

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG**



ISO 9001:2015

**NGHIÊN CỨU ĐỘ TIN CẬY CỦA CÁC HỆ THỐNG  
ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT SỬ DỤNG TRONG CÔNG NGHIỆP**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY  
NGÀNH ĐIỆN TỬ ĐỘNG CÔNG NGHIỆP**

**HẢI PHÒNG - 2019**

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG**

**NGHIÊN CỨU ĐỘ TIN CẬY CỦA CÁC HỆ THỐNG  
ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT SỬ DỤNG TRONG CÔNG NGHIỆP**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY  
NGÀNH: ĐIỆN TỰ ĐỘNG CÔNG NGHIỆP**

**Sinh viên**

**Đào Văn Phán**

**Giảng viên hướng dẫn :GSTSKH Thân Ngọc Hoàn**

**HẢI PHÒNG - 2019**

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG**

---

**NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP**

Sinh viên: Đào Văn Phán - Mã SV: 1512102053

Lớp: DC1901 - Ngành: Điện Tự Động Công Nghiệp

Tên đề tài: Nghiên cứu độ tin cậy của hệ thống điện tử công suất sử dụng trong công nghiệp

# NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI

1. Nội dung và các yêu cầu cần giải quyết trong nhiệm vụ đề tài tốt nghiệp (về lý luận, thực tiễn, các số liệu cần tính toán và các bản vẽ).

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Các số liệu cần thiết để thiết kế, tính toán.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Địa điểm thực tập tốt nghiệp.

.....

.....

.....

## CÁN BỘ HƯỚNG DẪN ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

### Người hướng dẫn thứ nhất:

Họ và tên : GSTSKH Thân Ngọc Hoàn

Học hàm, học vị : Giáo sư Tiến sĩ Khoa Học

Cơ quan công tác : Trường Đại Học Quản Lý và Công Nghệ Hải Phòng

Nội dung hướng dẫn : Toàn bộ đề tài

### Người hướng dẫn thứ hai:

Họ và tên:.....

Học hàm, học vị:.....

Cơ quan công tác:.....

Nội dung hướng dẫn:.....

Đề tài tốt nghiệp được giao ngày tháng năm

Yêu cầu phải hoàn thành xong trước ngày tháng năm

Đã nhận nhiệm vụ ĐTTN

*Sinh viên*

Đã giao nhiệm vụ ĐTTN

*Người hướng dẫn*

Đào Văn Phán

GSTSKH Thân Ngọc Hoàn

*Hải Phòng, ngày ..... tháng.....năm 2019*

**Hiệu trưởng**

**GS.TS.NGƯT *Trần Hữu Nghị***

**CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM**  
**Độc lập - Tự do - Hạnh phúc**

**PHIẾU NHẬN XÉT CỦA GIÁNG VIÊN HƯỚNG DẪN TỐT NGHIỆP**

Họ và tên giảng viên: .....

Đơn vị công tác: .....

Họ và tên sinh viên: ..... Chuyên ngành: .....

Đề tài tốt nghiệp: .....

Tinh thần thái độ của sinh viên trong quá trình làm đề tài tốt nghiệp

.....

.....

.....

.....

1. Đánh giá chất lượng của đề án/khóa luận (so với nội dung yêu cầu đã đề ra trong nhiệm vụ Đ.T. T.N trên các mặt lý luận, thực tiễn, tính toán số liệu...)

.....

.....

.....

.....

.....

2. Ý kiến của giảng viên hướng dẫn tốt nghiệp

Được bảo vệ  Không được bảo vệ  Điểm hướng dẫn

Hải Phòng, ngày ... tháng ... năm .....

Giảng viên hướng dẫn

(Ký và ghi rõ họ tên)

**CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM**

**Độc lập - Tự do - Hạnh phúc**

**PHIẾU NHẬN XÉT CỦA GIÁO VIÊN CHĂM PHẢN BIỆN**

Họ và tên giảng viên: .....

Đơn vị công tác: .....

Họ và tên sinh viên: ..... Chuyên ngành: .....

Đề tài tốt nghiệp: .....

**1. Phân nhận xét của giáo viên chăm phản biện**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**2. Những mặt còn hạn chế**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**3. Ý kiến của giảng viên chăm phản biện**

Được bảo vệ  Không được bảo vệ  Điểm hướng dẫn

Hải Phòng, ngày ... tháng ... năm .....

Giảng viên chăm phản biện

(Ký và ghi rõ họ tên)

## MỤC LỤC

Chương 1:.....	3
CÁC LINH KIỆN ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT .....	3
1.2 DIODE CÔNG SUẤT.....	4
1.2.1 Nguyên lý cấu tạo và làm việc với công suất của nguồn và tải. ....	4
1.2.2 Đặc tính Volt – Ampere (V – A).....	5
1.2.3 Trạng thái đóng ngắt .....	6
1.2.4 Các tính chất động.....	6
1.2.5 Mạch bảo vệ diode .....	7
1.2.6 Các đại lượng định mức của diode.....	8
1.3 BJT CÔNG SUẤT (BIPOLAR JUNCTION TRANSISTOR).....	8
1.3.1 Nguyên lý cấu tạo và làm việc .....	9
1.3.2 Đặc tính V-A trong mạch có Emitter chung .....	10
1.3.3 Trạng thái đóng ngắt .....	11
1.3.4 Các tính chất động.....	11
1.3.5 Các đại lượng định mức của transistor.....	12
1.3.6 Mạch kích và bảo vệ cho transistor.....	12
1.4 MOSFET (Metal – Oxide – Semiconductor Field Effect Transistor) .....	16
1.5 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) .....	19
1.6 SCR (Silicon Controlled Rectifier) .....	21
1.6.1 Mô tả và chức năng .....	21
1.6.2 Các tính chất và trạng thái cơ bản.....	22
1.6.3 Đặc tính V-A .....	23
1.6.4 Khả năng mang tải.....	24
1.6.5 Mạch kích SCR .....	24
1.6.6 Mạch bảo vệ SCR.....	26
1.7 TRIAC.....	27
1.7.1 Đặc điểm cấu tạo .....	27
1.7.2 Đặc tính V-A .....	28
1.8 GTO.....	29



CHƯƠNG 2:.....	31
CÁC BỘ CHỈNH LƯU CÓ ĐIỀU KHIỂN DÙNG ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT ..	31
2.1 TỔNG QUAN VỀ MẠCH ĐIỀU KHIỂN.....	31
2.2 CHỈNH LƯU MỘT PHA CÓ ĐIỀU KHIỂN .....	32
2.2.1 Chỉnh lưu nửa chu kỳ có điều khiển .....	32
2.3 CHỈNH LƯU BA PHA CÓ ĐIỀU KHIỂN .....	35
2.3.1 Chỉnh lưu ba pha hình tia có điều khiển .....	35
2.3.2 Chỉnh lưu ba pha hình cầu có điều khiển.....	39
Chương 3 :.....	43
ĐỘ TIN CẬY CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT DÙNG TRONG CÔNG NGHIỆP .....	43
3.1 MỘT TƯƠNG LAI CÔNG NGHIỆP .....	43
3.2 ỨNG DỤNG ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT VÀO CÔNG NGHIỆP .....	45
3.3 ĐỘ TIN CẬY ỨNG DỤNG CỤ THỂ CỦA CÁC THÀNH PHẦN .....	47
3.4 YÊU CẦU TUỔI THỌ .....	48
3.5 CƠ CHẾ KHÔNG THÀNH PHẦN.....	54
3.6 TIỀM NĂNG ĐỂ CẢI THIỆN ĐỘ TIN CẬY .....	55
KẾT LUẬN:.....	65
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	66

## **Chương 1:**

### **Lời mở đầu :**

Kỷ nguyên của Truyền động điện có thể coi như bắt đầu từ thế kỷ 19 khi Tesla phát minh ra động cơ không đồng bộ năm 1888. Từ đó, động cơ điện dần dần thay thế động cơ hơi nước, vốn được coi là động lực cho cách mạng công nghiệp lần thứ nhất (thế kỷ 18) và lần thứ hai (thế kỷ 19). Sự ra đời của các van bán dẫn công suất lớn như diode, BJT, thyristor, triac và tiếp đó là IGBT thực sự mang đến cho truyền động điện một sự biến đổi lớn về chất và lượng. Bài nghiên cứu nhằm mục đích phân loại tìm hiểu độ tin cậy của điện tử công suất đối với ngành công nghiệp phát triển nhanh chóng như hiện nay.

## **CÁC LINH KIỆN ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT**

### **1.1 PHÂN LOẠI LINH KIỆN ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT**

- Các linh kiện bán dẫn công suất có hai chức năng cơ bản là ĐÓNG và NGẮT dòng điện đi qua nó.
- Trạng thái linh kiện dẫn điện (ĐÓNG): linh kiện giống như một điện trở có giá trị rất bé (gần bằng không).
- Trạng thái linh kiện không dẫn điện (NGẮT): linh kiện giống như một điện trở có giá trị rất lớn.
- Các linh kiện bán dẫn có thể chuyển đổi trạng thái làm việc từ trạng thái dẫn điện sang trạng thái không dẫn điện và ngược lại thông qua tín hiệu kích thích tác động lên cổng điều khiển của linh kiện. Ta gọi linh kiện có điều khiển được. Tín hiệu điều khiển có thể là dòng điện, điện áp hay ánh sáng với công suất nhỏ hơn nhiều so

- Nếu linh kiện không có công điều khiển và quá trình chuyển trạng thái làm việc xảy ra dưới tác dụng của nguồn công suất ở ngõ ra, ta gọi linh kiện thuộc loại không điều khiển được.

