

TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG
KHOA CÔNG NGHỆ TỰ ĐỘNG HÓA



Th.S. Nguyễn Thị Thu Hiền
Th.S. Hoàng Thị Thương
Th.S. Lê Hồng Thu
Th.S. Nguyễn Ngọc Ánh

BÀI GIẢNG
ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT

Tài liệu lưu hành nội bộ

TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG
KHOA CÔNG NGHỆ TỰ ĐỘNG HÓA

Th.S. Nguyễn Thị Thu Hiền

Th.S. Hoàng Thị Thương

Th.S. Lê Hồng Thu

Th.S. Nguyễn Ngọc Ánh

BÀI GIẢNG
ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT

Thái Nguyên, tháng 12 năm 2022

Mục lục

Mở đầu	6
CHƯƠNG I: CÁC PHẦN TỬ BÁN DẪN CÔNG SUẤT	7
Bài 1: Các phần tử bán dẫn công suất (Số tiết: 3 tiết)	7
1.1 Diot công suất	7
1.1.1. Diot công suất thường	7
1.1.2 Diot ổn áp zener	9
1.2 Tiristor (Thyristor)	10
1.2.1. Cấu tạo, ký hiệu.....	10
1.2.2. Nguyên lý hoạt động	10
1.3. Triac	14
1.3.1. Cấu tạo, nguyên lý hoạt động.....	14
1.4. GTO (Gate turn-off thyristor)	16
1.4.1. Đặc điểm cấu tạo.....	16
1.5. Transitor	18
1.5.1. Transistor công suất lưỡng cực (BJT)	18
Câu hỏi, bài tập cuối chương 1.....	31
Chương II: MẠCH CHỈNH LƯU KHÔNG ĐIỀU KHIỂN.....	32
Bài 2: Mạch chỉnh lưu không điều khiển (Số tiết: 3 tiết)	32
2.1. Các vấn đề chung	32
2.1.1. Cấu trúc mạch chỉnh lưu	32
2.2 Chỉnh lưu một pha nửa chu kỳ	34
2.2.1. Trường hợp Tải R (tải thuần trở).....	34
2.3. Chỉnh lưu một pha hai nửa chu kỳ	37
2.3.1. Trường hợp tải R.....	37
Câu hỏi, bài tập cuối bài.....	39
Bài 3: Chỉnh lưu 3 pha, không điều khiển (Số tiết: 1 tiết) [1]; [3]	41
2.4. Chỉnh lưu ba pha, không điều khiển.....	41
2.4.1. Chỉnh lưu ba pha hình tia, không điều khiển.....	41
Câu hỏi, bài tập cuối bài.....	45
Câu hỏi, bài tập cuối chương 2.....	47
Chương III: MẠCH CHỈNH LƯU CÓ ĐIỀU KHIỂN	48
Bài 4: Mạch chỉnh lưu có điều khiển (Số tiết: 2 tiết) [1]; [2].....	48
3.1. Các vấn đề chung	48
3.1.1 Điểm mở tự nhiên, góc phát xung	48
3.2. Chỉnh lưu một pha nửa chu kỳ	56

