

Điện tử công suất

Mã số: EE3147

Ts. Trần Trọng Minh

Bộ môn Tự động hóa Công nghiệp,

Viện Điện, ĐHBK Hà nội

Hà nội, 8 - 2013

Mục tiêu và yêu cầu

- Mục tiêu:

- Nắm được các kiến thức cơ bản về quá trình biến đổi năng lượng điện dùng các bộ biến đổi bán dẫn công suất cũng như những lĩnh vực ứng dụng tiêu biểu của biến đổi điện năng.
- Có hiểu biết về những đặc tính của các phần tử bán dẫn công suất lớn.
- Có các khái niệm vững chắc về các quá trình biến đổi xoay chiều – một chiều (AC – DC), xoay chiều – xoay chiều (AC – AC), một chiều – một chiều (DC – DC), một chiều – xoay chiều (DC – AC) và các bộ biến tần.
- Biết sử dụng một số phần mềm mô phỏng như MATLAB, PLECS, ... để nghiên cứu các chế độ làm việc của các bộ biến đổi.
- Sau môn học này người học có khả năng tính toán, thiết kế những bộ biến đổi bán dẫn trong những ứng dụng đơn giản.

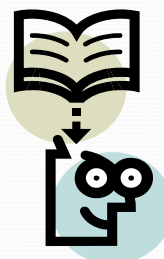
- Yêu cầu:

- Nghe giảng và đọc thêm các tài liệu tham khảo,
- Sử dụng Matlab-Simulink để mô phỏng, kiểm chứng lại các quá trình xảy ra trong các bộ biến đổi,
- Củng cố kiến thức bằng cách tự làm các bài tập trong sách bài tập.

Thi và kiểm tra

- **Đánh giá kết quả:**

- Điểm quá trình: trọng số 0,25
- Kiểm tra giữa kỳ: 0,25
- Thi cuối kỳ: 0,75
- *Tất cả các lần thi và kiểm tra đều được tham khảo tất cả các loại tài liệu (Open book examination).*



Tài liệu tham khảo

- Slides (Được cung cấp theo từng chương).
- 1. ***Giáo trình Điện tử công suất***; Trần Trọng Minh; NXB Giáo dục Việt nam, 2012 (new).
- 2. ***Điện tử công suất***; Võ Minh Chính, Phạm Quốc Hải, Trần Trọng Minh; NXB KH&KT Hà nội, 2009.
- 3. ***Phân tích và giải mạch Điện tử công suất***; Phạm Quốc Hải, Dương Văn Nghi; NXB KH&KT, 1999.
- 4. ***Hướng dẫn thiết kế Điện tử công suất***; Phạm Quốc Hải; NXB KH&KT 2009.

Các môn học liên quan đến ĐTCS

EE 3410 Điện tử công suất 3(3-0-1-6)

EE 4336 Thiết kế hệ thống điều khiển Điện tử công suất 3(2-1-0-4)

EE 6032 Điều khiển Điện tử công suất 3(3-0-0-6)

EE 6232 Điện tử công suất nâng cao 2(2-0-0-4)

EE 7xxx Những thành tựu mới của Điện tử công suất 2(2-0-0-4)

10/22/2010

5

Điện tử công suất là gì?

Yêu cầu về các bộ biến đổi điện – điện

- Điện năng sản xuất tập trung tại các nhà máy điện.
- Truyền tải đi xa nhờ hệ thống đường dây.
- Tại nơi tiêu thụ các thiết bị điện được chế tạo phù hợp với các thông số của nguồn điện: điện áp (V), tần số (Hz), số pha, ...

Ưu điểm cơ bản của năng lượng điện

Tuy nhiên ...

- Nhiều phụ tải điện yêu cầu nguồn điện có các thông số thay đổi được:
 - $U=\text{var}$; $f=\text{var}$; ...
 - AC hay DC.

Vì vậy cần có bộ biến đổi điện – điện, với hiệu suất cao, phục vụ nhu cầu của các phụ tải điện.

10/22/2010

6

Điện tử công suất là gì?

Bộ biến đổi bán dẫn

- BBĐ bán dẫn sử dụng các phần tử bán dẫn như những khóa điện tử, nối phụ tải vào nguồn theo những quy luật nhất định, theo những khoảng thời gian nhất định, tạo nên nguồn điện theo yêu cầu của phụ tải.

Hiệu suất cao: vấn đề trung tâm của ĐTCS.

Vấn đề trung tâm của ĐTCS

- Đảm bảo BBĐ có hiệu suất cao nhất có thể.
- Điều này đạt được nhờ cách sử dụng các phần tử bán dẫn như các khóa điện tử:
 - Thông mạch: $u_V=0, r_V=0$;
 - Không thông: $i_V=0, r_V=\infty$.
- Phần tử bán dẫn: khóa điện tử không tiếp điểm, không hạn chế về tần số đóng cắt.
- Điều khiển bởi mạch công suất nhỏ.

10/22/2010

7

ĐTCS: Xu hướng phát triển và phạm vi ứng dụng

Xu hướng

- Xu hướng phát triển: dải công suất trải rộng, từ nhỏ, ...
- ... Đến lớn và rất lớn.
- Ứng dụng: rộng khắp, từ các thiết bị cầm tay, dân dụng đến các hệ thống thiết bị công nghiệp.
- Đặc biệt: tham gia vào điều khiển trong hệ thống năng lượng.

Ví dụ

- Vài W đến vài trăm W, thành phần chính trong các hệ thống Power management của các thiết bị nhỏ.
- Vài trăm kW đến vài chục MW.
- FACTS: hệ truyền tải,
- DG – Distributed Generation, Custom Grid, Renewable Energy System, ...

10/22/2010

8

ĐTCS: Xu hướng phát triển và phạm vi ứng dụng

Nguyên nhân phát triển

- Sự phát triển của ĐTCS liên quan đến:
 - Công nghệ chế tạo các phần tử bán dẫn công suất đạt được những bước tiến lớn.
 - Các tiến bộ vượt bậc trong công nghệ các phần tử điều khiển và lý thuyết điều khiển.

Các dữ liệu thực tế

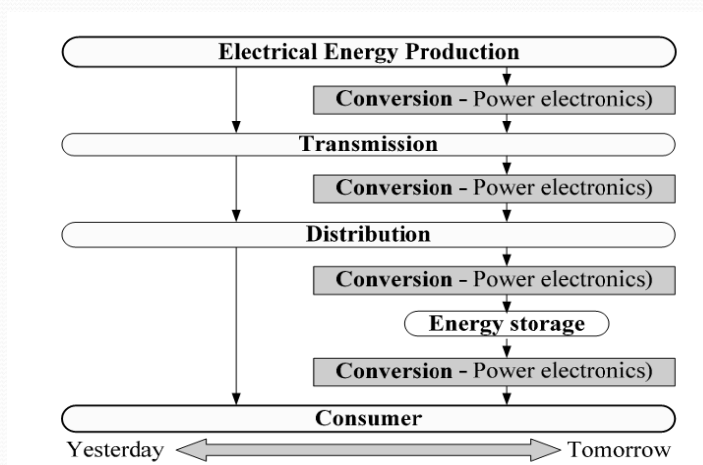
- MOSFET, IGBT: tần số đóng cắt cao, chịu được điện áp cao, dòng điện lớn.
- Các chip vi xử lý, vi điều khiển, DSP 16 bit, 32 bit, nhanh, mạnh về điều khiển:
 - Tích hợp ADC, đầu vào counter, PWM built-in;
 - Truyền thông: I2C, CAN, UART, ...

