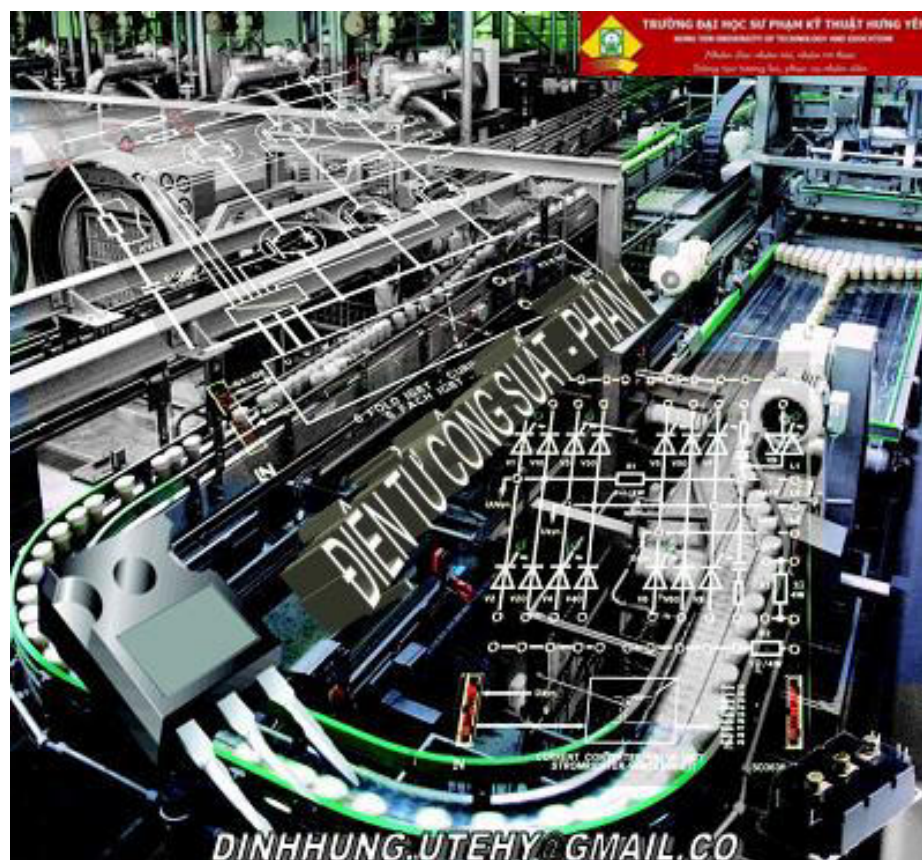


**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT HƯNG YÊN**



## **ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT**



**Hung yên 2013**

Nguyễn Đình Hùng

## LỜI GIỚI THIỆU

Nhằm thống nhất nội dung giảng dạy trong các hệ đào tạo, tác giả đã xây dựng giáo trình điện tử công suất áp dụng cho các chuyên ngành kỹ thuật điện, kỹ thuật điện tử, cơ điện tử thuộc lĩnh vực đào tạo theo định hướng ứng dụng.

Giáo trình được xây dựng trên cơ sở thừa kế những nội dung giảng dạy của các giảng viên trường ĐHSP kỹ thuật Hưng Yên và các tài liệu tham khảo trong và ngoài nước.

Giáo trình do các nhà giáo có nhiều năm kinh nghiệm tham gia giảng dạy và đóng góp ý kiến.

Tuy tác giả đã có nhiều cố gắng biên soạn, nhưng giáo trình chắc không tránh khỏi khiếm khuyết. Hy vọng nhận được sự góp ý của bạn đọc. Mọi góp ý xin liên hệ về tác giả.

## MỞ ĐẦU

Nguyễn Đình Hùng

Giáo trình điện tử công suất được biên soạn dựa theo chương trình môn học ĐTCS trường ĐHSP kỹ thuật Hưng Yên. Nội dung trong giáo trình được biên soạn ngắn gọn, đơn giản giúp người học nhanh chóng tiếp cận môn học.

Khi biên soạn giáo trình tác giả đã cố gắng cập nhật các thông tin mang tính chất thời đại để đảm bảo kiến thức cho học viên đáp ứng được các kiến thức thực tiễn và lý thuyết.

Nội dung của giáo trình được biên soạn tương đương với 45 đến 60 tiết học tùy theo từng đối tượng đào tạo.

## GIỚI THIỆU TỔNG QUAN HỌC PHẦN

Nguyễn Đình Hùng

### 1. Mô tả cấu trúc của học phần

Học phần điện tử công suất được trang bị cho học viên hệ đại học vào năm thứ 2 với thời lượng 02 tín chỉ lý thuyết và 01 tín chỉ thực hành, nội dung được trình bày vắn tắt:

- **Phần lý thuyết**

#### **Chương 1: Các phần tử bán dẫn công suất**

(Thời gian: Lên lớp 3 tiết, tự học 6 giờ)

- 1.1. Nhiệm vụ của điện tử công suất
- 1.2. Các phần tử bán dẫn công suất và các tham số
  - 1.2.1. Diode công suất
  - 1.2.2. Transitor BJT công suất
  - 1.2.3. MOSFET
  - 1.2.4. IGBT
  - 1.2.5. Thyristor
  - 1.2.6. GTO
  - 1.2.7. Triac
  - 1.2.8. IGTC, MCT, MTO, ETO
  - 1.2.9. Khả năng làm việc của các phần tử bán dẫn công suất
- 1.3. Bài tập ứng dụng

#### **Chương 2: Chính lưu không và có điều khiển**

(Thời gian: Lên lớp 18 tiết, tự học 36 giờ)

- 2.1. Khái niệm, phân loại mạch chỉnh lưu và luật đóng mở van
- 2.2. Các mạch chỉnh lưu không điều khiển
  - 2.2.1. Mạch chỉnh lưu hình tia một pha nửa chu kỳ không điều khiển
  - 2.2.2. Mạch chỉnh lưu hình tia một pha hai nửa chu kỳ không điều khiển
  - 2.2.3. Mạch chỉnh lưu hình tia ba pha không điều khiển
  - 2.2.4. Mạch chỉnh lưu hình cầu một pha không điều khiển
  - 2.2.5. Mạch chỉnh lưu hình cầu ba pha không điều khiển
- 2.3. Các mạch chỉnh lưu có điều khiển
  - 2.3.1. Mạch chỉnh lưu hình tia một pha nửa chu kỳ có điều khiển
  - 2.3.2. Mạch chỉnh lưu hình tia một pha hai nửa chu kỳ có điều khiển
  - 2.3.3. Mạch chỉnh lưu hình tia ba pha có điều khiển
  - 2.3.4. Mạch chỉnh lưu hình cầu một pha có điều khiển
  - 2.3.5. Mạch chỉnh lưu hình cầu ba pha có điều khiển
- 2.4. Các mạch chỉnh lưu bán điều khiển

- 2.4.1. Mạch chỉnh lưu hình cầu một pha bán điều khiển đối xứng
- 2.4.2. Mạch chỉnh lưu hình cầu một pha bán điều khiển không đối xứng
- 2.4.3. Mạch chỉnh lưu hình cầu ba pha bán điều khiển

## 2.5. Bài tập ứng dụng

### **Chương 3: Biến đổi điện áp xoay chiều**

(Thời gian: Lên lớp 3 tiết, tự học 6 giờ)

- 3.1. Giới thiệu chung bộ biến đổi điện áp xoay chiều
- 3.2. Bộ biến đổi điện áp xoay chiều một pha
  - 3.2.1. Một số sơ đồ biến đổi điện áp xoay chiều một pha
  - 3.2.2. Mạch điều áp xoay chiều một pha
- 3.3. Bộ biến đổi điện áp xoay chiều ba pha
- 3.4. Bài tập ứng dụng