Câu hỏi, bài tập cuối bài.....	61
Bài 5: Chinh lưu một pha hai nửa chu kỳ, Chinh lưu 3 pha (3 tiết) [1]; [3].....	62
3.3. Chinh lưu một pha hai nửa chu kỳ	62
3.4.1. Chinh lưu 3 pha hình tia, có điều khiển.....	67
3.5. Tổng quan về mạch tạo xung điều khiển.....	73
Câu hỏi, bài tập cuối bài.....	77
Câu hỏi, bài tập cuối chương 3.....	78
* Câu hỏi:	78
Chương IV: CÁC BỘ LỌC.....	80
Bài 6: Các bộ lọc (số tiết: 3 tiết).....	80
4.1 Khái quát về các mạch lọc và tác dụng	80
4.2. Các bộ lọc tích cực	80
4.2.1 Lọc bằng tụ điện hoặc bộ lọc RC (hay mạch lọc C).....	80
Câu hỏi, bài tập chương 4	84
CHƯƠNG V. BỘ BẮM ĐIỆN ÁP MỘT CHIỀU VÀ BỘ ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP XOAY CHIỀU. 85	
Bài 7. Bộ băm điện áp một chiều (3 tiết).....	85
5.1. Bộ băm điện áp một chiều (HACHEUR).....	85
5.1.1 HACHEUR nối tiếp	86
5.1.2. HACHEUR song song (bộ băm xung áp song song)	91
5.1.3. HACHEUR đảo dòng.....	93
Câu hỏi, bài tập cuối bài.....	94
Bài 8. Bộ điều chỉnh điện áp xoay chiều (3 tiết).....	97
5.2 Bộ điều chỉnh điện áp xoay chiều	97
5.2.1. Bộ điều áp xoay chiều một pha	98
5.2.2. Bộ điều áp xoay chiều ba pha.....	104
Câu hỏi, bài tập cuối bài.....	110
Câu hỏi, bài tập cuối chương 5.....	111
CHƯƠNG VI. BIẾN TẦN.....	113
Bài 9. Thiết bị biến tần trực tiếp (3tiết).....	113
6.1. Các loại biến tần.....	113
6.2. Thiết bị biến tần trực tiếp	113
6.2.1. Nguyên lý làm việc của bộ biến tần trực tiếp một pha.....	114
6.2.2. Nguyên lý làm việc của bộ biến tần trực tiếp ba pha	114
Câu hỏi, bài tập cuối bài.....	116
Bài 10. Thiết bị biến tần gián tiếp (3 tiết)	117
6.3. Biến tần gián tiếp	117
6.2.1. Biến tần gián tiếp một pha.....	117

6.3.2. Biến tần gián tiếp ba pha (bộ nghịch lưu ba pha).....	120
Câu hỏi, bài tập cuối bài.....	123
Bài 11. Bảo vệ các thiết bị biến đổi (3 tiết).....	124
6.4. Bảo vệ các thiết bị biến đổi.....	124
6.3.1. Công suất tổn thất và làm mát.....	124
6.3.2. Bảo vệ các chế độ sự cố.....	126
Câu hỏi, bài tập cuối bài.....	130
Câu hỏi, bài tập cuối chương 6.....	131
Tài liệu tham khảo.....	132
Các câu hỏi thường gặp.....	133
BÀI TẬP THỰC HÀNH	139
Bài thực hành 1: Mạch kích tiristor và triac (06 tiết).....	139
Bài thực hành 2: Chỉnh lưu công suất một pha (03 tiết).....	165
Bài thực hành 3: Chỉnh lưu công suất ba pha (03 Tiết).....	191
Bài thực hành 4: Biến đổi điện áp xoay chiều (03 Tiết).....	200
Bài thực hành 5: Bộ biến đổi nguồn DC-DC công suất (03 Tiết).....	213
Bài thực hành 6: Biến tần theo phương pháp biến đổi điện thế (Switching DC-Dc inverter) (06 Tiết))	225
Bài thực hành 7: Biến tần kiểu điều rộng xung (06 Tiết).....	244

Mở đầu

Bài giảng Điện tử công suất được tập thể giảng viên thuộc bộ môn Kỹ thuật điện - điện tử biên soạn nhằm phục vụ cho việc giảng dạy của giảng viên và học tập của sinh viên Trường Đại học Công nghệ thông tin và Truyền thông - Đại học Thái Nguyên. Tập bài giảng này được biên soạn theo nội dung đề cương chi tiết học phần Điện tử công suất ở trình độ đại học.

Nội dung tài liệu cung cấp cho sinh viên các kiến thức cơ bản về các linh kiện bán dẫn công suất, các bộ biến đổi công suất; kỹ năng kiểm tra thiết bị, kiểm tra mạch, đấu nối mạch và kỹ năng trình bày báo cáo. Sau khi hoàn thành học phần này, sinh viên có thể nắm vững các linh kiện bán dẫn công suất, cách điều khiển và nguyên lý làm việc của chúng và các bộ biến đổi công suất, thành thạo trong việc đấu nối các mạch công suất. Nội dung tài liệu gồm 6 chương:

Chương 1. Các phần tử bán dẫn công suất

Chương 2. Mạch chỉnh lưu không điều khiển

Chương 3. Chỉnh lưu có điều khiển

Chương 4. Các bộ lọc

Chương 5. Bộ băm điện áp một chiều và Bộ điều chỉnh điện áp xoay chiều

Chương 6. Thiết bị biến tần và bảo vệ thiết bị

Mặc dù tập thể tác giả đã dành nhiều thời gian và công sức để biên soạn, song khó tránh khỏi thiếu sót. Vậy, chúng tôi kính mong quý thầy cô và các bạn sinh viên đóng góp ý kiến để cuốn bài giảng được hoàn thiện hơn. Xin trân trọng cảm ơn.