- Đối với các linh kiện điều khiển được, nếu tín hiệu điều khiển chỉ là cho nó dẫn dòng điện mà không thể tác động ngắt dòng điện qua nó, ta gọi linh kiện không có khả năng kích ngắt (SCR, TRIAC). Ngược lại, nếu linh kiện có thể chuyển trạng thái làm việc từ đóng sang ngắt hay từ ngắt sang đóng thông qua tín hiệu kích thích tác động lên công điều khiển gọi là linh kiện có khả năng kích ngắt (BJT, MOSFET, IGBT, GTO...).

Ta có thể phân ra thành ba nhóm linh kiện như sau :

- Nhóm các linh kiện không điều khiển như Diode, DIAC.
- Nhóm các linh kiện điều khiển kích đóng được như SCR, TRIAC.
- Nhóm các linh kiện điều khiển kích ngắt được như BJT, MOSFET, IGBT, GTO.

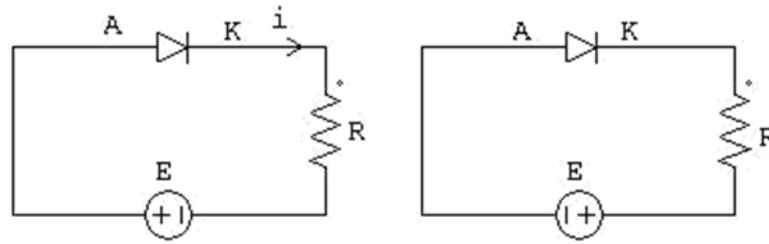
## 1.2 DIODE CÔNG SUẤT

### 1.2.1 Nguyên lý cấu tạo và làm việc với công suất của nguồn và tải.



Hình H1.2.1: Cấu trúc Diode (a) và ký hiệu (b)

Diode được cấu tạo bằng mối nối P-N, lớp N thừa điện tử, lớp P thiếu điện tử đồng thời chứa các phân tử mang điện dạng lỗ trống tạo ra hàng rào điện thế vào khoảng 0,6 V.



Hình H1.2.1a : Sơ đồ nguyên lý phân cực cho diode

a) phân cực thuận b) phân cực ngược

Khi ta đặt một điện áp lên diode, cực dương gắn với lớp P và cực âm gắn với lớp N

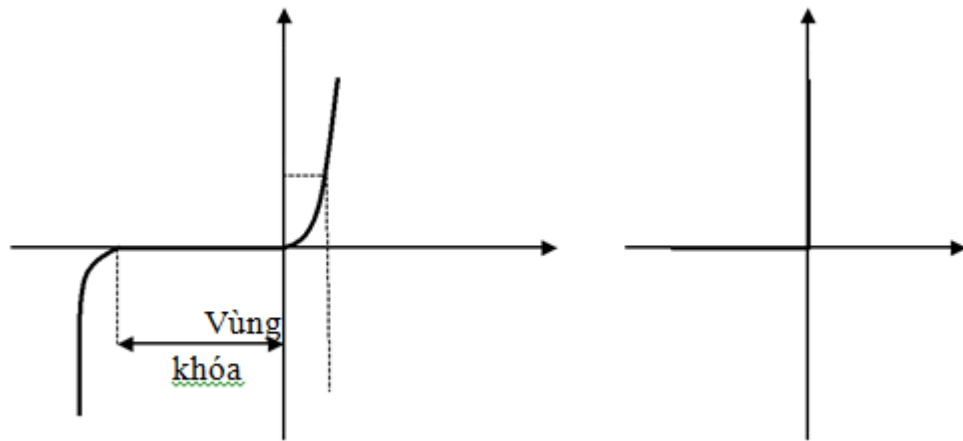
(hình H1.2.1a.a), khi đó điện tử được chuyển từ lớp N qua lớp P. Còn các hạt mang điện được chuyển từ lớp P sang lớp N và như vậy có một dòng điện chạy qua diode.

Khi điện áp ngược được đặt lên diode (cực dương gắn với lớp N và cực âm gắn với lớp P – hình H1.2.1a.b), điện tử và phân tử mang điện dạng lỗ trống và các điện tử tự do bị kéo ra xa mối nối, kết quả chỉ có dòng điện rò vào khoảng vài mA có thể chạy qua.

Khi điện áp ngược tiếp tục tăng các điện tích cũng tăng gia tốc gây lên va chạm dây chuyền làm hàng rào điện thế bị chọc thủng và diode mất tính chất dẫn điện theo một chiều (diode bị hỏng).

Trên hình vẽ, đầu ra của lớp P gọi là Anode (A) và lớp N là Cathode (K).

### 1.2.2 Đặc tính Volt – Ampere (V – A)



Hình H1.2.2: Đặc tính V – A thực tế (a) và lý tưởng(b)

Đặc tính có hai nhánh: nhánh thuận tương ứng với trạng thái dẫn điện (nằm ở góc phần tư I) và nhánh nghịch tương ứng với trạng thái ngắt (nằm ở góc phần tư III) như trên hình H1.2.2. Trong đó, hình H1.2.2a là đặc tính V – A thực tế, hình H1.2.2b là đặc tính lý tưởng.

Giải thích các ký hiệu :

- $U_0$ : điện áp khóa của diode,  $U_0 = 0,3V \div 0,6V$  tùy theo chất bán dẫn.-
- $U_F$ : điện áp thuận của diode
- $U_R$ : điện áp ngược của diode (điện áp đánh thủng)
- $I_F$ : dòng điện thuận chạy qua diode.

### 1.2.3 Trạng thái đóng ngắt

Khi điện áp đặt vào anode và cathode lớn hơn điện áp khóa của diode thì diode sẽ dẫn điện, ngược lại thì diode sẽ khóa (không dẫn điện).

$U_{AK} > U_0$ : diode dẫn điện.

$U_{AK} < U_0$ : diode ngưng dẫn.

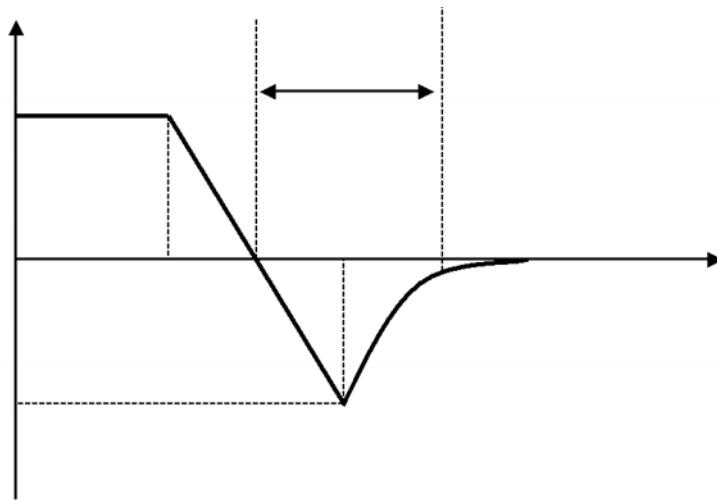
Ta xét với trường hợp diode lý tưởng :

$U_{AK} > 0$ : diode dẫn điện.

$U_{AK} < 0$ : diode ngưng dẫn.

### 1.2.4 Các tính chất động

Quá trình chuyển mạch: là quá trình diode chuyển từ trạng thái dẫn điện sang trạng thái ngắt.



Hình H1.2.4: Quá trình chuyển mạch của

Trong khoảng  $[0 \div t_0]$  diode dẫn và dòng qua nó là dòng thuận  $I_F$

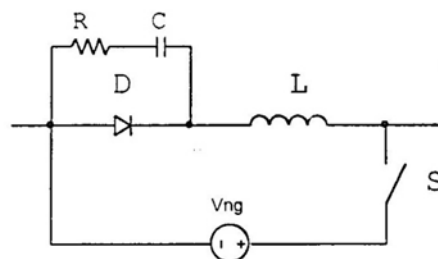
Tại thời điểm  $t_0$  diode ngắt, dòng qua diode (dòng thuận) giảm dần về 0.

Khi  $t = t_1$ : dòng thuận tiến tới 0, nhưng do chuyển động của các hạt dẫn nên diode tiếp tục dẫn với dòng có chiều ngược lại.

Khi  $t = t_2$ : các hạt dẫn tiêu tán hết, diode khôi phục khả năng khoá áp ngược.

Khi  $t = t_3$ : dòng ngược giảm về 0. Quá trình ngắt diode kết thúc.

### 1.2.5 Mạch bảo vệ diode



Hình H1.2.5: Mạch bảo vệ diode

Để hạn chế ảnh hưởng của hiện tượng quá áp và bảo vệ cho diode công suất, ta mắc song song với diode mạch lọc RC. Tuy nhiên, các diode công suất trên thực tế đã tích hợp sẵn mạch RC.