10/22/2010

9

Mở đầu

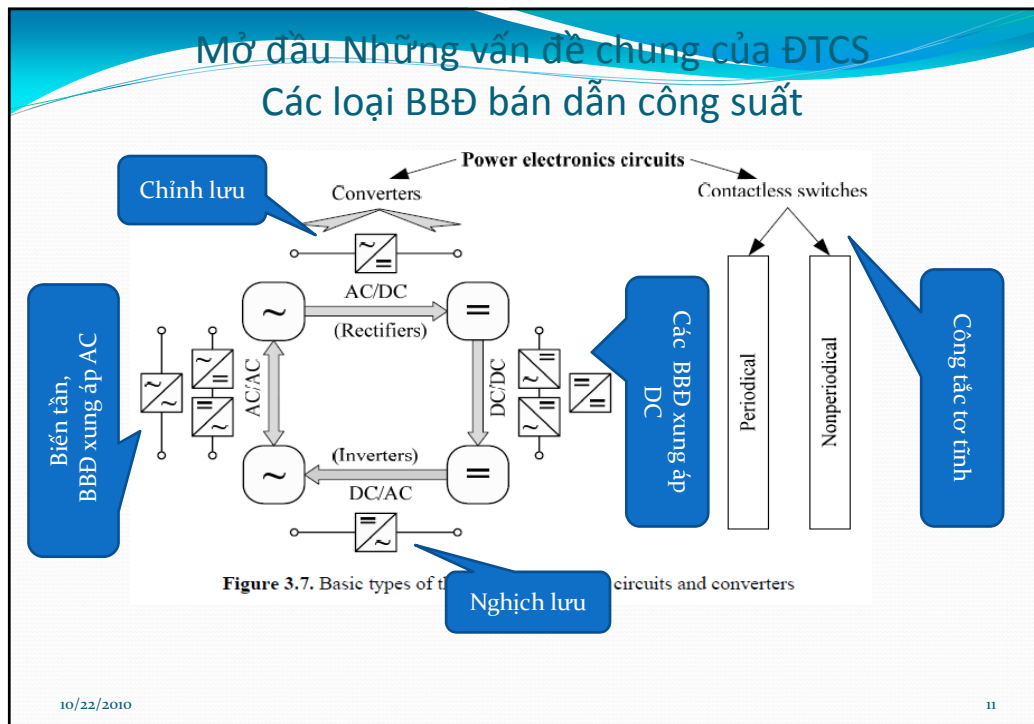
Những vấn đề chung của ĐTCS



- Điện tử công suất trong hệ thống năng lượng từ trước đến nay và từ nay về sau.

10/22/2010

10



Mở đầu

Những vấn đề chung của ĐTCS

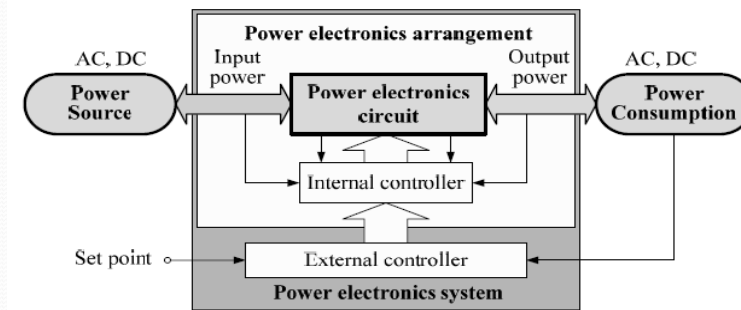


Figure 3.5. Block diagram of a power electronics system

- Sơ đồ khối chức năng của bộ biến đổi.

10/22/2010

13

Mở đầu

Những vấn đề chung của ĐTCS

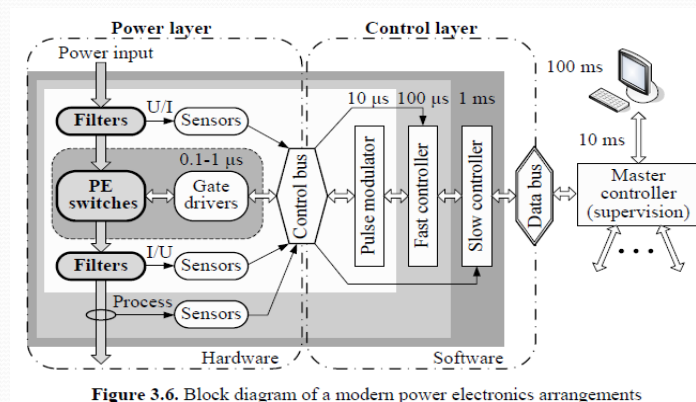


Figure 3.6. Block diagram of a modern power electronics arrangements

- Sơ đồ các lớp mạch của bộ biến đổi.

10/22/2010

14

Mở đầu

Những vấn đề chung của ĐTCS

Resistors Capacitors Magnetics Linear-mode Switched-mode

Figure 3.12. Different conventional circuit elements of the PE arrangements

- Các phần tử trong mạch của bộ biến đổi.

10/22/2010 15

Mở đầu

Những vấn đề chung của ĐTCS

Component	Weight (%)	Volume (%)
Capacitors	~30	~2
Power semiconductor switches	~15	~15
Cooling systems	~14	~5
Magnetics devices	~13	~6
Bus work	~14	~2
PCBs	~7	~5
Contactors	~4	~2
Current and voltage sensors	~3	~1

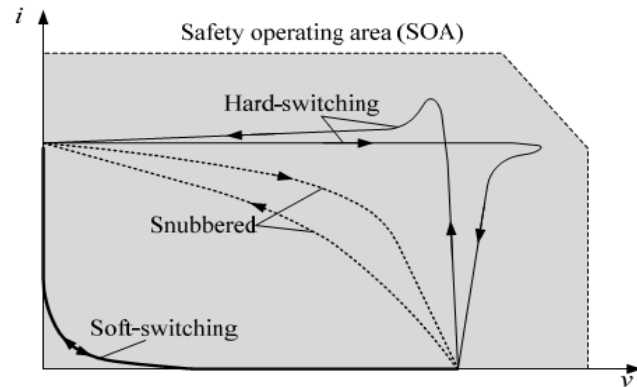
Figure 3.13. Typical components in the construction of the PE arrangements

- Tỷ lệ khối lượng và thể tích các phần tử trong bộ biến đổi.

10/22/2010 16

Mở đầu

Những vấn đề chung của ĐTCS



- Chuyển mạch: vấn đề cực kỳ quan trọng đối với công suất lớn.
- Ba loại chuyển mạch: Cứng (Hard switching), Snubbed, Soft-switching.

10/22/2010

17

Chương I

Những phần tử bán dẫn công suất

- I.1 Những vấn đề chung
- I.2 Điốt
- I.3 Thyristor
- I.4 Triac
- I.5 GTO (Gate-Turn-off Thyristor)
- I.6 BJT (Bipolar Junction Transistor)
- I.7 MOSFET (Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)
- I.8 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)
- I.9 So sánh tương đối giữa các phần tử bán dẫn công suất
- **Trong chương này cần nắm được:**
 - Nguyên lý hoạt động của các phần tử bán dẫn, ký hiệu trên sơ đồ.
 - **Các thông số cơ bản** (Đặc tính kỹ thuật), cần thiết để lựa chọn phần tử cho một ứng dụng cụ thể.
 - Các yêu cầu và các mạch phát xung mở van tiêu biểu.

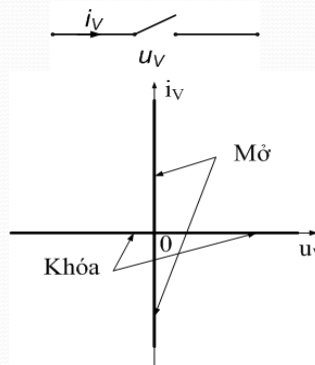
10/22/2010

18

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.1 Những vấn đề chung

- Các van bán dẫn chỉ làm việc trong chế độ khóa
 - Mở dẫn dòng: $i_V > 0, u_V = 0$;
 - Khóa: $i_V = 0, u_V > 0$;
 - Tổn hao $p_V = i_V * u_V \sim 0$;
- Phần tử bán dẫn nội chung chỉ dẫn dòng theo một chiều.
 - Muốn tạo ra các van bán dẫn hai chiều hai chiều phải kết hợp các phần tử lại.
- Phân loại:
 - Van không điều khiển, như ĐİÖT,
 - Van có điều khiển, trong đó lại phân ra:
 - Điều khiển không hoàn toàn, như TIRISTOR, TRIAC,
 - Điều khiển hoàn toàn, như BIPOLAR TRANSISTOR, MOSFET, IGBT, GTO.
- Đặc tính vôn-ampe của van lý tưởng: dẫn dòng theo cả hai chiều; chịu được điện áp theo cả hai chiều.



