thường dùng rộng rãi trong các mạch sóng ngắn, sóng trung với yêu cầu  $L$  không quá  $200\mu\text{H}$ .

2. *Cuộn cảm nhiều lớp*: cuộn cảm có  $L > 100\mu\text{H}$  thường quấn nhiều lớp. Dùng ở tần số  $< 1,5-2\text{MHz}$  (cuộn cảm ở băng sóng trung và sóng dài của máy thu). Để giảm điện dung tập tán  $C_0$ , người ta quấn dây theo kiểu phân đoạn.

3. *Cuộn cảm hình xuyên*: lõi là một vòng hình xuyên có tiết diện tròn. Dây quấn được quấn liền nhau trên bề mặt xuyên.

4. *Cuộn cảm có bọc kim*: cuộn cảm cần được bọc kim cẩn thận để loại trừ nhiễu do điện từ trường của các cuộn cảm khác gây nên, để tránh ảnh hưởng của môi trường xung quanh.

Bọc kim làm cho các tham số của cuộn cảm thay đổi: Điện cảm  $L$  và phẩm chất  $Q$  giảm, điện dung tập tán  $C_0$  tăng. Các tham số này thay đổi càng nhiều nếu vỏ bọc kim càng gần các vòng dây của cuộn cảm.

Vỏ bọc kim đối với cuộn cảm cao tần làm bằng  $\text{Cu}$  hoặc  $\text{Al}$  dày ít nhất  $0,4-0,5\text{mm}$ .

5. *Cuộn cảm có lõi sắt từ*: để nâng cao phẩm chất  $Q$  và giảm kích thước cuộn cảm, người ta dùng lõi bằng vật liệu sắt từ. Lõi sắt từ cải thiện được việc bọc kim cuộn cảm, để điều chỉnh  $L$  của cuộn cảm; nhưng có nhược điểm là làm tính ổn định các tham số của cuộn cảm. Để ổn định, thường dùng lõi sắt cacbon( $\text{Fe-C}$ )

Lõi bằng chất từ môi (VLT bằng bột nén: bột sắt cacbon, alusiffe và pecmalô) có loại kín như hình xuyên, hình hộp; Lõi bằng ôxyt sắt (có khe từ - hờ) có hệ số phẩm chất Q cao hơn loại lõi bằng chất từ môi.

Vật liệu lõi có  $\mu$  càng lớn, tần số càng thấp và lõi càng đặt sát vòng dây thì độ từ thẩm hiệu dụng  $\mu_e$

(là tỷ số giữa trị số L của cuộn cảm khi có lõi và trị số L khi không có lõi) sẽ càng cao và lõi dùng sẽ tốt hơn. Vật liệu từ tính làm lõi thường dùng như: Fe-C, alusife, ferit. Thông dụng là lõi hình trụ, hình hộp thường dùng trong các bộ lọc trung tần, cuộn cảm mạch dao động máy thu.

Ở tần số khoảng 10MHz, loại lõi nói trên sẽ nâng cao L đến vài lần, phẩm chất Q cũng tăng lên. Ở tần số cao hơn 30MHz, để điều chỉnh L người ta dùng lõi Cu hoặc Al, điện cảm L sẽ bị giảm 3-5% và phẩm chất Q cũng giảm 5-10%.

## 2.4. BIẾN ÁP

### 2.4.1. Cấu tạo và ký hiệu

Biến áp (BA) dùng để tăng hoặc giảm điện áp V (hoặc dòng điện I) trong mạch điện xoay chiều nhưng vẫn giữ nguyên tần số của dòng điện trong mạch. Trên sơ đồ mạch điện, BA được ký hiệu bằng chữ TR, T.

Cấu tạo gồm có 2 hay nhiều cuộn dây điện từ quấn trên một khung (cách điện với lõi), và lõi từ được lồng bên trong các khung (ống) dây.

Lõi từ, thường làm bằng: thép lá kỹ thuật điện (kiểu hình chữ E, hoặc hình vuông rỗng, hoặc dùng lá thép dài cuộn lại) ghép lại để giảm tổn hao do dòng Fucô; lõi ferit, hoặc lõi không khí.

Khung BA, làm bằng bìa, nhựa cách điện đập, uốn theo cỡ lõi thép để làm thành khung. Dây quấn được quấn trên khung này. Giữa các lớp dây quấn cần đệm một lớp giấy cách điện. Để chống ẩm,

chống rung cho cuộn dây và BA, cần nhúng parafin hoặc tẩm sơn cách điện cho BA.

Cuộn sơ cấp ( $L_1$ ) nhận dòng điện AC vào. Cuộn thứ cấp ( $L_2, \dots, L_n$ ) cấp dòng điện AC cho tải.

## 2.4.2. Nguyên lý làm việc và các đặc trưng kỹ thuật

**1. Nguyên lý làm việc:** Dòng điện  $I_1$  trong cuộn dây  $L_1$  (do  $V_1$  đặt vào) tạo từ trường biến thiên chạy trong mạch từ và cắt sang cuộn  $L_2$  sinh điện áp cảm ứng  $e_2$  tạo điện áp  $V_2$  (hình 2.18).

Điện áp cảm ứng trên các cuộn  $L_1$  và  $L_2$  được biểu thị bằng công thức:

$$V_1 = e_1 = -N_1 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (2-42)$$

$$V_2 = e_2 = -N_2 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (2-43)$$

$N_1, N_2$  – số vòng dây cuộn sơ và thứ cấp.

### 2. Các đặc trưng kỹ thuật

**a) Quan hệ về điện áp giữa cuộn sơ và thứ cấp:** (Hình 2.18) Do sự biến thiên từ thông trong cuộn sơ và thứ cấp như nhau, nên từ các biểu thức (2-4-1) và (2-4-2) ta có:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2-44)$$



Hình 2.18.



Hình 2.19.



Hình 2.20.

**b) Quan hệ về dòng điện giữa cuộn sơ và thứ cấp:** (Hình 2.19)

Do từ áp ( $N_1 I_1 = H \cdot l$ ) trong mạch sơ và thứ cấp bằng nhau, nên:

$$N_1 I_1 = H \cdot l \quad \text{và} \quad N_2 I_2 = H \cdot l$$

$l$  - độ dài trung bình của đường từ

$$\text{Do đó: } N_1 I_1 = N_2 I_2 \quad \text{hay: } \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (2-45)$$

c) *Quan hệ về công suất giữa mạch sơ và thứ cấp:* Với BA lý tưởng ta xem như tổn hao trong cuộn sơ và thứ cấp, trong mạch từ bằng không, nên công suất ở mạch sơ và thứ cấp bằng nhau:

$$P_1 = P_2 \text{ hay: } V_1 I_1 = V_2 I_2 \quad \text{Do đó: } \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (2-46)$$

Thực tế,  $P_2 < P_1$  do tổn hao nhiệt trên điện trở của cuộn sơ và thứ cấp, tổn hao nhiệt do dòng Foucault trong lõi từ.

Khi thứ cấp không nối tải thì BA vẫn có tổn hao, gọi là *tổn hao không tải* bằng khoảng 5% công suất danh định của BA ( $P_{\text{đl}}$ ). Khi BA có tải lớn nhất theo công suất danh định thì hiệu suất cao nhất khoảng 80-90%:

$$\eta_{\text{max}} = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = (80 - 90\%) \quad (2-47)$$

d) *Quan hệ về tổng trở giữa mạch sơ và thứ cấp:* (Hình 2.20)

Khi có tải  $R_2$ , mạch thứ cấp có dòng  $I_2$ , do đó:  $R_2 = \frac{V_2}{I_2}$ ; Đồng thời dòng vào  $I_1$  sẽ thay đổi và cung cấp cho  $L_1$ , lúc này xem  $R_1$  là tải ở mạch sơ cấp:  $R_1 = \frac{V_1}{I_1}$

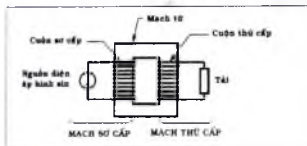
Vì vậy, xem  $R_1$  như tải  $R_2$  ở thứ cấp phản ánh về mạch sơ cấp. Ta có quan hệ về tổng trở giữa mạch sơ và thứ cấp như sau:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\frac{V_1}{I_1}}{\frac{V_2}{I_2}} = \frac{V_1}{I_1} \cdot \frac{I_2}{V_2} = \frac{V_1}{V_2} \times \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \times \frac{N_1}{N_2} = \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$



$$\text{Độ đo: } \frac{P}{P_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^2 \quad (2-48)$$

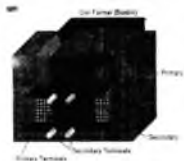
## CẤU TẠO CỦA BIẾN ÁP



## Cấu tạo của biến áp



## ***Cutaway View of a Transformer***



## **BIỆN THỂ LỎI CHỮ O**



## BIẾN THỂ LỜI CHỮ E



## Core Styles



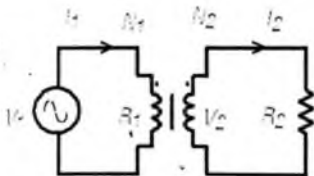
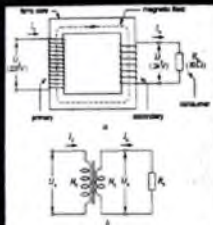
C-Core Transformer

Double C-Core Transformer

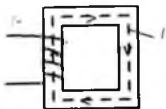


Some Ferrite Core Styles

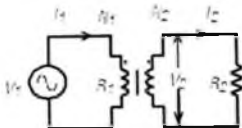




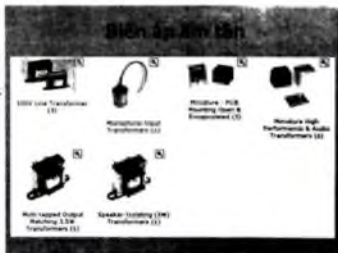
Hình 2.18. Quan hệ giữa điện áp  $V_1$  và  $V_2$



Hình 2.19. Quan hệ giữa  $I_1$  &  $I_2$



Hình 2.20. Quan hệ giữa  $P_1$  &  $P_2$



## Biến áp cách ly



## Biến áp tự động



Bench Top Variac®  
Transformers (13)



Encapsulated Variac®  
Transformers (18)



Isolated Auto Step  
100/Step Down Auto  
Series (17)



Open and Enclosed  
Variac® Transformers  
(17)



Step Up/Down Auto  
Transformers (16)

**Transformateurs R-Core**  
**Biến thế lõi dạng R**

**Biến thế lõi hình xuyên**



**Toroidal**



**E-I**



**Split Bobbin E-I**

**Plug-Pack**

**Conventional E-I**



### 2.4.3. Phân loại và ứng dụng

**1. Biến áp công suất:** Mọi BA dùng ở tần số điện công nghiệp để cung cấp cho các mạch điện đều là *BA công suất*. Kích cỡ BA công suất phụ thuộc vào công suất hiệu dụng, khoảng từ vài VA đến hàng trăm KVA.

**2. Biến áp âm tần:** BA âm tần có cấu tạo tương tự BA sử dụng điện công nghiệp (50Hz), nhưng làm việc trong dải tần âm thanh 20Hz-20KHz. BA âm tần dùng trong các bộ khuếch đại để khuếch đại các điện áp tín hiệu rất bé (*loại BA vào*); dùng để nối các tầng của bộ khuếch đại (*loại BA trung gian*), chỉ trong trường hợp không thể hoặc dùng các tầng khuếch đại điện trở không tiện; dùng để phối hợp trở kháng của mạch ra với tải.

**3. Biến áp cao tần:** Dùng lõi bột sắt hình xuyên do bột sắt phù hợp với tần số cao, và từ thông tập trung trong lõi hình xuyên. Số vòng quấn phụ thuộc vào tần số và độ từ thẩm của vật liệu lõi. Trong mạch cao tần công suất cao, cuộn cảm lõi không khí cũng được dùng hạn chế do tổn hao từ trễ rất nhỏ nhưng từ thông thất thoát ra xung quanh lớn.

BA cao tần được dùng trong các thiết bị thu và phát cao tần.

**4. Biến áp cách ly:** Tạo sự cách ly điện áp giữa các phần của mạch điện. Khi có ghép cảm ứng, trong BA cũng sẽ có ghép điện dung tương đối nhỏ. Để giảm ghép điện dung, ta dùng các lõi, cho phép giảm số lượng vòng dây trong các cuộn dây, nhờ đó giữ cho các cuộn dây cách xa nhau.

**5. Biến áp tự ngẫu:** Không cách ly giữa cuộn sơ và cuộn thứ. Quấn dây theo kiểu rẽ dòng. Lõi sử dụng vật liệu như BA cách ly, dùng lõi không khí giảm áp, dùng lõi từ để tăng áp. BA tự ngẫu có loại tăng áp và giảm áp.

## 2.5. CÂU HỎI ÔN TẬP

### I/ Điện trở

1. Điện trở tiêu thụ năng lượng dưới dạng nào? Giải thích.
2. Giải thích điện trở suất ( $\rho$ ). Đơn vị của điện trở suất?
3. Giải thích ý nghĩa của các tham số chủ yếu của điện trở. Cho ví dụ về vận dụng ý nghĩa đó trong thực tế sử dụng.
4. Vì sao trị số thực đo của điện trở khác với trị số ghi trên thân điện trở?
5. Làm thế nào để điện trở sử dụng trong mạch không bị cháy?
6. Giải thích tác hại của tham số tạp âm của điện trở.
7. Vì sao không dùng điện trở dây quấn trong mạch cao tần?
8. Giải thích mã màu của điện trở. Cách nhận biết trị số của điện trở dùng mã màu? Giải thích mã 4 vòng và 5 vòng màu của điện trở. Cho ví dụ.
9. Làm thế nào để nhận biết điện trở màu cùng trong một khoảng giá trị điện trở?

1    đèn     $9\ \Omega$  , (K $\Omega$  , M $\Omega$  )

10    "     $90\ \Omega$  , (K $\Omega$  , M $\Omega$  )

100    "     $990\ \Omega$  , (K $\Omega$  , M $\Omega$  ) .

10. Mã màu của điện trở dưới  $10\ \Omega$  có gì khác biệt? Cho ví dụ.
11. Cấu tạo và tính chất đặc điểm của các loại điện trở?
12. Tính công suất của mạch nối tiếp có 4 điện trở cùng trị số: Vàng - Tím - Đỏ - Nhũ bạc, công suất 1/2W. Xác định khoảng trị số điện trở chúng tỏ điện trở nói trên tốt.

13. Tính công suất của mạch 3 điện trở nối song song có trị số : Lục - Xanh - Nâu - Nhũ bạc, công suất 1W. Xác định khoảng trị số điện trở chúng là điện trở nối trên tốt.

### III/ Tự điện

1. Trình bày và giải thích 1 trong các tham số kỹ thuật của tụ điện.
2. Vẽ và giải thích đường biểu diễn điện áp và dòng điện theo thời gian khi tụ điện nạp và phóng điện.
3. Giải thích công thức tính dung kháng của tụ điện trong mạch điện xoay chiều.
4. Tụ điện có điện dung  $10\mu\text{F}$ , làm việc ở tần số 400Hz;
  - a) Tính dung kháng của tụ điện.
  - b) Cho tụ nạp qua điện trở  $470\Omega$ , sau thời gian bao lâu thì tụ nạp đầy?
  - c) Khi kiểm tra tụ này bằng VOM, nên đặt công tắc "Loại đo và thang đo" ở vị trí nào? Vì sao?
5. Tụ điện 104K có khoảng giá trị thực là bao nhiêu?
6. Vật liệu có hằng số điện môi cao:
  - a) Làm tăng điện dung, thể tích.
  - b) Làm giảm điện dung, thể tích.
  - c) Không ảnh hưởng đến điện dung.
  - d) Làm cho tụ bị phân cực
7. Tụ điện 330J, trị số đo được là 317pF. Sai bao nhiêu phần trăm so với định mức:

a) 0,039	b) 0,041	c) 3,9
d) 4,1	e) Tốt	g) Kém

8. Khi tăng kích thước bản cực của tụ điện:

- a) Xc tăng theo chiều âm.      c) Xc không đổi.
- b) Xc giảm theo chiều âm.      d) Không đủ số liệu để xác định.

Giải thích/

9. Tụ điện có hệ số nhiệt âm:

- a) Điện dung giảm khi nhiệt độ tăng.
- b) Điện dung tăng khi nhiệt độ tăng.
- c) Điện dung không đổi .

Giải thích.

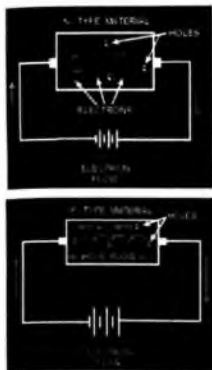
# Chương III

## CÁC ĐẶC ĐIỂM LINH KIỆN BÁN DẪN

### 3.1. LỚP TIẾP XÚC P-N (P-N JUNCTION)

Sự tạo thành lớp tiếp xúc P-N và các tính chất điện

Cho hai khối bán dẫn loại P và loại N tiếp xúc nhau theo một tiết diện phẳng sẽ tạo nên lớp tiếp xúc P-N. Trong khối bán dẫn P có  $p_p \gg p_n$ , khối bán dẫn N có  $n_n \gg n_p$  (Hình 3.1a).



Hình 3.1. Dòng điện lỗ và dòng điện tử trong lớp tiếp xúc

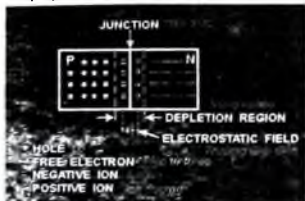
## N and P Type Semiconductors



## PN Junction - Tiếp xúc P-N



The PN junction barrier formation.  
 Sự tạo thành hàng rào tiếp xúc PN.



PN Junction - Tiếp xúc P-N

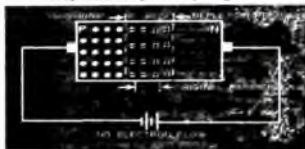


Hình 3.1a,b. PN tiếp xúc P-N

## TIẾP XÚC P-N phân cực ngược



## REVERSE-BIASED PN JUNCTION, Tiếp xúc PN phân cực ngược



## TIẾP XÚC P-N phân cực thuận



Hình 3.2 - 3.3. Các lớp tiếp xúc P-N phân cực ngược, thuận



Trước khi tiếp xúc, mỗi khối bán dẫn nằm ở trạng thái cân bằng (về điện tích), và xem như nồng độ hạt dẫn và nồng độ tạp chất phân bố đều.

Khi tiếp xúc nhau, do chênh lệch nồng độ sẽ xảy ra hiện tượng khuếch tán của các hạt dẫn đa số ( $p_p$  và  $n_n$ ): Lỗ từ miền P sang miền N, còn điện tử khuếch tán theo chiều ngược lại, tạo nên dòng điện khuếch tán ( $I_{kt}$ ) có chiều từ P sang N.

Trên đường khuếch tán, các điện tích khác dấu sẽ tái hợp nhau, làm cho một vùng hẹp (có bề dày  $l_0$ ) ở hai bên mặt tiếp xúc có nồng độ hạt dẫn giảm xuống rất thấp (hình 3.1b). Vùng P gần tiếp xúc P-N chỉ còn lại các ion âm (do mất lỗ); Vùng N hầu như chỉ còn ion dương (do mất e), hình thành hai lớp điện tích không gian khác dấu đối diện nhau, tạo nên sự chênh lệch điện thế (bên N dương hơn bên P), gọi là hiệu thế tiếp xúc  $V_{tx}$ . Như vậy, trong vùng  $l_0$  của tiếp xúc P-N xuất hiện một điện trường gọi là điện trường tiếp xúc  $E_{tx}$  (hướng từ N sang P).

Vùng hẹp ( $l_0$ ) gọi là vùng nghèo hoặc tiếp xúc P-N, có: Nồng độ hạt dẫn rất thấp, điện trở suất rất lớn.

Do xuất hiện  $E_{tx}$ , các hạt dẫn thiểu số ( $p_n, n_p$ ) bị cuốn về hai phía đối diện của điện trường tiếp xúc, tạo nên dòng điện trôi ( $I_v$ ), ngược chiều với dòng khuếch tán của hạt dẫn đa số.

Nồng độ hạt đa số trong hai khối P và N càng chênh lệch thì hiện tượng khuếch tán càng mãnh liệt, quá trình tái hợp càng tăng,  $E_{tx}$  càng tăng và  $I_v$  cũng tăng. Sau một thời gian rất ngắn,  $I_v$  và  $I_{kt}$  trở nên cân bằng nhau, triệt tiêu nhau và dòng tổng qua mặt tiếp xúc sẽ bằng không:

$$j = j_{kt} - j_{tx} = 0 \quad (3-1)$$

Ta có: tiếp xúc P-N đạt trạng thái cân bằng. Lúc này,  $V_{tx}$  (hoặc  $E_{tx}$ ) có giá trị nhất định, tỉ lệ với lượng chênh lệch nồng độ hạt dẫn trong hai khối bán dẫn, và được xác định bằng công thức:

$$V_n = \varphi_T \ln \frac{p_p}{p_n} = \varphi_T \ln \frac{n_n}{n_p} \quad (3-2)$$

Trong đó:  $k$  - hằng số Boltzman ( $1,38.10^{-23}J/K$ ).

$$\varphi_T - \text{điện thế nhiệt, tính bằng} \quad \varphi_T = \frac{kT}{q} \quad (3-3)$$

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

$T$  - nhiệt độ tuyệt đối của chất bán dẫn ( $0K = 0C + 273$ )

$V_n$  bằng cỡ 0,35V đối với Ge, hoặc 0,7V đối với Si; ngăn không cho hạt dẫn tiếp tục chuyển qua ranh giới mặt tiếp xúc, duy trì trạng thái cân bằng, nên gọi là hàng rào điện thế.

Bề dày  $i_0$  của vùng nghèo ở trạng thái cân bằng, tỷ lệ nghịch với nồng độ tạp chất trong hai khối bán dẫn. Vùng nghèo nằm lệch về miền bán dẫn nào có nồng độ tạp chất thấp hơn.

### 3.2. LỚP TIẾP XÚC P-N VỚI PHÂN CỰC NGƯỢC

Dùng nguồn ngoài Vng phân cực cho tiếp xúc P-N: Miền P nối với cực, miền N nối với cực +; gọi là phân cực ngược (hình 3.2). Điện trở ở miền ngoài vùng nghèo rất nhỏ, không đáng kể.  $V_{ng}$  gần như đặt toàn bộ lên vùng nghèo, xếp chồng lên  $V_n$ . Trạng thái cân bằng trước bị phá vỡ.

Do  $E_{ng}$  cùng chiều với  $E_n$  làm cho các hạt dẫn đa số ( $p_p$  và  $n_n$  của hai miền P, N) đi xa tiếp xúc về hai phía. Do đó, vùng nghèo bị mở rộng  $l > i_0$ , và điện trở tăng. Hàng rào điện thế lúc này bằng  $V_n + V_{ng}$  làm  $I_k$  giảm rất nhỏ, còn  $I_s$  tăng theo  $V_{ng}$ . Nhưng nồng độ hạt dẫn thiểu số ( $p_n, n_p$ ) rất nhỏ, nên lúc này  $I_s$  cũng rất nhỏ, nhanh đạt đến trị số bão hoà  $I_s$ .

Dòng tổng hợp qua tiếp xúc P-N trong trạng thái phân cực ngược (có chiều dương quy ước từ P sang N) có dạng:

$$I_{ng} = I_s \left[ \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] = I_s \left[ \exp\left(\frac{-V}{\varphi_T}\right) - 1 \right] \approx -I_s \quad (3-4)$$

Tóm lại, khi phân cực ngược, dòng qua tiếp xúc P-N chạy theo chiều âm và có trị số rất bé, gọi là dòng ngược hay dòng ngược bão hoà  $I_r$ ; và điện trở của tiếp xúc P-N rất lớn..