### 1.2.6 Các đại lượng định mức của diode

Điện áp định mức: là điện áp ngược lớn nhất (URM) có thể lặp lại tuần hoàn trên diode.

Dòng điện định mức: là dòng điện thuận lớn nhất (IFM) chạy qua diode mà không làm cho diode bị hỏng.

Để tăng khả năng chịu áp tải ta ghép nối tiếp các diode, để tăng khả năng chịu dòng tải ta ghép song song các diode.

Hình dạng của một số diode trên thực tế như trên hình H1.2.6.



Hình H1.2.6: Một số diode trên thực tế.

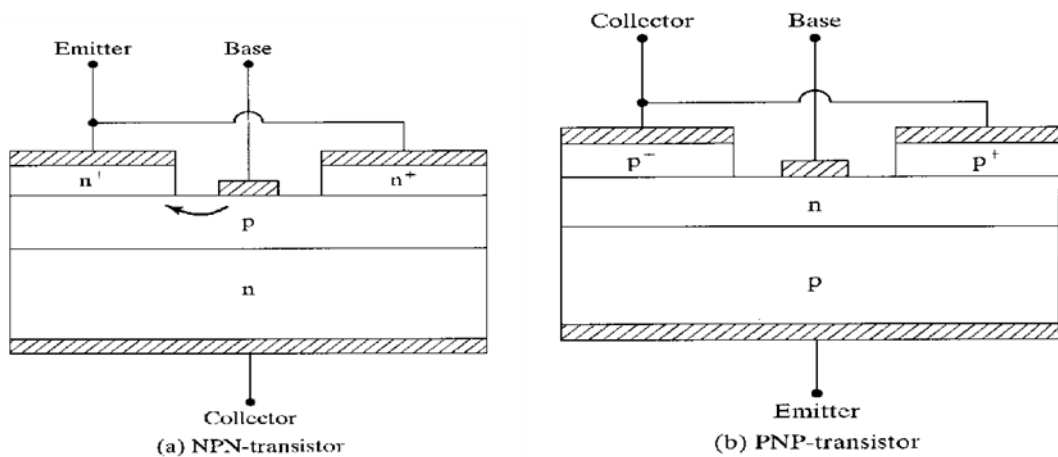
## 1.3 BJT CÔNG SUẤT (BIPOLAR JUNCTION TRANSISTOR)

### 1.3.1 Nguyên lý cấu tạo và làm việc

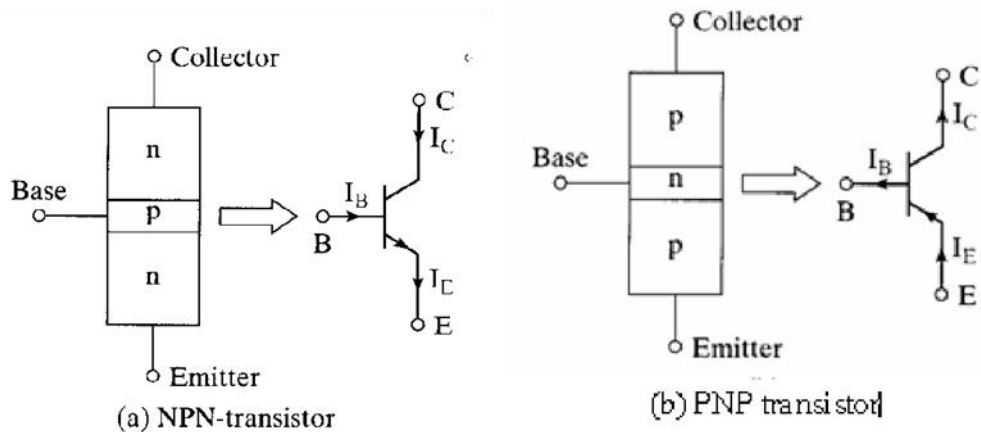
Transistor được cấu tạo bởi cấu trúc 3 lớp dạng n-p-n (hình H1.3.1a) hoặc p-n-p (hình H1.3.1b). Nhưng dạng n-p-n được sử dụng nhiều hơn vì loại này có kích thước nhỏ hơn với cùng một mức điện áp và dòng điện.

Transistor có 3 cực: cực Base (B), cực Collector (C) và cực Emitter (E) và là linh kiện được điều khiển hoàn toàn thông qua cực B và E. Mạch công suất nối giữa 2 cực C và E.

Ký hiệu của transistor như trên hình H1.3.1a



Hình H1.3.1: Nguyên lý cấu tạo của transistor



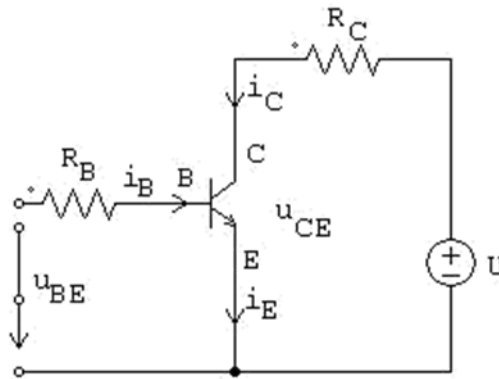
Hình H1.3.1a : Ký hiệu của transistor

Trong lĩnh vực điện tử công suất, transistor BJT được sử dụng như một công tắc đóng ngắt các mạch điện, phần lớn sử dụng loại NPN và mắc theo dạng mạch có Emitter chung (hình H1.3.1 b)



Trên hai cực B và E là điện áp điều khiển  $u_{BE}$ . Các điện cực C, E được sử dụng làm công tắc đóng ngắt mạch công suất. Điện áp điều khiển phải có tác dụng tạo ra dòng  $i_B$  đủ lớn để điện áp giữa hai cực C và E đạt giá trị bằng không ( $u_{CE}=0$ ).

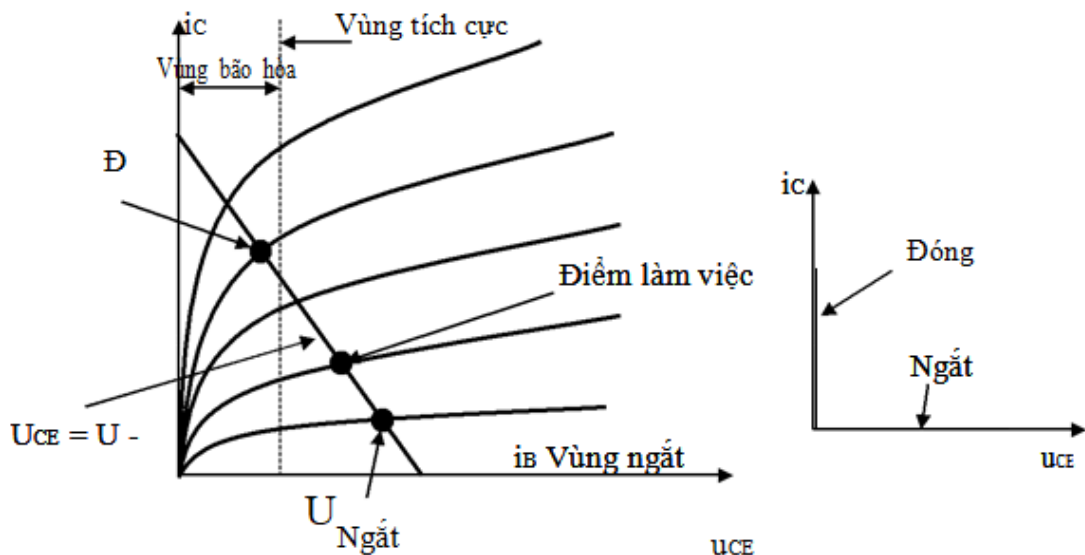
Transistor là linh kiện được điều khiển hoàn toàn bằng dòng điện  $i_B$ .



Hình H1.3.1b : Sơ đồ mắc theo dạng Emitter chung

### 1.3.2 Đặc tính V-A trong mạch có Emitter chung

Đặc tính V-A ngõ ra của mạch mắc theo dạng E chung như trên hình H1.3.2a (đặc tính thực tế) và hình H1.3.2b (đặc tính lý tưởng).



Hình H1.3.2: Đặc tính V-A ngõ ra của mạch E

Đặc tính ngõ ra: biểu diễn quan hệ của các đại ngõ ra  $i_C = f(u_{CE})$ , thông số biến thiên là dòng kích  $i_B$ . Các đặc tính ngõ ra được vẽ cho các giá trị khác nhau của  $i_B$ .

Đường thẳng biểu diễn  $U_{CE} = U - I_C R_C$  là đường đặc tính tải. Giao điểm của đường này với các đặc tính ngõ ra sẽ xác định điểm làm việc của transistor.

Trong vùng chứa đặc tính ngõ ra, ta phân biệt ba vùng: vùng nghịch, vùng bảo hòa và vùng tích cực.

Vùng nghịch:  $i_B = 0$ , transistor ở trạng thái ngắt. Dòng  $i_C$  có giá trị nhỏ không đáng kể đi qua transistor và tải gọi là dòng điện rò.