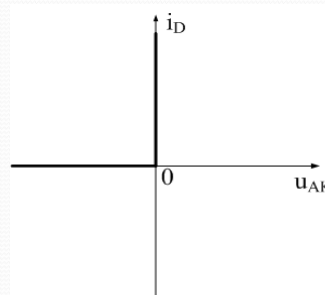
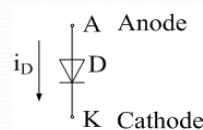
10/22/2010

19

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.2 Điốt. Cấu tạo, ký hiệu

- Điốt: phần tử bán dẫn cơ bản nhất, có mặt trong hầu hết tất cả các loại sơ đồ BBD.
- Cấu trúc bán dẫn: cấu tạo từ một lớp tiếp giáp p-n
- Tính chất cơ bản:
 - Chỉ dẫn dòng theo một chiều từ anốt đến catot
 - $u_{AK} > 0 \quad i_D > 0$; Phân cực thuận.
 - $u_{AK} < 0 \quad i_D = 0$; Phân cực ngược
- Ký hiệu trên sơ đồ
- Đặc tính vôn-ampe lý tưởng



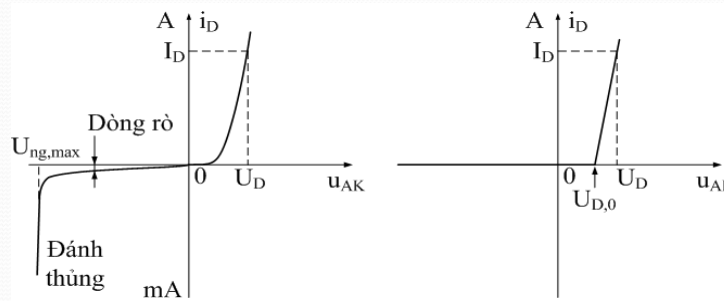
10/22/2010

20

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.2 Điốt. Đặc tính vôn-ămpe

- Đặc tính vôn-ămpe của điốt thực tế
 - Giúp giải thích chế độ làm việc thực tế của điốt
 - Tính toán chế độ phát nhiệt (tổn hao trên điốt) trong quá trình làm việc.



Đặc tính Vôn-ămpe thực tế của điốt

Đặc tính tuyến tính hóa:

$$u_D = U_{D,0} + r_D \cdot i_D; r_D = \Delta U_D / \Delta I_D$$

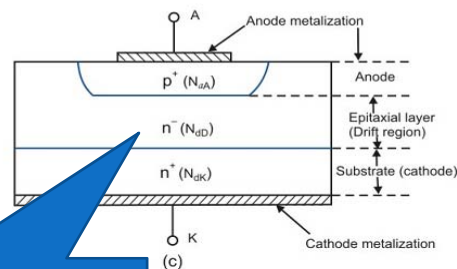
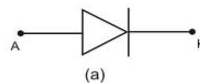
10/22/2010

21

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.2 Điốt. Đặc điểm của điốt công suất

- Đặc điểm cấu tạo của điốt công suất (Power diode)
 - Phải cho dòng điện lớn chạy qua (cỡ vài nghìn ampe), phải chịu được điện áp ngược lớn (cỡ vài nghìn vôn);
 - Vì vậy cấu tạo đặc biệt hơn là một tiếp giáp bán dẫn p-n thông thường. Trong lớp bán dẫn n có thêm lớp nghèo điện tích n⁻



Vùng nghèo n⁻, làm tăng khả năng chịu điện áp ngược, nhưng cũng làm tăng sụt áp khi dẫn dòng theo chiều thuận

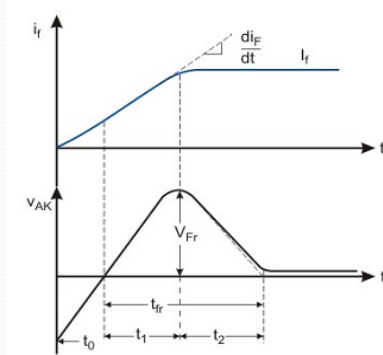
10/22/2010

22

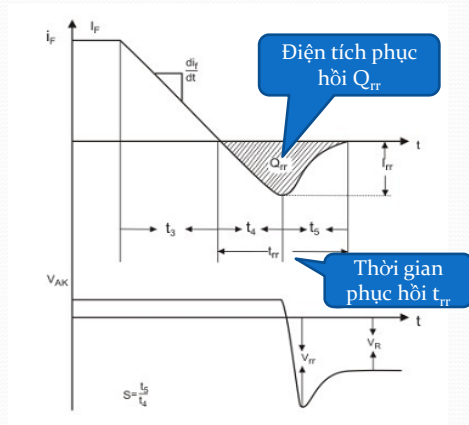
Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.2 Điốt. Đặc tính đóng cắt

- Đặc tính đóng cắt của điốt
 - Đặc tính động $u_D(t)$, $i_D(t)$,



Khi mở: điện áp u_{Fr} lớn lên đến vài V trước khi trở về giá trị điện áp thuận cỡ 1 – 1,5V do vùng n- còn thiếu điện tích



Khi khóa: dòng về đến 0, sau đó tiếp tục tăng theo chiều ngược với tốc độ di_F/dt đến giá trị I_{rr} rồi về bằng 0.

10/22/2010

23

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.2 Điốt. Các thông số cơ bản

- Các thông số cơ bản của điốt:
 - 1. Giá trị dòng trung bình cho phép chạy qua điốt theo chiều thuận: I_D (A)
 - 2. Giá trị điện áp ngược lớn nhất mà điốt có thể chịu đựng được, $U_{ng,max}$ (V)
 - 3. Tần số, f (Hz)
 - 4. Thời gian phục hồi, t_{rr} (μs) và điện tích phục hồi, Q_{rr} (C)
 - 5. Nhiệt độ cho phép lớn nhất của tiếp giáp bán dẫn, T_{jmax} ($^{\circ}C$)
 - 6. Điện trở nhiệt từ tiếp giáp ra đến vỏ, R_{thjc} ($^{\circ}C/W$).
- Tại sao lại là dòng trung bình?
 - Liên quan đến quá trình phát nhiệt. Phải luôn đảm bảo $T_j < T_{jmax}$ trong mọi thời điểm hoạt động.
 - Cho ví dụ:
$$I_D = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} i_D(t) dt$$
- Khả năng chịu điện áp: 3 giá trị,
 - Repetitive peak reverse voltages, U_{RRM}
 - Non repetitive peak reverse voltages, U_{RSM}
 - Direct reverse voltages, U_R
- Khi tần số tăng lên tổn thất do quá trình đóng cắt sẽ đóng vai trò chính chứ không phải là tổn thất khi dẫn.
- Ba loại điốt công suất chính:
 - 1. Loại thường, dùng ở tần số 50, 60 Hz. Không cần quan tâm đến t_{rr} .
 - 2. Loại nhanh: fast diode, ultrafast diode.
 - 3. Schottky Diode: không phải là loại có tiếp giáp p-n. Sụt áp khi dẫn rất nhỏ, cỡ 0,4 – 0,5 V, có thể đến 0,1 V. Dùng cho các ứng dụng tần số cao, cần dòng lớn, điện áp nhỏ, tổn thất rất nhỏ. Chỉ chịu được điện áp thấp, dưới 100 V.

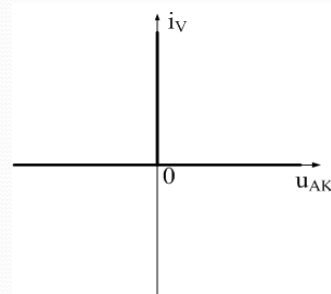
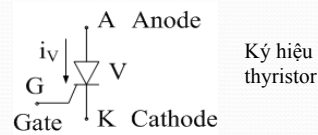
10/22/2010

24

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.3 Thyristor. Cấu tạo, ký hiệu

- Cấu tạo: cấu trúc bán dẫn gồm 4 lớp, p-n-p-n, tạo nên 3 tiếp giáp p-n, J_1, J_2, J_3 .
- Có 3 cực:
 - Anode: nối với lớp p ngoài cùng,
 - Cathode: nối với lớp n ngoài cùng,
 - Gate: cực điều khiển, nối với lớp p ở giữa.
- Là phần tử có điều khiển. Có thể khóa cả điện áp ngược lẫn điện áp thuận.
- Chỉ dẫn dòng theo một chiều từ anot đến catot
 - $u_{AK} > 0$; *Phân cực thuận*.
 - $u_{AK} < 0$; *Phân cực ngược*



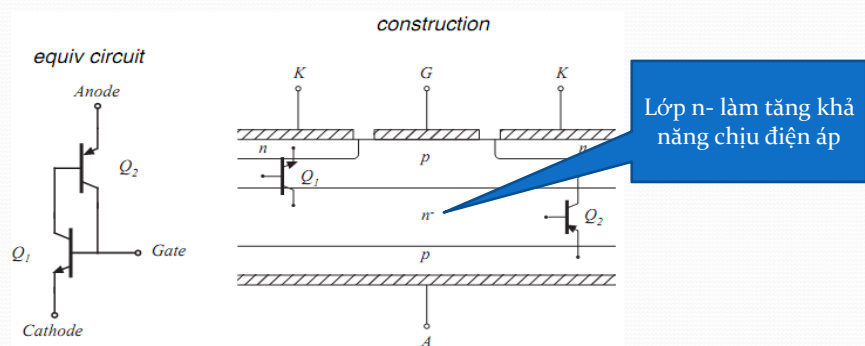
Đặc tính vôn-ampe lý tưởng của thyristor.