### **Chương 4: Biến đổi điện áp một chiều**

(Thời gian: Lên lớp 5 tiết, tự học 10 giờ)

- 4.1. Khái quát chung, luật điều khiển, phân loại các mạch xung áp
- 4.2. Mạch xung áp nối tiếp
- 4.3. Mạch xung áp song song
- 4.4. Mạch xung áp đảo dòng
- 4.5. Mạch xung áp kép loại B (loại B kép)
- 4.6. Bài tập ứng dụng

### **Chương 5: Nghịch lưu và biến tần**

(Thời gian: Lên lớp 6 tiết, tự học 12 giờ)

- 5.1. Nghịch lưu
  - 5.1.1. Khái niệm và phân loại sơ đồ nghịch lưu
  - 5.1.2. Các sơ đồ nghịch lưu độc lập nguồn dòng một pha và ba pha
  - 5.1.3. Các sơ đồ nghịch lưu độc lập nguồn áp một pha và ba pha
- 5.2. Biến tần
  - 5.2.1. Khái niệm và phân loại biến tần
  - 5.2.2. Thiết bị biến tần trực tiếp 1 pha và ba pha
  - 5.2.3. Thiết bị biến tần gián tiếp 1 pha và ba pha
- 5.10. Bài tập ứng dụng

### **Chương 6: Điều khiển thiết bị biến đổi**

(Thời gian: Lên lớp 5 tiết, tự học 10 giờ)

- 6.1. Yêu cầu, đặc điểm mạch điều khiển điện tử công suất
- 6.2. Các nguyên tắc điều khiển thiết bị biến đổi

- 6.2.1. Nguyên tắc điều khiển thẳng đứng tuyến tính
- 6.2.2. Nguyên tắc điều khiển thẳng đứng arccos
- 6.3. Các khâu trong bộ điều khiển biến đổi phụ thuộc
  - 6.3.1. Khâu đồng bộ tín hiệu điều khiển
  - 6.3.2. Khâu tạo xung răng cưa đồng bộ
  - 6.3.3. Khâu so sánh và tạo xung điều khiển
  - 6.3.4. Khâu khuếch đại xung
- 6.4. Các khâu trong bộ điều khiển biến đổi độc lập
  - 6.4.1. Khâu tạo tín hiệu dao động
  - 6.4.2. Khâu tạo xung răng cưa
  - 6.4.3. Khâu so sánh và tạo xung điều khiển
  - 6.4.4. Khâu khuếch đại xung
- 6.5. Một số mạch điều khiển điển hình
- 6.5. Bài tập ứng dụng

## **Chương 7: Bảo vệ thiết bị biến đổi**

(Thời gian: Lên lớp 3 tiết, tự học 6 giờ)

- 7.1. Ngắn mạch và bảo vệ ngắn mạch
- 7.2. Quá điện áp và bảo vệ quá điện áp
- 7.3. Hao tổn công suất và làm mát thiết bị biến đổi
  - 7.3.1. Hao tổn công suất trong thiết bị biến đổi
  - 7.3.2. Làm mát các phần tử bán dẫn
- 7.4. Tính chọn van công suất trong các bộ biến đổi
- 7.5. Bài tập ứng dụng

### **• Phần Thực hành**

Bài 1: Kiểm tra linh kiện và khảo sát đặc tính các van bán dẫn công suất (diode, thyristor...)

(Thời gian: Lên lớp 3h, 3h tự học)

Bài 2: Khảo sát các mạch chỉnh lưu hình tia một pha nửa chu kỳ không điều khiển

(Thời gian: Lên lớp 3h, 3h tự học)

Bài 3: Khảo sát các mạch chỉnh lưu hình tia một pha hai nửa chu kỳ không điều khiển

(Thời gian: Lên lớp 3h, 3h tự học)

Bài 4: Khảo sát các mạch chỉnh lưu hình cầu một pha không điều khiển

(Thời gian: Lên lớp 3h, 3h tự học)

Bài 5: Khảo sát các mạch chỉnh lưu hình tia ba pha không điều khiển  
(Thời gian: Lên lớp 3h, 3h tự học)

Bài 6: Khảo sát các mạch chỉnh lưu hình cầu ba pha không điều khiển  
(Thời gian: Lên lớp 3h, 3h tự học)

Bài 7: Khảo sát các mạch chỉnh lưu hình tia một pha nửa chu kỳ có điều khiển  
(Thời gian: Lên lớp 3h, 3h tự học)

Bài 8: Khảo sát các mạch chỉnh lưu hình cầu 1 pha có điều khiển  
(Thời gian: Lên lớp 6h, 6h tự học)

Bài 9: Khảo sát các mạch chỉnh lưu hình cầu một pha bán điều khiển hai thyristor mắc cathot chung  
(Thời gian: Lên lớp 3h, 3h tự học)

Bài 10: Khảo sát các mạch chỉnh lưu hình cầu một pha bán điều khiển mắc đối  
(Thời gian: Lên lớp 3h, 3h tự học)

Bài 11: Khảo sát các mạch chỉnh lưu hình tia ba pha có điều khiển  
(Thời gian: Lên lớp 6h, 6h tự học)

Bài 12: Khảo sát các mạch chỉnh lưu hình cầu ba pha có điều khiển  
(Thời gian: Lên lớp 6h, 6h tự học)

## 2. Vai trò của học phần

- Nội dung học phần giúp người học có khả năng trang bị kiến thức về:
  - + Phân tích được cơ sở lý thuyết và khảo sát lựa chọn được các van bán dẫn công suất.
  - + Phân tích được cơ sở lý luận và khảo sát đánh giá được các bộ biến đổi công suất AC-DC; DC-DC; AC-AC và DC-AC.
  - + Làm cơ sở lý luận cho các học phần như truyền động điện; trang bị điện; lý thuyết điều khiển tự động

## 3. Sự hình thành năng lực và liên hệ các chuẩn đầu ra

- Sau khi nghiên cứu học phần người học có khả năng phân tích, sửa chữa, bảo dưỡng và thiết kế được các bộ biến đổi điện tử công suất cơ bản.
- Môn học là tiền đề cho việc hình thành và tích lũy kiến thức cho việc tham gia đánh giá các chuẩn đầu ra về lĩnh vực điện tử công suất và truyền động điện.

## 4. Các ứng dụng và giới việc làm

Cho đến ngày nay điện tử công suất hầu hết được ứng dụng rất nhiều trong các ngành công nghiệp hiện đại cũng như trong dân dụng. Có thể kể ra các ngành kỹ thuật mà trong đó có những ứng dụng tiêu biểu của bộ biến đổi bán dẫn công suất như truyền động điện tự động, giao thông đường sắt, nấu luyện thép, gia nhiệt



cảm ứng, điện phân nhôm từ quặng mỏ, các quá trình điện phân trong công nghiệp. Trong dân dụng ngày nay được sử dụng khá rộng rãi như các bộ điều khiển ánh sáng, chuyển đổi điện DC - AC hay bộ băm xung áp DC-DC... Những năm gần đây công nghệ chế tạo các phần tử bán dẫn công suất đã có những tiến bộ vượt bậc và ngày càng trở nên hoàn thiện, dẫn đến việc chế tạo các bộ biến đổi ngày càng gọn nhẹ, nhiều tính năng ưu việt và sử dụng ngày càng dễ dàng hơn.

Để có cách nhìn tổng quát về ứng dụng của điện tử công suất trong đời sống với mọi lĩnh vực ta có thể nhìn nhận tổng quan ứng dụng như sau:

#### 1. Các thiết bị gia dụng

- Tủ lạnh, tủ đông
- Gia nhiệt, sưởi
- Hệ thống điều hòa không khí
- Lò nấu
- Chiếu sáng
- Các thiết bị điện tử dân dụng (TV, máy tính, các thiết bị nghe nhìn, giải trí...)