Vùng bảo hòa: là vùng giới hạn xác định bởi điện thế  $U_{CE} = U_{CE(sat)}$  nhỏ nhất có thể đạt được ứng với giá trị  $I_C$  cho trước và vùng giới hạn bởi đường đặc tính khi

$$I_B = 0.$$

Nếu điểm làm việc nằm trong vùng bảo hòa (xem điểm đóng như trên hình H1.3.2a), transistor sẽ đóng, transistor làm việc như một khóa đóng ngắt dòng điện.

Vùng tích cực: là vùng transistor hoạt động ở chế độ khuếch đại tín hiệu.

### 1.3.3 Trạng thái đóng ngắt

$I_B \geq I_B(sat)$  : BJT đóng.

$I_B = 0$ : BJT ngắt.

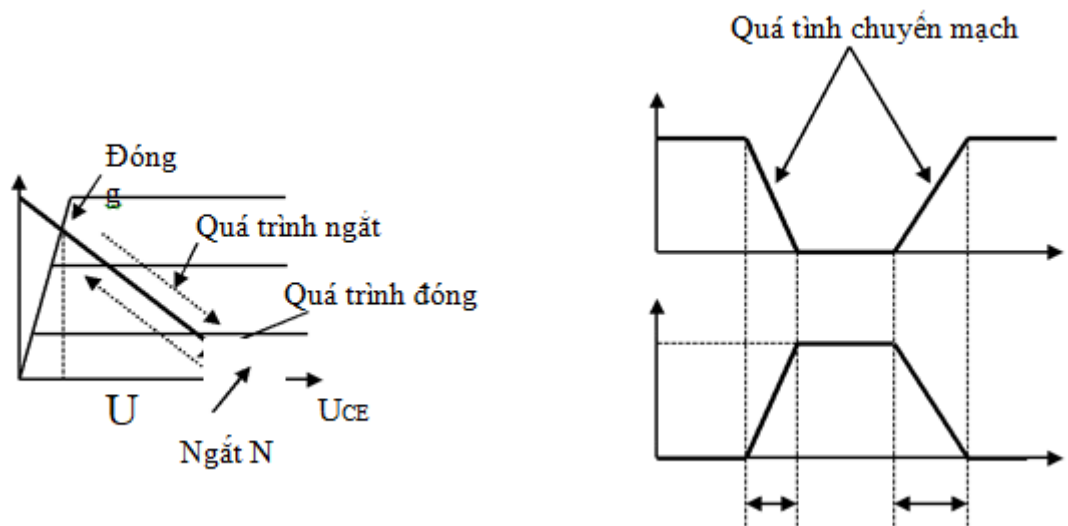
Với  $I_B(sat)$  là dòng điện  $I_B$  bảo hòa. Để đơn giản, ta thường xét điều kiện đóng ngắt của transistor ở điều kiện lý tưởng.

$I_B > 0$  : BJT đóng.

$I_B = 0$ : BJT ngắt.

### 1.3.4 Các tính chất động

Quá trình dòng collector  $I_C$  có dạng xung vuông như trên hình H1.3.4b. Thời gian đóng ton kéo dài khoảng vài  $\mu s$ , thời gian ngắt hơn  $10\mu s$ .



Hình H1.3.4: Quá trình chuyển mạch của transistor

Quá trình chuyển mạch tạo nên công suất tổn hao do đóng ngắt của transistor. Công suất tổn hao làm giới hạn tần số hoạt động của transistor. Khi đóng ngắt, dòng điện qua transistor lớn và điện áp ở mức cao nên giá trị tức thời của công suất tổn hao lớn.

Quá trình chuyển đổi điểm làm việc từ vị trí NGẮT đến vị trí ĐÓNG (hoặc ngược lại) được mô tả như trên hình H1.3.4a. Quá trình này kéo dài trong thời gian  $t_{on}$  hoặc  $t_{off}$ .

### 1.3.5 Các đại lượng định mức của transistor

**Định mức điện áp:** giá trị điện áp cực đại trên hai cực C, E khi  $i_B = 0$  và trên hai cực B, E khi  $i_C = 0$ . Các giá trị này là giá trị tức thời.

**Định mức dòng điện:** là giá trị cực của các dòng điện  $i_C$ ,  $i_E$ , và  $i_B$ . Đó là các giá trị cực đại tức thời của transistor khi đóng trong trạng thái bảo hòa.

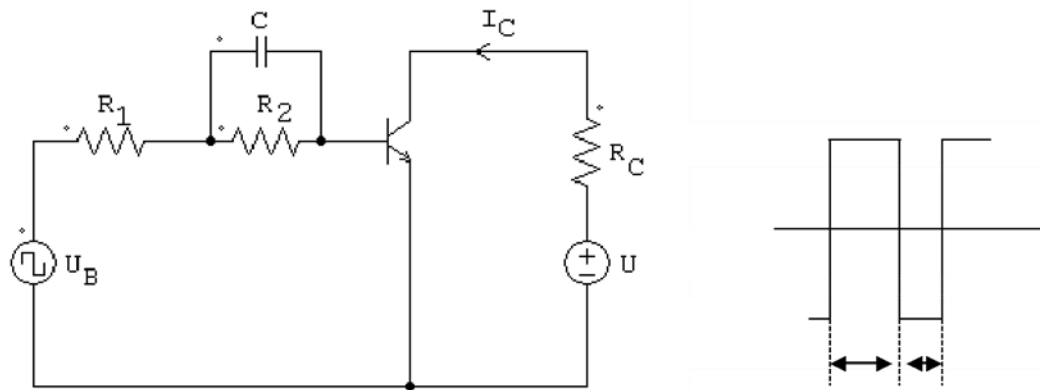
**Công suất tổn hao:** công suất tổn hao tạo ra chủ yếu trên cực C.

$P_C = U_{CE} \cdot I_C$ . Công suất tổn hao làm cho transistor nóng lên. Khi transistor làm việc, nhiệt độ sinh ra trên transistor không được vượt quá giá trị nhiệt độ cho phép, thường là  $150^\circ\text{C}$ .

### 1.3.6 Mạch kích và bảo vệ cho transistor

a. Điều khiển kích đóng:

Sơ đồ mạch và giản đồ xung kích như trên hình 1.3.6. Khi xung điện áp  $U_B$  được đưa vào, dòng điện qua công B bị giới hạn bởi điện trở  $R_1$ .



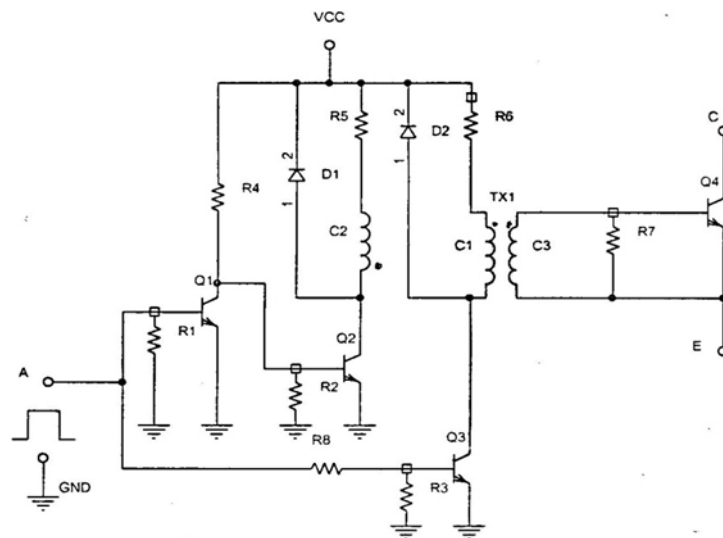
Hình 1.3.6: Sơ đồ mạch kích và giản đồ xung kích

b. Điều khiển ngắt:

Khi điện áp  $U_B$  giảm xuống giá trị âm  $U_2 < 0$ , trên hai cực B, E xuất hiện điện áp ngược bằng tổng điện áp  $U_B$  và  $U_C$ .

Sau khi tụ C xả hết, điện áp trên BE xác lập bằng  $U_2 < 0$  nên transistor bị kíchngắt.

Thí dụ sơ đồ mạch kích



Hình H1.3.6a Một dạng sơ đồ mạch kích cho transistor

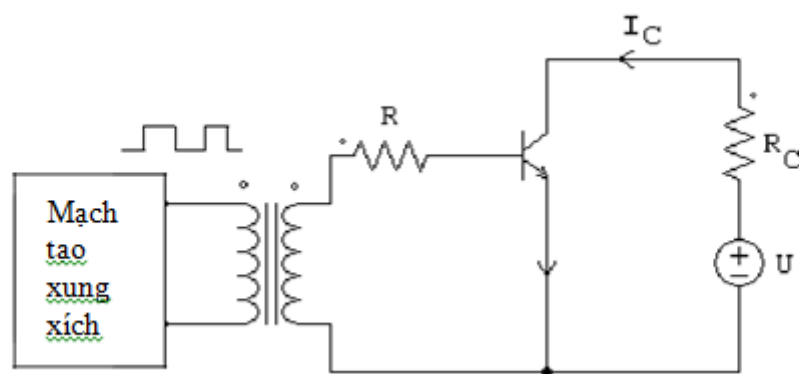
Công Base của BJT công suất được điều khiển bởi cuộn thứ cấp C3 của biến áp xung 3 cuộn dây TX1. Cuộn sơ cấp C1, C2. Để điều khiển đóng BJT Q4, điện áp có giá trị dương được cấp cho đầu A làm cho Transistor Q3 đóng, cuộn C1 tích điện, điện áp dương xuất hiện trên cuộn C3, đồng thời cuộn C2 không có dòng chạy qua vì BJT Q2 ngắt, và Q1 đóng nối tắt công Base của Q2 xuống masse.