### 3.3. LỚP TIẾP XÚC P-N VỚI PHÂN CỰC THUẬN

Khi phân cực thuận cho tiếp xúc P-N, cực dương của nguồn ngoài  $V_{ng}$  nối đến miền P, cực âm nối đến miền N.  $V_{ng}$  sẽ ngược chiều với  $V_{ix}$ , do đó  $E_{ng}$  ngược chiều với  $E_{ix}$ . Hàng rào điện thế  $V = V_{ix} - V_{ng}$  giảm, hạt dẫn đa số của cả hai miền sẽ tràn qua hàng rào thế sang miền đối diện; do vậy tình trạng thiếu hạt dẫn trong vùng nghèo giảm, làm cho bề dày vùng nghèo hẹp lại ( $I < I_0$ ), điện trở vùng nghèo giảm (hình 3.3).

Dòng hạt đa số tăng nhanh theo điện áp  $V_{ng}$ , còn dòng hạt dẫn thiểu số  $I_r$  giảm theo  $V_{ng}$ . Vì  $I_{ur}$  rất bé, xem như không đổi. Khi phân cực thuận, dòng tổng hợp qua tiếp xúc P-N bằng:

$$I_{th} = I_r \left[ \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] = I_r \exp\left(\frac{V}{\varphi_T}\right) \quad (3-5)$$

Gọi là dòng điện thuận  $I_{th}$ , có trị số rất lớn hơn dòng ngược  $I_{ng}$  và tăng nhanh theo điện áp ngoài  $V_{ng}$ .

### 3.4. ĐẶC TÍNH CỦA TIẾP XÚC P-N

Đặc tính của tiếp xúc P-N phụ thuộc vào điện áp  $V$  đặt lên nó:

**1. Đặc tính chỉnh lưu:** Khi phân cực thuận, vùng nghèo hẹp, điện trở thuận nhỏ, dòng điện thuận lớn và tăng nhanh theo điện áp  $V$ . Khi phân cực ngược, vùng nghèo mở rộng, điện trở ngược rất lớn, dòng ngược rất nhỏ và ít thay đổi theo điện áp  $V$  đặt vào.

Như trên, tiếp xúc P-N dẫn điện theo chiều thuận và ngược khác nhau. Nếu đặt điện áp xoay chiều vào, nó chỉ dẫn điện một chiều; gọi là tính chất van hay đặc tính chỉnh lưu của tiếp xúc P-N.

Biểu thức tổng quát của dòng điện (thuận và ngược) qua tiếp xúc P-N có dạng:

$$I = I_s \left[ \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] = I_s \left[ \exp\left(\frac{V}{\varphi_T}\right) - 1 \right] \quad (3-6)$$

$V$  - điện áp đặt vào, lấy dấu + khi phân cực thuận, lấy dấu - khi phân cực ngược.

$I_s$  - dòng ngược bão hòa (trị số phụ thuộc vào nồng độ hạt dẫn thiểu số trong hai miền bán dẫn P, N); còn gọi là dòng điện nhiệt.

Biểu thức tổng quát của dòng điện (thuận và ngược) qua tiếp xúc P-N cũng được tính theo công thức:

$$I_D = I_s \left[ \exp\left(\frac{q \cdot V_D}{kT}\right) - 1 \right] = I_s \left[ \exp\left(\frac{V_D}{26mV}\right) - 1 \right] \quad (3-7)$$

**2. Điện dung điện tích của tiếp xúc P-N:** Trong miền không gian tích điện của tiếp xúc P-N có hai lớp điện tích khác dấu nằm đối diện nhau: Ion âm bên lớp P và ion dương bên lớp N (xem hình 3.1b). Hai lớp điện tích này tạo thành điện dung, gọi là điện dung điện tích của tiếp xúc P-N.

Điện dung tiếp xúc P-N xác định theo công thức tụ điện phẳng (1-1-1):

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

$\epsilon$  - hằng số điện môi của chất bán dẫn.

$S$  - diện tích của lớp tiếp xúc P-N.

$d$  - bề dày của lớp tiếp xúc P-N (vùng nghèo).

Khi phân cực thuận,  $d$  giảm do vùng nghèo hẹp lại, nên điện dung tiếp xúc tăng. Khi phân cực ngược,  $d$  tăng do vùng nghèo mở rộng, nên điện dung tiếp xúc giảm.

Hiện tượng này được ứng dụng để chế tạo diốt biến dung (Varicap).

**3. Hiện tượng đánh thủng lớp tiếp xúc P-N:** Tiếp xúc P-N chỉ cho dòng điện đi qua theo một chiều từ P sang N. Khi  $V$  ngoài phân cực ngược, dòng điện qua lớp tiếp xúc P-N rất nhỏ, xem như bằng không. Nhưng nếu điện áp ngược tăng lớn quá, lớp tiếp xúc P-N có thể bị phá hủy, dòng điện đi qua theo chiều ngược tăng lên một cách đột ngột, gọi là: Sự đánh thủng lớp tiếp xúc P-N.

Hiện tượng này xảy ra do hai hiệu ứng:

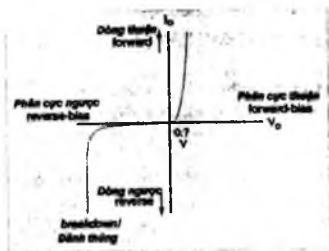
a) Đánh thủng do hiệu ứng thác lũ, là kết quả của quá trình ion hóa do va chạm giữa các hạt mang điện được điện trường gia tốc có động năng lớn với các nguyên tử tinh thể bán dẫn.

b) Đánh thủng do hiệu ứng tunel (hiệu ứng đường hầm), phát sinh trong lớp tiếp xúc P-N có độ dày rất mỏng được pha tạp chất với nồng độ rất cao. Cường độ điện trường mạnh có thể làm chuyển dời các điện tử hóa trị ở miền P xuyên qua lớp tiếp xúc sang miền N làm cho dòng điện ngược tăng lên đột ngột, gọi là hiện tượng đánh thủng do hiệu ứng tunel (đường hầm).

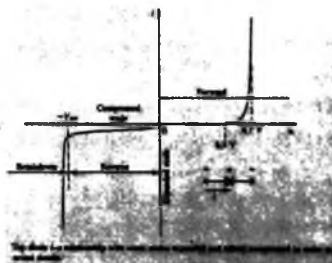
Hiện tượng này được ứng dụng để chế tạo diốt zenơ (zener).

### **3.5. ĐẶC TUYẾN VON-AMPE CỦA TIẾP XÚC P-N**

Đồ thị vẽ quan hệ giữa dòng điện và điện áp của lớp tiếp xúc P-N xây dựng theo biểu thức tổng quát (3-6) có dạng hình 3.4, hình 3.5 gọi là đặc tuyến Von-Ampe của tiếp xúc P-N. Về phía thuận, dòng điện tăng nhanh theo điện áp; Về phía ngược, dòng điện rất nhỏ gần như ít thay đổi.



Hình 3.4a. Đặc tuyến Von-Ampe của diot



Hình 3.5. Đặc tuyến Von-Ampe của tiếp xúc P-N

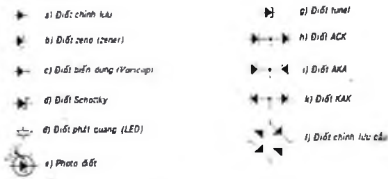
## Chương IV

### ĐIÓT BÁN DẪN (DIODE - D)

#### 4.1. CẤU TẠO VÀ KÝ HIỆU

Điốt bán dẫn là một họ linh kiện bán dẫn hai cực, cấu tạo cơ bản dựa trên cơ sở vật lý của lớp tiếp xúc P-N. Cực nối với *miền P* gọi là *anốt*. Cực nối với *miền N* gọi là *catốt*.

Điốt ký hiệu bằng chữ *D*, trên sơ đồ mạch điện được ký hiệu như trên hình 4.1a.



Hình 4.1a. Ký hiệu của một số loại điốt trên sơ đồ mạch điện

#### 4.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC VÀ ĐẶC TUYẾN VÔN - AMPE CỦA ĐIÓT

1. Nguyên lý làm việc của điốt: đã được trình bày ở mục 4.1 trên. Tính chất quan trọng của điốt là tính dẫn điện một chiều.

##### 2. Đặc tuyến Vôn - Ampe của điốt

a) Mắc nối tiếp điốt với nguồn một chiều  $V_{DC}$  qua điện trở hạn dòng  $R_{hc}$  (xem hình 4.2). Điều chỉnh để thay đổi biên độ và chiều của nguồn  $V_{DC}$ , lập bảng trị số của quan hệ hàm giữa dòng  $I_D$  và điện áp

$V_D$ :  $I_D = f(V_D)$  qua điốt; Vẽ đồ thị quan hệ trên ta có *đặc tuyến Vôn-Ampe* của điốt.

b) Đặc tuyến Vôn-Ampe của điốt chia làm ba vùng (hình 4.3):

- *Vùng 1*: tương ứng với trường hợp phân cực thuận.  $V_D > V_T$ , dòng điện thuận  $I_{Dth}$  tăng rất nhanh theo điện áp  $V_D$  và bằng :

$$I_D = I_s \left[ \exp\left(\frac{V_D}{26mV}\right) - 1 \right] \quad (4-1)$$

Nửa đặc tuyến thuận có độ dốc không đổi.

$V_T$  là *điện áp mở của điốt* (còn gọi là *điện áp thêm, điện áp ngưỡng*):

$$V_{T_{Si}} = 0,5 - 0,7V$$

$$V_{T_{Ge}} = 0,15 - 0,2V$$

$$V_{D_{maxSi}} = 0,8 - 0,9V$$

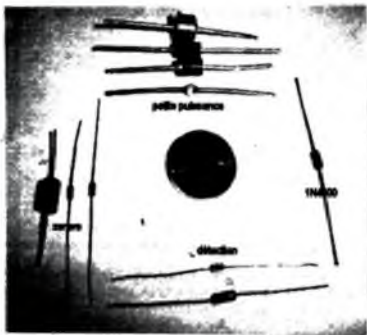
$$V_{D_{maxGe}} = 0,4 - 0,5V$$

- *Vùng 2*: tương ứng với trường hợp phân cực ngược, dòng điện ngược  $I_{Dng}$  rất nhỏ (vài  $\mu A$  đến  $mA$ ),  $V_{ng} < 0$  nên  $\exp\left(\frac{V_D}{26mV}\right) \ll 1$ ;

Do đó :  $I_D \approx I_s \quad (4-2)$

Khi  $V_{ng}$  tăng,  $I_{ng}$  tăng không đáng kể. Khi  $V_{ng}$  tăng đến  $V_B$ ,  $I_{ng}$  tăng vọt; Do đó, cần có biện pháp hạn chế sự tăng vọt này để tránh cho tiếp xúc P-N bị đánh thủng.

- *Vùng 3*: là vùng đánh thủng tiếp giáp P-N







### DIODE SYMBOLS

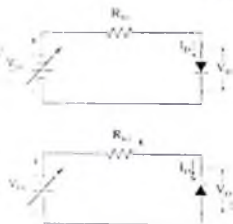
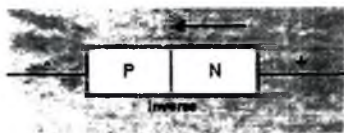
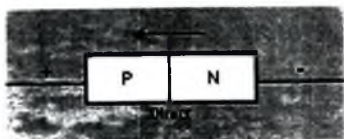
a) Standard diode b) LED c, d) Zener e) Photo.  
f, g) Tunnel h) Schottky i) Breakdown j) Capacitive

<p>K(cathode)</p> <p>A(anode)</p> <p>a.</p>	<p>b.</p>	<p>c.</p>	<p>d.</p>	<p>e.</p>
<p>f.</p>	<p>g.</p>	<p>h.</p>	<p>i.</p>	<p>j.</p>

**Ký hiệu và hình dạng  
của một số loại diốt**

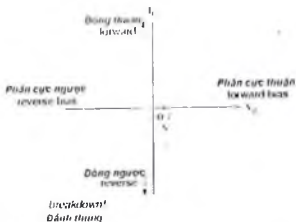


**Hình 4.1b. Các loại diốt thông dụng**

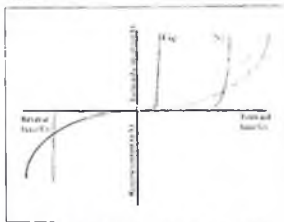


$V_{D1}$	$I_{D1}$

Hình 4.2. Phân cực cho điốt và đặc tuyến Volt Amper điốt



Ge — Si — Đèn điện tử —



Hình 4.3a. Đặc tuyến V-A của diốt

### 4.3. CÁC THAM SỐ CỦA DIỐT VÀ SƠ ĐỒ TƯƠNG DƯƠNG CỦA DIỐT BÁN DẪN

#### 1. Tham số giới hạn

a) Điện áp ngược cực đại cho phép ( $V_{ngc\ max}$ ), là điện áp ngược lớn nhất đặt lên diốt mà diốt không bị đánh thủng:

$$V_{ngc,max} = 0,8 V_d \quad (4-3)$$

b) *Dòng thuận cực đại cho phép ( $I_{max}$ )*, là dòng thuận lớn nhất qua điốt lúc mờ.

c) *Công suất tiêu hao cực đại cho phép ( $P_{max}$ )*, là công suất tiêu hao lớn nhất trên điốt mà chưa làm cho van của điốt bị hỏng vì nhiệt.

d) *Tần số cực đại cho phép của điện áp hoặc dòng điện ( $f_{max}$ )* là tần số lớn nhất của điện áp hoặc dòng điện đặt lên điốt để nó còn duy trì được tính chất van (chỉnh lưu).

## 2. Tham số định mức chủ yếu

a) *Điện trở một chiều (điện trở đối với dòng một chiều -  $R_D$ )* :  
Điện trở một chiều của điốt ở một điểm phân cực là tỷ số :

$$R_D = V_D / I_D \quad (4-4)$$

Có giá trị rất nhỏ theo chiều thuận (từ vài  $\Omega$  đến vài chục  $\Omega$ ), và có giá trị rất lớn theo chiều ngược (hàng trăm  $k\Omega$ ). Ở trạng thái thuận, điểm phân cực càng cao thì  $R_D$  càng nhỏ (vì  $V_D$  thay đổi ít, còn  $I_D$  thay đổi lớn).

b) *Điện trở xoay chiều (điện trở vi phân, điện trở động -  $r_d$ )* :

Khi có sự biến thiên của điện áp và dòng điện xung quanh điểm phân cực (làm việc) ta có thể tính  $r_d$  theo :

$$r_d = dV / dI \quad (4-5)$$

$r_d$  - là nghịch đảo độ dốc đặc tuyến của điốt.

Về phía thuận, đặc tuyến V-A của điốt có dạng dốc đứng,  $r_d$  tương đối nhỏ; Về phía ngược, trong miền đặc tuyến V-A gần như nằm ngang, dòng ngược thay đổi rất nhỏ, do đó  $r_d$  rất lớn (xem hình 4.2).

c) *Điện dung tương đương (điện dung tiếp xúc P-N,  $C_v$ )* :

Khi có tín hiệu xoay chiều đặt vào, ngoài  $r_d$ , điốt còn đặc trưng bởi *điện dung tương đương*  $C_v$  là *điện dung tiếp xúc P-N* (xem mục 3-1-4, điểm 2).

$$C_v = C_{h,rao} + C_{kt} \quad (4-6)$$

$C_{h,rao}$ ,  $C_{kt}$  - là *điện dung hàng rào* và *điện dung khuếch tán của tiếp xúc P-N*.

Khi dòng thuận có giá trị không lớn,  $C_{kt} \gg C_{h,rao}$ , do đó:

$$C_v \approx C_{kt}$$

Khi điốt phân cực ngược,  $C_v = C_{h,rao}$ , vì lúc này  $C_{kt} = 0$

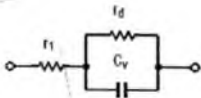
### 3. Sơ đồ tương đương của điốt:

Mạch tương đương của một điốt đối với tín hiệu xoay chiều được vẽ trên hình 4.4

$r_i$  - là *điện trở bản thân của hai chất bán dẫn* (bên ngoài vùng nghèo), có thể bỏ qua.

$r_d$  - *điện trở vi phân*.  $C_v$  - *điện dung tương đương của điốt*.

Trị số của các thông số trên thay đổi tùy theo *dấu* và *trị số của điện áp đặt vào*.



Hình 4.3b. Mạch tương đương điốt

## 4.4. PHÂN LOẠI VÀ ỨNG DỤNG

1. *Điốt chỉnh lưu*: là loại điốt dùng để biến đổi dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều. Điốt chỉnh lưu có *loại tiếp điểm* và *loại tiếp mặt*.

*Loại điốt tiếp điểm*, được chế tạo từ một dây vonfram gắn vào đơn tinh thể bán dẫn Ge loại N. Chỗ hàn dẫn tiếp với đầu kim vonfram hình thành miền bán dẫn loại P (hình 4.4). Lớp P-N hình thành trong điốt điểm có diện tích nhỏ, dòng thuận nhỏ, công suất  $P_{max}$  cũng rất nhỏ so với điốt chỉnh lưu tiếp mặt.

*Loại điốt tiếp mặt*, có diện tích lớp tiếp xúc P-N lớn. Dải tần làm việc của điốt:  $\Delta f = 50\text{Hz} + 10\text{KHz}$ . Vật liệu làm điốt chỉnh lưu là Se, Ge, Si. Hiện nay, điốt thường làm bằng Si vì Si có trị số dòng ngược nhỏ.

Điốt chỉnh lưu công suất nhỏ và vừa, có:  $I_{th,thmax} = 0,5 + 1\text{A}$  ,  $V_{ngcmax} = 500\text{V}$ .

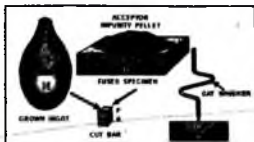
Điốt chỉnh lưu công suất lớn, có:  $I_{th,thmax} = 5 + 20\text{A}$  ,  $V_{ngcmax} = 200 + 500\text{V}$ .

Điốt chỉnh lưu điện áp cao, có:  $V_{ngcmax} = 10 + 25\text{kV}$  ,  $I_{th,thmax}$  nhỏ =  $1\text{A} + 100\text{mA}$

TYPE	TENSION
1N4001	50V
1N4002	100V
1N4003	200V
1N4004	400V
1N4005	600V
1N4006	800V
1N4007	1000V

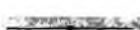


$V_{ngc, max}$  của một số loại điốt



Grown ingut cat whisker out bar fused specimen

**Hình 4.4. Diốt tiếp điểm**



Diốt chỉnh lưu



PCB Mount Bridge Rectifiers



Bridge Rectifiers 50 A



Small Signal Diodes  
20mA to 200mA



Small Signal Diodes  
10mA to 1.0A SMT



Constant Current Diodes



SHOTGUN Capsule Diodes (3)



SHOTGUN Capsule Diodes (2)

Capsule Diodes

**Hình 4.5. Diốt chỉnh lưu**



## BRIDGE RECTIFIER

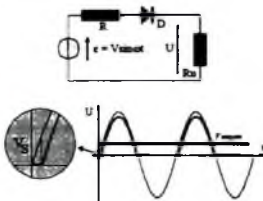


Hình 4.6. Các loại điốt chỉnh lưu

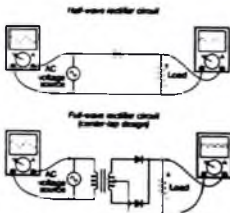


### Các sơ đồ chỉnh lưu dùng điốt (Hình 4.4)

a) *Chỉnh lưu nửa chu kỳ:* (Hình 4.6a) Nửa chu kỳ dương của dòng xoay chiều, dòng điện qua điốt nạp cho tụ C. Nửa chu kỳ âm, dòng điện không qua điốt.

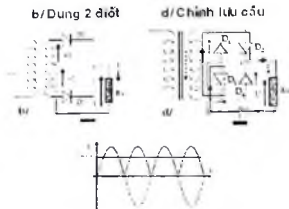


## RECTIFIER CIRCUITS



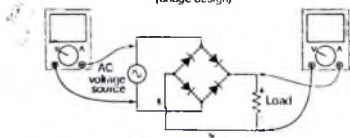
Hình 4.6a. Điốt chỉnh lưu nửa chu kỳ

b) *Chỉnh lưu hai nửa chu kỳ:* (Hình 4.7) Nửa chu kỳ dương, dòng điện qua  $D_1$  nạp cho tụ C. Nửa chu kỳ âm, dòng điện qua  $D_2$  nạp cho tụ C. Điện áp một chiều khi chưa có tải:  $V_o = 1,4 V_2$ . Cuộn thứ cấp có điểm giữa.



## RECTIFIER CIRCUITS

*Full-wave rectifier circuit  
(bridge design)*



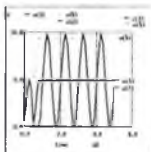
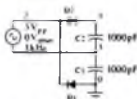
Hình 4.7. Diốt chỉnh lưu toàn chu kỳ

c) *Mạch chỉnh lưu điện áp ra đối xứng:* (Hình 4.8) Nửa chu kỳ dương, dòng điện qua  $D_1$  nạp cho tụ  $C_1$ . Nửa chu kỳ âm, dòng điện qua  $D_2$  nạp cho tụ  $C_2$ . Điện áp ra là hai nguồn cộng trừ đối xứng.



*Chú ý: Khi lắp tụ hóa phải lắp đúng cực trong nguồn chỉnh lưu. Điện áp DC lớn nhất ở đầu ra bộ chỉnh lưu (lúc chưa có tải) phải nhỏ hơn điện áp chịu đựng của tụ. Điện dung của tụ lọc nguồn có trị số từ 500 $\mu$ F đến hàng nghìn  $\mu$ F (càng lớn càng tốt).*

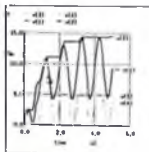
**FULL-WAVE VOLTAGE DOUBLER** consists of two half-wave rectifiers operating on alternating polarities.



**FULL-WAVE VOLTAGE DOUBLER:**

v(2) input,  
v(3) voltage at mid point,  
v(5) voltage at output

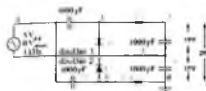
**VOLTAGE TRIPLER** composed of doubler stacked atop a single stage rectifier.



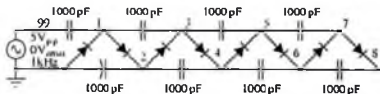
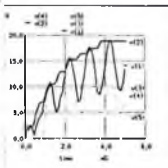
**VOLTAGE TRIPLER:**

v(3) half-wave rectifier,  
v(4) input = 5 V,  
v(1) clamped,  
v(2) final output.

**VOLTAGE QUADRUPLER**, composed of two doublers stacked in series, with output at node 2.

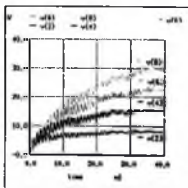


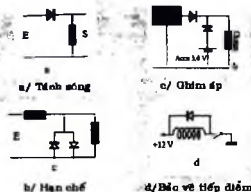
**VOLTAGE QUADRUPLER:**  
DC voltage available at v(2)  
and v(2).  
intermediate waveforms:  
Clampers: v(5), v(4), v(1).



**COCKCROFT-WALTON**  
x8 voltage multiplier,  
output at v(8).

**COCKCROFT-WALTON**  
(x8) waveforms.  
Output is v(8).





Hình 4.10. Ứng dụng khác của diốt

**2. Diốt ổn áp (Zener):** Diốt zener làm từ Si, có bề dày lớp P-N rất hẹp để có thể đánh thủng ở điện áp thấp.

Khi làm việc ở chế độ ổn định điện áp, diốt zener được phân cực ngược với nguồn điện cung cấp. Khi điện thế ngược đạt tới giá trị điện áp đánh thủng lớp tiếp xúc P-N thì dòng ngược ( $I_{ngc}$ ) tăng nhanh, nhưng điện áp ngược ( $V_{ngc}$ ) thay đổi không đáng kể. Sử dụng điện áp này làm điện áp ổn áp  $V_z$  (Hình 4.11.).