#### 2. Trang thiết bị cho cao ốc

- Các hệ thống sưởi, thông gió, điều hòa
- Hệ thống điều hòa trung tâm
- Máy tính và các thiết bị văn phòng
- UPS (Uninterruptible Power Supply)
- Thang máy

#### 3. Công nghiệp

- Bơm
- Máy nén
- Quạt gió
- Máy công cụ
- Lò nấu hồ quang, Lò nấu cảm ứng
- Gia nhiệt cảm ứng (tôi cao tần...)
- Máy hàn điện

#### 4. Giao thông vận tải

- Điều khiển động cơ xe hơi điện
- Nạp acquy xe hơi điện
- Các hệ thống tàu điện, tàu điện ngầm

#### 5. Hệ thống điện

- Truyền tải điện DC cao áp (HVDC)
- Bộ bù tĩnh
- Hệ thống máy phát dùng nguồn năng lượng tái sinh (renewable energy): năng lượng mặt trời, năng lượng gió...
- Các hệ thống tích trữ năng lượng (energy storage systems)

#### 6. Hàng không

- Hệ thống điện tàu con thoi
- Hệ thống điện của các vệ tinh
- Hệ thống điện máy bay

#### 7. Viễn thông

- Bộ nạp bình acquy
- Bộ nguồn (DC, UPS)

Như vậy ta thấy lĩnh vực điện tử công suất có mặt hầu hết mọi lĩnh vực, nó mở ra cho chúng ta một cơ hội việc làm và là cơ sở để đầu tư phát chuyển lĩnh vực chuyên môn về điện tử công suất.

### 5. Phương pháp học tập, nghiên cứu học phần.

\* Hình thức tổ chức

- Học tập chung trên lớp
- Tự học ở nhà

\* Phương pháp:

- Kết hợp nhiều phương pháp khác nhau phù hợp với nội dung bài học: Phân tích, thuyết trình, trực quan hình ảnh - vật thật, làm việc theo nhóm và tự nghiên cứu...



**6. Tài liệu, học liệu liên quan.**

[1]. Nguyễn Đình Hùng- Điện tử công suất – Lưu hành nội bộ

[2]. Nguyễn Bính- Điện tử công suất – NXB KHKT- 2000.

[3]. Võ Minh Chính – Phạm Quốc Hải - Trần Trọng Minh- Điện tử công suất – NXB KHKT- 2005.

[4]. Vụ trung học chuyên nghiệp - Điện tử công suất – NXB GD- 2000.

[5]. Nguyễn Đình Hùng- Thí nghiệm điện tử công suất – Lưu hành nội bộ

Nguyễn Đình Hùng

## Chương 1: CÁC PHẦN TỬ BÁN DẪN CÔNG SUẤT CƠ BẢN

### 1.1 Nhiệm vụ của điện tử công suất

Điện tử công suất là một môn học thuộc chuyên ngành kỹ thuật điện - điện tử, nghiên cứu và ứng dụng các phần tử bán dẫn công suất. Nhiệm vụ chính của điện tử công suất là biến đổi nguồn năng lượng điện với các tham số không thay đổi được thành nguồn năng lượng điện với các tham số có thể thay đổi được để cung cấp cho các phụ tải. Như vậy các bộ biến đổi bán dẫn công suất là đối tượng nghiên cứu chính của môn học điện tử công suất.

Trong các bộ biến đổi các phần tử bán dẫn công suất được sử dụng như các khoá bán dẫn, còn gọi là các van bán dẫn, khi van bán dẫn mở dẫn dòng thì nối tải vào nguồn còn khi khoá thì không cho dòng điện chạy qua các van. Khác với các phần tử có tiếp điểm, các van bán dẫn thực hiện đóng cắt dòng điện mà không gây tia lửa điện, không bị mài mòn theo thời gian, không gây tiếng ồn và có khả năng đóng cắt với tần số rất lớn. Không những vậy các van bán dẫn còn có thể đóng cắt các dòng điện rất lớn với điện áp cao nhưng các phần tử điều khiển của chúng lại được tạo bởi các mạch điện tử công suất rất nhỏ, nên công suất tiêu thụ cũng nhỏ dẫn đến hiệu suất làm việc cao.

Quy luật nối tải vào nguồn trong các bộ biến đổi công suất phụ thuộc vào sơ đồ các bộ biến đổi và phụ thuộc vào cách thức điều khiển các van trong bộ biến đổi. Quá trình biến đổi năng lượng sử dụng các van công suất được thực hiện với hiệu suất rất cao vì tổn thất trong bộ biến đổi chỉ là tổn thất trên các khoá điện tử, nó không đáng kể so với công suất điện cần biến đổi. Các bộ biến đổi công suất không những đạt được hiệu suất cao mà các còn có khả năng cung cấp cho phụ tải nguồn năng lượng với các đặc tính theo yêu cầu, đáp ứng các quá trình điều chỉnh, điều khiển trong một thời gian ngắn nhất nên rất phù hợp trong các hệ thống tự động đòi hỏi độ chính xác cao. Đây là đặc tính nổi trội của các bộ biến đổi bán dẫn công suất mà các bộ biến đổi có tiếp điểm hoặc kiểu cơ điện tử thông thường không thể có được.

Khi nghiên cứu điện tử công suất chúng ta cần hiểu rõ các đặc tính cơ bản của các van công suất để sử dụng đúng và phát huy hết hiệu quả của van công suất trong các ứng dụng cụ thể. Tính năng kỹ thuật chủ yếu của các van công suất được thể hiện ở khả năng đóng cắt, khả năng chịu điện áp, dòng điện và các đặc tính liên quan đến quá trình làm việc và điều khiển chúng.

Về cơ bản các van công suất đều có các đặc tính chung như sau:

\* Các van bán dẫn công suất (BDCS) khi mở dẫn dòng đi qua thì điện trở tương đương rất nhỏ, còn khi khoá không cho dòng điện đi qua thì điện trở tương đương rất lớn.

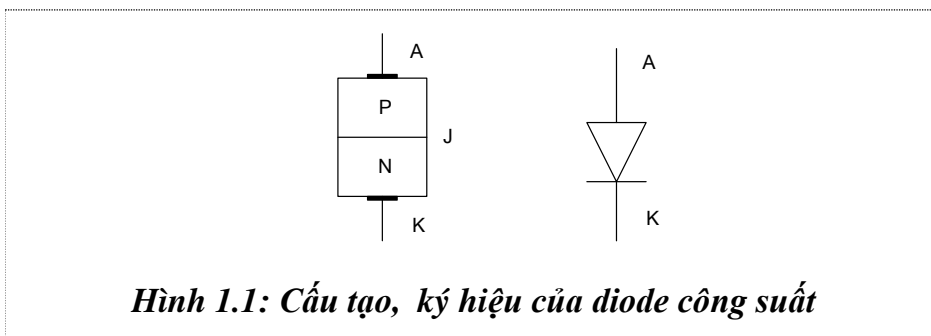
\* bản chất BDCS chỉ dẫn dòng điện theo một chiều khi được phân cực thuận và có tín hiệu điều khiển với các van có điều khiển. Nếu các van công suất bị phân cực ngược sẽ có dòng điện rất nhỏ đi qua khoảng vài mA, gọi là dòng điện ngược hay dòng rò.