10/22/2010

25

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.3 Thyristor. Đặc điểm cấu tạo



Thyristor: Cấu trúc bán dẫn và mạch điện tương đương.

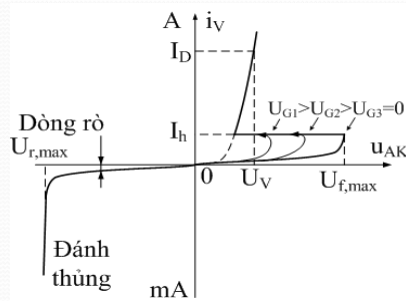
10/22/2010

26

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.3 Thyristor. Đặc tính vôn-ămpe

- Đặc tính vôn-ămpe của thyristor



U_r : reverse voltage
 U_f : forward voltage

- 1. Đặc tính ngược: $U_{AK} < 0$.
 - Rất giống đặc tính ngược của diốt.
- 2. Đặc tính thuận: $U_{AK} > 0$.
 - 2.1. Khi $U_{GK} = 0$,
 - Cho đến khi $U_{AK} < U_{f,max}$ thyristor cản trở dòng điện.
 - Cho đến khi $U_{AK} = U_{f,max}$ trở kháng giảm đột ngột. Đặc tính chuyển lên đoạn điện trở nhỏ như diốt khi dẫn dòng theo chiều thuận.
 - 2.2 Khi $U_{GK} > 0$,
 - Đặc tính chuyển lên đoạn điện trở nhỏ tại $U_{AK} \ll U_{f,max}$.
 - Điện áp chuyển càng nhỏ nếu U_{GK} càng lớn.
- Trong mọi trường hợp thyristor chỉ dẫn dòng được nếu $I_V > I_h$, gọi là dòng duy trì (Holding current).

10/22/2010

27

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.3 Thyristor. Các thông số cơ bản.

- 1. Giá trị dòng trung bình cho phép chạy qua tiristor, I_V (A)
 - Làm mát tự nhiên: một phần ba dòng I_V .
 - Làm mát cưỡng bức bằng quạt gió: hai phần ba dòng I_V .
 - Làm cưỡng bức bằng nước: có thể sử dụng 100% dòng I_V .
- 2. Điện áp ngược cho phép lớn nhất, $U_{ng,max}$ (V)
- 3. Thời gian phục hồi tính chất khóa của thyristor, t_{tr} (μs)
 - Thời gian tối thiểu phải đặt điện áp âm lên anôt-catôt của tiristor sau khi dòng i_V đã về bằng 0 trước khi có thể có điện áp U_{AK} dương mà tiristor vẫn khóa.
 - Trong nghịch lưu phụ thuộc hoặc nghịch lưu độc lập, phải luôn đảm bảo thời gian khóa của van cỡ 1,5 - 2 lần t_{tr} .
 - t_{tr} phân biệt thyristor về tần số:
 - Tần số thấp: $t_{tr} > 50 \mu s$;
 - Loại nhanh: $t_{tr} = 5 - 20 \mu s$

t_{tr} càng nhỏ, càng đắt

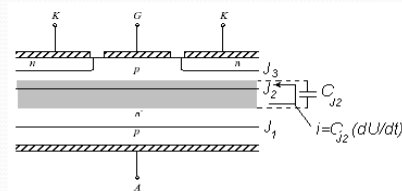
10/22/2010

28

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.3 Thyristor. Các thông số cơ bản.

- 4. Tốc độ tăng dòng cho phép, dI/dt (A/ μ s)
 - Thyristor tần số thấp: dI/dt cỡ 50 – 100 A/ μ s.
 - Thyristor tần số cao: dI/dt cỡ 200 – 500 A/ μ s.
- 5. Tốc độ tăng điện áp cho phép, dU/dt (V/ μ s)
 - Thyristor tần số thấp: dU/dt cỡ 50 – 100 V/ μ s.
 - Thyristor tần số cao: dU/dt cỡ 200 – 500 V/ μ s.
- 6. Thông số yêu cầu đối với tín hiệu điều khiển, (U_{GK} , I_G)
 - Ngoài biên độ điện áp, dòng điện, độ rộng xung là một yêu cầu quan trọng.
 - Độ rộng xung tối thiểu phải đảm bảo dòng I_V vượt qua giá trị dòng duy trì I_h
- 7. Nhiệt độ cho phép lớn nhất của tiếp giáp bán dẫn, T_{jmax} ($^{\circ}$ C).
- 8. Trở kháng nhiệt từ tiếp giáp ra đến vỏ, R_{thjc} ($^{\circ}$ C/W).



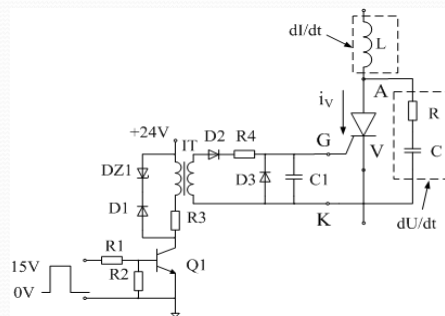
Hình 1.10 Hiệu ứng dU/dt tác dụng như dòng điều khiển

10/22/2010

29

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.3 Thyristor. Sơ đồ ứng dụng tiêu biểu.



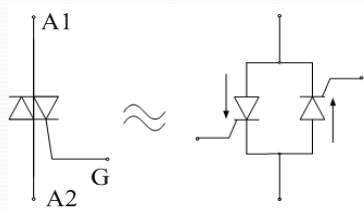
- Q1: Mạch khuếch đại xung;
- IT: biến áp xung, có tác dụng cách ly giữa mạch lực và mạch điều khiển.
- R3: hạn chế dòng collector của Q1.
- D1, DZ1: giải thoát năng lượng trên cuộn sơ cấp biến áp xung.
- D2: chỉ đưa xung dương ra cực điều khiển của thyristor.
- R4: hạn chế dòng vào cực điều khiển.
- D3: chống điện áp ngược đặt lên G-K vì tiếp giáp G-K không được chế tạo để chịu điện áp ngược lớn.
- C1: tăng khả năng chống nhiễu của mạch điều khiển.
- R1, R2: lựa chọn tùy theo biên độ xung điều khiển. Giá trị tiêu biểu: $R1=5,6k$, $R2=2,3k$.

10/22/2010

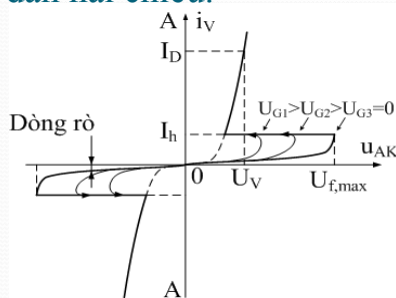
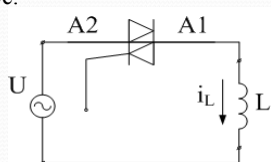
30

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

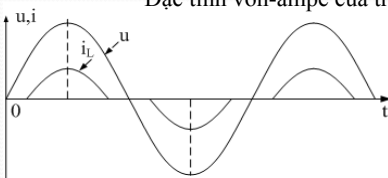
I.4 Triac, van bán dẫn hai chiều.



Triac, tương đương cặp van song song ngược.



Đặc tính vôn-ampe của triac.



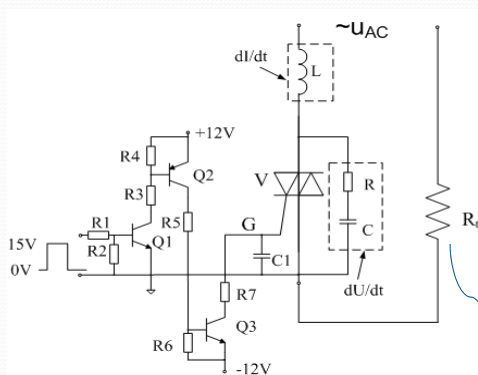
Sơ đồ và đồ thị dạng dòng điện, điện áp cho thấy triac tương đương với hai thyristor song song ngược, chứ không phải là một khóa hai chiều đúng nghĩa.