Hình 4.11. Các loại Diot Zener

### Các tham số cơ bản của Diot Zener

a) Điện áp ổn định  $V_Z$

b) Dòng cực đại  $I_{Zmax}$ , được xác định bằng:  $I_{Zmax} = P_{max} / V_Z$ .

c) Điện trở vi phân của  $D_Z$ :  $r_z = dV_Z / dI_Z$ .  $r_z$  càng nhỏ càng tốt.

d) Điện trở tĩnh của  $D_Z$ :  $R_Z = V_Z / I_Z$  tại điểm làm việc.

**3. Điốt biến dung (Varicap):** Varicap là một điốt bán dẫn được sử dụng như một tụ điện có điện dung biến đổi. Nó hoạt động dựa vào sự phụ thuộc của điện dung lớp P-N ( $C_v$ ) vào điện áp ngược đặt lên điốt.

Varicap làm việc ở chế độ phân cực ngược. Thay đổi điện dung bằng cách điều khiển điện áp ngược đặt lên varicap. Varicap được ứng dụng rộng rãi trong mạch tự động điều chỉnh tần số, điều chế biên độ, điều chế tần số. Trong mạch khuếch đại thông số, varicap được gọi là *điốt thông số*.

Điện dung  $C_v$  phụ thuộc vào cách chế tạo điốt. Varicap làm việc ở tần số cao,  $C_v$  khoảng vài chục pF. Varicap làm việc ở tần số thấp,  $C_v$  khoảng hàng chục ngàn pF. Sơ đồ varicap mắc ở chế độ phân cực ngược vẽ ở hình 4.12.

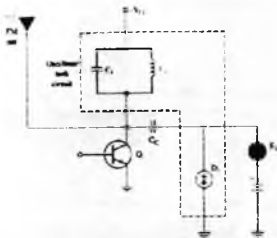
**4. Điốt tách sóng cao tần:** Người ta dùng điốt điểm để làm điốt cao tần, diện tích lớp P-N rất nhỏ, điện dung  $C_v$  không quá 1pF nên dải tần làm việc có thể lên đến hàng trăm MHz. Sơ đồ điốt tách sóng cao tần mắc trong mạch tách sóng tín hiệu cao tần điều chế biên độ vẽ ở hình 4.13.

Điốt tách sóng cao tần được dùng để tách sóng (chỉnh lưu) dòng cao tần, điều chế, biến đổi tần số.

**Các tham số đặc trưng của điốt tách sóng:** Điện áp thuận ( $V_{th}$ )

- Dòng điện ngược ( $I_{ngc}$ ) - Điện trở vi phân ( $r_v$ ) - Tần số giới hạn ( $f_a$ ) -

Dòng thuận cực đại ( $I_{thmax}$ ) - Điện áp ngược cực đại ( $V_{ngcmax}$ ).



Hình 4.12. Sơ đồ mạch van cấp ở chế độ phản cực ngược

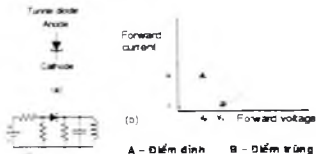
## Schottky Barrier Rectifier 1A to 150A



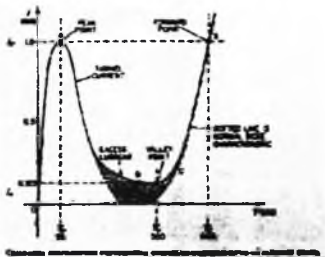


# TUNNEL DIODE

- (a) Schematic symbol.
- (b) Current vs voltage plot.
- (c) Oscillator.



Hình 4.13. Đặc tuyến V-A của diốt tunnel



Hình 4.14. Đặc tuyến V-A của diốt tunnel

**5. Diốt Schottky:** Nguyên tắc hoạt động của nó dựa trên lớp tiếp xúc giữa kim loại và bán dẫn loại N, gọi là *lớp tiếp xúc Schottky*. Kim loại có công thoát nhiệt điện tử lớn hơn bán dẫn  $A_M > A_S$ . Điện tử trong bán dẫn N dễ dàng chuyển sang kim loại; tại chỗ tiếp xúc kim loại – bán dẫn, kim loại tích điện âm (-), bán dẫn tích điện dương (+). Điện áp tiếp xúc giữa kim loại và bán dẫn được tính bằng :

$$V_{TK} = (A_M - A_S) / e.$$

Khi phân cực thuận, chiều của  $E_{ngoài}$  ngược với chiều của  $E_{TK}$  điện tử từ bán dẫn dễ dàng chuyển sang kim loại, tạo nên dòng điện một chiều chạy từ kim loại sang bán dẫn.

*Dòng điện trong diốt Schottky là dòng các phần tử tải điện là điện tử.*

Diốt Schottky được ứng dụng rộng rãi trong các mạch tách sóng và trộn sóng ở dải siêu cao tần. Diốt Schottky giảm hệ số ồn (tạp âm) đáng kể, được dùng trong các sơ đồ xung có tốc độ chuyển mạch nhanh, tần số làm việc có thể đến 500MHz. Trong các vi mạch số có tốc độ chuyển mạch siêu nhanh đều phải dùng diốt Schottky.

**6. Diốt tunel (điốt Esaki):** còn gọi là *điốt xuyên hầm*. Diốt tunel có nồng độ tạp chất nhận (*acceptor*) trong bán dẫn P và nồng độ tạp chất cho (*donor*) trong bán dẫn N rất lớn (cỡ  $10^{19}$  nguyên tử /  $cm^3$ ); do đó vùng nghèo rất hẹp (cỡ  $10^{-16}cm$ ) và  $E_x$  khá lớn (gần  $10^6 V/cm$ ).

Đặc tuyến V-A của diốt tunel được vẽ trên hình 4.14. Đoạn AB của đặc tuyến, tương ứng với *điện trở vi phân âm* (dòng điện giảm khi điện áp trên diốt tăng), có vai trò rất quan trọng.

Diốt tunel thường được dùng để khuếch đại và tạo dao động siêu cao tần, còn được dùng trong các mạch đóng mở với hai trạng thái ổn định phân biệt. Tốc độ chuyển đổi trạng thái đạt rất cao, tham số chịu ảnh hưởng rất ít của nhiệt độ, phạm vi nhiệt độ làm việc rất rộng (loại Ge/ 200°C, loại GaAs/ 400°C).

## Các tham số đặc trưng của diốt tunnel

a) *Toạ độ của đỉnh A* ( $I_p, V_p$ ): gọi là dòng điện đỉnh và điện áp đỉnh.

b) *Toạ độ của điểm trũng B* ( $I_v, V_v$ ): gọi là dòng điện trũng và điện áp trũng.

Diốt tunnel thường có:  $I_p = 1 + 100\text{mA}$      $I_v = 0,1 + 5\text{mA}$   
 $V_p = 50 + 100\text{mV}$      $V_v = 300 + 400\text{mV}$

c) *Điện trở âm tương đương* ( $R_D$ ):  $R_D = dV/dI$  (trong đoạn AB)

$R_D$  - là nghịch đảo độ dốc đoạn AB trên đặc tuyến.  $R_D$  thay đổi tùy vị trí điểm làm việc. Thông thường  $R_D = -(5\Omega + 150\Omega)$ .

d) *Điện áp thuận*, ứng với trị số dòng khuếch tán bằng dòng tunnel cực đại (hoành độ điểm C trên hình 4.13)

7. *Diốt Gunn Ga As*: Khi tác động vào một mẫu tinh thể một điện trường mạnh thì trong tinh thể xuất hiện *dòng điện siêu cao tần*. Hiệu ứng đó gọi là *hiệu ứng Gunn*. Diốt hoạt động dựa trên hiệu ứng này gọi là *diốt Gunn*. Người ta có thể chế tạo được diốt Gunn có tần số hoạt động từ 26-40GHz với công suất phát từ 50-150mW ở điện thế thuận ( $V_F$ ) 4V.

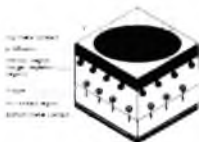
Các diốt Gunn dùng để tạo sóng siêu cao tần ứng dụng trong đo lường từ xa, tạo các bộ liên kết nhiều đường thông tin, dùng để phát hiện vận tốc hoặc hướng, dùng trong các radar mini công nghiệp và giao thông, trong đo lường điện từ quân sự, trong các radar mini chống trộm,.....

8. *Diốt PIN*: Cấu tạo gồm ba lớp bán dẫn: P, I và N. Trong đó hai lớp P, N pha tạp mạnh, ký hiệu là lớp  $P^+$ ,  $N^+$ . Lớp bán dẫn tinh khiết I ở giữa có độ dày lớn hơn. Thực tế không thể chế tạo lớp bán dẫn tinh khiết lý tưởng, vì vậy, nếu miền I là bán dẫn P pha tạp rất ít thì ta có diốt ( $P^+ \pi N^+$ ); nếu miền I là bán dẫn N pha tạp rất ít thì ta có diốt ( $P^+ \gamma N^+$ ). Diốt PIN có điện thế đánh thủng lớn hơn diốt thường rất nhiều.

Điốt PIN được dùng để làm các bộ chỉnh lưu công suất cao, tần số thấp vì có thể chịu điện thế ngược rất cao (đến 2,5KV), dùng trong các mạch siêu cao tần để làm các bộ ngắt mạch, dùng làm các bộ suy giảm có thể biến đổi hoặc các bộ điều chế.



Điốt Gunn



Cấu tạo của điốt pin

## LED



## LED



3mm Low Current, Half Diffused,  
Std/Super-Bright/Ultra-Bright, Round, LEDs



3mm Full Colour, Round LEDs



3mm, Flat Top, Std Diffused,  
Cylindrical Body, LEDs



10mm Full Colour RGB LEDs

## LED



## LASER DIODE MODULES



Laser Diode Holder



Laser Diode Modules,  
Collecting Lenses



Visible Continuous  
Wave Laser Diodes

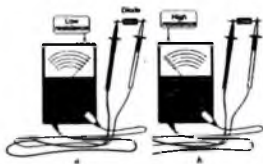


Visible/Infrared Continuous  
Wave Laser Diode Modules

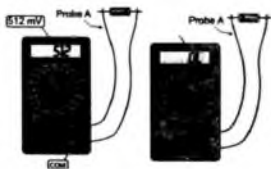


Checking a diode  
with an ohmmeter.  
Kiểm tra Diốt  
bằng Ôm-mét

## Diode testing using an analog instrument



## Diode testing using a digital instrument



Hình 4.15. Kiểm tra diod bằng Ohm mét

## Chương V

# TRANSISTOR LƯỜNG CỰC

(BIPOLAR JUNCTION TRANSISTOR - BJT)

### 5.1. CẤU TẠO VÀ KÝ HIỆU

Transistor lưỡng cực tính, thường gọi tắt là *BJT* (*Bipolar Junction Transistor*), là loại bán dẫn ba cực có thể khuếch đại tín hiệu hoặc hoạt động như khóa đóng mở. Vì nó sử dụng cả hai loại hạt dẫn: *lỗ* và *điện tử*, nên gọi là loại *lưỡng cực tính*.

BJT được chế tạo từ một tinh thể bán dẫn có ba miền pha tạp khác nhau để hình thành hai vùng tiếp xúc P-N rất gần nhau, phân cực ngược nhau. Miền giữa khác kiểu dẫn điện với hai miền hai bên, nên ta có hai loại BJT: *PNP* và *NPN* (hình 5.1).



**Hình 5.1.** Ký hiệu và cấu tạo của các BJT NPN và PNP

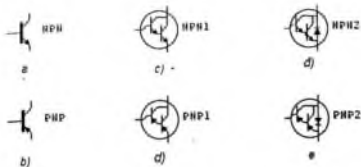
Ba miền hình thành ba cực: *cực B (base)* hay *cực gốc* ở miền giữa, *cực E (emitter)* hay *cực phát*, và *cực C (collector)* hay *cực góp*.

Miền B rất mỏng, cỡ nhỏ hơn  $\mu\text{m}$ , được pha tạp ít. Miền E có nồng độ tạp chất lớn nhất ( $N^+ - P^+$ ) có khả năng phun các hạt dẫn vào miền B. Miền C có nồng độ tạp chất thấp hơn, nhưng có bề dày lớn nhất, có khả năng thu tất cả các hạt dẫn từ miền E phun vào miền B.

Trong hai vùng tiếp xúc P-N, tiếp xúc B-E được ký hiệu là  $J_E$ , và tiếp xúc B-C được ký hiệu là  $J_C$ .

Ký hiệu một số loại BJT được trình bày trên hình 5.2.





**Hình 5.2. Ký hiệu một số loại BJT**

*a, b) Ký hiệu chung của BJT loại NPN và PNP*

*c, d) Ký hiệu BJT Darlington*

*đ, e) Ký hiệu BJT Darlington có diode C-E*

*g, h) Ký hiệu BJT Darlington có diode C-E và các điện trở B-E*

## **5.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC VÀ TÍNH CHẤT KHUẾCH ĐẠI CỦA BJT**

### **1. Nguyên lý làm việc của BJT**

Xét sự hoạt động của BJT loại NPN mắc theo sơ đồ B chung vẽ trên hình 5.3:

$E_1, E_2$  - là nguồn phân cực.  $E_1$  khoảng vài vôn,  $E_2$  cỡ 5-20V.  $E_1$  phân cực thuận cho tiếp xúc  $J_E$ ,  $E_2$  phân cực ngược cho tiếp xúc  $J_C$ .

$R_E, R_C$  - là điện trở phân cực cho cực E, và cực C.  $R_C$  còn gọi là điện trở tải một chiều của cực C.

Khi chưa có nguồn  $E_1, E_2$ :  $J_E$  hẹp,  $J_C$  rộng hơn. Mỗi vùng tồn tại một  $E_n$  (hướng từ N sang P) tương ứng với một điện áp tiếp xúc ( $V_n$ ) như một hàng rào thế, duy trì trạng thái cân bằng ở hai tiếp xúc giữa dòng trôi và dòng khuếch tán. Do đó, dòng tổng hợp ( $I_\Sigma$ ) qua tiếp xúc  $J_E$  và  $J_C$  bằng 0.

Khi có nguồn  $E_C$ :  $J_C$  được phân cực ngược. Hàng rào điện thế ( $V_{bc}$ ) và  $E_n$  của  $J_C$  tăng, điện trở của  $J_C$  tăng lớn. Do đó, dòng điện qua tiếp xúc B-C sẽ rất nhỏ, ký hiệu là  $I_{CBO}$  và gọi là dòng ngược collector.

Khi thêm nguồn  $E_E$ :  $J_E$  được phân cực thuận.  $E_{bc}$  của  $J_E$  giảm, hàng rào điện thế ( $V_{bc}$ ) trong  $J_E$  giảm (so với trạng thái cân bằng). Do đó, xảy ra hiện tượng phun hạt dẫn: e từ miền  $N^+$  (miền E) tràn qua miền P (miền B), lỗ từ miền P (miền B) tràn qua miền  $N^+$  (miền E), các hạt dẫn tiếp tục khuếch tán và chúng sẽ tái hợp nhau trên đường khuếch tán.

Do miền B rất mỏng và có nồng độ hạt dẫn rất thấp so với miền E ( $n_E$  miền E  $\gg p_B$  miền B) nên số lượng e phun từ E sang B bị tái hợp rất nhỏ, còn đa số e vượt qua miền B đến tiếp xúc  $J_C$  bị điện trường trong của  $J_C$  hút về phía cực C tạo nên dòng  $I_C$  (dòng điện collector).

Gọi  $I_E$  là dòng emitter, tương ứng với tổng số e phát ra từ miền E sang miền B thì dòng  $I_C$  tương ứng với số điện tử đến được cực C sẽ bằng:

$$I_C = \alpha I_E \quad (5-1)$$

$$\alpha = \frac{\text{Số lượng điện tử đến được cực C}}{\text{Tổng số điện tử phát ra từ cực E}} = \frac{I_C}{I_E} \quad (5-2)$$

$\alpha$  - Hệ số truyền đạt dòng điện cực phát, còn gọi là hệ số khuếch đại dòng  $I_E$  tĩnh.

Thông thường  $\alpha = 0,95-0,99$ .

Dòng điện tổng trong mạch collector gồm 2 thành phần:

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \quad (5-3)$$

$I_{CBO}$  - dòng điện ngược của  $J_C$ .

Ở miền B: Một số lỗ ( $p_B$ ) phun sang miền  $N^+$  (miền E) và bị tái hợp nên thiếu điện tích +. Vì vậy, các điện tích + của nguồn  $E_1$  dịch chuyển vào miền B tạo nên dòng điện trong mạch base  $I_B$  (để bù lại).

Dựa vào định luật dòng điện điểm nút, suy ra :

$$I_E = I_B + I_C \quad (5-4)$$

Trong đó thường,  $I_B \ll I_C$  và  $I_E$

## 2. Tính chất khuếch đại của BJT

Từ biểu thức (5-4) nhận thấy: Nếu dòng  $I_E$  biến đổi, thì dòng  $I_C$  cũng biến đổi theo.

Đặt tín hiệu xoay chiều  $V_1$  (biên độ nhỏ) qua tụ C1 vào giữa cực E và cực B (xem hình 5.3) xếp chồng lên nguồn phân cực một chiều  $E_1$  của  $J_E$  thì sự phân cực của  $J_E$  sẽ thay đổi theo chu kỳ của  $V_1$ . Do đó, dòng điện từ từ cực E đến cực C cũng sẽ thay đổi theo quy luật biến đổi của  $V_1$ , như vậy dòng  $I_C$  thay đổi theo dòng  $I_C$  tạo ra trên  $R_C$  một điện áp  $I_C R_C$  cũng biến đổi theo quy luật của  $V_1$  nhưng với biên độ lớn hơn  $V_1$  gấp nhiều lần (do  $R_C$  có trị số khá lớn) : *Tranzito đã khuếch đại tín hiệu  $V_1$ .*

Khi có tín hiệu  $V_1$ , dòng  $I_C$  cũng bao gồm hai thành phần là: *thành phần một chiều* (ứng với trạng thái tĩnh, có nguồn  $E_1, E_2$ ) và *thành phần biến đổi* (*thành phần xoay chiều*) theo sự điều khiển của  $V_1$  (ứng với trạng thái động):

$$i_c = I_C + i_c \quad (5-5)$$

Điện áp trên  $R_C$  cũng gồm 2 thành phần: *điện áp một chiều  $I_C R_C$*  ứng với *trạng thái tĩnh* và *điện áp xoay chiều  $i_c R_C$*  ứng với *trạng thái động*.

**3. Sự làm việc của BJT PNP:** Nguyên lý làm việc và tính chất khuếch đại của BJT loại PNP cũng tương tự như BJT loại NPN đã trình bày ở trên. Chỉ có một số điểm khác cần chú ý :

- Nguồn  $E_1, E_2$  phải đảo ngược cực để  $J_E$  thuận,  $J_E$  ngược,
- Chiều của  $I_E, I_C, I_B$  ngược lại,
- Dòng  $I_C$  là dòng lỗ từ miền  $P^*$  (miền E) phun sang miền N (miền B) và khuếch tán tới miền P của collector (miền C).

### 5.3. CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA BJT

Tùy theo mức phân cực mà BJT có thể làm việc ở một trong ba chế độ (trạng thái) sau đây: khuếch đại, khóa, bão hòa.

#### 1. Chế độ khuếch đại

Chế độ khuếch đại của BJT được trình bày trong mục 5.2 ở trên.

Ở chế độ này,  $J_E$  được phân cực thuận,  $J_C$  được phân cực ngược.  $V_C \gg V_B > V_E$  đối với loại NPN. Khi  $V_{BE} = 0,5 \div 0,7V$  thì BJT dẫn; Dòng  $I_B$  khác 0, dòng  $I_C$  tăng theo dòng  $I_B$  qua hệ số khuếch đại dòng  $\beta$  (*BJT điều khiển bằng dòng  $I_B$* ). Lúc này, điểm làm việc của BJT nằm trên đường tải tĩnh, khi  $I_B$  tăng thì  $I_C$  cũng tăng còn  $V_{CE}$  giảm, vì:

$$I_C = \beta I_B \quad (5-6)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (5-7)$$

#### 2. Chế độ khóa (ngưng dẫn)

Hai tiếp xúc  $J_E$  và  $J_C$  đều phân cực ngược:  $V_{BE} < 0$ ,  $V_{CE} > 0$  và  $V_{CE} > V_{BE}$ , do đó  $V_{BC} < 0$ .

Khi phân cực cho  $V_{BE} < V_{\gamma}$ , BJT sẽ *khoá (ngưng dẫn)*; Dòng  $I_B = 0$ , dòng  $I_C = 0$ , điện áp  $V_{CE} = V_{CC}$ . Lúc này chỉ có dòng rò qua BJT ( $I_{CBO}$ ) rất nhỏ không đáng kể (hình 5.3a).

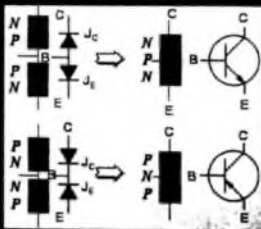
#### 3. Chế độ bão hòa

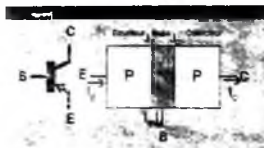
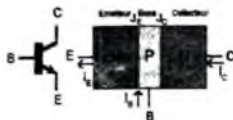
Hai tiếp xúc  $J_E$  và  $J_C$  đều phân cực thuận:  $V_{BE} > V_{CE}$ , do đó  $V_{BE} > 0$ ,  $I_C > 0$ ,  $I_E > 0$ ; do vậy  $I_E > I_C$ . Lúc này,  $I_B$  tăng tương đối lớn nhưng  $I_C$  gần như không thay đổi.

Phân cực cho BJT với  $V_{BE} > 0,8V$  (với loại BJT Si), BJT sẽ dẫn mạnh dẫn đến *trạng thái bão hoà*. Lúc này  $I_B$  tăng cao nhưng  $I_C$  chỉ tăng gần bằng mức  $V_{CC}/R_C$ . Còn điện áp  $V_{CE}$  giảm còn rất nhỏ (khoảng 0,2V), gọi là  $V_{CEsat}$  (hay  $V_{CE}$  bão hoà).



## CẤU TẠO CỦA BJT

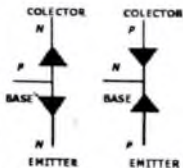




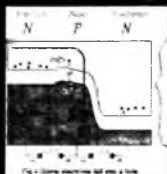
Ký hiệu và cấu tạo của transistor NPN, PNP

## Types of Transistors

*Hai loại Transistor NPN và PNP*

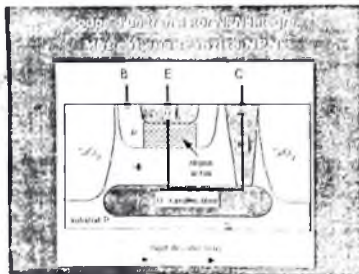


## Một số electron tái hợp với lỗ



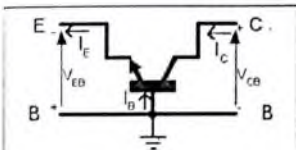
Một số kiểu  
chân transistor

## NPN Transistor Operation Hoạt động của Tranzito NPN

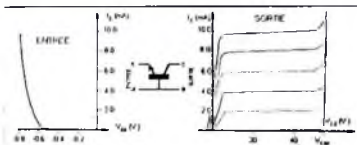


**Hình 5.3. Hoạt động của BJT**

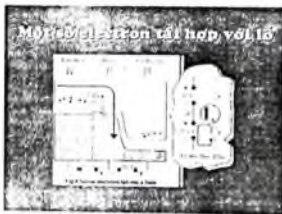




Hình 5.3a. Cách mắc BC của BJT



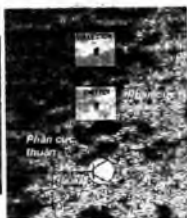
Hình 5.3b. Đặc tuyến V-A của BJT mắc BC





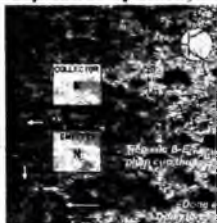
## NPN Transistor Operation

### Hoạt động của Tranzito NPN



## NPN Forward-Biased Junction

### NPN tiếp xúc B-E phân cực thuận



### NON Reverse-Biased Junction

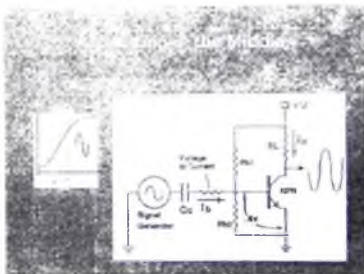
ĐPN tiếp xúc B-C phân cực ngược



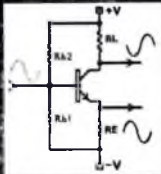
### NPN Junction Interaction

### Sự tương tác của các tiếp xúc ở loại NPN

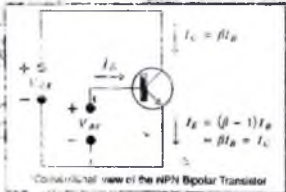
The input signal is a sine wave of frequency  $f$  and amplitude  $V_m$ . The output voltage  $V_o$  is a sine wave of frequency  $f$  and amplitude  $V_o$ . The transfer function  $H(f)$  is the ratio of the output voltage to the input voltage. The magnitude of the transfer function is  $|H(f)|$  and the phase is  $\angle H(f)$ . The magnitude of the transfer function is a function of frequency  $f$ . The phase of the transfer function is a function of frequency  $f$ . The magnitude of the transfer function is a function of frequency  $f$ . The phase of the transfer function is a function of frequency  $f$ .