CHƯƠNG I: CÁC PHẦN TỬ BÁN DẪN CÔNG SUẤT

Nội dung chính của chương: Chương 1 cung cấp cho sinh viên các khái niệm, cấu tạo, nguyên lý làm việc, đặc tính làm việc, ứng dụng của các linh kiện bán dẫn công suất.

Mục tiêu cần đạt được của chương: Sau khi học xong chương 1, giúp sinh viên nắm rõ được cấu tạo, nguyên lý hoạt động, hình dạng thực tế của các thiết bị bán dẫn công suất thông dụng thường được sử dụng trong các mạch điện tử. Ngoài ra, giúp sinh viên có cái nhìn tổng quan về vai trò môn học đối với thực tế sản xuất.

Bài 1: Các phần tử bán dẫn công suất (Số tiết: 3 tiết)

Trong các mạch điện tử công suất, các phần tử bán dẫn quen thuộc như: điốt, tranzitor, tiristor, IGBT... khi làm việc chỉ ở hai trạng thái chính là mở ra để dẫn dòng và khóa lại không cho dòng điện đi qua. Vì vậy, các phần tử bán dẫn trong các mạch điện tử công suất được gọi là các van bán dẫn.

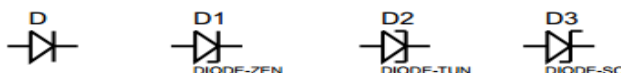
1.1 Diot công suất

1.1.1. Diot công suất thường

Khái niệm Diot: Điốt công suất được tạo nên chủ yếu bởi thành phần silic, được cấu tạo từ một mặt tiếp giáp pn (mặt ghép). Diện tích mặt ghép có thể lên tới hàng chục cm^2 với dòng điện cỡ 10 A/mm^2 .

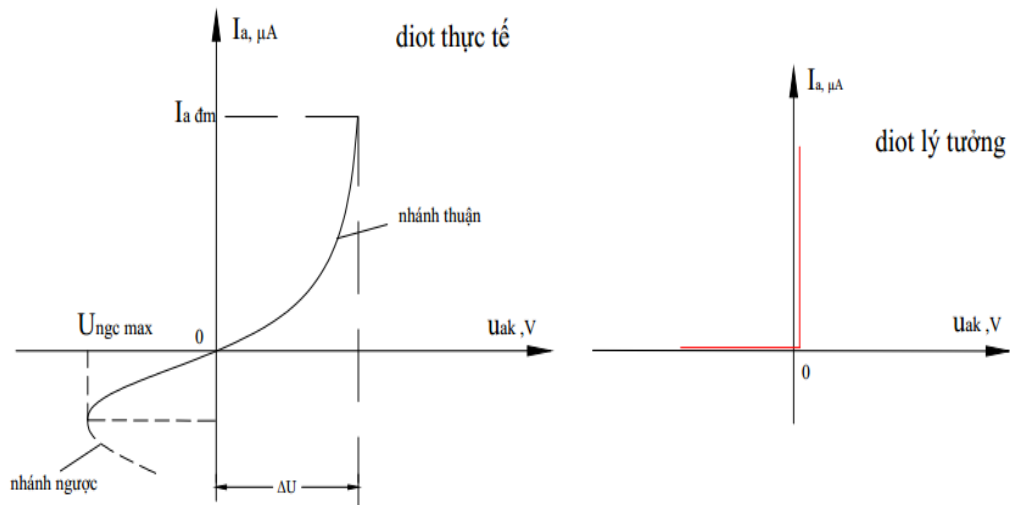
Nguyên lý làm việc: Nếu đặt vào p (anốt) một điện thế dương so với n (catốt) thì điốt sẽ phân cực thuận, sẽ có dòng chạy qua và tạo nên một điện áp rơi (sụt áp thuận) khoảng 0.7V khi dòng định mức. Nếu đặt điện áp ngược lại (phân cực ngược) thì chỉ có dòng điện rò khoảng vài mA có thể chạy qua được. Khi tiếp tục tăng điện áp phân cực ngược đến một giá trị đủ lớn, các điện tích được gia tốc gây va chạm dây chuyền làm tiếp giáp pn bị chọc thủng. Kết quả điốt mất tính dẫn điện theo một chiều khi điện áp vượt quá điện áp ngược cực đại U_{ngmax} . Điốt công suất được chế tạo để chịu được một giá trị điện áp ngược nhất định.