Khi xung áp điều khiển ở đầu A giảm xuống 0, cả hai BJT Q1 và Q3 đều ngắt. Khi Q3 ngắt cuộn C1 hở không được cấp nguồn, đồng thời cuộn C2 được cấp điện do Q2 đóng. Do khác cực tính nên cuộn C3 xuất hiện điện áp ngược và ngắt Q4. Diode D1 và D2 có tác dụng bảo vệ quá dòng.

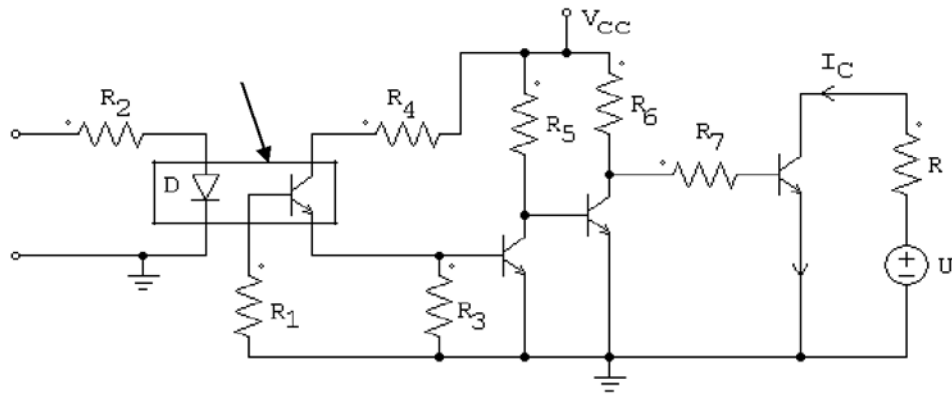
Mạch phát tín hiệu để điều khiển mạch công suất dùng bán dẫn thường được yêu cầu cách ly về điện. Điều này có thể thực hiện được bằng optron hoặc biến áp xung.

Biến áp xung: gồm một cuộn sơ cấp và có thể có nhiều cuộn thứ cấp. Sơ đồ nguyên lý mạch cách ly tín hiệu điều khiển dùng biến áp xung như trên hình 1.3.6b

Optron: gồm một nguồn phát tia hồng ngoại dùng diode quang và mạch thu dùng phototransistor như trên hình 1.3.6c.



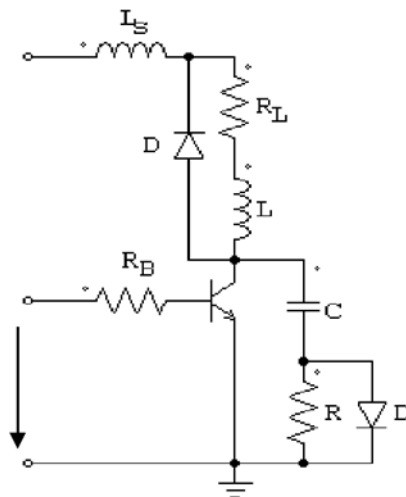
Hình 1.3.6b: Sơ đồ nguyên lý cách ly tín hiệu điều khiển dùng biến áp xung



Hình 1.3.6c: Sơ đồ nguyên lý cách ly tín hiệu điều khiển dùng Optron

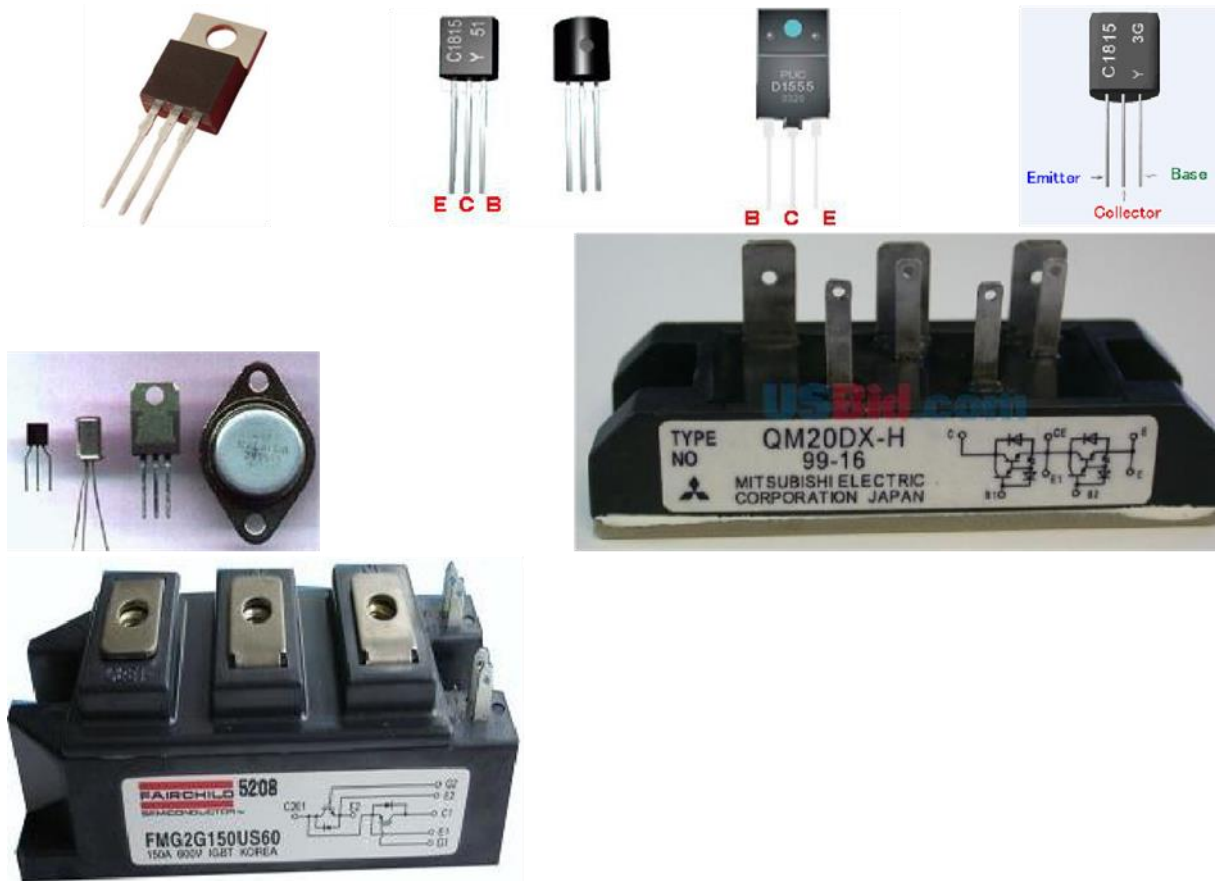
Mạch bảo vệ transistor: bảo vệ transistor trước các hiện tượng tăng quá nhanh của điện áp và dòng điện đi qua transistor. Mạch bảo vệ như trên hình 1.3.6d.

Mạch RC có tác dụng hạn chế sự tăng của điện áp trên hai cực C, E. Cuộn kháng  $L_s$  làm giảm sự tăng dòng điện qua BJT.



Hình 1.3.6d :Mạch bảo vệ BJT

Hình dạng của một số Transistor trên thực tế như trên hình 1.3.6e.

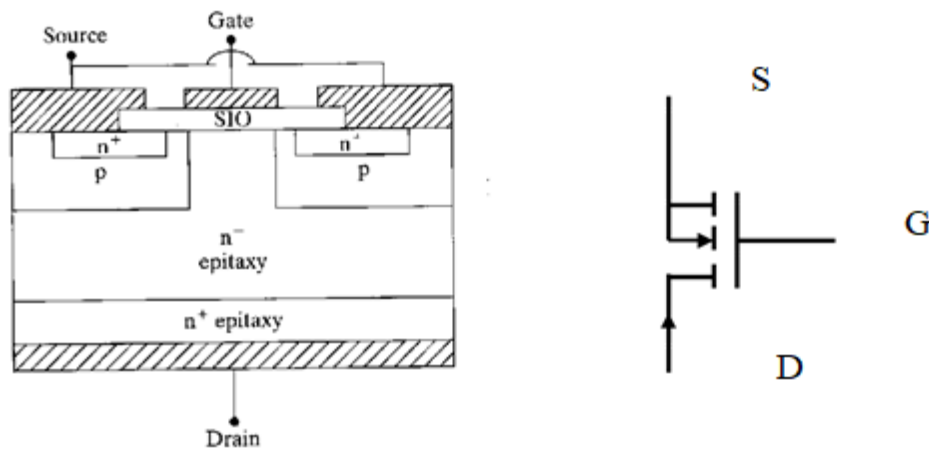


Hình 1.3.6e : Hình dạng một số transistor trên thực tế

#### 1.4 MOSFET (Metal – Oxide – Semiconductor Field Effect Transistor)

MOSFET là transistor có khả năng đóng ngắt nhanh và tổn hao do đóng ngắt thấp. MOSFET được sử dụng trong các ứng dụng công suất nhỏ (vài KW).