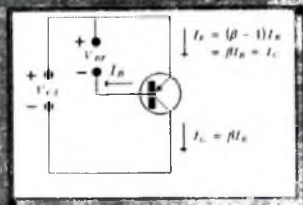
# Effects of different bias settings



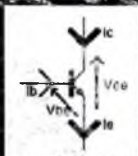
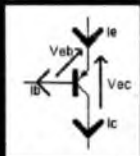
Giải thích chi tiết dòng điện các cực ( $I_E, I_C, I_B$ ) trong BJT NPN



Quá trình chuyển đổi dòng điện ở cực  
( $I_B, I_C, I_E$ ) trong BJT PNP



## Fonctionnement d'un transistor



Chế độ I và V trong BJT PNP

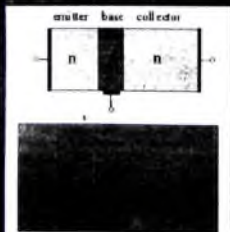
Chế độ I và V trong BJT PNP

## Proper Biasing of a Transistor

*Cách cấp nguồn cho Tranzito*

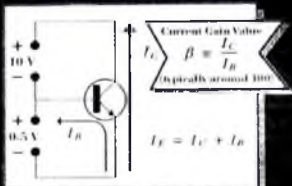


## Mạch tương ứng của BJT NPN.

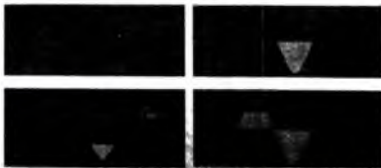


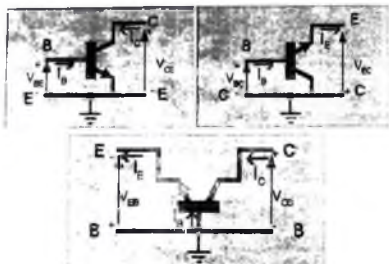


## Current Gain Value $\cdot \beta$

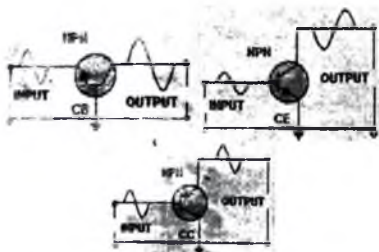


## The Class Of Amplifier Các cấp khuếch đại





Hình 5.4 - 5.5 - 5.6. Cách mắc các loại transistor



Hình 5.7 - 5.8 - 5.9. Cách mắc của Transistor BC, EC, CC

## 5.4. CÁCH MẮC BJT

Phụ thuộc vào việc chọn cực làm nhánh chung cho mạch vào và mạch ra, ta có ba cách mắc BJT: *B chung (BC)*, *E chung (EC)*, và *C chung (CC)*.

### 1. Mạch base chung (BC) (Hình 5.6.)

Tín hiệu vào ( $V_i$ ) đặt giữa cực E và B ; Tín hiệu ra ( $V_o$ ) lấy giữa cực C và B. Cực B là cực chung cho mạch vào và mạch ra. Dòng vào là  $I_B$ , dòng ra là  $I_C$ . Điện áp vào là  $V_{EB}$ , điện áp ra là  $V_{CB}$ .

Hệ thức cơ bản của mạch BC là:  $I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$  (theo 5-3)

$$I_E = I_B + I_C \quad (\text{theo 5-4})$$

#### Đặc điểm của mạch BC

$K_V$  có giá trị rất lớn và tăng theo điện trở tải  $R_L$ .  $\alpha = 1$ ,  $I_{CBO}$  rất nhỏ.

$K_I$  luôn  $< 1$  và cũng tăng theo  $R_L$ .

$K_T$  cực đại khi  $R_L = r_o$  của BJT ( $r_o$  khoảng 0,2-2M $\Omega$ ).

$r_i$  (khoảng 30-500 $\Omega$ ) giảm khi dòng  $I_C$  tăng

$V_o$  đồng pha với  $V_i$

### 2. Mạch emitter chung (EC) (Hình 5.4.)

Dòng vào là  $I_B$ , dòng ra là  $I_C$ . Điện áp vào là  $V_{BE}$ , điện áp ra là  $V_{CE}$ . Cực E là cực chung cho mạch vào và mạch ra.

Dựa theo (5-3) , (5-4) và sau một số phép biến đổi ta có: Hệ thức cơ bản của mạch EC là:

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1)I_{CEO} = \beta I_B + I_{CEO} \quad (5-8)$$

$\beta$  - hệ số khuếch đại dòng điện của mạch EC :  $\beta = \frac{I_C}{I_B}$

$$\text{hay } \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (5-9)$$

Dòng ngược collector ( $I_{CBO}$ ) của mạch BC' được tính bằng :

$$I_{CBO} = \frac{1}{1 - \alpha} \cdot I_{CBO} = (\beta + 1)I_{CBO} \quad (5-10)$$

(Tương tự  $I_{CBO}$  trong công thức 5-3, là dòng ngược của mạch BC').

Thông thường  $\alpha = 0,95 \div 0,99$ , tương ứng với:  $\beta = 19 \div 99$ ,  
 $I_{CBO} = (0,01 \div 0,1) \mu A$ ,  $I_{CBO} = 1 \div 10 \mu A$ .

**Đặc điểm của mạch EC'**

$\beta$  rất lớn (có thể đến 200),  $I_{CBO} > I_{CBO}$  nhưng  $\ll \beta I_{CBO}$  (là  $I_C$ ).

$K_V$  lớn phụ thuộc vào  $R_L$  ( $K_V$  tăng khi  $R_L$  tăng).

$K_I$  lớn phụ thuộc ngược với  $R_L$  ( $K_I$  tăng khi  $R_L$  giảm).

$$r_o = 100K \div 1M \quad (r_o \text{ giảm khi } I_C \text{ tăng})$$

$V_o$  đồng pha với  $V_i$

### 3. Mạch collector chung (CC) (Hình 5.5)

Nguồn E2 có nội trở rất bé mắc giữa cực C và đất. Do đó, với tín hiệu xoay chiều xem như ngắn mạch với đất (điểm G). Tín hiệu vào ( $V_i$ ) đặt giữa cực B và điểm G, tương đương giữa cực B và C. Tín hiệu ra lấy giữa cực E và điểm G, tương đương giữa cực E và C. Vì vậy, cực C là nhánh chung giữa mạch vào và mạch ra, do đó gọi là *mạch C chung* (CC), còn gọi là *mạch theo điện áp* (follower voltage), hay *mạch tải emitter*.

**Đặc điểm của mạch CC**

$K_V = 1$ ,  $K_I$  lớn (100 ÷ 600) thay đổi theo tải,  $K_F = K_I$

Điện trở vào  $r_i$  giảm khi  $I_C$  tăng (có thể đạt 100KΩ), là sơ đồ có  $r_i$  rất lớn.

Điện trở ra rất nhỏ  $r_o$  ( $50 \sim 500\Omega$ ),  $r_o$  giảm khi  $I_C$  tăng, tăng khi  $r_i$  tăng.

$V_o$  đồng pha với  $V_i$  và gần bằng  $V_b$

### 5.5. ĐẶC TUYẾN VÒNG-AMPE CỦA BJT

Đặc tuyến V-A (hay đặc tuyến tĩnh) là đồ thị diễn tả các n tương quan giữa dòng điện và điện áp trên BJT. Nghiên cứu ba l đặc tuyến của mạch EC:

- Đặc tuyến vào:  $I_B = f(V_{BE}) \mid V_{CE} = \text{const}$  (5-11)

- Đặc tuyến ra:  $I_C = f(V_{CE}) \mid I_B = \text{const}$  (5-12)

- Đặc tuyến truyền đạt dòng điện:

$$I_C = f(I_B) \mid V_{CE} = \text{const} \quad (5-13)$$

1. Đặc tuyến vào:  $I_B = f(V_{BE}) \mid V_{CE} = \text{const}$  (5-14)

Phân ánh quan hệ giữa dòng điện và điện áp của tiếp xúc (nhánh thuận của đặc tuyến diốt B-E).

Thay đổi tăng giảm  $V_{CE}$ , ta sẽ được nhiều đường của đồ thị  $I_B = f(V_{BE})$ ; Các đường này tập hợp thành họ đặc tuyến vào (Hình 5.1 Khi  $V_{CE}$  tăng, đặc tuyến vào lệch dần sang phải (không nhiều).

2. Đặc tuyến ra:  $I_C = f(V_{CE}) \mid I_B = \text{const}$

Phân ánh quan hệ dòng  $I_C$  theo  $V_{CE}$  khi dòng  $I_B$  không đ Đường thấp nhất (ứng với  $I_B = 0$ ) phản ánh giá trị dòng ngược colec mạch EC ( $I_{CBO}$ ). Dưới đường  $I_B = 0$  là miền khóa.

Ứng với một giá trị của dòng  $I_B$ , vẽ được một đường đặc tuyến ra: Tập hợp tất cả các đường này ta có *họ đặc tuyến ra của mạch EC*. Khi  $I_B \neq 0$  và tăng dần thì các đường đặc tuyến tương ứng dịch dần về phía trên đường  $I_B = 0$  (Hình 5.12).

*Đặc tuyến ra gồm ba đoạn:*

- *Đoạn chéo xiên:* ứng với trạng thái dẫn bão hòa, nằm bên phải trục  $I_C$ , tương ứng với giá trị của  $V_{CE} = 0 + 1,2V$ . Khi  $V_{CE} = 0$  thì  $I_C$  giảm về không; Do đó mọi đường đặc tuyến ra của mạch EC đều đi qua gốc tọa độ O.

- *Đoạn nằm ngang:* ứng với trạng thái khuếch đại, có độ dốc lớn.

- *Đoạn dốc đứng (chấm chấm bên phải):* ứng với trạng thái đánh thủng.

### 3. Đặc tuyến truyền đạt dòng điện : $I_C = f(I_B) \mid V_{CE} = const$

Độ dốc của đặc tuyến này chính là hệ số khuếch đại dòng điện  $\beta$  ứng phạm vi dòng điện lớn,  $\beta$  giảm nên đặc tuyến không còn tuyến tính (Hình 5.11).

Đặc tuyến này có thể suy ra từ hệ thức cơ bản của mạch EC (5-8):

$$I_C = \beta I_B + I_{CEO}$$

Cũng có thể vẽ đặc tuyến truyền đạt dòng điện bằng phương pháp ngoại suy từ đặc tuyến ra.

## 5.6. ĐẶC TÍNH TẦN SỐ CỦA BJT

Ngoài khả năng khuếch đại tín hiệu, BJT có một đặc tính quan trọng là *đặc tính tần số*, đặc trưng cho sự phụ thuộc của các thông số của BJT vào tần số làm việc của nó.

Khi tần số tín hiệu vào ( $f_i$ ) lớn thì khả năng khuếch đại tín hiệu của BJT sẽ giảm so với những tín hiệu có tần số thấp hơn. Hiện tượng này xảy ra do các nguyên nhân chính sau:

- 1) Điện dung của các lớp tiếp xúc  $J_C$  và  $J_E$ .
- 2) Trở kháng ( $Z_B$ ,  $Z_C$ ) của các miền khác nhau của BJT (chủ yếu là miền B và C).
- 3) Thời gian dịch chuyển của các hạt dẫn thiểu số qua miền B của BJT.

Đặc tính tần số của BJT được đánh giá bằng đại lượng  $f_\alpha$  gọi là *tần số giới hạn*; là tần số làm việc của BJT mà ở tần số này khả năng khuếch đại của BJT trong sơ đồ BC sẽ giảm đi 3dB (Hình 5.12.).

Sự liên hệ giữa  $f_\alpha$  với các thông số vật lý của BJT theo biểu thức sau:

$$\frac{1}{2\pi f_\alpha} = r_E C_E + \frac{\omega^2}{2,43 D p_B} + \frac{\delta}{2V_C} + r_C C_C \quad (5-15)$$

Trong đó:

$r_E$ ,  $r_C$  - điện trở miền E, C

$C_E$ ,  $C_C$  - điện dung của  $J_E$ ,  $J_C$

$\omega$  - chiều dày miền B

$D p_B$  - hệ số khuếch tán của lỗ trong miền B.

$\delta$  - chiều dày của  $J_C$  phân cực ngược.

$V_C$  - tốc độ dịch chuyển của các hạt dẫn trong  $J_C$

*Tăng bất kỳ số hạng nào trong vế phải của biểu thức cũng đều làm giảm tần số giới hạn  $f_\alpha$*

## 5.7. CÁC THAM SỐ GIỚI HẠN CỦA BJT

**1. Dòng cực đại cho phép ( $I_{E\max}$ ,  $I_{B\max}$ ,  $I_{C\max}$ ):** BJT chỉ cho một dòng tối đa chạy qua trên các cực. Quá trị số này, BJT sẽ hỏng. Giá trị dòng cực đại phụ thuộc vào: Diện tích tiếp xúc (S), cấu trúc vật liệu, công nghệ chế tạo, điều kiện tỏa nhiệt,... của BJT.

2. **Điện áp cực đại cho phép** ( $V_{CEmax}$ ,  $V_{CLmax}$ ,  $V_{BEmax}$ ): không được vượt quá các giá trị điện áp này để BJT không bị đánh thủng các tiếp xúc tương ứng ( $J_E$ ,  $J_C$ ).

3. **Công suất tiêu tán cực đại cho phép** ( $P_{Cmax}$ ): công suất tiêu tán cực đại cho phép của BJT phụ thuộc vào điều kiện chế tạo, điều kiện tỏa nhiệt của  $J_C$ . Công suất tiêu tán tức thời trên BJT không được vượt quá  $P_{Cmax}$ . Tính  $P_{Cmax}$  theo công thức:

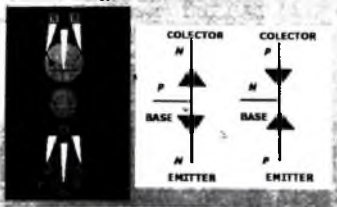
$$I_{Cmax} = P_{Cmax} / V_{CE} \quad (5-16)$$

4. **Tần số giới hạn** ( $f_\omega$ ): BJT chỉ làm việc hiệu quả đến một tần số nhất định, gọi là **tần số giới hạn**  $f_{max}$ . Khi tần số tín hiệu tăng cao, điện dung tiếp xúc  $C_{PN}$  đáng kể. Chuyển động của hạt dẫn qua chiều dày miền B chiếm thời gian đáng kể so với chu kỳ của tín hiệu. Do đó, hệ số  $\alpha$ ,  $\beta$  giảm theo tần số  $f$ ; Dòng điện ra  $I_O$ , dòng vào  $I_i$ , điện áp vào  $V_i$  bị lệch pha gây méo tần số, méo pha trong mạch khuếch đại.

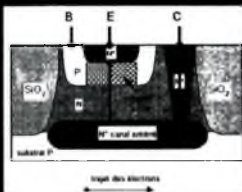
**Tần số giới hạn**  $f_\alpha$ , còn gọi là: **tần số cắt**, **tần số cut-off** ( $f_{cut-off}$ ), **tần số thiết đoạn của mạch**, là tần số mà mạch BJT có  $K_P = 1$ .

## Types of Transistors

### Hai loại Transzito NPN và PNP







Hình 5.10. Đặc tuyến V-A của BJT NPN mắc BC

## Một số electron tái hợp với lỗ

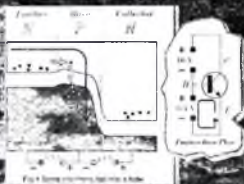


Fig. 1. Some electrons flow into a hole.

## BJT-NPN

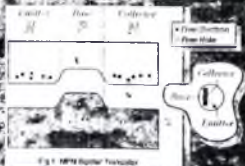
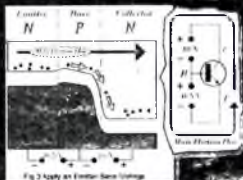


Fig. 1. NPN Bipolar Transistor

## PHÂN CỰC B-E BJT NPN

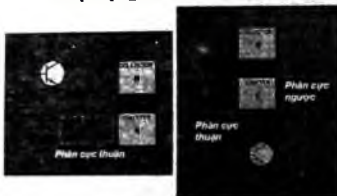


## PHÂN CỰC B-C BJT NPN



## NPN Transistor Operation

### Hoạt động của Tranzito NPN



## NPN Forward-Biased Junction

### NPN tiếp xúc B-E phân cực thuận

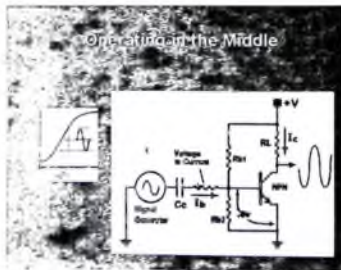
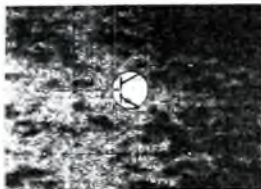


## NPN Reverse-Biased Junction NPN tiếp xúc B-C phân cực ngược

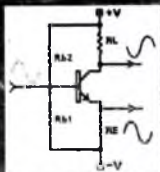


## NPN Junction Interaction Sự tương tác của các tiếp xúc ở loại NPN

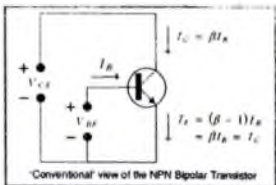
# **Basic Transistor Amplifier** **Kiểu khuếch đại Tranzito cơ bản**



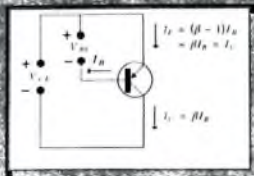
## Effects of different bias settings



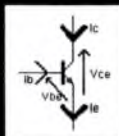
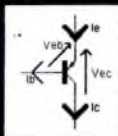
**Quy ước chiều dòng điện các cực  
( $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_E$ ) trong BJT NPN**



Quá trình chuyển đổi dòng điện cực cực  
( $I_E, I_C, I_B$ ) trong BJT PNP



## Fonctionnement d'un transistor



Chiều I và V trong BJT PNP

Chiều I và V trong BJT NPN

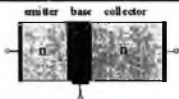


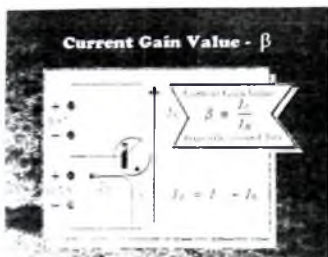
## Proper Biasing of a Transistor

*Cách cấp nguồn cho Tranzito*



Mạch tương đương của BJT NPN.





## The Class Of Amplifier

### Các cấp khuếch đại



**Common-Base Configuration (CB)**  
**Cách mắc Bazo chung (CB)**



**Common-Emitter Configuration (CE)**  
**Cách mắc Emitơ chung (CE)**



## Common-Collector Configuration (CC) Cách mắc Collector chung (CC)



The current gain for the three transistor configurations  
(CB, CE, and CC)

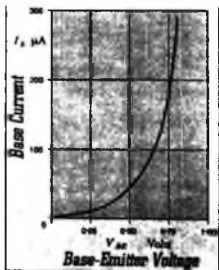
Hệ số khuếch đại dòng điện trong 3 cách mắc Tranzito

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \quad \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad \gamma = \frac{\Delta I_E}{\Delta I_B}$$

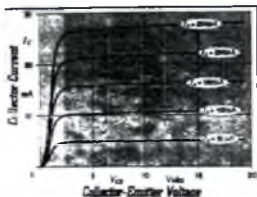
$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad \gamma = \beta + 1$$

## TRANSISTOR CONFIGURATION COMPARISON CHART SO SÁNH GIỮA CÁC CÁCH MẠC TRANZITO

AMPLIFIER TYPE KIỂU KHUẾCH ĐẠI	COMMON BASE (CB)	COMMON EMITTER (CE)	COMMON COLLECTOR (CC)
Input/Output Phase Relationship <i>Pha tín hiệu vào/ra</i>	0°	180°	0°
Voltage Gain <i>Độ khuếch đại điện áp</i>	HIGH CAO	MEDIUM TRUNG BÌNH	LOW THẤP
Current Gain <i>Độ khuếch đại dòng điện</i>	LOW( $\alpha$ )	MEDIUM( $\beta$ )	HIGH( $\gamma$ )
Power Gain <i>Độ khuếch đại công suất</i>	LOW	HIGH	MEDIUM
Input Resistance <i>Điện trở ngõ vào</i>	LOW	MEDIUM	HIGH
Output Resistance <i>Điện trở ngõ ra</i>	HIGH	MEDIUM	LOW



Hình 5.12. Đặc tuyến vào của BJT



### Caractéristiques statiques BC



### Caractéristiques statiques EC



## 5.8. PHÂN CỰC CHO BJT

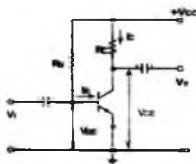
Mạch phân cực có nhiệm vụ tạo điện áp thuận ( $V_{BE}$ ) cấp cho tiếp xúc  $E$  hoặc điện áp ngược ( $V_{CB}$ ) cấp cho tiếp xúc  $C$  ở các chế độ chuyển đổi. Với BJT mắc  $E_C$  khi dùng một nguồn cấp điện ( $V_{CC}$ ), chúng ta có các kiểu mạch phân cực sau:

### 1. Phân cực kiểu định dòng base ( $I_B$ ): (Hình 5.13, 5.14.)

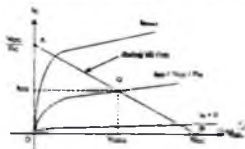
$R_B$  - Điện trở phân cực cho cực B, nối từ  $V_{CC}$  xuống cực B.

$R_E$  - Điện trở tải dòng một chiều  $I_C$ , còn gọi là điện trở phân cực

đầu ra.



Hình 5.13. Mạch phân cực kiểu định dòng  $I_B$



Hình 5.14. Xác định điểm làm việc tĩnh theo phương pháp đồ thị

Áp dụng định luật Ohm cho mạch vòng  $R_B$ ,  $V_{CC}$ , ta có:

$V_{BE}$  trên  $J_1$  (là  $V_{BE}$ ) thường có giá trị nhỏ ( $0,6V \div 0,8V$  với BJT Si,  $0,2 \div 0,3V$  với BJT Ge), vì vậy:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad (5-16)$$

$$I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad (5-17)$$

$I_B$  có giá trị không đổi phụ thuộc vào trị số của  $V_{CC}$  và  $R_B$ , vì thế mạch có tên là *định dòng  $I_B$* .

$$\text{Ở mạch ra: } I_C = \beta I_B + I_{CEO} \approx \beta I_B \quad (5-18)$$

vì  $I_{CEO}$  rất nhỏ.