Phân loại Diot: Diot được chia thành 5 loại bao gồm các loại diot bán dẫn, diot ổn áp (diot zener), diot tunel, diot Gunn, diot Pin.



Hình 1.1: Các loại Diot công suất

Đặc tính V-A của Diot:



Hình 1.2: Đặc tính diot thực tế và lý tưởng

Từ đặc tính vôn-ampe cho ta biết một số tính chất của điôt trong quá trình làm việc của nó. Đặc tính của diot được chia thành hai phần:

- + Đặc tính thuận nằm trong góc phần tư thứ I tương ứng với $U_{AK} > 0$
- + Đặc tính ngược nằm trong góc phần tư thứ III tương ứng với $U_{AK} < 0$

Trên đường đặc tính thuận, nếu điện áp anôt-catôt tăng dần từ 0 đến khi vượt qua ngưỡng điện U_{D0} (cỡ 0,6V), dòng có thể chảy qua điôt. Dòng điện I_D có thể thay đổi rất lớn nhưng điện áp rơi trên trên điôt U_{AK} hầu như ít thay đổi. Như vậy đặc tính thuận của điôt đặc trưng bởi tính chất có điện trở tương đương nhỏ. Các thông số quan trọng trên nhánh thuận là: giá trị điện áp ngưỡng U_{D0} và giá trị điện trở tương đương khi điôt dẫn dòng r_D .

Các thông số để lựa chọn diot:

- Dòng điện thuận định mức: $I_{ađm}$;

Vì dòng điện chạy qua điôt làm phát nóng tinh thể bán dẫn của nó. Dòng điện một chiều đi qua điôt sẽ làm ảnh hưởng đến công suất phát nhiệt của điôt theo tỉ lệ thuận. Vì vậy đây là thông số quan trọng để lựa chọn điôt trong thực tế.

$$I_{ađm} = K_i * I_{tính\ toán}, K_i = 1.2$$

- Điện áp ngược cực đại cho phép: U_{ngmax} ;

Khi nghiên cứu đặc tính V-A của điôt giá trị điện áp ngược ảnh hưởng đến khả năng làm việc của điôt không bị đánh thủng. Thông thường phải luôn đảm bảo sao cho $U_{AK} < U_{ng.max}$.

$$U_{ngmax} = K_u * U_{im}, K_u = 1.6;$$

- *Sụt áp thuận*: $\Delta U_a, V$;

Chọn ổn áp có ΔU_a nhỏ; thông thường sụt áp thuận của diot nằm trong khoảng (0.7 V ÷ 2 V).

- *Tần số f_{max}* ;

Quá trình phát nhiệt của điôt còn phụ thuộc vào tần số đóng cắt của nó. Trong quá trình điôt mở ra hoặc khóa lại, tổn hao công suất tức thời $u(t).i(t)$ có giá trị lớn hơn lúc điôt dẫn dòng hoặc bị khóa. Vì vậy tần số đóng cắt cao mà thời gian đóng cắt so sánh được với thời gian dẫn dòng thì tổn thất trên điôt lại bị quy định chủ yếu bởi tần số làm việc mà không phải giá trị trung bình của dòng điện.

- *Điện trở tĩnh R_t và điện trở động r_d* ;

1.1.2 Diot ổn áp zener

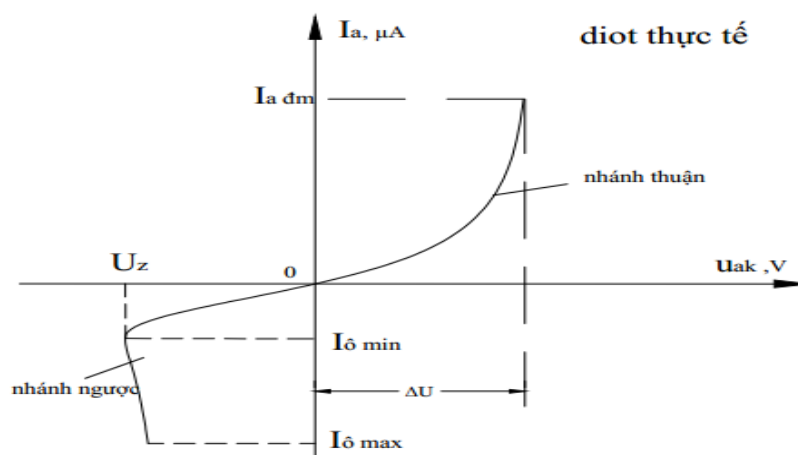
- **Cấu tạo**: Từ một tiếp giáp PN nhưng có cấu trúc đặc biệt sao cho làm việc trong vùng đánh thủng của đặc tính ngược mà không bị phá hỏng.