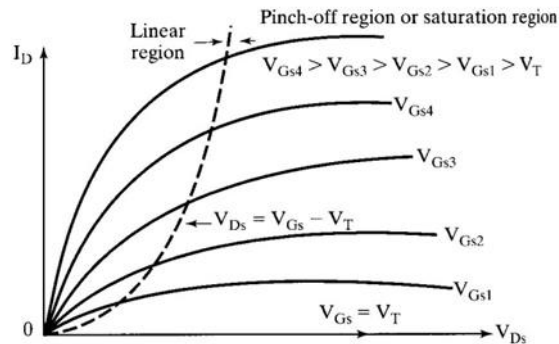
MOSFET có thể có cấu trúc NPN hoặc PNP. Hình H1.4 mô tả cấu trúc MOSFET loại NPN và ký hiệu của nó.



Hình 1.4: Cấu trúc MOSFET loại NPN và ký hiệu

MOSFET được điều khiển đóng ngắt bằng xung điện áp đặt vào cực cổng (G). Khi điện áp dương đặt lên giữa hai cổng G và S thì dòng điện được dẫn từ cực D tới cực S.

MOSFET có điện trở khi dẫn điện lớn nên công suất tổn hao khi dẫn điện lớn. Đặc tính V-A của MOSFET loại N như trên hình H.1.4.1. Đặc tính có dạng giống như đặc tính V-A của BJT.



Hình 1.4.1: Đặc tính V-A của MOSFET

MOSFET ở trạng thái ngắt điện khi điện áp cổng thấp hơn giá trị  $U_{GS}$ . Điện áp kích cho MOSFET phải ở dạng liên tục. Giá trị điện áp kích tối đa là  $\pm 20V$ .

□ Mạch kích MOSFET

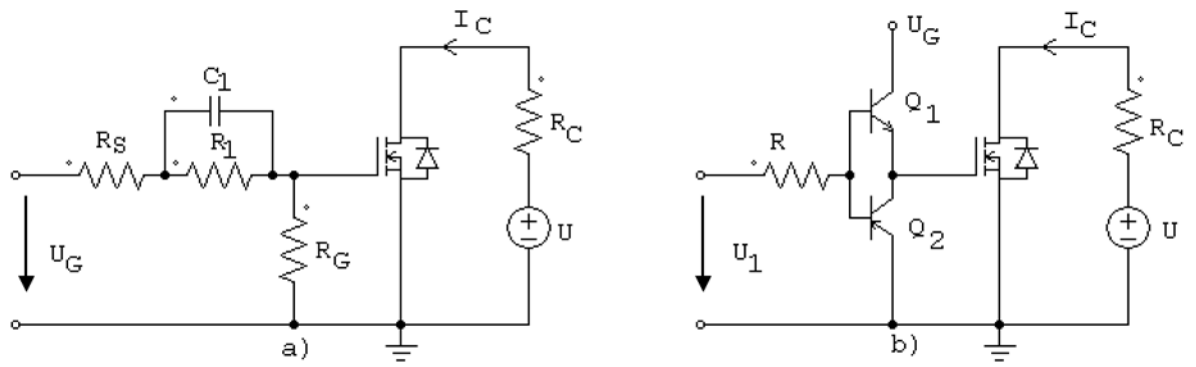
Sơ đồ mạch kích như trên hình H1.4.1. Khi có điện áp  $U_G$ , tụ điện  $C1$  tích điện và dòng điện đi vào cực G:

$$I_G = \frac{U_G}{R_S}$$

Sau khi xác lập, điện áp trên cực cổng là:

$$U_{GS} = \frac{U_G \cdot R_G}{R_S + R_1 + R_G}$$

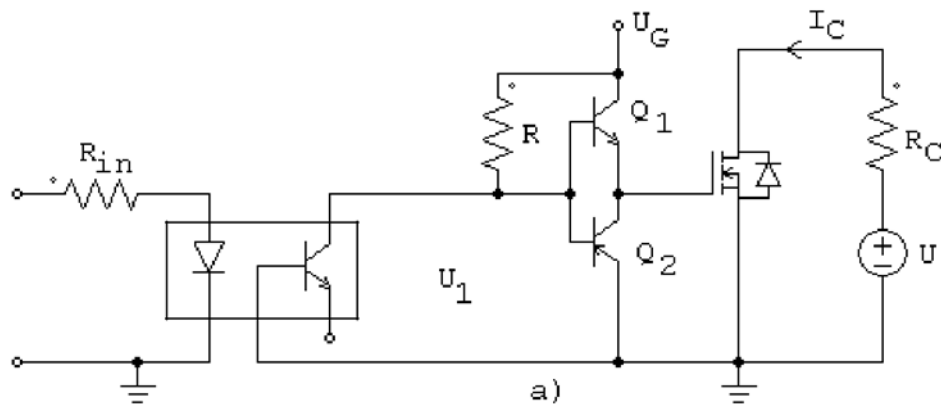




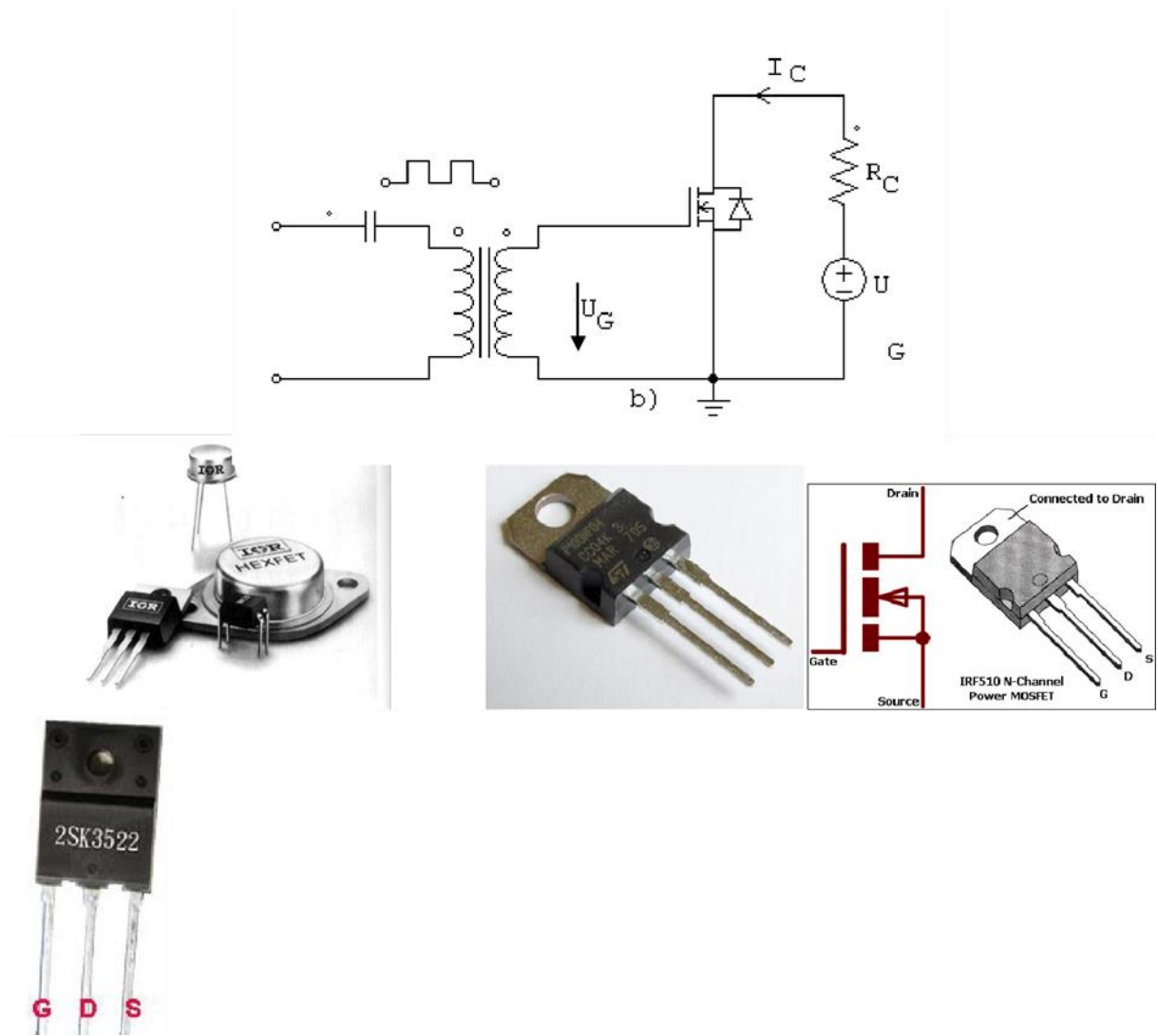
Hình 1.4.2: Sơ đồ mạch kích cho MOSFET

Đối với sơ đồ hình 1.4.1, khi điện áp kích  $U_1$  ở mức cao, Q1 dẫn và Q2 khóa làm cho MOSFET dẫn. Khi tín hiệu  $U_1$  ở mức thấp, Q1 ngắt, Q2 dẫn làm cho MOSFET ngắt điện.