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (5-19)$$

Do đó:

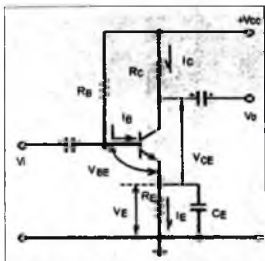
$$I_C = -\frac{V_{CE}}{R_C} + \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (5-20)$$

Biểu thức (5-17) và (5-20) dùng để xác định điểm làm việc tĩnh khi biết  $V_{CC}$ ,  $R_B$ ,  $R_C$  và  $\beta$  vì (5-16) là phương trình đường tải tĩnh mạch vào; (5-20) là phương trình đường tải tĩnh mạch ra (xem hình 5.14).

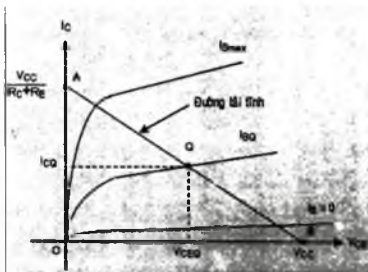


Hình 5.15. Đặc tuyến V-A tĩnh EC





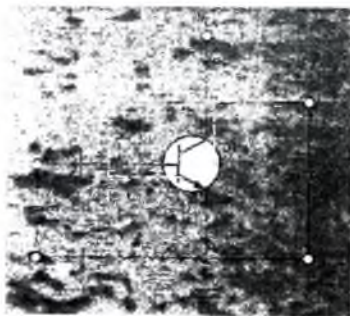
Hình 5.16. Mạch phân cực kiểu dòng  $I_c$  có  $R_e$



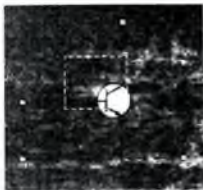
Hình 5.17. Xác định điểm tĩnh của mạch ra



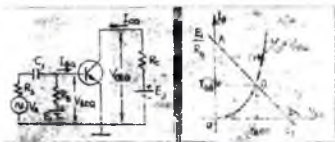
Hình 5.18. Mạch hồi tiếp từ collector



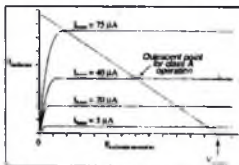
Hình 5.19. Mạch phản hồi tiếp từ Collector ( tự động)



Hình 5.20. Mạch khuếch đại Transistor dùng phân cực tự động



Hình 5.21. Mạch khuếch đại EC và đặc tuyến vào, đường tải mạch vào



Hình 5.22. Điểm làm việc tĩnh và đường tải tĩnh của mạch ra

## 2. Phân cực kiểu định dòng $I_B$ có $R_E$ (Hình 5.16.)

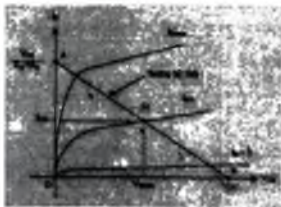
Nhiệt độ môi trường tăng,  $I_C$  và  $I_E$  tăng, làm điểm tĩnh  $Q$  mất ổn định. Nhờ có  $R_E$  nên:

$$V_{RE} = V_R - V_E = V_R - I_E R \quad (5.21)$$

Khi nhiệt độ tăng, làm  $I_C$  và  $I_E$  tăng nên  $I_E R_E$  tăng, làm  $V_{BE}$  giảm, làm  $I_B$ ,  $I_E$ ,  $I_C$  giảm, hạn chế sự xô dịch của điểm tĩnh  $Q$  do nhiệt độ tăng. Điện trở  $R_E$  có tác dụng hồi tiếp âm, gọi là điện trở ổn định dòng tĩnh hoặc điện trở ổn định nhiệt.  $R_E$  càng lớn, hồi tiếp âm càng mạnh, điểm tĩnh  $Q$  càng ổn định.



Hình 5.23. Mạch phân cực kiểu định dòng  $I_B$  có  $R_E$



Hình 5.24. Xác định điểm tĩnh ở mạch ra theo phương pháp đồ thị

Khi  $R_E$  lớn, để  $V_{CE}$  không đổi,  $V_{CC}$  phải lớn. Mặt khác  $R_E$  làm giảm tín hiệu xoay chiều ở mạch vào và làm giảm tín hiệu khuếch đại ở mạch ra. Để tránh ảnh hưởng này, mắc  $C_E$  khá lớn song song với  $R_E$  làm ngắn mạch dòng xoay chiều qua  $R_E$  (vì  $X_C = 1/\omega C \ll R_E$ ).

Thường chọn  $R_E$  sao cho :

$$V_E = \left( \frac{1}{5} + \frac{1}{10} \right) V_{CC} \quad (5-22)$$

Công thức xác định điểm làm việc Q của mạch này (từ định luật Ôm):

$$V_{CC} = I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E$$

Trong đó:  $I_E = I_C + I_B = \beta I_B + I_B = (\beta + 1) I_B$  ;

Vì  $\beta \gg 1$  , nên:  $I_E \approx \beta I_B$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta R_E} \quad (5-23)$$

Do đó, điểm tĩnh Q của mạch được xác định theo:

$$I_{CQ} = \beta I_B + I_{CEO} \approx \beta I_B \quad (5-24)$$

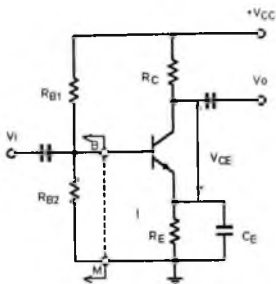
$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E \approx V_{CC} - I_C (R_C + R_E) \quad (5-25)$$

Có thể dựa vào phương trình (5-23) và (5-24) để xác định điểm tĩnh Q theo phương pháp tọa độ. Trong đó (5-23) và (5-24) là phương trình đường tải tĩnh ở đầu vào và đầu ra của mạch (xem hình 5.24).

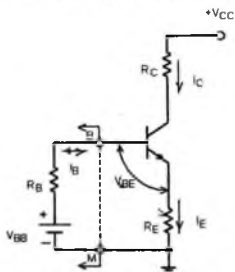
$R_E$  càng lớn,  $R_B$  càng nhỏ thì mạch càng ổn định..

### 3. Phân cực kiểu phân áp: (Hình 5.25, 5.26)

Dùng hai điện trở  $R_{B1}$  và  $R_{B2}$  tạo thành bộ phân áp từ nguồn  $V_{CC}$  để phân cực cho cực B. Điện trở  $R_E$  ổn định điểm tĩnh Q. Ở mạch ra, nguồn  $V_{CC}$  tạo điện áp phân cực  $V_{CE}$  qua  $R_C$  và  $R_E$  (phân cực cho cực C và cực E).



**Hình 5.25.** Mạch phân cực kiểu phân áp



**Hình 5.26.** Mạch tương đương của mạch H.5.25.

Áp dụng định lý Thévenin cho phần mạch bên trái hai điểm B-M, ta có hình 5.25; Trong đó:

$$R_{th} = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \quad (5-26)$$

$$V_{th} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \times V_{CC} \quad (5-27)$$

Theo sơ đồ hình 5.26.:  $V_{BB} = I_B R_{BB} + V_{BE} + I_E R_E$  (5-28)

Thay  $I_E = I_C = \beta I_B$  vào (3-3-28), ta có:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + \beta R_E} \quad (5-29)$$

$$I_C = \beta I_B = \beta \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + \beta R_E} \quad (5-30)$$

Ở mạch ra:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E) \quad (5-31)$$

$$I_C = -\frac{1}{R_C - R_E} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \quad (5-32)$$

Hay:

$R_E$  càng lớn,  $R_B$  càng nhỏ mạch càng ổn định.

Công thức (5-28) và (5-31) dùng để xác định điểm tĩnh Q khi biết:  $V_{CC}$ ,  $R_C$ ,  $R_E$ ,  $R_{B1}$ ,  $R_{B2}$ ,  $\beta$  .....

Nếu chọn Q trước thì  $R_{B1}$ ,  $R_{B2}$  tính theo:

$$R_{B1} = \frac{V_{CC}}{V_{BB}} \times R_{BB} \quad (5-33)$$

$$R_{B2} = \frac{R_{BB}}{1 - \frac{V_{BB}}{V_{CC}}} \quad (5-34)$$

$$\text{Trong đó chọn} \quad R_{BH} \ll (\beta + 1) R_C \quad (5-35)$$

$$\text{Hồi tiếp âm} \quad R_{BH} \ll R_C / (1 - \alpha) \quad (5-36)$$

$$\text{Từ } V_{CE} \text{ tính theo (5-27): } V_{BH} = I_B R_{BH} + V_{BE} + I_E R_E$$

#### 4. Phân cực hồi tiếp từ collector: (Hình 5.27)

$P_E$  dẫn điện áp từ đầu ra (cực C) đưa ngược về đầu vào (cực B)

$$V_{BE} = V_{CE} - I_B R_B = (V_{CE} - I_E R_C) - I_B R_B$$

$$V_{BE} = V_{CE} - (I_E + I_B) R_C - I_B R_B \quad (5-37)$$

Khi nhiệt độ làm  $I_E$  tăng sẽ tác động đến đầu vào, làm  $V_{BE}$  giảm, dẫn đến  $I_E$  giảm bù lại sự biến động điểm làm việc Q do nhiệt độ.

Áp dụng định luật Ôm cho vòng  $R_C$ ,  $R_B$ ,  $V_{BE}$ , và  $I_C = \beta I_B$  nên:

$$I_B = \frac{V_{CE} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1) R_C} = \frac{V_{CE}}{R_B + (\beta + 1) R_C} \quad (5-38)$$

$$\text{Do đó: } I_E = (\beta + 1) I_B \approx \beta I_B$$

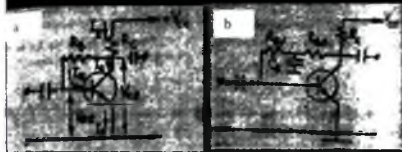
$$V_{CE} = V_{CC} - I_E R_C \quad \text{hay} \quad V_{CE} = I_B R_B + V_{BE} \approx I_B R_B$$

$P_E$  còn dẫn tín hiệu xoay chiều từ đầu ra ngược về đầu vào, gây hồi tiếp âm điện áp làm giảm hệ số khuếch đại K của mạch.  $R_B$  càng nhỏ, hồi tiếp âm càng mạnh, K càng giảm. Để tránh ảnh hưởng này, dùng tụ  $C_E$  nối ngắn mạch tín hiệu xoay chiều xuống đất không hồi tiếp xoay chiều về cực B nữa.



a/ Phân cực hồi tiếp từ collector.

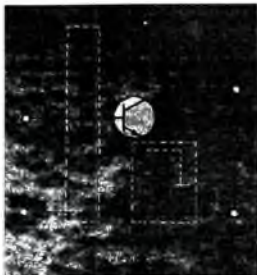
b/ Dùng  $C_E$  để khử hồi tiếp âm đến áp tin biên xoay chiều



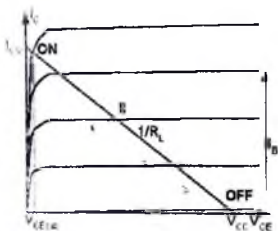
Hình 5.27. Phân cực hồi tiếp từ Collector



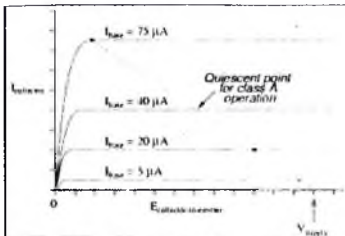
Hình 5.28. Bộ khuếch đại Transistor dùng phân cực tự động



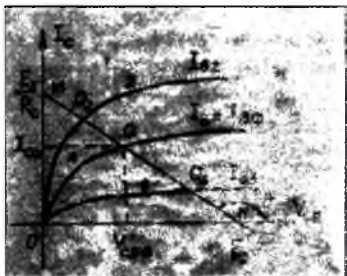
Hình 5.29. Bộ khuếch đại Transistor dùng phân cực kết hợp



Hình 5.30. Điểm làm việc tĩnh và đường tải tĩnh của mạch ra



Hình 5.31. Điểm làm việc tĩnh và đường tải tĩnh của mạch ra



Hình 5.32. Đường tải tĩnh & điểm làm việc tĩnh của mạch ra

## 9. ĐIỂM LÀM VIỆC TĨNH VÀ ĐƯỜNG TẢI TĨNH (ĐƯỜNG TẢI MỘT CHIỀU)

1. *Điểm làm việc tĩnh và đường tải tĩnh của mạch vào:* Xét mạch EC (hình 5.4): Nguồn  $E_1$  và  $R_B$  phân cực thuận cho  $J_E$ , tạo nên dòng  $I_B$  và điện áp  $V_{BE}$  có giá trị xác định  $I_{BQ}, V_{BEQ}$ .  $I_B$  và  $V_{BE}$  quan hệ với nhau theo phương trình đặc tuyến vào tĩnh (5-11):  $I_B = f(V_{BE})$

Mặt khác, áp dụng định luật Ôm cho mạch vào, ta có:

$$E_1 = I_B R_B + V_{BE}$$

Do đó:

$$I_B = -\frac{V_{BE}}{R_B} + \frac{E_1}{R_B} \Big|_{V_{CE} = \text{const}} \quad (5-39)$$

Phương trình (5-39) là phương trình bậc nhất, đồ thị là đường thẳng AB, gọi là *đường tải tĩnh của mạch vào* (Hình 5.21.). Phương trình (5-39) gọi là *phương trình đường tải tĩnh của mạch vào*.

Giao điểm của (5-11) và (5-39) là *điểm Q*, gọi là *điểm làm việc tĩnh của mạch vào* (hình 5.32). AB là *đường tải một chiều của mạch vào* (hình 5.32).

### 2. Điểm làm việc tĩnh và đường tải tĩnh của mạch ra

Nguồn  $E_2$  và  $R_C$  phân cực ngược cho  $J_C$ , tạo nên dòng  $I_C$  và điện áp  $V_{CE}$  có giá trị xác định  $I_{CQ}, V_{CEQ}$  sẽ xác định điểm Q là điểm làm việc tĩnh của mạch ra.

$I_C$  và  $V_{CE}$  quan hệ với nhau theo phương trình đặc tuyến ra tĩnh (5-12):  $I_C = f(V_{CE})$

$$V_B = \text{const}$$

Mặt khác, áp dụng định luật Ôm cho mạch ra, ta có:

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

Do đó:

$$I_C = -\frac{V_{CE}}{R_C} + \frac{E_2}{R_C} \quad (5-40)$$

Phương trình (5-40) là phương trình bậc nhất, đồ thị là đường thẳng MN, gọi là *đường tải tĩnh của mạch ra* (Hình 5.30). Phương trình (5-40) gọi là *phương trình đường tải tĩnh của mạch ra*.

Giao điểm của (5-12) và (5-40) là *điểm Q*, gọi là *điểm làm việc tĩnh của mạch ra* (hình 5.30), có tọa độ ( $V_{CEQ}$ ,  $I_{CQ}$ ).

$10\gamma = -1/R_B$ , là *độ dốc của đường tải tĩnh AB của mạch vào*;

$10\theta = -1/R_C$ , là *độ dốc của đường tải tĩnh MN của mạch ra*.

*Độ dốc của đường tải tĩnh* (mạch vào hoặc mạch ra) có giá trị tuyệt đối bằng nghịch đảo của điện trở tải tương ứng ( $R_B$  hoặc  $R_C$ ).

## 5.10. PHÂN LOẠI VÀ ỨNG DỤNG

### 1. Phân loại

Theo nền chất bán dẫn tạo nên BJT, có: *Transistor Si* và *transistor Ge*.

Theo cấu trúc miền E,B,C, phân thành hai loại: *Transistor PNP* (còn gọi là *transistor thuận*) và *transistor NPN* (còn gọi là *transistor ngược*).

Theo dải tần số làm việc, phân thành các loại: *BJT tần số thấp*, có tần số làm việc đến 3 MHz; *BJT tần số trung bình* có dải tần số làm việc từ 3MHz + 30MHz; *BJT tần số cao* có tần số làm việc lớn hơn 30MHz.

Theo công suất, chia thành các loại: *BJT công suất nhỏ*, với  $I_C < 300\text{mA}$  đến 1A. *BJT công suất trung bình* có  $I_C$  từ 1A + 3A. *BJT công suất* có  $I_C$  từ 3A + 7A. *BJT công suất lớn* có  $I_C > 7\text{A}$ .

Theo chế độ, trạng thái làm việc phân thành: *BJT khuếch đại*, *BJT chuyển mạch* (như loại DTA 144, DTC 122, ...).

Theo chức năng làm việc, được chia thành các loại như: *khuếch đại*, *dao động*, *chuyển mạch*, *phototransistor*, ...

## ***2. Ứng dụng***

BJT được sử dụng rộng rãi trong hầu hết các mạch điện tử như: mạch khuếch đại, mạch dao động, mạch ổn áp, trong các loại mạch điều khiển điện tử, trong các bộ chuyển mạch logic, mạch quang tranzito, mạch định thì, ...

## Chương VI

# TRANSISTOR TRƯỜNG

### (FIELD EFFECT TRANSISTOR - FET)

FET hoạt động dựa trên sự điều khiển độ dẫn điện của phiên bán dẫn bằng điện trường ngoài.

FET chỉ sử dụng một loại hạt dẫn (hạt đa số: điện tử hoặc lỗ) nên thuộc loại đơn cực tính (unipolar).

**Đặc điểm của FET là:** điện trở vào rất lớn ( $R_V = 10^{14} \Omega = \infty$ ), dòng vào vô cùng nhỏ ( $I_V \approx I_{Op} = 0$ ) hệ số khuếch đại lớn, tạp âm nội rất nhỏ, điều khiển bằng điện áp, tiêu thụ năng lượng rất bé, thuận tiện cho vi điện tử hoá.

FET có hai nhóm:

1) FET dùng chuyển tiếp P-N, gọi là **JFET** (*Junction FET*). JFET có hai loại: *kênh N* và *kênh P*.

2) FET có cực cửa (cực gate-G) cách ly, gọi là **IGFET** (*Isolated Gate FET*) hoặc **MOSFET** (*Metal - Oxide - Semiconductor FET*). MOSFET có hai loại: *kênh có sẵn* và *kênh cảm ứng*.

## 6.1. TRANSISTOR TRƯỜNG TIẾP XÚC P-N (JFET)

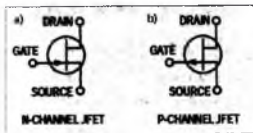
### 1. Cấu tạo

**Xét cấu tạo của JFET kênh N (Hình 6.1a):** Là thỏi Si loại N có điện trở suất khá lớn (nồng độ tạp chất tương đối thấp), có gắn hai cực: cực D (*Drain*) ở đáy trên, gọi là cực máng; cực S (*Source*) ở đáy dưới, gọi là cực nguồn.

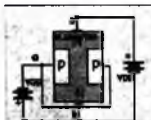
Xung quanh tạo lớp bán dẫn P, hình thành một tiếp xúc P-N (vùng nghèo). Lớp P gắn cực G (*Gate*), gọi là cực cửa (cực điều khiển). Phần thể tích còn lại của thỏi Si loại N không bị vùng nghèo

choan chỗ gọi là kênh dẫn. Ở đây, *thời bán dẫn là loại N*, nên *kênh dẫn là kênh N*.

Cấu trúc tương tự nhưng *thời bán dẫn Si là loại P*, và lớp bao quanh là loại N, ta có loại JFET kênh P. Ký hiệu của các loại JFET trên hình 6.1b.



Hình 6.1 a,b. Ký hiệu các loại JFET

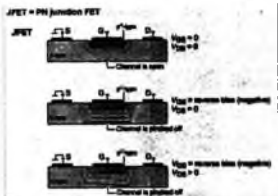


Hình 6.2. JFET kênh N



Hình 6.3. JFET kênh N

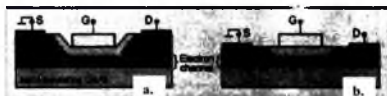




Hình 6.4. JFET - FET tiếp xúc PN

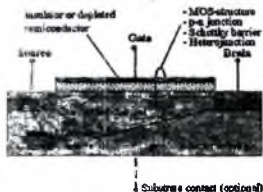


Hình 6.5. FET cực của Schottky



Hình 6.6. Cấu trúc FET có cực lõm vào (a) và không lõm vào (b)

## Principle of FET Operation



S. A. Frazee, S. V. Vashita, M. S. Bhat, *Principles of Semiconductor Devices and Circuit Simulation*, Wiley, New York, 1995

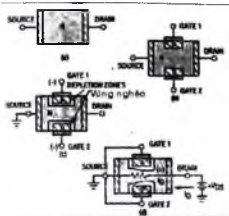
Hình 6.7. Nguyên lý hoạt động của FET

## Basic MESFET Operation

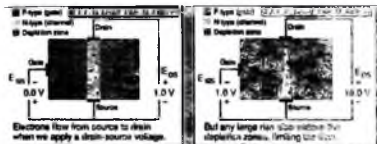


S. A. Frazee, S. V. Vashita, M. S. Bhat, *Principles of Semiconductor Devices and Circuit Simulation*, Wiley, New York, 1995

Hình 6.8. Nguyên lý hoạt động của MESFET



Hình 6.9. Tiến trình cấu trúc và hoạt động của JFET



Hình 6.10. Nguyên lý hoạt động của JFET - N

## 2. Nguyên lý làm việc

a) Xét nguyên lý làm việc của JFET kênh N (Hình 6.2) :

Nguồn  $E_D$  qua điện trở  $R_D$  đặt điện áp  $V_{DS}$  giữa cực D và cực S (phân cực thuận), gây ra dòng chuyển động qua kênh dẫn của hạt dẫn đa số trong thời Si loại N (là điện tử), tạo nên dòng mống  $I_D$ .

Nguồn  $E_G$  phân cực ngược giữa cực G và cực S làm cho bề dày vùng nghèo rộng ra, do đó kênh dẫn bị hẹp lại (càng gần cực D kênh dẫn càng hẹp hơn), dòng  $I_D$  càng giảm, điện trở kênh dẫn

càng tăng. Còn dòng giữa cực G và S chỉ là dòng ngược, rất nhỏ không đáng kể ( $I_G \approx 0$ ).

### b) Tính chất khuếch đại của FET

Ngoài điện áp phân cực  $E_G$ , nếu có tín hiệu xoay chiều  $e_s$  đặt vào giữa cực G và S thì mức phân cực ngược của tiếp xúc P-N sẽ thay đổi theo trị số và dấu của  $e_s$ . Do đó, điện trở kênh dẫn và dòng máng  $I_D$  sẽ biến đổi theo quy luật hình sin của  $e_s$ .  $I_D$  sẽ tạo trên  $R_D$  một điện áp biến đổi theo quy luật của  $e_s$ , nhưng biên độ lớn hơn rất nhiều, như vậy JFET đã khuếch đại tín hiệu.

### c) Nguyên lý làm việc của JFET kênh P (Hình 6.5):

Tương tự như nguyên lý làm việc của JFET kênh N.

*Cần chú ý:*

- Các điện áp phân cực  $E_G$ ,  $E_D$  có cực tính ngược lại.
- Dòng máng  $I_D$  là dòng chuyển dịch của các lỗ trống (là dòng của các hạt dẫn đa số) của kênh P.

## 3. Đặc tuyến vôn – ampe của JFET kênh N

### a) Đặc tuyến ra (đặc tuyến máng) (Hình 6.19)

$$I_D = f(V_{DS}) \quad \left| \quad V_{GS} = \text{const} \right. \quad (6-1)$$

- Trường hợp  $V_{GS} = 0V$ :

Tăng dần  $V_{DS}$  từ giá trị 0V, ta vẽ được đường  $I_D = f(V_{DS})$  là đường cao nhất trên hình 6.21. Đặc tuyến gồm ba vùng:

**Vùng điện trở:** đoạn OA, gần như tuyến tính với độ dốc khá lớn.

Khi  $V_{DS} = V_p$  (điểm A), vùng nghèo mở rộng choán hết vùng gần cực D, kênh dẫn bị thắt lại ở phía cực D (hình 6.21a).