10/22/2010

31

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.4 Triac, điều khiển triac.

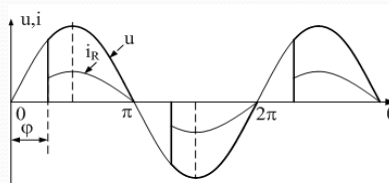


Mạch khuếch đại xung tiêu biểu cho triac (chưa tính tới việc cách ly giữa mạch động lực và mạch điều khiển). Có thể sử dụng optocoupler để cách ly tín hiệu điều khiển.

	$u_{A1A2} > 0$	$u_{A1A2} < 0$
I	$I_G > 0$	$I_G < 0$
II	$I_G > 0$	$I_G < 0$
III	$I_G < 0$	$I_G < 0$

Do đặc điểm cấu tạo độ nhạy đối với tín hiệu điều khiển của triac không giống nhau đối với hai chiều điện áp.

Phương án tốt hơn cả

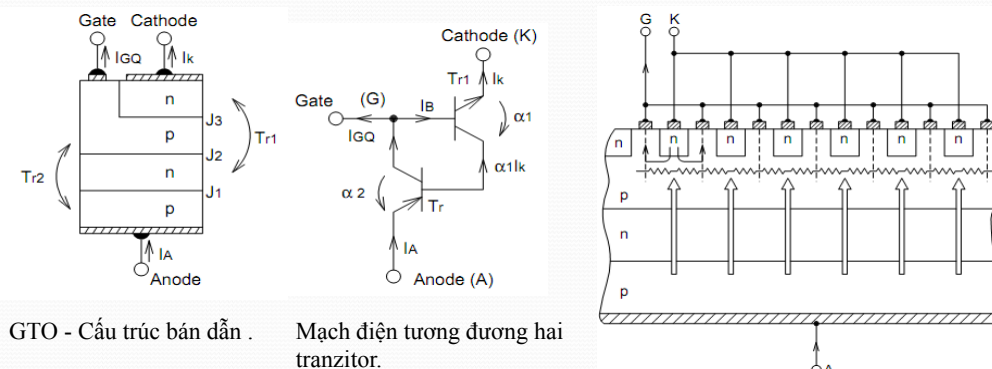


10/22/2010

32

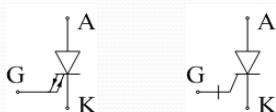
Chương I Những phân tử bán dẫn công suất

I.5 GTO (Gate Turn Off Thyristor).



GTO - Cấu trúc bán dẫn .

Mạch điện tương đương hai tranzitor.



Ký hiệu (a) và (b).

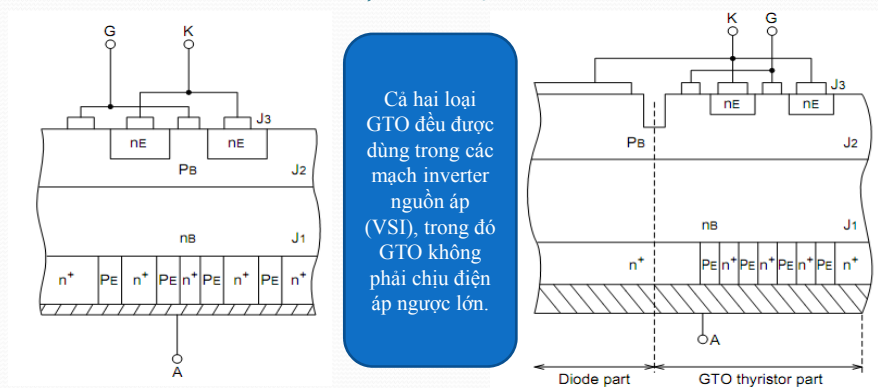
10/22/2010

33

Để có công suất lớn GTO có cấu tạo gồm các phần tử song song trên cùng một phiến silicon.

Chương I Những phân tử bán dẫn công suất

I.5 GTO, Hai loại GTO.

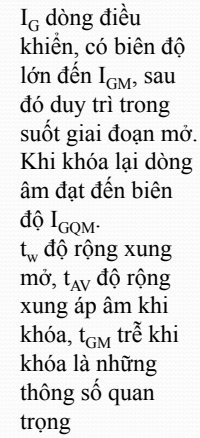


GTO - Loại có anốt ngắn mạch. Giữa tiếp giáp p-n J1 được ngắn mạch bởi các lớp n+. Vì vậy điện áp ngược khi K+, A- chỉ còn là điện áp nhỏ trên tiếp giáp J3, cỡ 15 V

GTO – Loại có diốt ngược. Phần GTO giống hệt như hình bên. Tuy nhiên trên tinh thể silicon tích hợp luôn một diốt ngược.

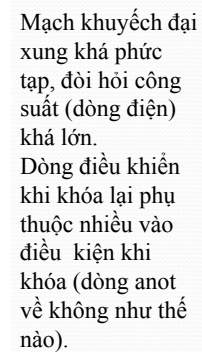
10/22/2010

34



35

Chương I Những phân tử bán dẫn công suất I.5 GTO, khuếch đại xung điều khiển GTO.



36

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.5 GTO, Ứng dụng và những thông số cơ bản

Thông số	Giá trị	Ghi chú
V_{DRM}	4500V	Điện áp đỉnh lặp lại (Repetitive peak off voltage)
$I_{T(AV)}$	400 A	Dòng trung bình ($f=60\text{Hz}$, dạng sin, góc dẫn 180°)
$di/dt \text{ max}$	1000A/ μs	Tốc độ tăng dòng cho phép
I_{TQRM}	1000A	Giá trị dòng thuận cực đại mà GTO có thể ngắt được (mạch bảo vệ $C_s=0,7 \mu\text{F}$, $L_s=0,3 \mu\text{H}$). Thiết bị có thể hỏng nếu nó phải ngắt dòng điện lớn hơn.
V_{RRM}	17V	Điện áp ngược cực đại cho phép.
V_{TM}	4V Max.	Điện áp rơi thuận cực đại.
I_{RRM}	100mA Max.	Dòng dò ngược cực đại
I_{DRM}	100mA Max.	Dòng dò thuận cực đại khi khóa.
t_{gt}	10 μs Max.	Thời gian trễ khi mở.
t_{gr}	20 μs Max.	Thời gian trễ khi ngắt.
I_{GQM}	300A	Dòng khóa qua cực điều khiển.
V_{GT}	1,5V Max.	Điện áp trên cực điều khiển G-K tương ứng $I_{GT} \text{ max}$.
I_{GT}	2500mA Max.	Dòng điều khiển khi mở

10/22/2010

37

Bảng các thông số cơ bản của GTO FG1000BV-90DA (Mitsubishi).

Tài liệu tham khảo:
www.mitsubishichips.com/GlobaI/files/manuals/gtothyristors.pdf.

FEATURE AND APPLICATION OF GATE TURN-OFF THYRISTORS.
 Aug. 1998

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.5 GTO, Ứng dụng và những thông số cơ bản

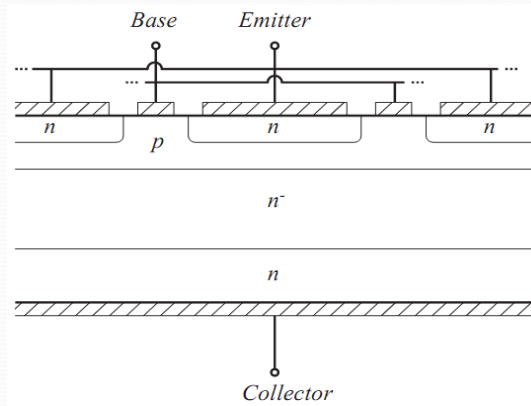
- Các loại thyristor khóa lại được bằng cực điều khiển:
 - IGCT (INTEGRATED GATE COMMUTATED THYRISTOR)
 - MCT (MOS CONTROLLED THYRISTOR)
 - MTO (MOS TURN OFF THYRISTOR)
 - ETO (EMITTER TURN-OFF THYRISTOR)
- Các loại GTO đều được ứng dụng trong dải công suất lớn, điện áp cao, đặc biệt là trong các hệ thống Điện tử công suất điều khiển trong hệ thống điện (FACTS) hoặc trong các biến tần công suất lớn.
- Ví dụ biến tần 2000 kW tại nhà máy xi măng But son.