## 1.2 Các phần tử bán dẫn công suất và các thông số.

### 1.2.1 Diode công suất.

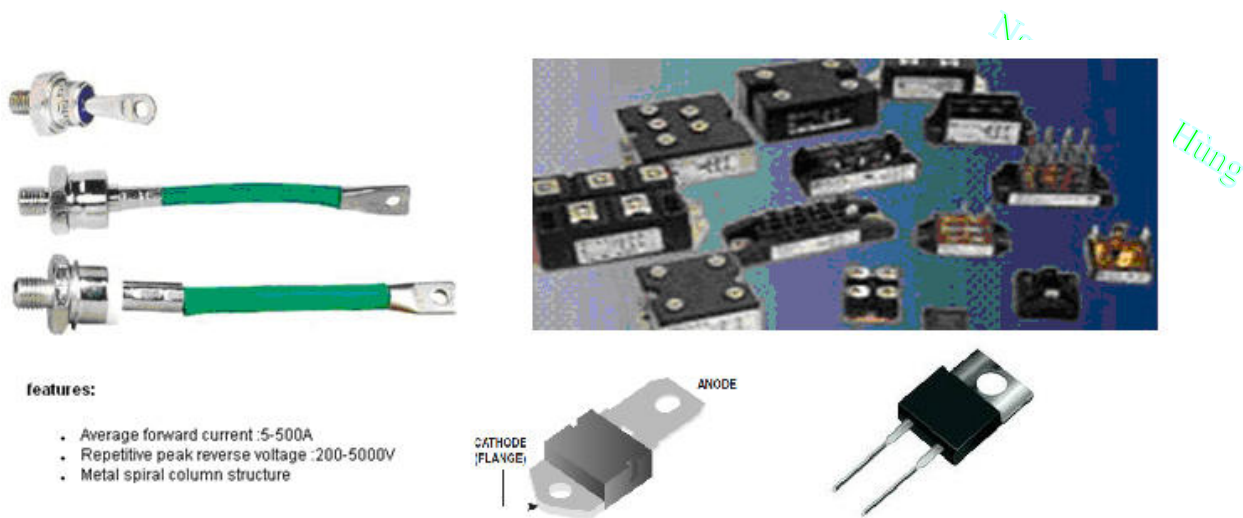
#### a> Cấu tạo đặc điểm và phân loại:

-Diode công suất là phần tử bán dẫn có một tiếp giáp P-N. Diện tích bề mặt tiếp giáp được chế tạo lớn hơn so với diode thông thường, có thể đạt tới hàng chục  $\text{mm}^2$ . Mật độ dòng điện cho phép của tiếp giáp cỡ  $10\text{A}/\text{mm}^2$ . Do vậy dòng điện định mức của một số loại diode có thể đạt tới hàng trăm ampe, như PK200, thậm chí hàng nghìn ampe như BB2-1250. Cấu tạo và ký hiệu của diode công suất được mô tả như hình 1.1.



**Hình 1.1: Cấu tạo, ký hiệu của diode công suất**

Trong thực tế các diode công suất thường được chế tạo với nhiều hình dáng khác nhau, nhưng thường tập chung theo các dạng sau:



features:

- Average forward current :5-500A
- Repetitive peak reverse voltage :200-5000V
- Metal spiral column structure

**Hình 1.2: Hình ảnh một số loại diode công suất**

- Diode công suất có 2 loại thường được dùng trong các mạch chỉnh lưu công suất lớn:

**\*Diode chỉnh lưu Gecmani (Ge):**

Tiếp giáp của diode Ge phần lớn được chế tạo bằng phương pháp làm nóng chảy IN (indi) với nhiệt độ thích hợp, trong bán dẫn Ge loại N. Miếng bán dẫn Ge được hàn với nền bằng thép. Tinh thể Ge được đặt trong vỏ bọc hợp kim cova để bảo vệ và liên kết với bộ phận tản nhiệt.

-Đặc điểm của Diode Ge là điện áp chịu đựng được khoảng 400V, nhưng sụt áp trên Diode nhỏ nên được sử dụng trong các bộ chỉnh lưu điện áp thấp. Diode Ge thường bị đánh thủng do nhiệt độ, nhiệt độ cho phép của Diode Ge khoảng 75<sup>0</sup>C, nên khi làm việc ở nhiệt độ cao dòng điện ngược tăng lên đáng kể dẫn đến chất lượng chỉnh lưu thấp, do vậy ta có thể coi nhiệt độ cho phép là nhiệt độ tới hạn của Diode Ge.

**\*Diode chỉnh lưu silic (Si):**

-Diode chỉnh lưu Si được chế tạo bằng cách làm nóng chảy nhôm trong tinh thể Si loại N, hoặc làm nóng chảy hợp kim thiếc phốt pho, hay vàng antimoan trong tinh thể silic loại P. Ngoài ra người ta còn chế tạo bằng phương pháp khuếch tán Phốt pho vào tinh thể Si loại N. Công nghệ chế tạo kiểu khuếch tán thường được áp dụng cho các loại diode công suất lớn.

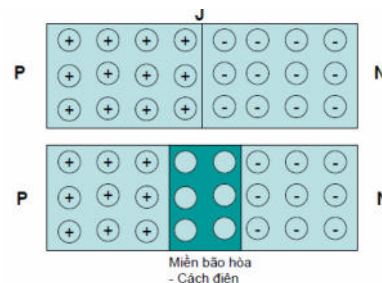
-Tinh thể Si và tiếp giáp PN được bọc bởi vỏ kim loại, tinh thể bán dẫn được hàn bằng hợp kim bạc- antimoan hay vàng- antimoan.

Nguyễn Đình Hùng

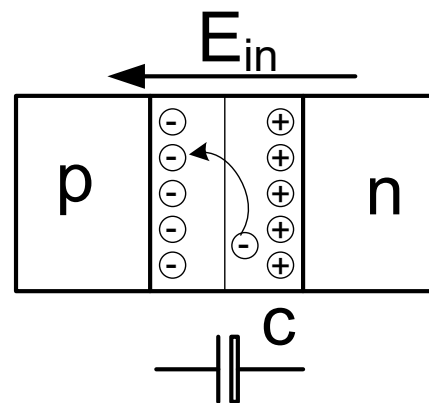
- Diode Si có điện áp ngược cho phép cỡ 2500V, nhưng độ sụt điện áp trên Diode Si cũng cao hơn Diode Ge. Nhiệt độ cho phép của Diode Si khá cao  $t_{max} = 125^{\circ}C$ , và hiện tượng đánh thủng chủ yếu cũng là do nhiệt độ.

**b>Nguyên lý làm việc và đặc tính vôn – ampe của diode**

- Khi ghép công nghệ hai miền bán dẫn P-N với nhau như hình vẽ, ở điều kiện nhiệt độ môi trường bình thường tại tiếp giáp J các điện tử bên miền bán dẫn N khuếch tán sang miền bán dẫn P xê trung hòa vào các ion dương ở đây. Do các điện tích trong vùng tiếp giáp bị trung hòa lẫn nhau nên vùng này trở thành vùng nghèo điện tích hay vùng có điện trở lớn. Tuy nhiên vùng này chỉ mở rộng ra đến một độ dày nhất định vì bên miền bán dẫn N khi các điện tử di chuyển để lại các ion dương, còn bên miền bán dẫn P các điện tử di chuyển sẽ nhập vào các lớp hóa trị ngoài cùng tạo thành các ion âm. Các ion này nằm trong cấu trúc tinh thể của mạng tinh thể Si nên không thể di chuyển được. Kết quả tạo thành một tụ điện tương đương tại tiếp giáp với điện cực âm bên miền P và điện cực dương bên miền N. Các điện tích của tụ tạo nên một điện trường  $E_{in}$  có hướng từ miền N sang miền P. Điện trường  $E_{in}$  tạo nên một hàng rào điện thế với giá trị khoảng 0,65V ở nhiệt độ môi trường bình thường.