Mạch kích cho MOSFET có thể được cách ly với mạch tạo tín hiệu điều khiển thông qua biến áp xung hoặc optron (1.4.3.a,b).



Hình 1.4.3: Mạch cách ly tín hiệu điều khiển với mạch kích



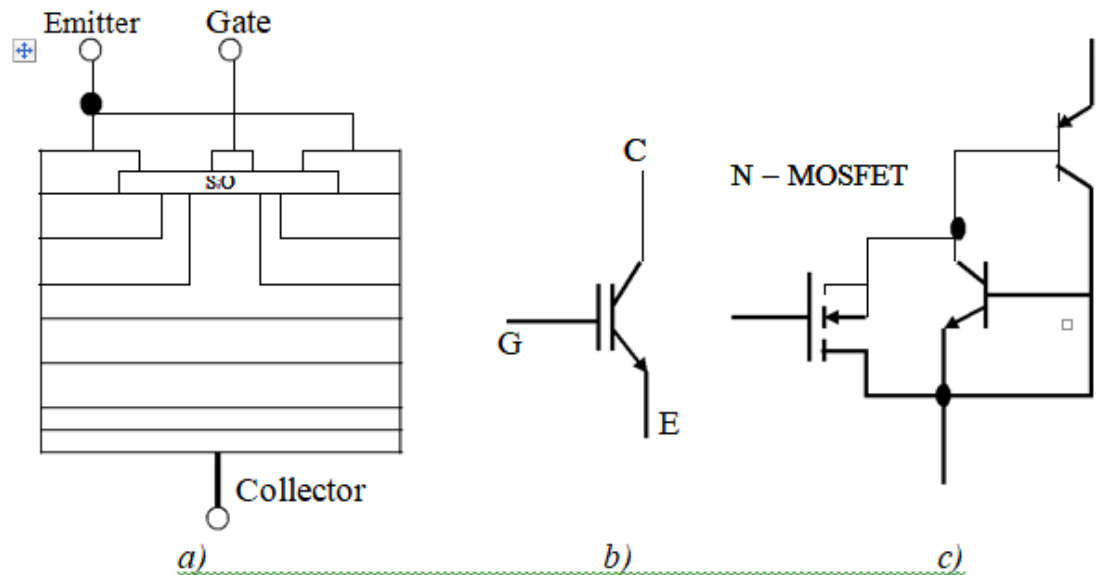
Hình 1.4.4: Hình dạng một số MOSFET

### 1.5. IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

Nguyên lý cấu tạo, ký hiệu và mạch điện tương đương của IGBT như trên hình 1.5. IGBT là transistor công suất hiện đại, có kích thước gọn nhẹ, có khả năng chịu được điện áp và dòng điện lớn, có độ sụt áp khi dẫn điện vừa phải.

Việc kích dẫn IGBT được thực hiện bằng xung điện áp đưa vào cổng G. Đặc tính V-A của IGBT có dạng tương tự như đặc tính V-A của MOSFET.

IGBT có khả năng đóng ngắt nhanh nên được sử dụng trong các bộ biến đổi điều chế độ rộng xung tần số cao. Phạm vi công suất của IGBT có thể đến 10MW.



Hình 1.5: Cấu tạo(a), ký hiệu(b) và mạch tương đương(c) của IGBT

IGBT có khả năng làm việc với dòng điện lớn và chịu được điện áp ngược cao.

Thời gian đáp ứng đóng ngắt của IGBT rất nhanh (khoảng vài  $\mu\text{s}$ )

IGBT có khả năng hoạt động tốt không cần đến mạch bảo vệ. Trong trường hợp đặc biệt, có thể sử dụng mạch bảo vệ của MOSFET áp dụng cho IGBT.

Module IGBT thông minh (Intelligent Power Module): được chế tạo bởi công nghệ tích hợp cao. Trên module chức phân tử IGBT, mạch kích lái, mạch bảo vệ, cảm biến dòng điện. Các module này đạt độ tin cậy rất cao.

Mạch kích IGBT được thiết kế tương tự như mạch kích cho MOSFET. Do giá thành IGBT cao, và đặc biệt cho công suất lớn, mạch kích lái IGBT được chế tạo dưới dạng IC công nghiệp. Các IC này có khả năng tự bảo vệ chống quá tải, nắn mạch, được chế tạo tích hợp dạng module riêng (1, 2, 4, 6 driver) hoặc tích hợp trên cả module bán dẫn (bao gồm mạch lái, IGBT và mạch bảo vệ).

Hình dạng một số IGBT thực tế (hình 1.5.1a) và các board mạch điều khiển và bảo vệ IGBT (hình 1.5.1b).



Hình 1.5.1a: Hình dạng một số IGBT thực tế.

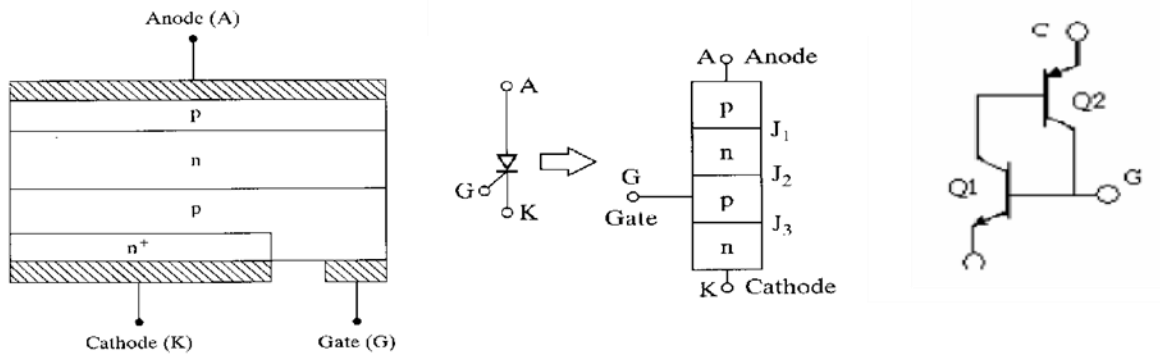


Hình 1.5.1b: Các board mạch điều khiển và bảo vệ IGBT

## 1.6. SCR (Silicon Controlled Rectifier)

### 1.6.1. Mô tả và chức năng

SCR là linh kiện gồm 4 lớp bán dẫn P-N-P-N liên tiếp tạo nên Anode (A), Cathode (K) và cực điều khiển Gate (G) như trên hình 1.6.1a.



Hình 1.6.1: Nguyên lý cấu tạo(a), ký hiệu(b) và mạch tương đương(c) của SCR

Sơ đồ thay thế SCR bằng mạch transistor như trên hình 1.6.1c. Khi đưa vào hai cổng G, K một xung dòng  $I_G$  thì SCR sẽ dẫn điện. SCR vẫn duy trì trạng thái dẫn điện mặc dù xung dòng  $I_G$  bị ngắt.

### 1.6.2. Các tính chất và trạng thái cơ bản

SCR có hai trạng thái:

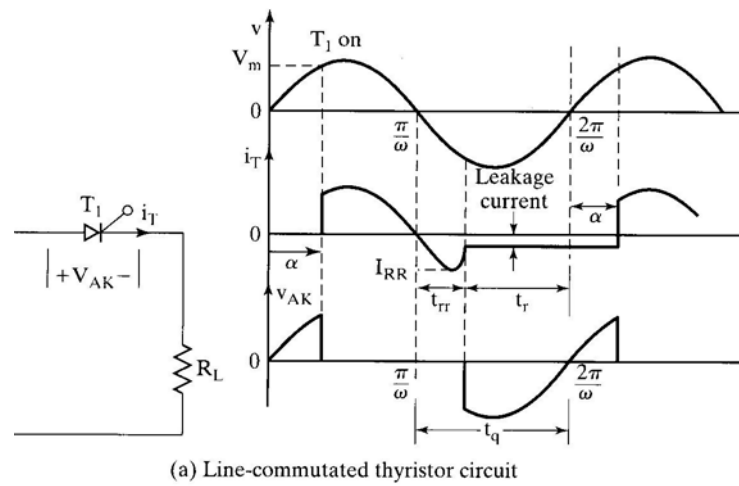
- + Trạng thái khóa: khi Anode có thể chịu được điện áp dương so với cathode.
- + Trạng thái nghịch: khi điện áp trên Anode âm hơn so với Cathode.

Để SCR chuyển sang trạng thái dẫn điện thì phải thỏa mãn hai điều kiện sau:

- + SCR ở trạng thái khóa.
- + Có xung dòng điện kích  $I_G > 0$  đủ lớn.