$V_p$  – điện áp tắt. Điểm A – điểm bắt đầu tắt kênh, hay iếm bắt đầu bão hoà.

Vùng đặc tuyến bên trái điểm A – vùng điện trở (kênh dẫn làm việc như một điện trở).

Vùng tắt kênh (vùng bão hoà): đoạn AB, gần như nằm ngang.

Khi tiếp tục tăng  $V_{DS} > V_p$ , vùng nghèo tiếp tục mở rộng, miền kênh bị tắt trái dài về phía cực S, làm điện trở kênh dẫn càng tăng (Hình 6.21b). Vì vậy tuy  $V_{DS}$  tiếp tục tăng, nhưng  $I_D$  hầu như không thay đổi. Đoạn đặc tuyến này gần như nằm ngang, gọi là vùng tắt kênh hay vùng bão hoà.

JFET được dùng làm phần tử khuếch đại sẽ làm việc trong vùng này.

Vùng đánh thủng: Đoạn bên phải điểm B, ứng với hiện tượng đánh thủng tiếp xúc P-N xảy ra khi  $V_{DS}$  tăng quá lớn.

- Trường hợp  $V_{GS} \neq 0V$  :

Khi  $V_{GS} < 0V$  với các giá trị âm tăng dần; Mỗi đường đặc tuyến vẫn gồm ba đoạn, nhưng do có thêm tác động của  $V_{GS}$  nên: tiếp xúc P-N bị phân cực lớn hơn, điện trở kênh dẫn tăng hơn, giá trị dòng  $I_D$  càng nhỏ hơn trước.

Trị số tuyệt đối của  $V_{GS}$  càng tăng, dòng  $I_D$  càng giảm, đặc tuyến càng dịch dần về phía trục  $V_{DS}$  (phía dưới đường đặc tuyến ứng với  $V_{GS} = 0V$ ). Điểm bắt đầu tắt kênh của mỗi đặc tuyến (A, A1, A2,...) dịch dần về phía trái. Điểm bắt đầu đánh thủng của mỗi đặc tuyến (B, B1, B2,...) cũng dịch dần về phía trái (xem hình 6.22).

#### b) Đặc tuyến truyền đạt

$$I_D = f(V_{GS}) \quad \left| \quad V_{DS} = \text{const} \quad (6-2)$$

Đặc tuyến truyền đạt có thể xây dựng từ thực nghiệm hoặc ngoại suy từ họ đặc tuyến ra; phản ánh quá trình điện trường điều khiển

dòng điện mùng ( $I_D$ ): Khi trị tuyệt đối của  $V_{GS}$  càng tăng, vùng nghèo càng mở rộng, kênh dẫn càng hẹp, R kênh dẫn càng tăng,  $I_D$  càng giảm. Khi  $V_{GS}$  đạt đến  $V_P$  thì  $I_D$  giảm bằng không (xem hình 6.23).

#### 4. Các tham số đặc trưng

a) Điện trở vi phân ngõ ra  $r_D$  (điện trở kênh dẫn):

$$r_D = \left. \frac{\partial V_{DS}}{\partial I_D} \right|_{V_{GS} = \text{const}} \quad (6-3)$$

Là nghịch đảo độ dốc đặc tuyến ra. Khi làm việc trong vùng bão hoà (thắt kênh),  $r_D$  khá lớn (cỡ 500KΩ).

b) Hồ dẫn  $g_m$  (độ dốc đặc tuyến truyền đạt)

$$g_m = \left. \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \right|_{V_{DS} = \text{const}} \quad (6-4)$$

$g_m$  phản ánh ảnh hưởng của  $V_{GS}$  đến  $I_D$ . Thường JFET có  $g_m = (7+10) \text{ mA/V}$ .

c) Điện trở vi phân ngõ vào  $r_i$  (điện trở vào)

$$r_i = \left. \frac{\partial V_{GS}}{\partial I_G} \right|_{V_{DS} = \text{const}} \quad (6-5)$$

Ngõ vào JFET là tiếp xúc P-N được phân cực ngược nên  $I_G$  rất bé (cỡ 0,1μA), do đó  $r_i$  rất lớn (cỡ 10+100MΩ).

d) Hệ số khuếch đại tình  $\mu$

$$\mu = \left. \frac{\partial V_{DS}}{\partial V_{GS}} \right|_{I_D = \text{const}} \quad (6-6)$$

$\mu$  so sánh mức độ ảnh hưởng của  $V_{DS}$  và  $V_{GS}$  đối với  $I_D$ . Hệ số  $\mu$  càng lớn, tác động điều khiển của  $V_{GS}$  đến  $I_D$  càng nhạy so với  $V_{DS}$ .

## 5. Phân cực cho JFET

Cách phân cực thường dùng là phân cực tự động (hình 6.24). Xét mạch JFET kênh N:

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D$$

$$V_S = I_D R_S$$

$$\text{Do đó: } V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_D + R_S) \quad (6-7)$$

Ở cực G, tiếp xúc P-N phân cực ngược nên  $I_G \approx 0$ , do đó  $V_G = 0$ .  $R_G$  có trị số rất lớn (khoảng  $1-10M\Omega$ )

Điện áp phân cực ngõ vào là:

$$V_{GS} = V_G - V_S = 0V - I_D R_S \quad (6-8)$$

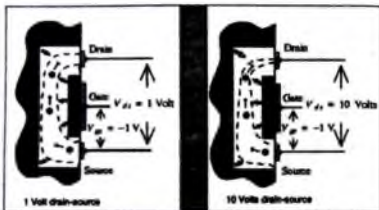
Phương trình đường tải tĩnh là:

$$I_D = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_D + R_S} \quad (6-9)$$

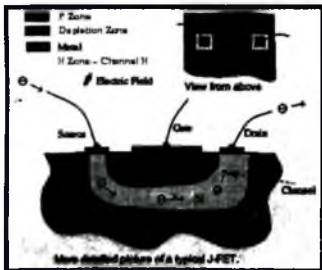
Cách xác định đường tải tĩnh của mạch dùng JFET vẽ trên hình 6.29, tương tự như của BJT.



Hình 6.11. Nguyên lý làm việc của JFET - N

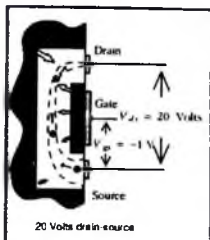


Hình 6.12. Nguyên lý hoạt động của JFET - N  
 $V_{gs} = -1V, +10V$

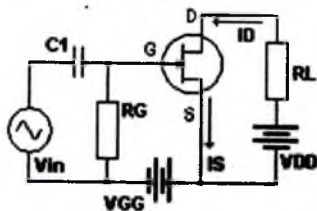


Hình 6.13. Nguyên lý hoạt động của JFET - N

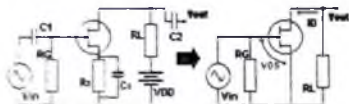




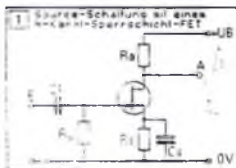
Hình 6.14. Nguyên lý hoạt động của JFET - N  
 $V_{gs} = -1 \text{ V}$ ,  $V_{ds} = +20 \text{ V}$



Hình 6.15. Tính chất khuếch đại của FET - N



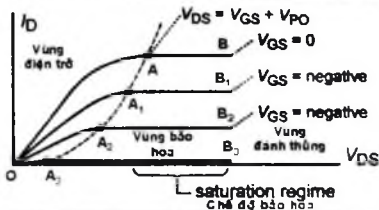
Hình 6.16. MKĐ mắc SC dùng tụ  $C_S$  khử hồi tiếp âm AC



Hình 6.17. Tính chất khuếch đại của FET - N



Hình 6.18. Cách mắc và tính chất KĐ của JFET



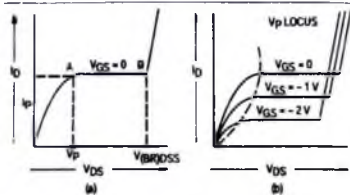
Hình 6.19. Đặc tuyến ra - Đặc tuyến máng

$I_{ds}$  = drain-source current  $V_{ds}$  = drain-source voltage  $V_{gs}$  = gate-source voltage

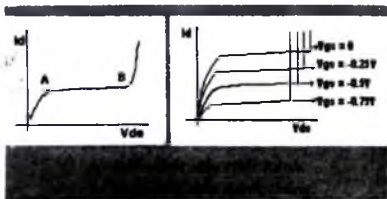


Characteristic curves for a typical N-channel JFET.

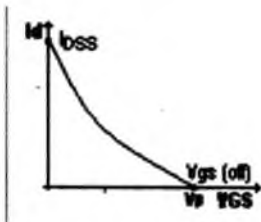
Hình 6.20. Đặc tuyến ra - Đặc tuyến máng



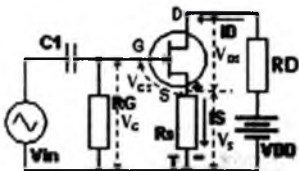
Hình 6.21. Đặc tuyến ra - Đặc tuyến máng



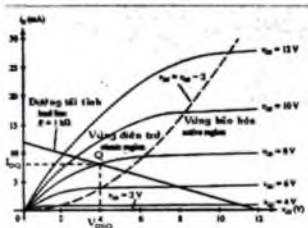
Hình 6.22. Đặc tuyến máng



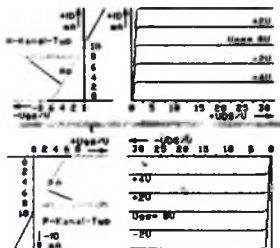
Hình 6.23. Đặc tuyến truyền đạt



Hình 6.24. Phân cực tự động JFET



Hình 6.25. Xác định đường tải tĩnh và điểm tĩnh Q của JFET



Hình 6.26. Đặc tuyến V-A của JFET

## 6.2. TRANSISTOR TRƯỜNG LOẠI MOSFET (*Metal–Oxide–Semiconductor FET*)

### 1/ MOSFET kênh có sẵn

a) *Cấu tạo* (hình 6.28.) tạo lên trên bề mặt phiến Si loại P một lớp bán dẫn N (nồng độ thấp) dùng làm kênh dẫn. Ở hai đầu, tạo hai miền bán dẫn N<sup>+</sup> nồng độ cao làm cực D và S. Trên mặt phiến SiP phủ màng SiO<sub>2</sub> cách điện và bảo vệ. Phía trên màng SiO<sub>2</sub>, đối diện với kênh dẫn, dùng phương pháp phun chân không phủ lên một lớp kim loại dùng làm cực cửa (G). Khoét hai lỗ qua lớp SiO<sub>2</sub>, phun kim loại tạo tiếp xúc với 2 miền N<sup>+</sup> làm đầu ra cực S và D. Đáy phiến SiP gắn cực đế SUB (*Substrate*). Cực SUB (còn gọi là cực nền) thường nối với cực S.

b) *Nguyên lý hoạt động* (hình 6.42.): Xét MOSFET-N:

- Khi  $V_{DS} > 0$  (do nguồn  $E_D$  cấp) và  $V_{GS} = 0$ : Qua kênh dẫn có dòng  $I_D \neq 0$ , là dòng hạt đa số (điện tử) trong kênh dẫn.

- Khi  $V_{GS} < 0$  (Chế độ nghèo - *Depletion*): Cực G và kênh dẫn như một tụ điện mà lớp SiO<sub>2</sub> là điện môi. Cực G tích tụ điện tích -, cực đối diện (mặt dưới lớp SiO<sub>2</sub>) là kênh dẫn tích tụ điện tích +. Các điện tích + tái hợp với điện tử, làm giảm nồng độ hạt dẫn  $e$  trong kênh, điện trở kênh tăng, dòng  $I_D$  giảm. Do đó gọi là chế độ nghèo - *Depletion*.

- Khi  $V_{GS} > 0$  (Chế độ giàu - *Enhancement*): Diễn biến ngược lại, khi  $V_{GS}$  càng tăng, nồng độ hạt dẫn trong kênh càng tăng, điện trở kênh dẫn càng giảm, do đó dòng  $I_D$  càng tăng. Chế độ làm việc này gọi là chế độ giàu - *Enhancement*.

- Tóm lại: Khi  $V_G = 0$ , MOSFET kênh có sẵn đã có  $I_D \neq 0$ . Cực tính của  $V_{GS}$  (+ hoặc -) sẽ xác định chế độ làm việc giàu hay

nghèo của MOSFET loại này; Thay đổi giá trị của  $V_{GS}$  ta có thể điều khiển dòng  $I_D$  tăng hoặc giảm. Nếu có tín hiệu xoay chiều  $e_s$  đưa đến đầu vào thì dòng  $I_D$  sẽ biến đổi theo  $e_s$ , và trên tải  $R_D$  ở đầu ra sẽ có tín hiệu đã được khuếch đại.

## 2/ MOSFET kênh cảm ứng

a) *Cấu tạo*: (Hình 6.29.) Trên bề mặt phiến SiP tạo 2 vùng bán dẫn N nồng độ cao ( $N^+$ ) cách ly nhau, gọi là *kênh cách ly*. Mặt trên kênh dẫn phủ màng  $SiO_2$  cách điện và bảo vệ. Khoét 2 lỗ qua lớp  $SiO_2$ , tạo tiếp xúc với 2 miền  $N^+$  làm đầu ra cực S và D. Cực G tiếp xúc kim loại với mặt trên lớp  $SiO_2$ . Cực đế SUB (còn gọi là *cực nền*) thường nối với cực S.

b) *Nguyên lý hoạt động* (hình 6.42.): xét MOSFET cách ly kênh N :

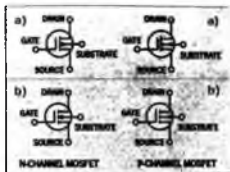
- Do kênh cách ly, nên bình thường dòng  $I_D$  qua kênh bằng 0, điện trở kênh  $R_{DS}$  rất lớn.

- Khi  $V_{GS} > 0$ : Điện tích + tích tụ ở cực G, điện tích - cảm ứng sẽ tích tụ ở phía đối diện màng  $SiO_2$  giữa hai vùng  $N^+$ . Khi  $V_{GS}$  còn nhỏ, lượng điện tích bị lỗ trống của phiến  $SiO_2$  tái hợp. Khi  $V_{GS}$  đủ lớn, vượt qua ngưỡng  $V_T$ , lượng điện tích - đáng kể, tạo nên kênh dẫn N nối liền hai vùng  $N^+$ ; Do đó, khi xuất hiện kênh dẫn, điện trở kênh  $R_{DS}$  giảm, dòng  $I_D$  tăng lên.

Khi  $V_{GS}$  càng tăng, nồng độ điện tích - trong kênh càng tăng và dòng  $I_D$  càng lớn. Chế độ này gọi là *chế độ giàu*.

- Khi đặt điện áp tín hiệu  $e_s$  chồng lên  $V_{GS}$ , nó sẽ điều khiển nồng độ điện tích - cảm ứng trong kênh và, do đó, điều khiển dòng  $I_D$  tăng giảm. Trên điện trở  $R_D$  và trên tải  $R_L$  ta sẽ có điện áp đã khuếch đại của tín hiệu vào  $e_s$ .

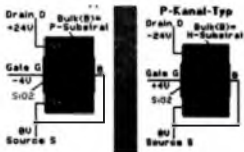




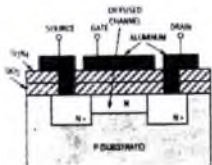
Hình 6.27 a, b. Ký hiệu MOSFET



Hình 6.28. Cấu tạo và ký hiệu MOSFET



Hình 6.29. Cấu tạo của MOSFET

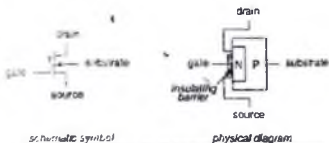


Hình 6.30. Cấu tạo MOSFET



Hình 6.31. Mặt cắt và ký hiệu MOSFET - N

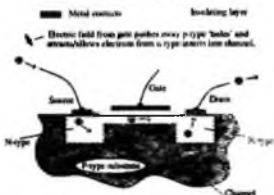
*N-channel, D-type IGFET*



Hình 6.32. D-IGFET kênh N



Hình 6.33. Sơ đồ mô tả MOSFET



Hình 6.34. Cấu tạo MOSFET



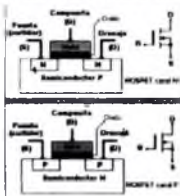
Hình 6.35. Đặc tuyến V-A của D-MOS kênh N



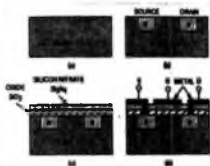
Hình 6.36. Sơ đồ trình bày MOSFET



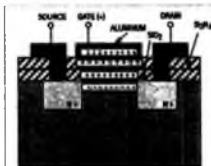
Hình 6.37. Đặc tuyến V-A của D-MOS kênh P



Hình 6.38. Cấu tạo của MOSFET kênh cảm ứng N & P



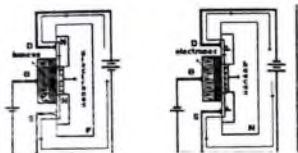
Hình 6.39. Trình tự triển khai cấu trúc E-MOSFET kênh N



Hình 6.40. Cấu tạo của MOSFET kênh P

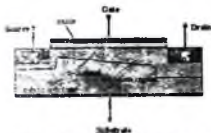


Hình 6.41. Cấu tạo của E-MOSFET



Hình 6.42. Nguyên lý hoạt động của MOSFET kênh cảm ứng

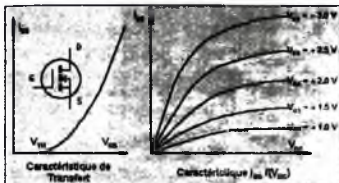
### Basic MOSFET Operation



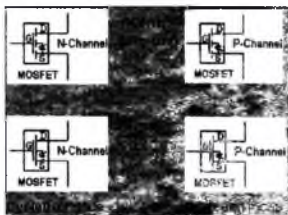
Hình 6.43. Nguyên lý vận hành của MOSFET



Hình 6.44. Đặc tuyến V-A của E-MOS kênh N



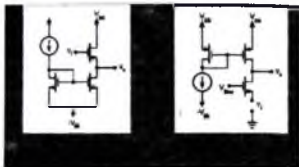
Hình 6.45. Đặc tuyến V-A của E-MOS kênh P



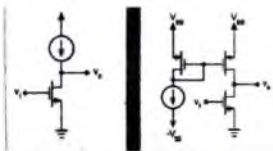
Hình 6.46. Cấu trúc MOSFET



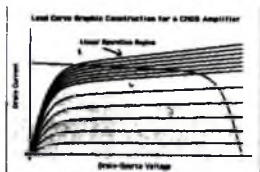
Hình 6.47. Công nghệ CMOS



Hình 6.48. Bộ khuếch đại NMOS



Hình 6.49. Bộ khuếch đại NMOS có nguồn chung



Hình 6.50. Đồ thị đường tải của bộ khuếch đại NMOS



### 6.3. ĐẶC ĐIỂM CHUNG CỦA FET (so với BJT)

1/ FET là linh kiện điều khiển bằng điện áp, dựa trên sự điều khiển điện trở kênh dẫn bằng điện trường. (Còn BJT là linh kiện điều khiển bằng dòng  $I_B$ ).

2/ FET là linh kiện đơn cực tính, linh kiện 1 tiếp xúc P-N, do dòng mống  $I_D$  chỉ tạo nên bởi một loại hạt dẫn là hạt đa số của kênh dẫn. Tham số của FET ít chịu ảnh hưởng của nhiệt độ, do hạt thiểu số không có vai trò hoạt động. Quá trình sinh sản và tái hợp của 2 loại hạt dẫn không xảy ra. Tạp âm nội của FET nhỏ hơn của BJT.

3/ Điện trở vào của FET rất lớn, dòng vào gần như bằng không, nên mạch vào gần như không tiêu thụ năng lượng. Thích hợp dùng để khuếch đại các nguồn tín hiệu yếu, nguồn có nội trở lớn.

4/ Cực S và cực D có thể đổi vị trí cho nhau, nhưng tham số của FET không thay đổi đáng kể.

5/ Dựa trên công nghệ MOS nên kích thước của các cực S, G, D có thể rất nhỏ, do đó, thể tích của FET được thu nhỏ đáng kể, nên rất thông dụng trong các vi mạch có mật độ tích hợp cao.

6/ FET có thể mắc theo ba sơ đồ cơ bản: Nguồn chung (SC), Máng chung (DC), và Cửa chung (GC). Sơ đồ DC (giống sơ đồ CC của BJT) có:  $R_i$  rất lớn,  $R_o$  rất nhỏ, Vo đồng pha và gần bằng Vi. Mạch GC thực tế ít dùng.

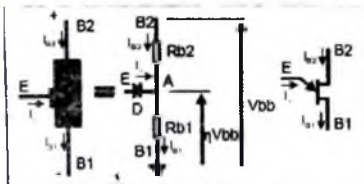
## Chương VII

# TRANSISTOR ĐƠN TIẾP GIÁP VÀ CÁC LOẠI TRANSISTOR ĐẶC BIỆT (UNIJUNCTION TRANSISTOR - UJT)

### 7.1. TRANSISTOR ĐƠN TIẾP GIÁP - UJT

#### 7.1.1. Cấu tạo và ký hiệu

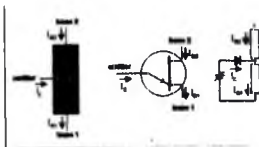
*Cấu tạo UJT* (hình 7.1): Thanh bán dẫn loại N ít tạp chất, có điện trở liên nền  $R_{BB}$  (khoảng vài  $K\Omega$  đến vài chục  $K\Omega$ ). Hai đầu có tiếp xúc kim loại, tạo thành 2 cực nền  $B_2$  và  $B_1$ . Một miền bán dẫn P nhỏ khuếch tán vào một vùng trên thanh bán dẫn N, tạo thành tiếp xúc P-N (như diốt); Cực gắn vào miền P là cực E.



Hình 7.1. Cấu tạo và ký hiệu UJT

*Ký hiệu của UJT*: Hình 7.2 là UJT loại N, gồm 3 cực E,  $B_1$  và  $B_2$ . Hình 7.3 là UJT loại bổ phụ – CUJT (Complementary UJT), là UJT loại P, có thanh bán dẫn nền loại P, miền E là loại N.

Chiều các dòng điện  $I_E$ ,  $I_{B2}$ ,  $I_{B1}$  vẽ trên hình 7.4:  $I_{B1} = I_E + I_{B2}$



Hình 7.2. Cấu tạo và ký hiệu UJT - N

### 7.1.2. Nguyên lý làm việc, đặc tuyến Von-Ampe

UJT được trình bày như mạch tương đương hình 7.6. UJT được phân cực để hoạt động như sau: Nguồn  $+V_{BB}$  đặt vào 2 cực  $B_2B_1$  (Cực  $B_1/+$ ). Nguồn  $V_E$  đặt giữa 2 cực  $E-B_1$  (cực  $E/+$ ).

Điện áp đặt lên vùng  $B_1$  bằng:

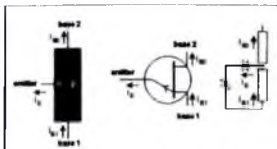
$$V_{B1} = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{BB} = \frac{R_{B1}}{R_{BB}} V_{BB}$$

Khi đặt:  $\eta = \frac{R_{B1}}{R_{BB}}$   $\eta$  là hệ số nội suy điện áp, ta có:

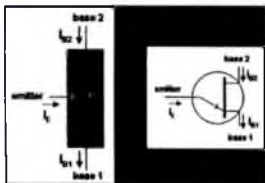
$$V_{B1} = \eta V_{BB}$$

Khi  $V_E < V_{B1}$ : Diốt D phân cực ngược, dòng ngược  $I_{EO}$  qua tiếp xúc  $E-B_1$  rất nhỏ (cỡ vài  $\mu A$ ); Dòng  $I_{B2}$  qua  $R_{BB}$  cũng rất nhỏ (vài  $\mu A$ ). Do đó UJT ngắt.