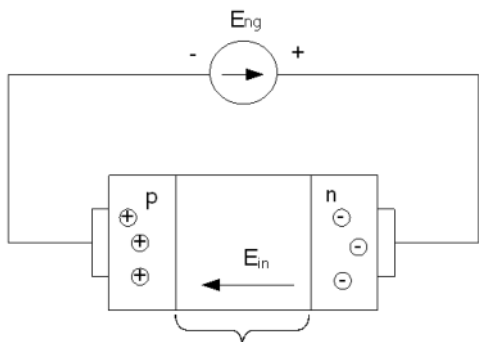
Sự tạo thành vùng nghèo điện tích (hàng rào điện thế) trong tiếp giáp P-N



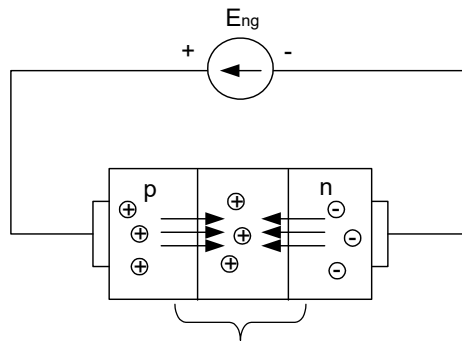
Sự hình thành tụ điện tương đương tại tiếp giáp P-N

- Khi tiếp giáp P-N của diode được đặt dưới tác dụng của điện áp bên ngoài, nếu điện trường ngoài cùng chiều với điện trường  $E_{in}$  thì vùng nghèo điện tích sẽ được mở rộng ra, nên điện trở tương đương của diode càng lớn và dòng điện sẽ không thể chạy qua. Lúc này toàn bộ điện áp sẽ được đặt lên vùng nghèo điện tích, ta nói rằng diode bị phân cực ngược như hình 1.3

- Khi điện trường ngoài ngược chiều với điện trường  $E_{in}$  thì vùng nghèo điện tích sẽ bị thu hẹp lại. Nếu điện áp bên ngoài lớn hơn 0,65V thì vùng nghèo điện tích sẽ thu hẹp lại đến bằng không, và các điện tích có thể di chuyển tự do qua cấu trúc của diode. Dòng điện đi qua diode lúc này chỉ bị hạn chế do điện trở tải ở mạch ngoài. Khi đó ta nói rằng diode được phân cực thuận như hình 1.4.



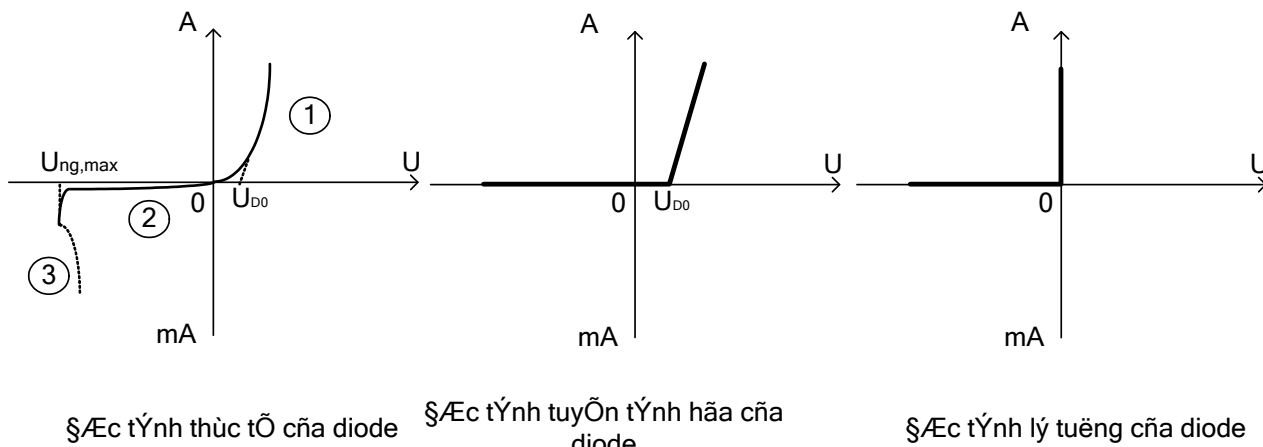
Hình 1.3: vùng nghèo các điện tích.



Hình 1.4: Hướng di chuyển các các điện tích

**\*Đặc tính vôn – ampe của diode ( Đặc tính tĩnh)**

Một số tính chất của diode trong quá trình làm việc có thể được giải thích thông qua đặc tính V-A.



Hình 1.5: Đặc tính V-A của diode công suất

Đặc tính V-A của diode gồm 2 nhánh, nhánh thuận(1) nằm ở góc phần tư thứ nhất ứng với  $U_{AK} > 0$ , nhánh ngược (2) nằm ở góc phần tư thứ ba ứng với  $U_{AK} < 0$  như hình 1.5.

-Trên đường đặc tính thuận của diode nếu điện áp  $U_{AK}$  được tăng dần từ 0 đến giá trị nhỏ hơn  $U_{D0}$  khi đó dòng điện qua diode tăng gần như tuyến tính với điện áp rơi trên diode, đến khi  $U_{AK}$  vượt quá giá trị  $U_{D0} \approx 0,6 - 0,7V$ , gọi là điện áp rơi trên diode theo chiều thuận, thì dòng điện đi qua diode có thể đạt tới giá trị rất lớn, nhưng điện áp rơi trên diode hầu như không đổi.

-Trên đường đặc tính ngược diode nếu điện áp  $U_{AK}$  được tăng dần trong phạm vi từ 0 đến giá trị nhỏ hơn  $U_{ngmax}$  khi đó dòng điện qua diode có giá trị rất nhỏ, gọi là dòng rò. Cho đến khi  $U_{AK}$  đạt đến giá trị lớn hơn  $U_{ngmax}$  thì dòng điện qua diode tăng đột ngột, như vậy khả năng cản trở dòng điện của diode theo chiều ngược bị phá vỡ. Đây là hiện tượng diode bị đánh thủng ( vùng 3).

-Trong những tính toán thực tế người ta thường dùng đặc tính gần đúng đã tuyến tính hóa của diode. Biểu thức toán học của đường đặc tính này là:

$$u = U_{D0} + i_D R_D$$

Trong đó:  $U_{D0}(V)$  là điện áp trung bình rơi trên diode

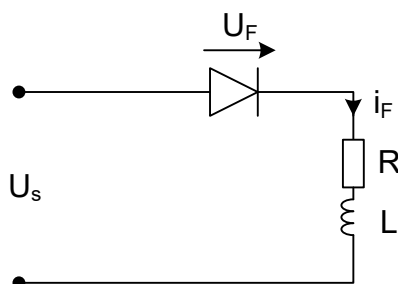
$I_D (A)$  là dòng trung bình qua diode

$R_D (\Omega)$  là điện trở vi phân.

- Đặc tính V-A của diode thực tế là khác nhau, nó phụ thuộc vào dòng điện cho phép và điện áp ngược mà diode chịu được. Theo đặc tính lý tưởng thì điện trở tương đương của diode bằng 0 theo chiều thuận và bằng  $\infty$  theo chiều ngược.