10/22/2010

38

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.6 BJT (Bipolar Junction Transistor)



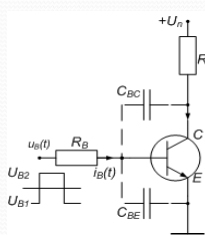
- Thể hiện cấu trúc n-p-n (bóng ngược). Các tranzito công suất đều là loại ngược vì tốc độ đóng cắt nhanh hơn.
- Dòng điện trong cấu trúc là dòng các điện tử, chạy từ E đến C. Theo quy ước chiều dòng điện, dòng chạy từ C đến E. Điện áp C dương hơn so với E.
- Trong chế độ khóa $u_{BE} < 0$, do độ cả hai tiếp giáp B-E và B-C đều phân cực ngược.
- Trong chế độ mở $u_{BE} > 0$, do độ cả hai tiếp giáp B-E và B-C đều phân cực thuận, dòng có thể chạy qua cấu trúc bán dẫn.

10/22/2010

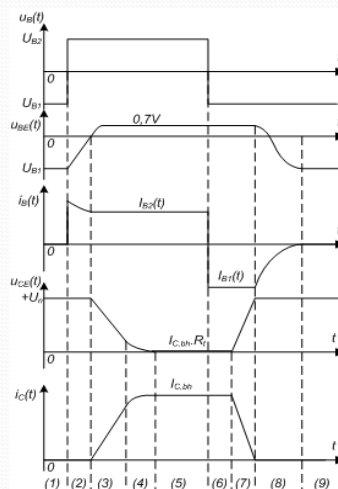
39

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.6 BJT Đặc tính đóng cắt



- Mạch điện để xét chế độ đóng cắt của BJT.
- Các tụ ký sinh C_{BC} , C_{BE} thể hiện ảnh hưởng mạnh đến quá trình đóng cắt.
- Gọi là tụ ký sinh vì không có thực, nhưng xuất hiện khi một tiếp giáp p-n bị phân cực ngược (giống như ở diốt).



- 1: $u_B < 0$, van khóa
- 2: $u_B = u_{B2} > 0$, tiếp giáp B-E trở nên phân cực thuận. Dòng bắt đầu chảy qua van khi $u_{BE} = 0$.
- 3: thời gian trễ khi mở, i_C tăng đến U_{CE}/R_L , u_{CE} giảm gần về 0.
- 4: điện tích lấp đầy hai tiếp giáp, cấu trúc C-E chỉ còn là điện trở thuần R_{on} .
- 5: van mở bão hòa.
- 6: $u_B < 0$, bắt đầu khóa van. Tiếp giáp B-E phân cực ngược, dòng ngược của diốt B-E di tản các điện tích ra khỏi tiếp giáp.
- 7: dòng i_C bắt đầu giảm, u_{CE} bắt đầu tăng.
- 8: tiếp giáp B-E thực sự đã phân cực ngược, dòng không còn chạy qua được nữa. u_{BE} tiến tới u_{B1} .

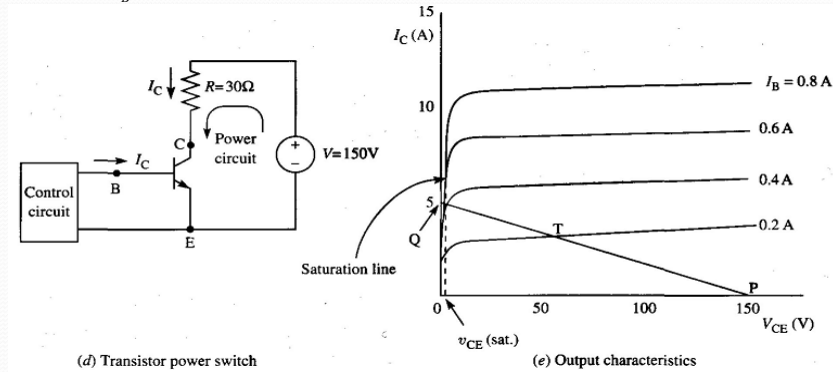
10/22/2010

40

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.6 BJT Đặc tính tĩnh

- Đặc tính ra $I_C(V_{CE})$ với dòng $I_B = \text{const.}$ Đặc tính tải $V_{CE} = V_{CC} - I_C * R$, đường PQ.
- BJT là phần tử điều khiển bằng dòng điện. Hệ số khuếch đại dòng $\beta = I_C / I_B$.
- Chỉ sử dụng như một khóa điện tử:
 - Mở bão hòa: $I_B = k_{bh} * I_C / \beta$, trong đó $k_{bh} = 1,5 - 2$ lần, gọi là hệ số bão hòa.
 - Khóa: $I_B = 0$.

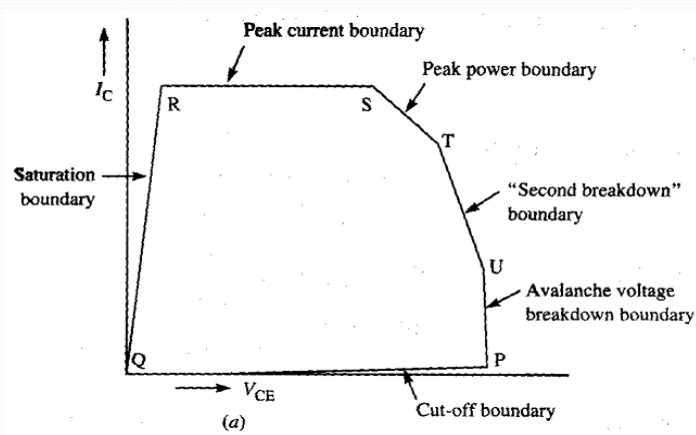


10/22/2010

41

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.6 BJT Vùng làm việc an toàn (SOA)



- QR: đặc tính bão hòa;
- RS: đường giới hạn dòng I_{Cmax}
- QP: đặc tính cắt;
- PU: đường giới hạn U_{CEmax} : Điện áp lớn nhất có thể đặt lên C-E.
- UT: giới hạn hiệu ứng đánh thủng "thứ hai";
- TS: giới hạn công suất tức thời lớn nhất trên BJT.
- $P = V_{CE} * I_C < P_{max}$

10/22/2010

42

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.6 BJT Các đặc điểm quan trọng

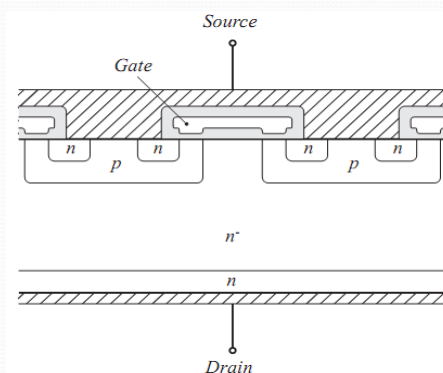
- BJT là phần tử điều khiển bằng dòng điện, yêu cầu công suất điều khiển lớn.
- Nhược điểm này có thể khắc phục nhờ cách nối "Darlington". Tuy vậy cách nối Darlington lại làm tăng sụt áp V_{CE} dẫn đến tăng tổn hao công suất.
- BJT có ưu điểm sụt áp V_{CE} nhỏ nên được chế tạo để đóng cắt dòng điện lớn, đến vài trăm A, điện áp cao đến 1000V.
- BJT dần được thay thế bởi IGBT, một phần tử có khả năng đóng cắt như BJT và điều khiển bằng điện áp, giống MOSFET.

10/22/2010

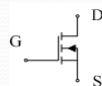
43

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.7 MOSFET Cấu tạo và nguyên lý hoạt động



Ký hiệu



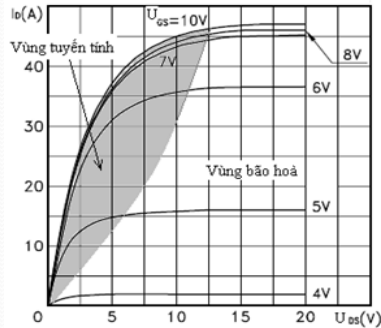
- Cấu trúc bán dẫn:
 - Cực gốc: S;
 - Cực máng: D;
 - Cực điều khiển: G;
- Cực gốc nối với lớp p, cực máng nối với lớp n, vì vậy bình thường không có kênh dẫn giữa D và S.
- Cực G nằm cách ly trong một lớp oxit kim loại, có điện trở suất rất lớn, cách ly hoàn toàn với cực gốc và cực máng.
- Khi V_{GS} dương đến một giá trị nào đó, gọi là ngưỡng, các lỗ p bị đẩy ra, các điện tử được thu hút đến, tạo nên một kênh dẫn giữa D và S. Dòng điện có thể đi qua cấu trúc bán dẫn này.
- Dòng điện là dòng các điện tử, các hạt mang điện cơ bản.