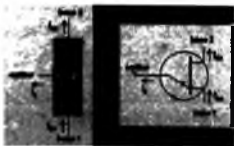
Khi  $V_E$  tăng dần đến  $V_E = V_P$ . Khi điện áp đỉnh  $V_P$  có giá trị:  $V_P = \eta V_{BB} + V_Y$ ; D phân cực thuận, dòng thuận  $I_F$  (dòng đỉnh) qua tiếp xúc P-N đổ vào vùng  $B_1$ . Lúc này, vùng  $B_1$  gia tăng hạt dẫn, điện trở vùng  $B_1$  giảm, điện áp  $V_{B1}$  giảm,  $I_E$  tăng khá lớn (chỉ bị giới hạn bởi mạch ngoài). Lúc này tiếp xúc  $E-B_1$  dẫn điện (như diốt), UJT chuyển sang dẫn.



Hình 7.3. Cấu tạo và ký hiệu UJT - P (CUJT)



Hình 7.4. Chiều các dòng điện trong UJT - N



Hình 7.5. Chiều các dòng điện trong UJT - P (CUJT)

Xét đặc tuyến V-A của UJT (hình 7.7):  $I_E = f(V_E)$

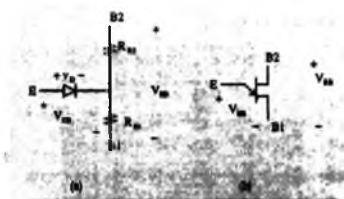
Điểm  $P(I_P, V_P)$  : Điểm đỉnh, là khởi điểm của đoạn điện trở âm (đoạn  $V_E$  giảm,  $I_E$  tăng), UJT chuẩn bị dẫn. Điểm  $V(I_V, V_V)$  : Điểm trung, là điểm kết thúc quá trình quá độ, UJT chuyển sang dẫn.

Đoạn PV của đặc tuyến, là vùng điện trở âm, quá trình này rất nhanh, khó quan sát.

Khi UJT dẫn, dòng  $I_E$  chủ yếu phụ thuộc vào điện trở mạch ngoài ( $R_E$ , hoặc  $R_{B1}$ ), ứng với đoạn VM trên đặc tuyến; Trên đoạn này,  $I_E$  tăng, điện áp  $V_E$  tăng dần do sụt áp do dòng  $I_E$  chạy qua điện trở rất nhỏ của vùng  $B_1$  tạo nên.

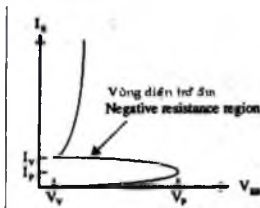
Điện áp liên nền cho phép:  $V_{BB} \leq 35V$ .

UJT được dùng trong mạch khuếch đại, dùng làm mạch dao động tích thoát.



Hình 7.6. Mạch tương đương (a) và ký hiệu (b) của UJT

## Đặc tuyến V-A của UJT



Hình 7.7. Đặc tuyến Volt - Amper của UJT

### 7.1.3. Thông số kỹ thuật của UJT

1/ **Điện trở liên nền ( $R_{BB}$ ):** là trị số điện trở giữa 2 cực nền  $B_1$  và  $B_2$ , khi cực E hở.  $R_{BB}$  khoảng vài K $\Omega$  đến 10K $\Omega$ .

2/ **Hệ số nội suy điện áp ( $\eta$ ):** là tỉ số:  $\eta = \frac{R_{B1}}{R_{BB}}$ ,  $R_{B1}$  – Điện trở vùng cực nền  $B_1$ .

Từ  $\eta$  có thể xác định được trị số điện áp  $V_{B1}$  đặt lên trên vùng cực nền  $B_1$ :  $V_{B1} = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{BB} = \frac{R_{B1}}{R_{BB}} V_{BB} = \eta \cdot V_{BB}$

3/ **Điện áp điểm đỉnh ( $V_P$ ):** là điện áp nhỏ nhất phân cực thuận cho điốt E- $B_1$  khi hai cực nền  $B_1$ - $B_2$  nối với nguồn  $V_{CC}$ :

$$V_P = V_{B1} + V_Y = \eta \cdot V_{CC} + V_Y$$

Ở thời điểm này, UJT chuẩn bị dẫn.





Hình 7.9. Mạch tích thoát dùng UJT



Hình 7.10. Mạch tích thoát dùng UJT

#### 7.1.4 . Ứng dụng của UJT

UJT được dùng làm *mạch tích thoát* (hình 7.9), để tạo xung kim (xung hẹp có thời gian rất ngắn).

- Lúc mới cấp nguồn  $+V_{BB}$  : Tụ  $C_E$  chưa nạp,  $V_E = 0$ , UJT tắt,  $I_{B2}$  và  $I_{B1}$  rất nhỏ,  $V_{B2} = V_{BB}$  và  $V_{B1} = 0$ . Sau đó, tụ  $C_E$  bắt đầu nạp từ nguồn  $V_{BB}$  qua  $R_E$ ,  $V_E$  tăng dần.

- Sau thời gian  $T_1$ ,  $V_E$  đạt đến giá trị  $V_P$ , UJT dẫn, tụ  $C_E$  phóng điện qua tiếp xúc E-B<sub>1</sub> tạo 1 xung kim có biên độ  $V_{B1}$  trên  $R_{B1}$ ; Và do điện trở vùng B<sub>1</sub> giảm,  $I_{B2}$  tăng, sụt áp trên  $R_{B2}$  ( $V_{RB2} = I_{B2} \times R_{B2}$ ) tăng, nên  $V_{B2}$  giảm. Do điện trở vùng B<sub>1</sub> rất nhỏ và  $R_{B1}$  nhỏ nên  $C_E$  phóng rất nhanh,  $I_E$  giảm nhanh xuống 0,  $V_E$  giảm nhanh xuống mức  $V_V$ ; Lúc

204



này tiếp xúc E-B<sub>1</sub> phân cực ngược, UJT tắt, V<sub>B1</sub> giảm đến 0, V<sub>B2</sub> lại tăng đến V<sub>BB</sub>.

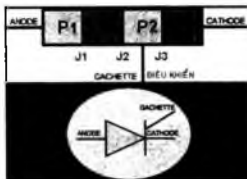
Sau đó, C<sub>E</sub> lại nạp từ mức V<sub>V</sub> lên đến mức V<sub>F</sub> và quá trình tạo xung kim trên B<sub>2</sub> và B<sub>1</sub> tiếp tục lặp lại như trên. Xung kim lấy ra trên cực B<sub>2</sub> và B<sub>1</sub> ngược pha nhau.

## 7.2. THYRISTOR – SCR (Silicon Controlled Rectifier)

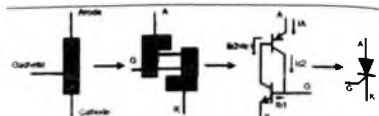
### 7.2.1. Cấu tạo

Thyristo được chế tạo từ 4 lớp bán dẫn P-N-P-N đặt xen kẽ nhau, như hình 7.11, 7.12. Giữa các lớp bán dẫn hình thành các chuyển tiếp lần lượt là J<sub>1</sub>, J<sub>2</sub>, J<sub>3</sub>.

Thyristo là dụng cụ có ba cực, ký hiệu là A - anôt, K - catôt và G - cực điều khiển. Các anôt nối với phần bán dẫn P trước, catôt nối với phần bán dẫn N sau, cực điều khiển được nối với phần bán dẫn P sau (hình 7.11).



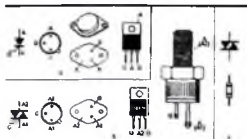
Hình 7.11. Cấu tạo của Thyristo



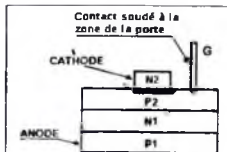
Hình 7.12. Sơ đồ tương đương và ký hiệu Thyristor

### 7.2.2 . Nguyên lý làm việc

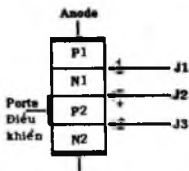
Có thể xem Thyristor được tạo ra từ hai tranzitor :  $P_1 N_1 P_2$  và  $N_1 P_2 N_2$  thể hiện trên hình 7.13, 7.14, 7.15



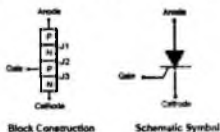
Hình 7.13. Hình dạng thực tế của Thyristor



Hình 7.14a. Sơ đồ cấu trúc của SCR



Hình 7.14b. Các miền bán dẫn, các cực và các tiếp xúc của SCR



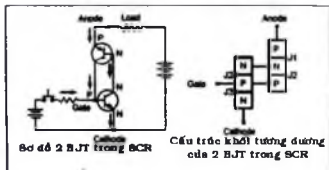
Hình 7.15. Cấu trúc khối và ký hiệu của SCR



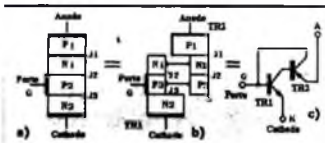
Hình 7.16. Các loại Thyristo và TRIAC trong thực tế



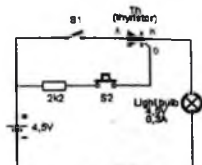
Hình 7.17. Hình dạng thực tế của Thyristo và Triac



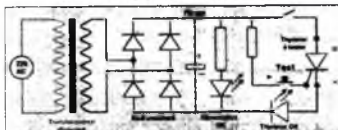
Hình 7.18. Cặp đôi BJT trong SCR



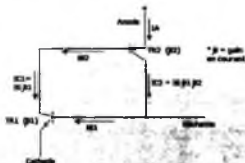
Hình 7.19. Phân tích cấu trúc của Thyristor



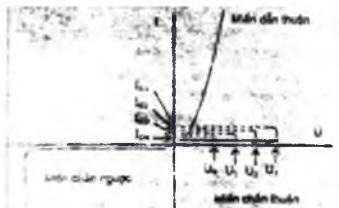
Hình 7.20. Nguyên lý làm việc của SCR



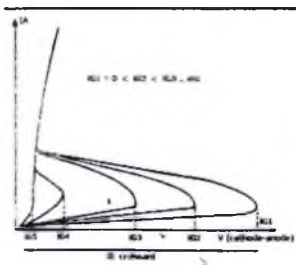
Hình 7.21. Cách thử SCR



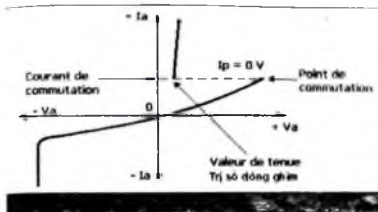
Hình 7.22. Kích khởi SCR



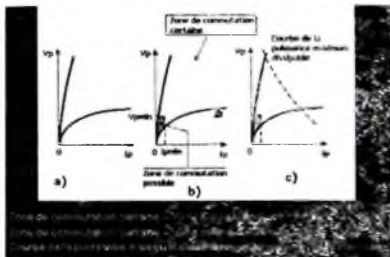
Hình 7.23. Đặc tuyến V-A của SCR



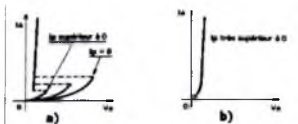
Hình 7.24. Sự phụ thuộc vào điện áp ngược  $V_{K-A}$  vào  $I_F$



Hình 7.25. Đặc tuyến anôt của SCR khi  $I_p = 0$

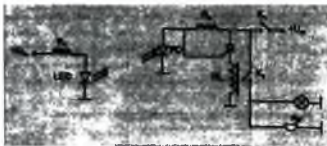


Hình 7.26. Đặc tuyến điều khiển của SCR

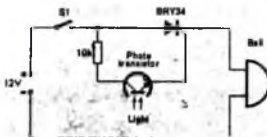


**Hình 7.27.** Đặc tuyến a nốt của SCR khi  $I_g > 0$

### Mạch ứng dụng SCR

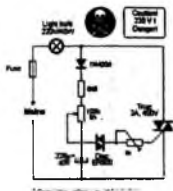


**Hình 7.28.** Mạch báo động dùng SCR

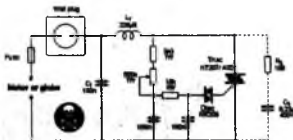


**Hình 7.29.** Mạch báo động dùng SCR và dùng Trasitor quang





Hình 7.30. Mạch nháy - Flasher



Hình 7.31. Mạch điều chỉnh độ sáng đèn dây tóc hoặc tốc độ motor

### 7.2.3. Đặc tuyến von-ampe của Thyristo

Đặc tuyến chia làm bốn miền : miền dẫn thuận, miền dẫn ngược, miền chặn thuận, miền chặn ngược.

- Trường hợp phân cực ngược Thyristo với  $U_{AK} < 0$ . Đặc tuyến ở đoạn này có thể coi như hai điốt phân cực ngược mắc nối tiếp ( $J_1$  và  $J_3$ ). Dòng qua Thyristo chính là dòng rò ngược của điốt. Nếu tăng điện áp ngược đến một giá trị nhất định thì hai tiếp giáp  $J_1$  và  $J_3$  sẽ lần lượt bị đánh thủng, dòng ngược qua Thyristo tăng lên đột ngột. Nếu không

có biện pháp ngăn chặn, dòng ngược này sẽ làm hỏng Thyristo. Vùng đặc tuyến ngược của Thyristo trước khi bị đánh thủng gọi là miền chặn ngược

- Trường hợp phân cực thuận Thyristo với  $U_{AK} > 0$

+ Khi cực điều khiển G hở mạch ( $I_G = 0$ ), tiếp giáp  $J_1$  và  $J_3$  lúc này được phân cực thuận còn  $J_2$  phân cực ngược. Khi  $U_{AK}$  còn nhỏ, dòng qua Thyristo quyết định chủ yếu bởi dòng rò ngược qua  $J_2$ . Xét chung cho cả Thyristo thì dòng điện chảy qua Thyristo lúc này là dòng rò thuận  $I_{Fx}$ . Giá trị điển hình của dòng rò thuận ( $I_{Fx}$ ) là dòng rò ngược ( $I_{Rx}$ ) khoảng  $100\mu A$ . Nếu  $I_G = 0$  thì dòng rò thuận giữ nguyên giá trị ban đầu. Khi tăng  $U_{AK}$  lên tới giá trị xấp xỉ điện áp đánh thủng chuyển tiếp  $J_2$  (gọi là điện áp đánh thủng thuận  $U_{BE}$ ) thì dòng  $I_C$  trong Thyristo đủ lớn làm cho hai tranzito trong sơ đồ tương đương mở và lập tức chuyển hẳn sang trạng thái bão hòa. Thyristo chuyển sang trạng thái mở, nội trở của nó đột ngột giảm đi, điện áp sụt giữa hai cực A và K, KDTT cũng giảm xuống đến giá trị  $U_E$  gọi là điện áp dẫn thuận. Phương pháp chuyển Thyristo từ khóa sang mở bằng cách tăng dần  $U_{AK}$  gọi là kích mở bằng điện áp thuận.

+ Khi  $I_G \neq 0$ , nghĩa là giữa cực G và cực K có một điện áp sao cho  $J_3$  phân cực thuận. Dòng  $I_G$  do  $U_{GK}$  cung cấp sẽ cùng với dòng ngược vốn có trong Thyristo  $I_{C0}$  làm cho  $T_2$  có thể mở ngay với điện áp  $U_{AK}$  nhỏ hơn nhiều với giá trị kích thích mở lúc  $I_G = 0$ . Dòng  $I_G$  càng lớn thì  $U_{AK}$  cần thiết tương ứng để mở Thyristo càng nhỏ. Chú ý rằng, nếu ngay từ đầu điện áp  $U_{GK}$  đã cung cấp một dòng  $I_G$  lớn hơn dòng mở cực tiểu của  $T_2$  nhưng điện áp  $U_{AK}$  vẫn chưa đủ lớn để phân cực cho  $T_1$  và  $T_2$  thì Thyristo cũng vẫn chưa mở.

Như trên đặc tuyến của Thyristo mức dòng điều khiển  $I_G$  tăng từ  $I_{G1}$  đến  $I_{G4}$  tương ứng với mức điện áp  $U_{AK}$  giảm xuống từ  $U_1$  tới  $U_4$ . Đây là phương pháp kích mở Thyristo bằng dòng trên cực điều khiển. Điện áp dẫn thuận  $U_F$  có thể viết  $U_F = U_{BE1} + U_{BE2} = U_{BE2} + U_{CE1}$ . Đối với vật liệu silic thì điện áp bão hòa của tranzito silic vào cỡ  $0,2V$  còn  $U_{BE}$ , như đã biết, vào cỡ  $0,7V$ . Như vậy, suy ra  $U_F = 0,9V$ . Trên phần

đặc tuyến thuận, phần mà Thyristo chưa mở, gọi là miền chặn thuận, miền Thyristo đã mở gọi là miền dẫn thuận. Quan sát miền chặn thuận và miền chặn ngược của Thyristo thấy nó có dạng giống như đặc tuyến của điôt chỉnh lưu thông thường.

Sau khi các điều kiện kích thích mở kết thúc, nguồn duy trì cho Thyristo luôn mở thì phải đảm bảo cho dòng thuận  $I_E$  lớn hơn một giá trị nhất định gọi là dòng ghim  $I_G$  (là giá trị cực tiểu của dòng thuận  $I_E$ ). Nếu trong quá trình Thyristo mở,  $I_G$  vẫn được duy trì thì giá trị dòng ghim tương ứng sẽ giảm đi khi dòng  $I_G$  tăng. trong các sổ tay thuyết minh các nhà sản xuất còn ký hiệu  $I_{HC}$  để chỉ dòng ghim khi cực G hở mạch và  $I_{HX}$  để chỉ dòng ghim đặc biệt khi giữa cực G và K được nối nhau bằng điện trở phân cực đặc biệt.

#### 7.2.4. Tham số của Thyristo

Hai cặp tham số quan trọng cần chú ý khi chọn các Thyristo là dòng điện và điện áp cực đại mà Thyristo có thể làm việc không bị đánh thủng ngược và đánh thủng thuận như đã trình bày ở trên. Điện áp dẫn thuận cực đại đảm bảo cho Thyristo chưa mở theo chiều thuận chính là điện áp thuận, điện áp này thường được ký hiệu là  $U_{FOM}$  hoặc  $U_{RSM}$  đối với trường hợp G nối với điện trở phân cực. Với ý nghĩa tương tự, người ta định nghĩa điện áp chặn ngược cực đại là  $U_{FOM}$  hoặc  $U_{RSM}$ , dòng điện thuận cực đại là  $I_{FOM}$  hoặc  $I_{RSM}$ .

Công suất tổn hao cực đại  $F_{AM}$  là công suất lớn nhất cho phép khi Thyristo hoạt động bình thường.

Điện áp cực không chế  $U_G$  là mức điện áp ngưỡng cần để mở Thyristo khi  $U_{AK} = 6V$ .

Nhưng tham số vừa nêu trên đây thường được cho trong các sổ tay linh kiện ở nhiệt độ  $25^\circ C$ .

Với các Thyristo làm việc ở chế độ xung tần số cao còn phải quan tâm đến thời gian đóng mở Thyristo  $t_m$  là thời gian chuyển từ trạng thái đóng sang trạng thái mở và  $t_d$  là thời gian chuyển từ trạng thái mở sang trạng thái đóng của Thyristo.

### 7.2.5. Một ứng dụng của Thyristo : mạch báo động

Sơ đồ nguyên lý mạch được trên hình vẽ 7.29

*Mạch báo động sử dụng Thyristo*

- Bình thường ánh sáng phát ra từ LED được PD (điốt thu quang) nhận, làm cho PD dẫn bão hòa nên sụt áp qua  $R_2$  nhiều dẫn đến  $V_G$  của SCR thấp nên SCR tắt.

- Khi có người đi ngang qua khu vực giữa LED và PD thì PD tắt (do bị che ánh sáng) nên không còn sụt áp qua  $R_2$ , lúc này áp  $+U_{CC}$  đi qua  $R_2$  đến G lớn đủ ngưỡng kích cho SCR làm cho SCR dẫn nên role hoạt động làm đóng công tắc  $K_2$  kích hoạt còi báo hoặc sáng đèn. Do tính tự giữ của SRC, nên SRC vẫn dẫn khi tiếp tục có người lướt ngang LED và PD trong một tích tắc thì PD dẫn trở lại làm cho  $V_G$  sụt thấp làm mất áp kích cho SCR. Muốn làm tắt SCR thì ta phải hở công tắc  $K_1$  ra.

Thyristo còn được sử dụng trong mạch không chế như mạch không chế xung, mạch không chế pha.

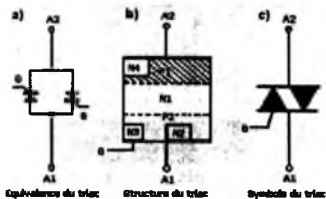
## 7.3. TRIAC

### 7.3.1. Cấu tạo

**TRIAC**– Triode AC Semiconductore Switch, Công tắc bán dẫn xoay chiều ba cực.

Gồm các lớp bán dẫn P,N (6 lớp) ghép nối tiếp nhau như hình 7.32b. Có ba chân: T2, T1 (anốt và catốt), và G (cực cửa) .

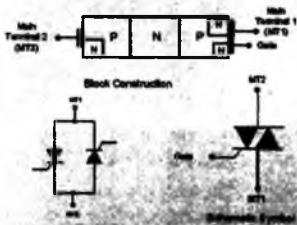
Hình 7.32b là cấu tạo của Triac. Hình 7.32c là ký hiệu của Triac. Triac được xem như hai SCR ghép song song và ngược chiều nhau (hình 7.32a).



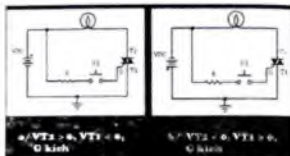
Hình 7.32a. Sơ đồ tương đương của TRIAC

Hình 7.32b. Cấu tạo của TRIAC

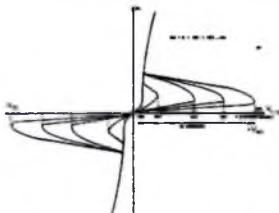
Hình 7.32c. Ký hiệu của TRIAC



Hình 7.33. Cấu trúc khối của TRIAC



Hình 7.34. Nguyên lý làm việc của TRIAC



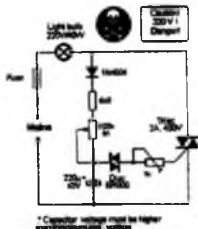
Hình 7.35. Đặc tuyến V-A của TRIAC



Hình 7.36. Mạch khống chế dùng TRIAC

CÁCH KÍCH	$V_{G1}$	$V_{G2}$	$V_{G3}$
Trước	0	+	+
Ngược	+	+	0

Hình 7.37. Bốn cách kích cho TRIAC



Hình 7.38. Mạch đèn Flasher

### 7.3.2. Nguyên lý làm việc

Về cấu tạo, Triac được xem như do hai SCR ghép song song và ngược chiều nhau, nên khi khảo sát đặc tính của Triac, ta khảo sát như khảo sát trên 2 SCR (hình 7.32a).

a/ Khi cực T2 ghép điện áp dương, và cực G kích bằng xung dương : Triac dẫn điện theo chiều từ T2 qua T1 (hình 7.32a).

b/ Khi cực T2 ghép điện áp âm, và cực G kích bằng xung âm : Triac dẫn điện theo chiều từ T1 qua T2 (hình 7.32b).

c/ Khi Triac dùng trong mạch điện AC công nghiệp : Khi nguồn ở bán kỳ dương, cực G phải được kích bằng xung dương ; Khi

nguồn ở bán kỳ âm, cực G phải được kích bằng xung âm. Triac cho dòng điện đi qua cả hai chiều, và khi đã dẫn điện thì điện áp trên hai cực T2-T1 rất nhỏ, xem như công tắc bán dẫn dùng trong mạch điện xoay chiều (hình 7.32c).

### 7.3.3. Đặc tuyến von-ampe của Triac

Đặc tuyến V-A của Triac (hình 7.34) gồm hai phần đối xứng nhau qua gốc O ; hai phần giống như của SCR mắc ngược chiều nhau.