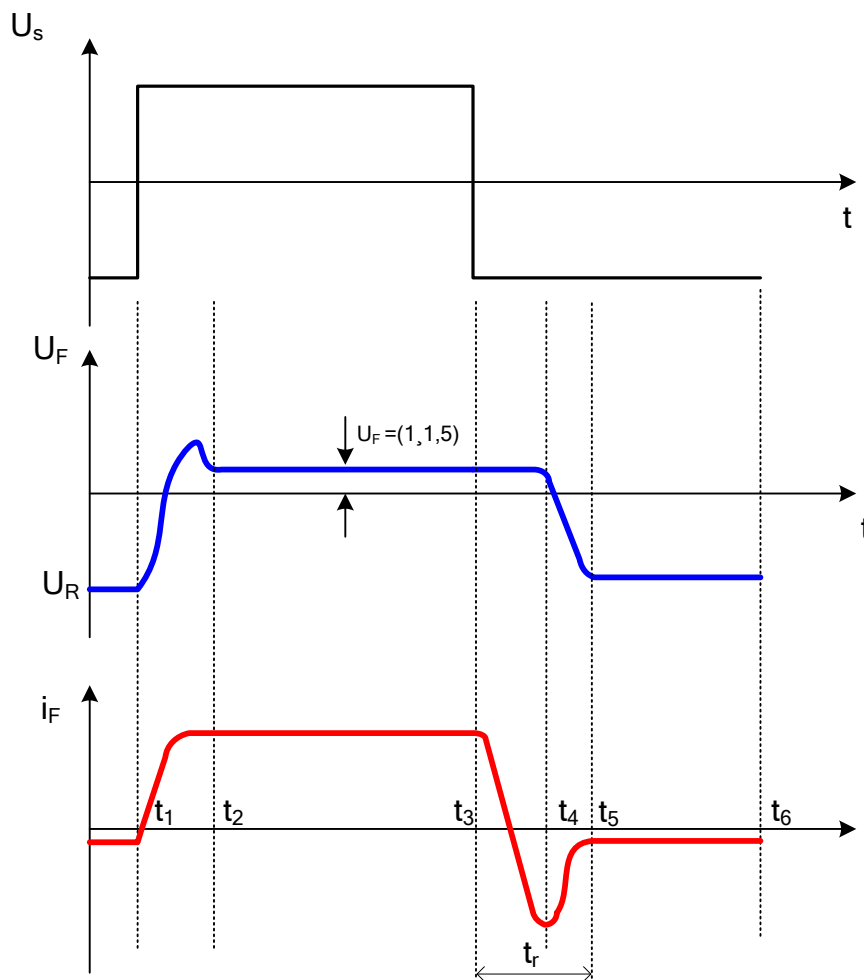
**\* Đặc tính động của diode**

Khác với đặc tính V-A, đặc tính động hay đặc tính đóng cắt biểu diễn mối quan hệ  $u(t), i(t)$  theo thời gian. Đặc tính đóng cắt tiêu biểu của một diode được thể hiện như hình vẽ sau:





Nguyễn Đình Hùng



Đặc tính đóng cắt của một diode

- Từ đặc tính ta thấy trong đoạn  $0 < t < t_1$  khi đó  $U_s < 0$  nên diode bị phân cực ngược nên  $U_F < 0$ ,  $i_F = i_r$ . Đến thời điểm  $t = t_1$  khi đó  $U_s > 0$  khi đó diode bắt đầu dẫn dòng nạp cho tụ điện tương đương của tiếp giáp P-N trước đó đang bị phân cực ngược. Lúc này dòng điện thuận qua diode tăng dần lên đến giá trị xác lập còn điện áp rơi trên diode lúc này thay đổi từ giá trị  $U_R$  về giá trị  $U_F \approx (1 \div 1,5)V$ . Khi điện áp qua điểm 0V ở giai đoạn đầu điện áp dương có tăng lên vài vôn do điện trở vùng nghèo điện tích còn lớn. Từ thời điểm  $t_2$  đến  $t_3$  khi đó diode hoàn toàn ở trạng thái dẫn.

- Tại thời điểm  $t = t_3$  khi đó  $U_s < 0$ , ngay thời điểm ban đầu diode vẫn được phân cực thuận trong khoảng  $t_3 < t < t_4$  do các điện tích tại tiếp giáp chưa kịp di chuyển hết ra ngoài. Thời gian di chuyển phụ thuộc vào tốc độ tăng của dòng điện ngược  $di/dt$  và lượng điện tích tích lũy quyết định bởi giá trị dòng điện mà diode dẫn trước đó. Vì lúc này nội trở của diode vẫn còn nhỏ nên hình thành một dòng điện ngược

đi từ cathot sang Anot, dòng điện này có nhiệm vụ triệt tiêu dòng điện thuận và sinh ra dòng điện phân cực ngược diode. Đến thời điểm  $t = t_4$  khi đó diode bắt đầu bị phân cực ngược do vậy niii trở tại tiếp giáp tăng dần lên làm dòng điện ngược giảm đi và điện áp ngược bắt đầu tăng dần lên đến giá trị  $U_R$ . Trong khoảng thời gian từ  $t_4$  đến  $t_5$  tụ điện tương đương tại tiếp giáp được hình thành và được nạp đến giá trị điện áp ngược. Từ thời điểm  $t_6$  trở đi lúc này diode bị khóa hoàn toàn.

Để rõ hơn quá trình đóng cắt của một diode dưới đây giới thiệu đặc tính của một diode **RURU10060** trong công nghiệp do nhà sản xuất linh kiện cung cấp.

**Test Circuits and Waveforms**

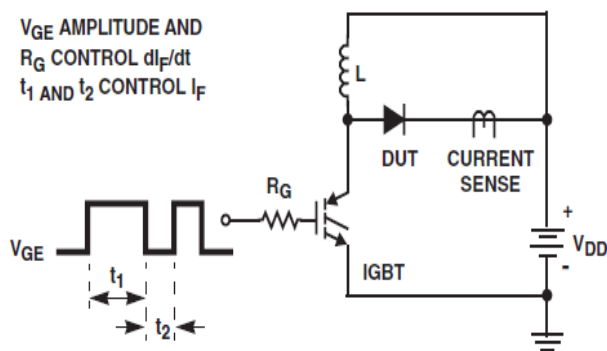


FIGURE 5.  $t_{rr}$  TEST CIRCUIT

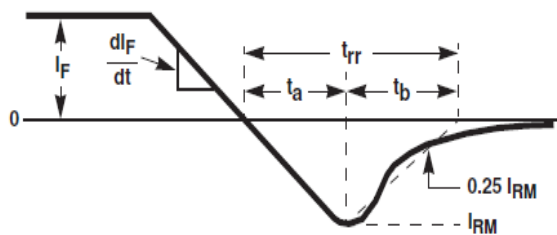


FIGURE 6.  $t_{rr}$  WAVEFORMS AND DEFINITIONS

$I = 1.6A$   
 $L = 40mH$   
 $R < 0.1\Omega$   
 $E_{AVL} = 1/2LI^2 [V_{R(AVL)}/(V_{R(AVL)} - V_{DD})]$   
 $Q_1 = IGBT (BV_{CES} > V_{R(AVL)})$

**Typical Performance Curves (Continued)**

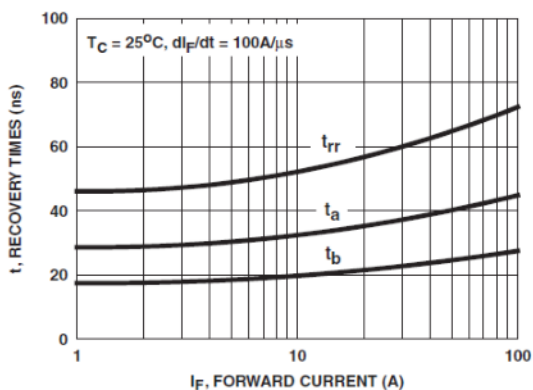


FIGURE 3.  $t_{rr}$ ,  $t_a$  AND  $t_b$  CURVES vs FORWARD CURRENT

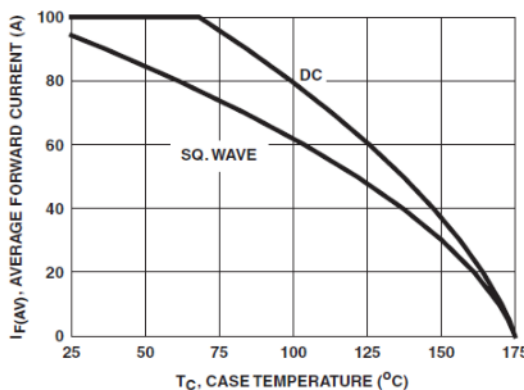


FIGURE 4. CURRENT DERATING CURVE

**c> Các tham số cơ bản của Diode**

- Giá trị trung bình của dòng điện cho phép chạy qua diode theo chiều thuận,  $I_{DAV}$ . Trong quá trình làm việc dòng điện chạy qua diode sẽ làm phát nóng tinh thể bán dẫn của diode. Công suất tổn hao của diode khi đó sẽ bằng tích dòng điện chạy qua nó với điện áp rơi trên diode. Diode chỉ dẫn dòng theo một chiều từ anốt đến catot.