10/22/2010

44

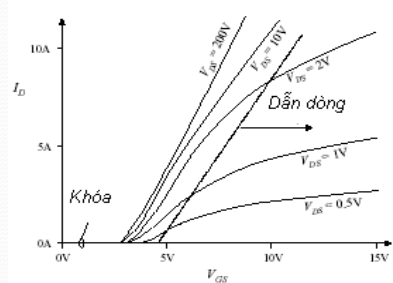
Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.7 MOSFET Đặc tính tĩnh



- Đặc tính ra $I_D(U_{DS})$ với $U_{GS}=\text{const}$,
- Khi mở dẫn dòng MOSFET như một điện trở thuần R_{on} , giá trị bằng độ nghiêng của đường đặc tính ra ở vùng tuyến tính.
- R_{on} có tính chất tăng lên khi nhiệt độ tăng, nghĩa là có hệ số nhiệt dương. Vì vậy rất dễ ghép song song nhiều MOSFET.

10/22/2010



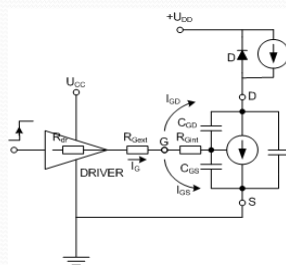
Hình 1.23 Đặc tính tĩnh của MOSFET

- Đặc tính điều khiển $I_D(U_{GS})$ với $U_{DS}=\text{const}$.
- Ngưỡng điện áp cỡ $U_{ng} \sim 4-5V$ MOSFET mới mở ra.
- Nói chung điện áp điều khiển cỡ $0 - 10V$.

45

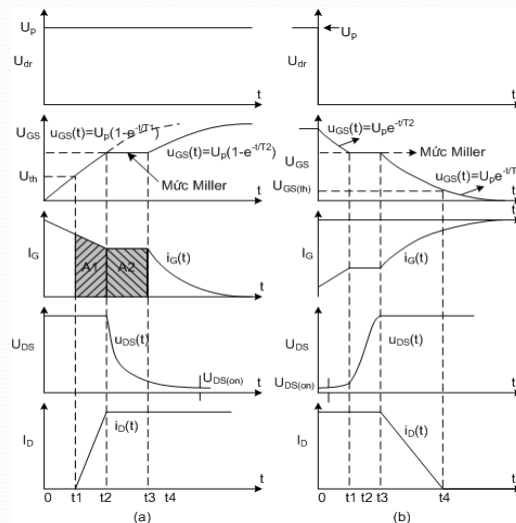
Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.7 MOSFET Đặc tính động cắt



- Mạch điện tương đương để xét chế độ đóng cắt của MOSFET.
- Các tụ ký sinh C_{GD} , C_{GS} , C_{DS} xác định các quá trình đóng, cắt.
- Mặc dù là phần tử điều khiển bằng điện áp nhưng các tụ ký sinh yêu cầu dòng phóng, nạp khi thay đổi mức điện áp. Dòng điện này phải do mạch khuếch đại xung (Driver) đảm bảo.

10/22/2010



Đặc tính khi mở ra (a); khóa lại (b).

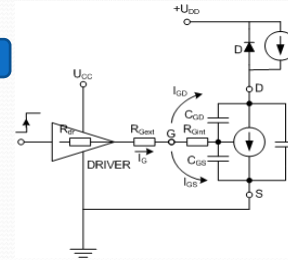
46

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.7 MOSFET Tính toán mạch Driver

- Tính toán mạch Driver thế nào?
- Bước 1: Xác định công suất mạch Driver (theo H.1)
 - Năng lượng E cần thiết để nạp điện cho các tụ ký sinh C_{GS} và C_{GD}
 - $E = Q_G(U_{GS,max} - U_{GS,min})$ (Đối với MOSFET $U_{GS,min} = 0\text{ V}$; $U_{GS,max} = 10\text{ V}$; Q_G điện tích cần thiết).
 - Công suất: $P_D = E \cdot f_{sw}$.
- Bước 2: Xác định dòng đầu ra yêu cầu của mạch Driver
 - Dòng đầu ra trung bình $I_G = I_{GS} + I_{GD} = Q_G \cdot f_{sw}$
 - Dòng đầu ra lớn nhất $I_{G,max} = (U_{G,max} - U_{G,min}) / (R_G + R_{in})$.
 - Điện trở R_G có tác dụng làm chậm t_{on} , t_{off} giảm tốc độ tăng áp dU_{DS}/dt (Chọn lựa chọn theo yêu cầu)

Hình H.1



Đồ thị cho phép xác định điện tích nạp Q_G (đặc tính do nhà sản xuất cung cấp)

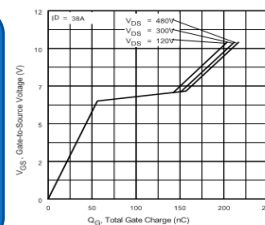


Fig. 6 - Typical Gate Charge vs. Gate-to-Source Voltage

10/22/2010

47

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.7 MOSFET Tính toán mạch Driver

- Ví dụ:
 - Tính toán công suất và dòng đầu ra yêu cầu mạch Driver cho MOSFET IRFPS40N60K (đặc tính kỹ thuật đính kèm) với $f_{sw} = 100\text{ kHz}$, $U_{GS,min} = 0\text{ V}$, $U_{GS,max} = 10\text{ V}$.
 - Từ đồ thị đặc tính, để đưa điện áp U_{GS} từ 0 lên 10 V, cần $Q_G = 210\text{ nC}$. Năng lượng cần thiết $E = (10 - 0) \cdot 210 \cdot 10^{-9} = 2,1 \cdot 10^{-6}\text{ J} = 2,1\mu\text{J}$. Công suất $P_D = E \cdot f_{sw} = 2,1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5 = 0,21\text{ W}$. Dòng đầu ra trung bình: $I_G = 210 \cdot 10^{-9} \cdot 10^5 = 0,021\text{ A} = 21\text{ mA}$. Giả sử $R_G = 10\ \Omega$, bỏ qua R_{in} . Dòng đầu ra lớn nhất bằng: $I_{G,max} = 10/10 = 1\text{ A}$.

VISHAY

IRFPS40N60K, SiHFPS40N60K

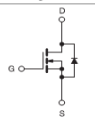
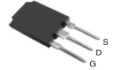
Vishay Siliconix

Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY

V_{DS} (V)	600
$P_{D(max)}$ (W)	$V_{DS} = 10\text{ V}$ 0.110
Q_g (Max.) (nC)	330
Q_{gs} (nC)	84
Q_{gd} (nC)	150
Configuration	Single

Super-247



N-channel MOSFET

FEATURES

- Low Gate Charge Q_g Results in Simple Drive Requirement
- Improved Gate, Avalanche and Dynamic dV/dt Ruggedness
- Fully Characterized Capacitance and Avalanche Voltage and Current
- Enhanced Body Diode dV/dt Capability
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC

APPLICATIONS

- Hard Switching Primary or PFC Switch
- Switch Mode Power Supply (SMPS)
- Uninterruptible Power Supply
- High Speed Power Switching
- Motor Drive



Đặc tính kỹ thuật chủ yếu của một power MOSFET (có thể tra trên trang www.vishay.com)

10/22/2010

48

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.7 MOSFET Nhận xét chung

- MOSFET là phần tử bán dẫn công suất ngày càng trở nên quan trọng, vì:
 - Là phần tử tác động nhanh nhất, tần số đóng cắt lên đến 1MHz.
 - Có thể nối song song nhiều van một cách dễ dàng để tăng công suất.
- MOSFET cực kỳ quan trọng trong các bộ biến đổi cần tần số đóng cắt cao để giảm nhỏ kích thước các phần tử phản kháng như tụ điện và điện cảm. Đặc biệt là trong các bộ nguồn xung, các bộ biến đổi cộng hưởng, các thiết bị mà kích thước nhỏ gọn là một yêu cầu sống còn.
- Mặc dù là phần tử điều khiển bằng điện áp nên dòng điều khiển hầu như không đáng kể, tuy nhiên khi đóng cắt cần những mạch khuếch đại xung chuyên dụng, gọi là các MOSFET Drivers để đảm bảo cung cấp dòng điện cho các tụ ký sinh thay đổi mức điện áp.
- Ví dụ về tính toán công suất và dòng điện yêu cầu của mạch Driver là giống nhau đối với MOSFET và IGBT.