- **Ký hiệu**:



Hình 1.3: Diot zener

***Đặc tính V_A của diot:**



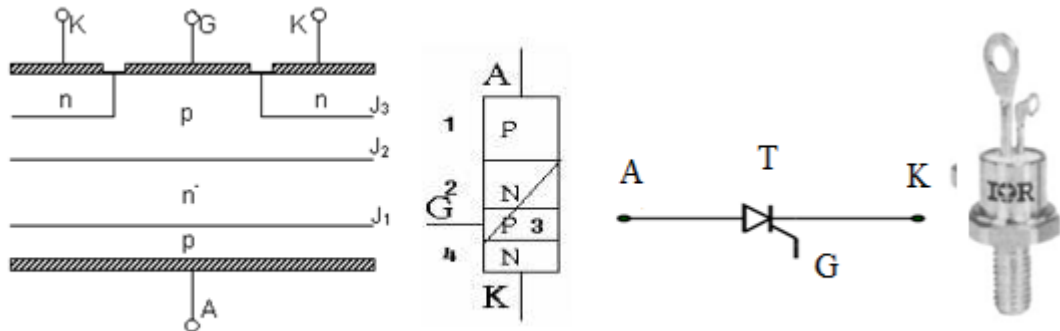
Hình 1.4: Đặc tính diot zener thực tế và lý tưởng

Nếu $I_{0min} < I_{0z} < I_{0max}$ thì $U_z = const$;

1.2 Tiristor (Thyristor)

1.2.1. Cấu tạo, ký hiệu

Tiristor là phần tử bán dẫn cấu tạo từ 4 lớp bán dẫn p-n-p-n, tạo thành 3 lớp tiếp giáp pn là J_1, J_2, J_3 . Tiristor có 3 cực tương ứng là cực anot (A), cực catot (K), cực điều khiển (G - Gate).



Hình 1.5: Tiristor

a. Cấu trúc mạng tinh thể; b. Cấu tạo; c. Ký hiệu; d. Hình dáng thật

1.2.2. Nguyên lý hoạt động

Khi đặt tiristor dưới điện áp một chiều, anot nối với cực dương, catot nối với cực âm ($U_{ak} > 0$), khi đó tiếp giáp J_1, J_3 sẽ được phân cực thuận, J_2 sẽ phân cực ngược. Lúc này không có dòng điện chạy qua tiristor vì chưa có dòng điều khiển.

a. Mở tiristor:

Khi được phân cực thuận, $U_{ak} > 0$, Thyristor có thể mở bằng hai cách:

- *Cách thứ nhất:* Có thể tăng điện áp anode-catode cho đến khi đạt đến giá trị điện áp thuận lớn nhất (U_{thmax}). Điện trở tương đương trong mạch anode-catode sẽ giảm đột ngột và dòng qua thyristor sẽ hoàn toàn do mạch ngoài xác định. Phương pháp này trong thực tế không được áp dụng do nguyên nhân mở không mong muốn và không phải lúc nào cũng tăng được điện áp đến giá trị U_{thmax} . Hơn nữa như vậy xảy ra trường hợp thyristor tự mở ra dưới tác dụng của các xung điện áp tại một thời điểm ngẫu nhiên, không định trước.

- *Cách thứ hai:* Phương pháp này được áp dụng nhiều trong thực tế, là đưa một xung dòng điện có giá trị nhất định vào các cực điều khiển và catode. Xung dòng điện điều khiển sẽ chuyển trạng thái của thyristor từ trở kháng cao sang trở kháng thấp ở mức điện áp anode-catode nhỏ. Khi đó nếu dòng qua anode-catode lớn hơn một giá trị nhất định gọi là dòng duy trì (I_{dt}) thyristor sẽ tiếp tục ở trong trạng thái mở dẫn dòng mà không