Điều này có nghĩa là công suất phát nhiệt tỷ lệ với dòng điện trung bình qua diode, Vì vậy giá trị  $I_{DAV}$  là một thông số quan trọng để lựa chọn một diode trong một ứng dụng cụ thể.

- Giá trị điện áp ngược lớn nhất mà diode có thể chịu đựng được,  $U_{ng,max}$  ( $U_{RRM}$ )

$U_{ng,max}$  là giá trị điện áp ngược lớn nhất mà diode có thể chịu đựng được, đây cũng là một thông số quan trọng để lựa chọn một diode. Như ở đặc tính vôn – ampe đã chỉ ra, quá trình diode bị đánh thủng là quá trình không thể đảo ngược được, vì vậy trong các ứng dụng thực tế khi lựa chọn diode phải luôn đảm bảo  $U_{AK} \leq U_{ng,max}$ .

- Tần số làm việc của diode.

Quá trình phát nhiệt trên diode còn phụ thuộc vào tần số đóng cắt của diode. Trong các khoảng thời gian diode mở ra hoặc khóa lại công suất tổn hao tức thời  $u(t) \cdot i(t)$  có giá trị lớn hơn lúc diode dẫn dòng hoặc lúc đang bị khóa. Vì vậy nếu tần số đóng cắt cao, hoặc trong trường hợp thời gian đóng cắt của diode

So sánh được với khoảng dẫn dòng hoặc khóa thì tổn thất trên diode lại bị quy định chủ yếu bởi tần số làm việc chứ không phải chỉ có giá trị dòng điện trung bình. Các diode được chế tạo để phù hợp với các dải tần số làm việc khác nhau, nên khi lựa chọn diode cần phải quan tâm đến tần số làm việc của diode.

- Thời gian phục hồi  $t_r$ .

Trong các bộ biến đổi thường xảy ra quá trình chuyển mạch giữa các phần tử, nghĩa là quá trình dòng điện chuyển từ một phần tử này sang một phần tử khác. Các diode khi khóa lại có dòng ngược có thể có biên độ rất lớn để di tản các điện tích ra khỏi cấu trúc bán dẫn của mình trong khoảng thời gian  $t_r$ , gọi là thời gian phục hồi. Thời gian phục hồi cũng quyết định tổn thất công suất trong diode. Các diode có thời gian phục hồi rất ngắn cỡ  $\mu s$ , gọi là các diode cắt nhanh. Cần phải phân biệt các diode cắt nhanh với các diode tần số cao, và  $t_r$  là một thông số cần quan tâm khi lựa chọn diode. Dưới đây chúng tôi giới thiệu bảng thông số cụ thể của một diode trong công nghiệp.



**Absolute Maximum Ratings**  $T_C = 25^{\circ}\text{C}$

	RURU10060	UNITS
Peak Repetitive Reverse Voltage . . . . . $V_{RRM}$	600	V
Working Peak Reverse Voltage . . . . . $V_{RWM}$	600	V
DC Blocking Voltage . . . . . $V_R$	600	V
Average Rectified Forward Current . . . . . $I_{F(AV)}$ ( $T_C = 70^{\circ}\text{C}$ )	100	A
Repetitive Peak Surge Current . . . . . $I_{FRM}$ (Square Wave, 20kHz)	200	A
Nonrepetitive Peak Surge Current . . . . . $I_{FSM}$ (Halfwave, 1 Phase, 60Hz)	1000	A
Maximum Power Dissipation . . . . . $P_D$	210	W
Avalanche Energy (See Figures 7 and 8) . . . . . $E_{AVL}$	50	mJ
Operating and Storage Temperature . . . . . $T_{STG}, T_J$	-65 to 175	$^{\circ}\text{C}$

**Electrical Specifications**  $T_C = 25^{\circ}\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

SYMBOL	TEST CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS
$V_F$	$I_F = 100\text{A}$	-	-	1.6	V
	$I_F = 100\text{A}, T_C = 150^{\circ}\text{C}$	-	-	1.4	V
$I_R$	$V_R = 600\text{V}$	-	-	250	$\mu\text{A}$
	$V_R = 600\text{V}, T_C = 150^{\circ}\text{C}$	-	-	2.0	mA
$t_{rr}$	$I_F = 1\text{A}, dI_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	80	ns
	$I_F = 100\text{A}, dI_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	100	ns
$t_a$	$I_F = 100\text{A}, dI_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	45	-	ns
$t_b$	$I_F = 100\text{A}, dI_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	25	-	ns
$R_{\theta JC}$		-	-	0.71	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$

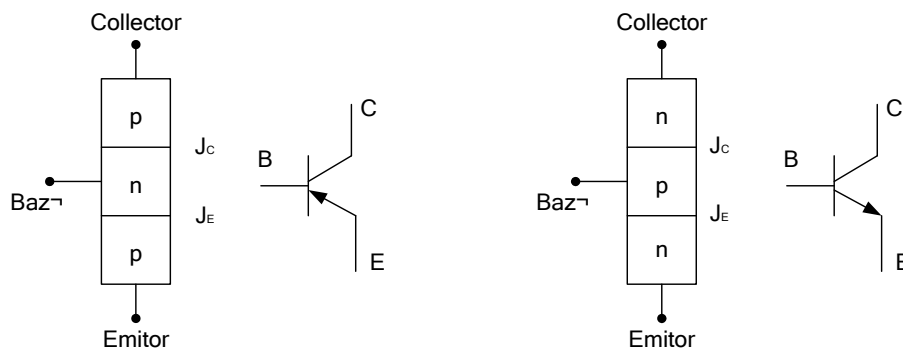
Nguyễn Đình Hùng

### 1.2.2 Transistor công suất (Bipolar transistor) - BJT

#### a> Cấu tạo và đặc điểm chung

Transistor công suất có cấu tạo, ký hiệu tương tự như Transistor thường với các loại như NPN hay PNP. Nó cũng được cấu tạo bởi ba miền bán dẫn, được ghép liên tiếp nhau, miền ở giữa luôn khác tên với 2 miền bên cạnh, tạo nên hai lớp tiếp giáp PN. Tiếp giáp giữa cực B và cực C gọi là tiếp giáp  $J_c$ , còn tiếp giáp giữa cực B và cực E gọi là tiếp giáp  $J_E$ . Nếu miền bán dẫn ở giữa là loại N thì 2 miền bên cạnh là loại P khi đó ta có loại transistor thuận PNP. Ngược lại nếu miền bán ở giữa là loại P thì 2 miền bên cạnh là loại N khi đó ta có loại transistor ngược NPN.

- Transistor công suất đưa ra ngoài ba cực, cực nối với lớp bán dẫn ở giữa gọi là cực gốc B (bazơ), cực nối với lớp bán dẫn mà khi làm việc có điện trường ngoài ngược chiều với điện trường trong gọi là cực phát E (Emitter), cực nối với lớp bán dẫn còn lại là cực C (Collector).



**Hình 1.6: Cấu trúc và ký hiệu của tranzitor thuận - ngược**

Thông thường các transistor thường làm việc ở chế độ khuếch đại với dòng collector lớn hơn dòng bazơ là  $\beta$  lần.