10/22/2010

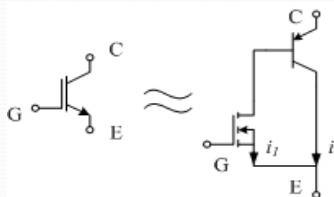
49

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.8 IGBT

- IGBT là phần tử kết hợp được ưu điểm của BJT và MOSFET:
 - Giống BJT nên có thể đóng cắt được dòng điện lớn, chịu được điện áp cao.
 - Giống MOSFET về điều khiển bằng điện áp nên công suất điều khiển nhỏ, tần số đóng cắt cao.
- IGBT là cuộc cách mạng quan trọng nhất đối với Điện tử công suất nói chung. Từ khi ra đời và đưa vào ứng dụng IGBT đã làm cho các bộ biến đổi trở nên gọn nhẹ, tính năng cao và được đưa vào những ứng dụng hết sức rộng rãi.

Ký hiệu IGBT và mạch điện tương đương như sự kết hợp giữa BJT và MOSFET.

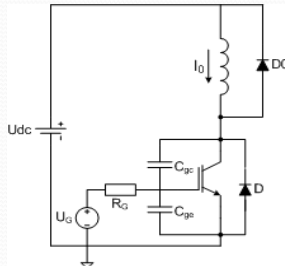


10/22/2010

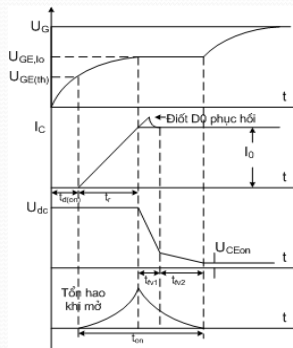
50

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

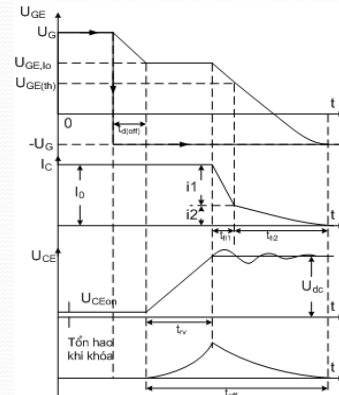
I.8 IGBT Đặc tính đóng cắt



- Mạch điện tương đương để khảo sát chế độ đóng cắt.
- C_{gc} , C_{ge} là những tụ ký sinh, ảnh hưởng mạnh nhất đến đặc tính đóng cắt của IGBT.



- Quá trình mở của IGBT.



- Quá trình khóa của IGBT.
- Thời gian khóa t_{i1} , t_{i2} , trong đó i_2 gọi là đuôi dòng điện, làm tăng đáng kể thời gian khóa của IGBT.

10/22/2010

51

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

I.8 IGBT Mạch bảo vệ chống bão hòa

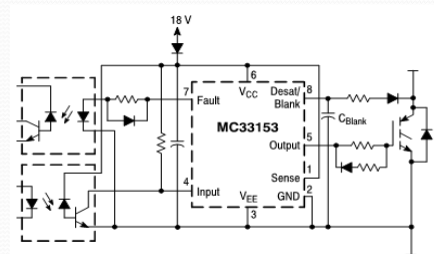
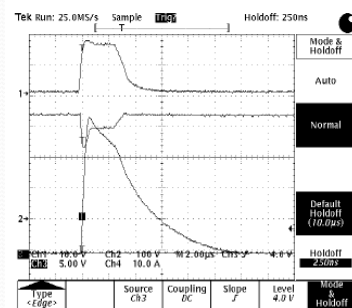


Figure 37. Desaturation Application

- Phát hiện quá tải bằng cách theo dõi điện áp U_{CE} qua diode, qua phân áp đưa vào chân DESAT.
- Mạch logic phát hiện trong thời gian có xung mở nếu có quá tải thì U_{CE} sẽ tăng lên, đến khoảng 5 – 8V.
- Nếu khóa van lại ngay có thể làm tốc độ thay đổi dòng quá lớn (di/dt lớn), gây nên quá điện áp trên các điện cảm trong mạch, dẫn đến phá hủy van.
- Giải pháp là cho van khóa lại dần dần bằng cách tăng điện trở trong mạch G lên cỡ 10 lần bình thường. Van sẽ khóa lại qua chế độ tuyến tính, dòng giảm từ từ, không gây nên quá điện áp.

10/22/2010



Hình 1.38 Khóa mềm bằng IR2137

Hình ảnh van khóa lại từ từ qua vùng tuyến tính, hạn chế được tốc độ thay đổi dòng điện di/dt.

52

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

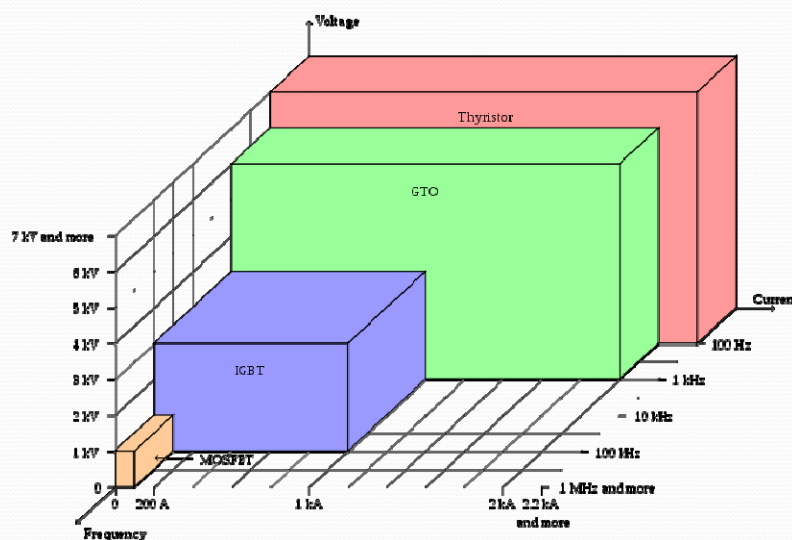
I.8 IGBT Nhận xét chung

- IGBT có những ưu điểm của BJT và MOSFET.
- Thời gian đóng cắt của IGBT dài hơn so với MOSFET. Đặc biệt khi khóa lại, do có hiệu ứng đuôi dòng điện i_2 , giống như dòng bão hòa của BJT nên thời gian khóa bị kéo dài.
- Khác với MOSFET, tín hiệu điều khiển IGBT thường là +15V để mở, -5V để khóa.
- IGBT cũng cần các mạch Driver chuyên dụng để tạo tín hiệu điều khiển.
- Mạch phát xung điều khiển cũng cần có mạch bảo vệ chống bão hòa (desaturation protection).

10/22/2010

53

I.9 So sánh tương đối giữa các phần tử bán dẫn công suất cơ bản.



10/22/2010

54

Chương I Những phần tử bán dẫn công suất

- Cần nắm được:
 - Điện tử công suất là gì? Phạm vi ứng dụng và tầm quan trọng của Điện tử công suất trong lĩnh vực biến đổi điện năng.
 - Vấn đề trung tâm của Điện tử công suất là gì?
 - Phân biệt giữa các phần tử bán dẫn không điều khiển, điều khiển không hoàn toàn và điều khiển hoàn toàn.
 - Nguyên lý làm việc và các thông số cơ bản của van bán dẫn.
 - Tính toán tổn hao công suất trên van bán dẫn qua đặc tính tuyến tính hóa.
 - Đặc điểm của các mạch phát xung cho MOSFET và IGBT.
 - Tính toán công suất và dòng điện cho mạch MOSFET/IGBT Drivers.
- Một số trang WEB của các nhà sản xuất linh kiện bán dẫn công suất:
 - <http://proton-electrotex.com> PROTON Nga,
 - www.powxn.com Powerrex,
 - www.irf.com International Rectifier

Hết chương I !!!