### 7.3.4. Các cách kích Triac

Theo nguyên lý làm việc của Triac, Triac cần phải kích xung dương khi T2 ghép điện áp dương ; và cần phải kích xung âm khi T2 ghép điện áp âm.

Triac có thể kích bằng bốn cách (hình 7.37) : Cách 1 và 2, là cách kích thuận, vì đúng theo nguyên lý và chỉ cần dòng điện kích có trị số nhỏ hơn so với cách 3 và 4.

### 7.3.5. Ứng dụng của Triac

Triac là dụng cụ dẫn điện hai chiều có điều khiển

Sơ đồ không chế dùng Triac được trình bày trên hình 7.36

**Nguyên lý làm việc của mạch không chế**

- Ở nửa chu kỳ dương : D<sub>1</sub> thông nên có tín hiệu điều khiển vào G :  $U_{A1A2} > 0$ ,  $U_{GA2} > 0$ . Do đó, Thyristo 1 dẫn theo I<sub>1</sub>,  $U_1 > 0$

- Ở nửa chu kỳ âm : D<sub>2</sub> thông nên  $U_{A1A2} < 0$ ,  $U_{GA1} > 0$ . Do đó, Thyristo 2 dẫn theo I<sub>2</sub> ngược lại,  $U_1 < 0$ . Điều chỉnh biến trở R<sub>G</sub> sẽ thay đổi được  $\tau_1, \tau_2$ .

Triac được ứng dụng rất rộng rãi trong kỹ thuật điện tử :

- Kiểm tra và điều khiển vận tốc mô tơ điện (hình 7.40.)
- Kiểm tra và điều khiển nhiệt độ.



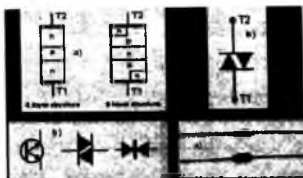
- Kiểm tra và điều khiển cường độ chiếu sáng đèn sợi đốt (hình 7.40.)
- Làm các mạch quét trong màn hình tivi (hình 7.43.)

## 7.4. DIAC

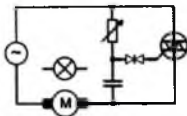
**DIAC – Diode AC Semiconductor Switch**, công tắc bán dẫn xoay chiều hai cực.

### 7.4.1. Cấu tạo

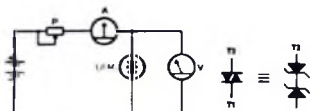
Cấu tạo Diac gồm ba lớp bán dẫn khác loại ghép lại, nhưng chỉ có hai chân, như một BJT không có cực gốc (cực base B). Hai cực hai đầu là cực T1 và T2 ; Do tính chất đối xứng của Diac nên khi lắp vào mạch ta không cần phân biệt thứ tự các cực T1, T2.



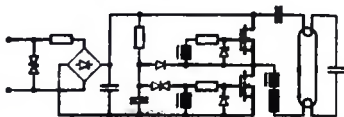
**Hình 7.39.** Cấu tạo, ký hiệu và hình dạng của DIAC



**Hình 7.40.** Mạch điều khiển tốc độ động cơ (hoặc độ sáng bóng đèn)



**Hình 7.41. Nguyên lý làm việc của DIAC**



### Background

### Verlorenen Typen

[illegible]

**Hình 7.42.** Bộ khởi động đèn compact và kích điện từ đèn neon



**Hình 7.43. Mạch quét trong màn hình TIVI**

### 7.4.2. Nguyên lý làm việc

Xét mạch hình 7.41 : Nguồn Vcc chỉnh được. Khi Vcc thấp, dòng qua Diac chỉ là dòng rỉ có trị số rất nhỏ. Khi tăng Vcc đến trị số  $V_{BO}$  đủ lớn, thì điện áp trên Diac bị giảm xuống và dòng tăng nhanh lên.

Điện áp này ( $V_{BO}$  - Voltage Break Over) gọi là *điện áp ngập*, *điện áp kích mở giới hạn*  $V_{BO}$  ( $V_{BO}$  có trị số từ 20V+40V);

Dòng điện qua Diac ở điểm  $V_{BO}$ , là *dòng điện ngập*, *dòng kích mở*  $I_{BO}$  ( $I_{BO}$  có trị số từ vài chục  $\mu A$  đến vài trăm  $\mu A$ ).

Thực tế, khi sử dụng Diac cần chú ý tới hai thông số :  $V_{BO}$ ,  $I_{BO}$ . Diac được kích mở bằng cách nâng cao điện áp vào hai cực.

Sơ đồ tương đương của Diac giống như 2 điốt zener mắc nối tiếp ngược chiều nhau (hình 7.39).

Khi đặt điện áp DC vào hai chân T1, T2 của 2 điốt zener Z1, Z2, thì một điốt zener sẽ được phân cực thuận, tạo nên điện áp  $V_D = 0,7V$ ; một điốt zener khác sẽ được phân cực ngược, tạo nên điện áp  $V_Z$ .

Nên điện áp  $V_{BO}$  trên hai điốt zener Z1, Z2 bằng:  $V_{BO} = V_D + V_Z$

Khi đổi chiều điện áp DC ghép vào T1, T2, thì vẫn có một zener phân cực thuận và một zener phân cực ngược, nên điện áp  $V_{BO}$  cũng như công thức trên.

Khi chọn điện áp  $V_Z$  của zener thích hợp khác nhau, có thể tạo được nhiều linh kiện có đặc tính tương đương Diac với nhiều mức điện áp  $V_{BO}$  khác nhau.

### 7.4.3. Đặc tuyến von-ampe của Diac

Đặc tuyến V-A của Diac giống đặc tuyến V-A của 2 zener ghép nối tiếp ngược chiều nhau.

### 7.4.5. Ứng dụng của Diac (hình 7.40, 7.42, 7.43)

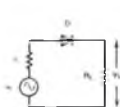
Diac cũng được ứng dụng rộng rãi cùng với Triac trong các mạch điều khiển điện tử:

- Kiểm tra và điều khiển vận tốc mô tơ điện (hình 7.40) .
- Kiểm tra và điều khiển cường độ chiếu sáng đèn sợi đốt (hình 7.42)
- Quét màn hình TIVI (hình 7.43)

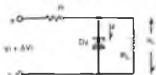
## CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG III, IV, V, VI VÀ VII

### II/ Diốt

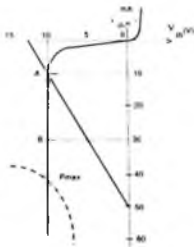
- 1/ Trình bày sự hoạt động của tiếp xúc P-N (khi chưa có và khi có tác động của điện áp ngoài lên tiếp xúc) .
- 2/ Trình bày nguyên lý làm việc của diốt.
- 3/ Phân tích đặc tuyến V-A của diốt.
- 4/ Nêu các tham số định mức chủ yếu của diốt. Hãy phân tích 1 trong các tham số đó.
- 5/ Trình bày cấu tạo, đặc điểm, sự làm việc của diốt Zener (zener) và LED.
- 6/ Phân biệt sự khác nhau giữa diốt chỉnh lưu ( $D_{SL}$ ,  $D_{1\phi}$ ), diốt zener và LED.
- 7/ Trình bày và phân tích về mạch chỉnh lưu cầu, mạch ổn áp bằng diốt zener
- 8/ Cho mạch điện như hình 1. Diốt D loại Ge có điện áp mở  $V_Y = 0,2V$ , nội trở  $r_d$  không đáng kể. Tải  $R_L = 9 \Omega$ , nguồn tín hiệu vào có nội trở  $r_1 = 2 \Omega$ 
  - a) Biết điện áp vào  $v$ , có dạng xung vuông hoặc hình sin, biên độ  $10V$ . Hãy vẽ dạng sóng và xác định điện áp trên tải  $V_L(t)$



Hình 1.



Hình 2.



h) Khi  $v_s(t)$  là hình sin, biên độ 1V, xác định giá trị điện áp trên tải

$$V_L(t) \text{ tại thời điểm } \omega t = \frac{\pi}{2}.$$

9/ Mạch điện như hình 2 :  $R = 300\Omega$ ,  $R_L = 1200\Omega$ . Hãy xác định phạm vi thay đổi cho phép của  $V_s$  để có điện áp trên tải ổn định ở mức 10V. Biết rằng  $D_z$  có mã hiệu 1N758 có  $V_z = 10V$ ,  $P_{max} = 0,4W$  và có đặc tuyến V-A như hình 3.

10/ Dùng 23 LED màu đỏ lắp mạch nháy chữ A. Mỗi dãy lắp 5 LED. Nguồn cung cấp +12V.

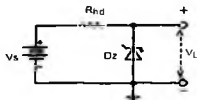
a) Xác định trị số dòng điện tiêu thụ qua chữ A.

b) Tính và chọn trị số điện trở phụ  $R_f$  trên dãy thiếu LED.

c) Tính và chọn trị số điện trở điều chỉnh dòng chung cho chữ A ( $R_A$ ).

11/ Cho mạch điện hình 3, điện áp nguồn  $V_s = 40V$ , điện trở hạn dòng  $R_{hd} = 2,2K\Omega$ , điện áp ổn áp ( $V_z$ ) của diốt zener bằng 15V. Tính:

- a) Dòng điện qua diốt zener ( $I_Z$ ).
- b) Công suất tiêu tán trên diốt zener ( $P_Z$ ).



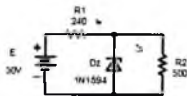
Hình 3.

- 12/ Cho mạch hình 4. Điện áp nguồn  $V_s = 12V$ . Điện áp tại điểm A đo được  $V_A = +3V$ , điện áp tại điểm B đo được  $V_B = 0V$ . Mạch bình thường hay có sự cố nào xảy ra? Giải thích vì sao.



Hình 4.

- 13/ Cho mạch điện hình 5 : Diốt zener 1N1594 có điện áp ổn áp  $V_Z = 12V$ , điện trở zener  $R_Z = 1,4\Omega$  ; Nếu đo được điện áp trên tải  $R_2$  gần bằng  $20V$  ( $V_{R2} \approx 20V$ ), trong mạch có sự cố nào xảy ra hay không? Giải thích vì sao.



Hình 5.

- 14/ Cho mạch điện hình 6: Điện áp nguồn  $V_s$  đo được  $+5V$ ; Điện áp trên diốt  $V_D$  đo được  $0V$ . Tính toán để giải thích và xác định những sai hỏng trong mạch này ?

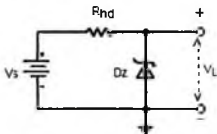


Hình 6.

- 15/ Cho mạch điện hình 7 :

Điốt zener  $D_Z$  có điện áp ổn áp  $V_Z = 15V$  và công suất định mức bằng  $0,5W$ .

Nếu  $V_s = 40V$ , hãy tính giá trị tối thiểu của điện trở hạn dòng  $R_{hd}$  để bảo vệ cho điốt zener không bị hỏng ?

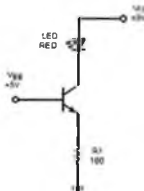


Hình 7.

### III/ BJT

- 1/ Cấu tạo, nguyên lý làm việc và các tham số giới hạn của BJT ?
- 2/ Tính chất khuếch đại của BJT ?
- 3/ Các chế độ làm việc của BJT ?
- 4/ Cách mắc BJT ? Trình bày cách mắc EC ?
- 5/ Trình bày đặc tuyến vào và đặc tuyến ra của BJT ?

- 6/ Cho mạch điện hình 8,  $V_{BB} = +5V$ ,  $V_{CC} = +5V$ ; LED dẫn (sáng) hay không dẫn (tắt) trong các điều kiện sau đây:
- a/ Cực C và E ngắn mạch.
  - b/ Điện trở  $100\Omega$  hở mạch.
  - c/ Cực C và E hở mạch (bình thường).
  - d/ Tính dòng qua LED trong trường hợp LED sáng?



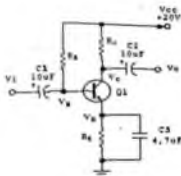
Hình 8.

- 7/ Cho mạch khuếch đại hình 9. Biết  $V_{CC} = +20V$   
 $I_C = 2mA$ ,  $V_{CE} = 10V$ ,  $\beta = 150$ .

Chọn  $V_E$  theo điều kiện:  $V_E = (\frac{1}{5} + \frac{1}{10})V_{CC}$ .

- a/ Mạch điện trên mắc theo kiểu gì? Phân cực theo kiểu gì?
- b/ Tính giá trị các linh kiện  $R_E$ ,  $R_B$ ,  $R_C$ ?
- c/ Xác định trị số dòng điện và điện áp 1 chiều trên các cực của BJT?

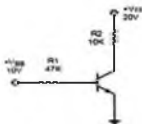




**Hình 9.**

g/ Cho mạch điện hình 10. Điện áp cực góp ( $V_C$ ) đo được +20V. Nguyên nhân nào dưới đây đã gây nên sự cố này, giải thích vì sao?

- a/ Cực C và E ngắn mạch.
- b/ Điện trở 10K \$\Omega\$ hở mạch.
- c/ Điện trở 47K \$\Omega\$ hở mạch.
- d/ Cực C và B ngắn mạch.

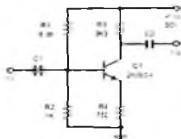


**Hình 10.**

9/ Cho mạch điện hình 11,  $V_{CC} = +30V$ ,  $V_{BE} = 0,7V$ :

- a/ Mạch mắc theo kiểu gì, và phân cực theo kiểu gì?

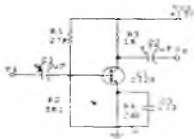
- b/ Tính điện áp trên các cực ( $V_B$ ,  $V_E$ ,  $V_C$ ), điện áp  $V_{CE}$  và dòng điện cực góp ( $I_C$ ) của BJT?
- c/ Xác định điểm làm việc tĩnh Q và vẽ đường tải tĩnh của mạch?



Hình 11.

10/ Cho mạch điện hình 12. BJT  $Q_1$  có  $\beta = 100$ .

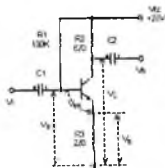
- a/ Mạch điện trên mắc theo kiểu gì? Phân cực theo kiểu gì?
- b/ Xác định dòng điện và điện áp 1 chiều trên các cực của BJT ( $V_C$ ,  $V_B$ ,  $V_E$ ,  $I_C$ ,  $I_B$ ,  $I_E$ )?
- c/ Vẽ đường tải tĩnh và xác định vị trí điểm làm việc tĩnh Q của mạch?



Hình 12.

11/ Cho mạch điện hình 13, có  $\beta = 80$ ,  $V_{CC} = +25V$ :

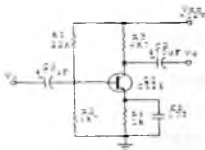
- a/ Mạch mắc theo kiểu gì, và phân cực theo kiểu gì ?
- b/ Tính điện áp và dòng điện trên các cực của BJT ( $V_C$ ,  $V_B$ ,  $V_E$ ,  $I_C$ ,  $I_B$ ,  $I_E$ ) ?
- c/ Xác định điểm làm việc tĩnh Q và vẽ đường tải tĩnh của mạch ?



Hình 13.

12/ Cho mạch điện hình 14. BJT  $Q_1$  có  $\beta = 200$ .

- a/ Mạch điện trên mắc theo kiểu gì ? Phân cực theo kiểu gì ?
- b/ Xác định dòng điện và điện áp 1 chiều trên các cực của BJT ( $V_C$ ,  $V_B$ ,  $V_E$ ,  $I_C$ ,  $I_B$ ,  $I_E$ ) ?
- c/ Vẽ đường tải tĩnh và xác định vị trí điểm làm việc tĩnh Q của mạch ?



Hình 14.

### **III/ Tranzito trường (FET)**

1. Cấu tạo, các tham số của FET ?
2. Nguyên lý làm việc của JFET ?
3. Đặc điểm và cách phân biệt JFET với các linh kiện khác (như diốt, BJT, SCR, Triac) ?

### **IV/ SCR**

1. Cấu tạo, các tham số của SCR ?
2. Nguyên lý làm việc của SCR ?
3. Đặc điểm và cách phân biệt SCR với các linh kiện khác (như diốt, BJT, FET, Triac) ?

### **V/ Triac**

1. Cấu tạo, các tham số của TRIAC ?
2. Nguyên lý làm việc của TRIAC ?
3. Đặc điểm và cách phân biệt TRIAC với các linh kiện khác (như diốt, BJT, FET, SCR) ?

### **VI/ MKĐ BJT**

1. MKĐ là gì? Trình bày các chỉ tiêu và tham số của MKĐ ?
2. Trình bày và giải thích về điểm làm việc tĩnh và đường tải tĩnh của MKĐ BJT ?
3. Giải thích trạng thái động và đường tải động (đường tải xoay chiều) của MKĐ BJT ?
4. Trình bày và phân biệt các chế độ làm việc (A, B, AB, C, D) của MKĐ ?
5. Trình bày các kiểu phân cực của MKĐ (phân cực định dòng  $I_B$ , và phân cực kiểu phân áp) ?

Xem tất cả các bài tập đã giải ?

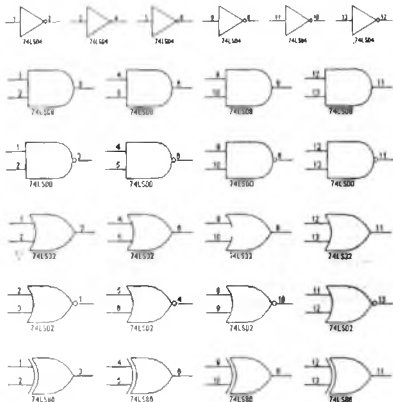
# PHỤ LỤC

## SƠ ĐỒ CÁC MẠCH IC ĐƠN GIẢN

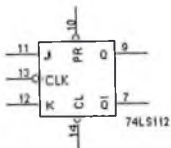
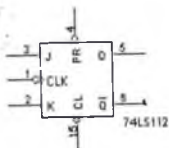
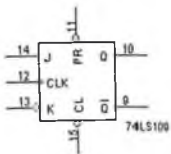
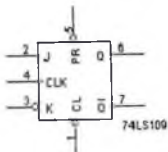
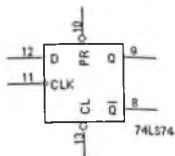
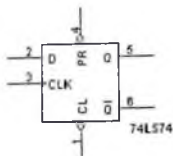
### PHỤ LỤC A

Các vi mạch cổng và mạch tổ hợp thông dụng

#### A.1 : Loại TTL



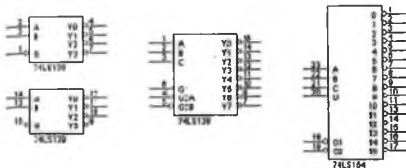
## A.2: Loại CMOS



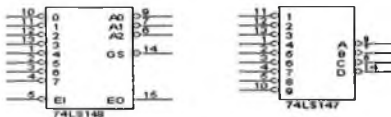
## PHỤ LỤC B

### Các vi mạch tổ hợp thông dụng

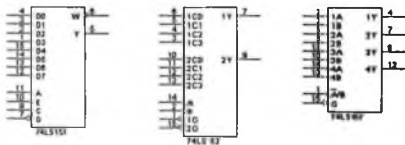
Mạch giải mã (decoder)  $2 \rightarrow 4$ ,  $3 \rightarrow 8$ ,  $4 \rightarrow 16$



Mạch mã hóa (encoder) có ưu tiên  $8 \rightarrow 3$ ,  $10 \rightarrow 4$



Mạch chọn kênh (mux)  $8 \rightarrow 1$ ,  $4 \rightarrow 1$ ,  $2 \rightarrow 1$



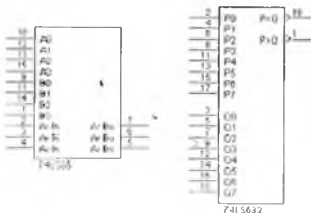
## Mạch phân kênh (demux) 1→4



## Mạch cộng nhị phân 4 bit

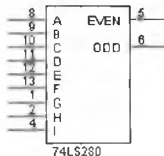


## Mạch so sánh 4 bit, 8 bit

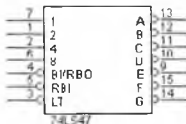




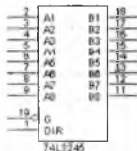
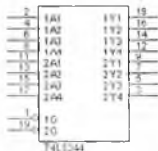
### Mạch tạo/kiểm tra parity



### Mạch chuyển mã BCD $\rightarrow$ mã LED 7 đoạn anode chung



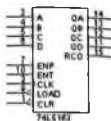
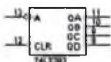
### Mạch đếm 8 bit



## PHỤ LỤC C

### Các vi mạch tuần tự thông dụng

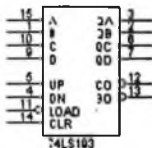
#### Mạch đếm nhị phân 4 bit đồng bộ



Các ngõ vào					Các ngõ ra				Chức năng
CLR	LOAD	ENP	ENT	CLK	Q <sub>A</sub>	Q <sub>B</sub>	Q <sub>C</sub>	Q <sub>D</sub>	
L	x	x	x		L	L	L	L	Reset về 0
H	L	x	x		D	C	B	A	Nhập dữ liệu vào
H	H	x	L		Không thay đổi				Không đếm
H	H	L	x		Không thay đổi				Không đếm
H	H	H	H		Đếm lên				Đếm
x	x	x	x		Không thay đổi				Không đếm

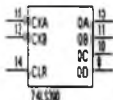
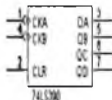
$$RCO \text{ (Ripple Carry Out)} = ENT \cdot Q_A \cdot Q_B \cdot Q_C \cdot Q_D$$

## Mạch đếm lên/xuống đồng bộ nhị phân 4 bit

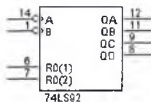


UP	DN	LOAD	CLR	Chức năng
	H	H	L	Đếm lên
		H	L	Không đếm
H		H	L	Đếm xuống
H		H	L	Không đếm
x	x	L	L	Nhập dữ liệu vào
x	x	x	H	Reset về 0

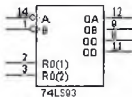
## Mạch đếm mod 10 (mod 2 và mod 5)



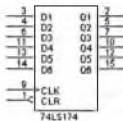
### Mạch đếm mod 12 (mod 2 và mod 6)



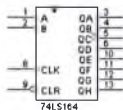
### Mạch đếm mod 16 (mod 2 và mod 8)



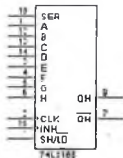
### Thanh ghi dịch PIPO



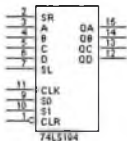
### Thanh ghi dịch SIPO



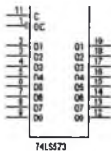
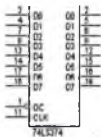
## Thanh ghi dịch PISO



## Thanh ghi dịch trái/ phải PIPO



## Mạch chốt 8 bit



1. TS Nguyễn Việt Nguyên, *Giáo trình kỹ thuật số*, NXB Giáo Dục 04-2006.
2. KS Nguyễn Tấn Phước, *Linh kiện điện tử*, NXB Tổng hợp TP Hồ Chí Minh, 12-2003.
3. PGS, TS Nguyễn Quốc Trung, *Xử lý tín hiệu và lọc số*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 4-2004.
4. TS. Vũ Đức Lung, *Giáo trình Kiến trúc máy tính*, NXB Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh, 12-2009.
5. KS. Phạm Văn Tấn, *Cơ sở tin học viễn thông*, Giáo án điện tử trên trang Web Bộ Giáo dục và Đào tạo.
6. KS. Trương Văn Tám, *Giáo trình Linh kiện điện tử*, Giáo án điện tử trên trang Web Bộ Giáo dục và Đào tạo..
7. TS. Lê Mạnh, ThS. Nguyễn Tất Bào Thiện, Các bài giảng cho môn linh kiện điện tử và vi mạch cho sinh viên Khoa Kỹ thuật máy tính và Khoa Mạng & Truyền thông, Trường Đại học Công nghệ thông tin thuộc Đại học Quốc gia Hồ Chí Minh, 12-2010.
8. Howe, R.T and C.G Sodini, *Microelectronics An Intergrated Approach*. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall 1999. ISBN 0135885183.