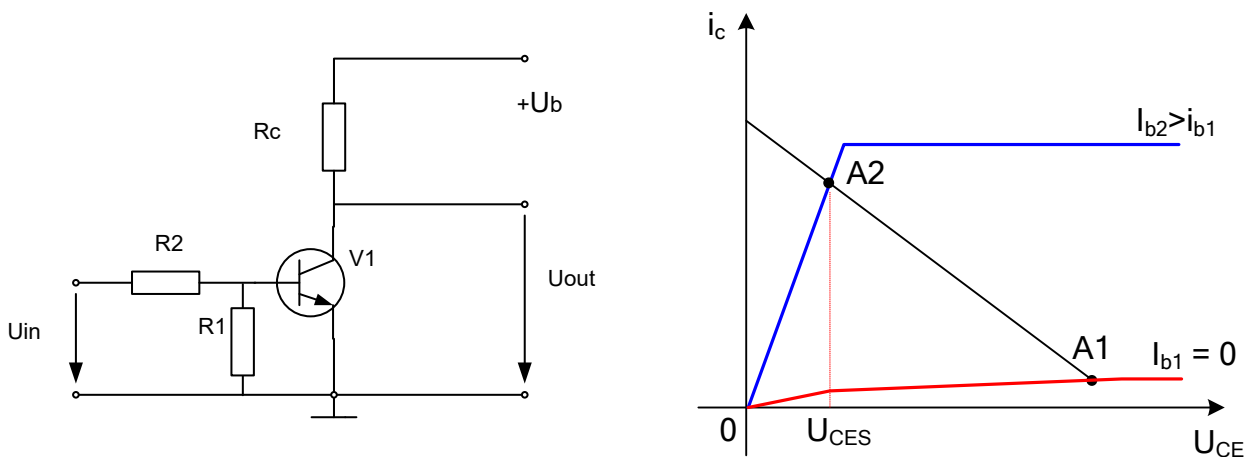
$$I_C = \beta \cdot I_B$$

Trong đó  $\beta = 10 - 100$  gọi là hệ số khuếch đại tùy thuộc vào BJT. tuy nhiên điểm khác cơ bản với Transistor thường là Transistor công suất thường được sử dụng như

1 khoá đóng - cắt điện tử, khi điều khiển mở phải thỏa mãn điều kiện:  $I_B > \frac{I_C}{\beta}$  hay

$$I_B = K_{bh} \cdot \frac{I_C}{\beta}$$

với  $K_{bh} = 1,2 \div 1,25$ . Điểm khác biệt nữa là tiếp giáp của Transistor công suất có diện tích lớn hơn transistor thường, nó có thể đạt đến hàng chục  $mm^2$  và nó có thể cho dòng điện qua hàng chục đến hàng trăm Ampe, chịu được tần số đóng cắt tương đối cao và điện áp làm việc khá lớn, nó còn được gọi là phần tử khuếch đại chuyển mạch. Transistor công suất làm việc ở chế độ đóng cắt nên có hai điểm làm việc khác biệt. Hình 1.7 mô tả sơ đồ một bộ khuếch đại chuyển mạch và điểm làm việc của transistor:



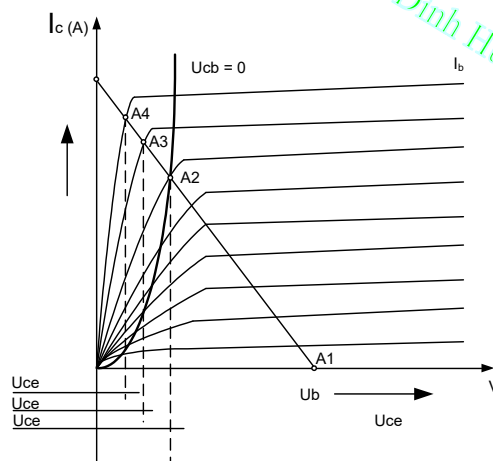
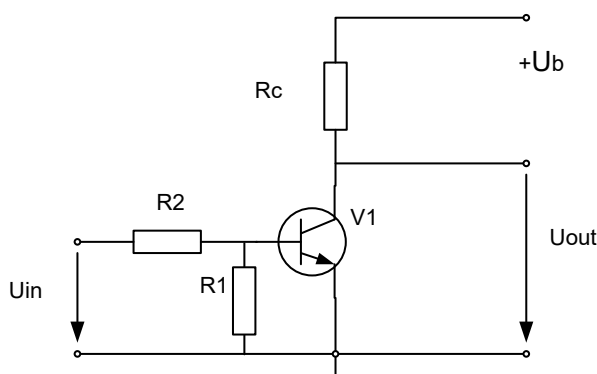
**Hình 1.7: Sơ đồ khuếch đại chuyển mạch và điểm làm việc trên đặc tuyến ra của tranzitor**

Như vậy, một Transistor làm việc ở trạng thái khoá điện tử thì nó chỉ làm việc ở hai trạng thái đóng tại điểm A2 hoặc cắt tại điểm A1 hay dẫn - không dẫn.

**b> Nguyên lý làm việc**

- Để tranzitor làm việc ta cần phân cực cho tranzitor sao cho tiếp giáp  $J_E$  phân cực thuận còn  $J_C$  phân cực ngược. Cụ thể ta xét với loại tranzitor ngược (NPN) khi  $J_E$  được phân cực thuận thì các hạt đa số được di chuyển đến tiếp giáp  $J_E$  làm cho điện trở tiếp giáp  $J_E$  giảm làm xuất hiện dòng điện  $I_B$ . Khi đó tiếp giáp  $J_C$  được phân cực ngược nhưng do điện trường ngoài lớn hơn rất nhiều so với điện trường nội tại nên phần lớn các điện tử bị hút về cực dương của nguồn ngoài tạo nên dòng điện  $I_C$ . Dòng điện  $I_C$  phụ thuộc vào độ lớn của dòng điều khiển  $I_B$ .

**c>. Đường đặc tính làm việc và sự điều khiển quá mức của transistor**



**Hình 1.8: Đặc tính làm việc của công tắc Transistor**

Để phân biệt điểm làm việc thông thường của transistor với điểm làm việc quá mức ta xét mạch điện như hình 1.8 với tải thuần trở. Ở trạng thái làm việc bình thường nếu transistor dẫn, thì điểm làm việc trong vùng đặc tính đầu ra tăng từ A1 đến A2. Ở đây dòng điện  $I_C$  tăng tuyến tính với dòng điện  $I_B$  khi dòng điện  $I_B$  tăng càng lớn thì điểm làm việc sẽ chuyển từ A2 vượt qua A3 đến A4. Đến đây dòng điện  $I_C$  tăng rất ít khi tăng giá trị  $i_B$ . Ở đây điện áp  $U_{CE}$  giảm xuống bé hơn điện áp bão hoà  $U_{CEsat}$  chúng được gọi là:  $U_{CErest}$ . Điểm làm việc như vậy tại A4 gọi là điểm làm việc quá mức.

**d> Sự điều khiển quá mức của Transistor**

Sự điều khiển quá mức là trạng thái hoạt động của Transistor, mà khi có dòng điện  $I_B$  có giá trị lớn chạy qua, nó lớn hơn cả dòng điện cần thiết để dòng  $I_C$  đạt tới cực đại. Ở điều khiển quá mức thì dòng điện  $I_C$  thay đổi không còn tuyến tính với dòng  $I_B$  nữa. Điểm điều khiển quá mức đạt đến nếu  $U_{BE} < U_{CEsat}$  có nghĩa là  $U_{CB} \approx 0$ . Transistor được điều khiển quá mức nếu nó cần làm việc như là một công tắc. Sự điều khiển quá mức có ưu điểm là điện áp dư  $U_{CErest}$  rất nhỏ, làm cho công suất tổn hao giảm đi.

Mức độ điều khiển quá mức được tính toán theo hệ số điều khiển quá mức **K** nó chính là tỉ số dòng điện  $I_B$  thực tế và dòng điện  $I_B'$  cần thiết để Transistor điều khiển đến giới hạn  $U_{CB} \approx 0$ .

$$K = I_B / I_B'$$

Thông thường tỉ số này được chọn từ  $K = 2 - 5$ .