Hiện tượng ngắt SCR: quá trình chuyển từ trạng thái dẫn điện sang trạng thái không dẫn điện như trên hình 1.6.2. Quá trình này gồm hai giai đoạn:

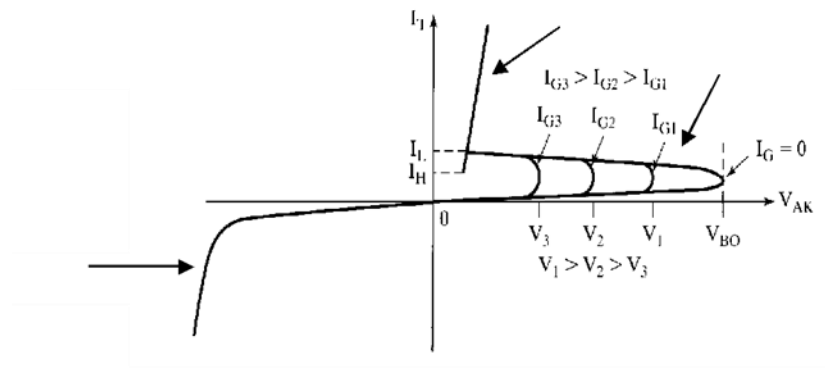
- + Giai đoạn làm dòng thuận bị triệt tiêu.
- + Giai đoạn khôi phục khả năng khóa của SCR.



Hình 1.6.2: Đặc tính động của SCR

### 1.6.3. Đặc tính V-A

Đặc tính V-A ngõ ra: biểu diễn quan hệ giữa điện áp và dòng điện đi qua hai cực Anode và Cathode (hình 1.6.3).



Hình 1.6.3: Đặc tính V-A của SCR

- + Nhánh thuận (1): SCR ở trạng thái dẫn điện. Độ sụt áp giữa Anode và Cathode nhỏ không đáng kể.
- + Nhánh nghịch (3): ứng với trạng thái nghịch tương tự như diode.
- + Nhánh khóa (2): ứng với trạng thái khóa ( $I_G = 0$ ).

#### **1.6.4. Khả năng mang tải**

Khả năng chịu áp của SCR đạt đến hàng chục KV, thông thường ở mức  $5 \div 7\text{KV}$ . Dòng điện trung bình khoảng  $5000\text{A}$ , độ sụt áp khi dẫn điện nằm trong khoảng  $1,5 \div 3\text{V}$ , phần lớn các SCR được làm mát bằng không khí.

□ Các SCR đặc biệt:

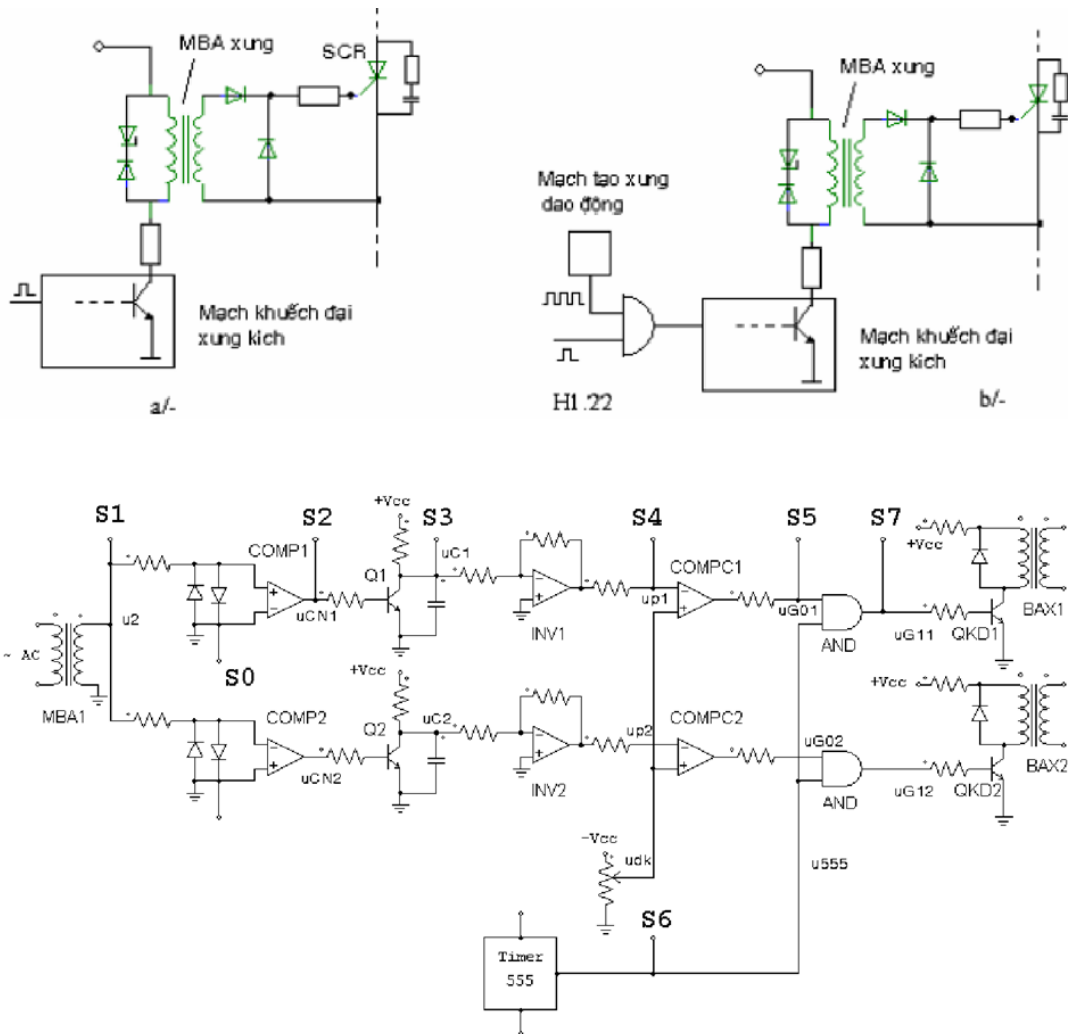
SCR cao áp: có điện áp lặp lại lớn nhất khoảng vài ngàn volt.

SCR nhanh: đóng ngắt nhanh, khả năng chịu áp và dòng thấp hơn.

Photothyristor: có thể đóng bình thường bằng xung kích vào cổng G hoặc bằng tia sáng lên vị trí nhất định của vỏ SCR.

#### **1.6.5. Mạch kích SCR**

Trong các bộ biến đổi công suất dùng SCR, SCR và mạch tạo xung kích vào cổng điều khiển của nó cần cách điện với nhau. Một số mạch kích SCR như trên hình H1.6.5



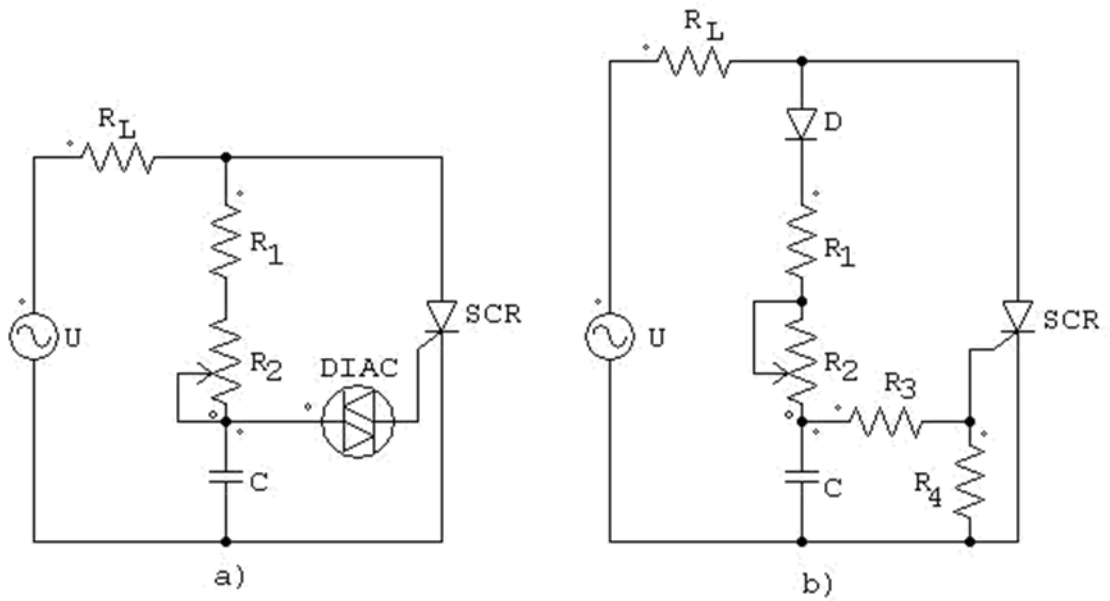
Hình 1.6.5: Mạch kích SCR

Mạch kích hình 1.6.5a: tác dụng điện áp lên mạch cổng B của Q1, Q1 dẫn bảo hòa làm xuất hiện điện áp Vcc trên cuộn sơ cấp của máy biến áp xung và làm cảm ứng xung điện áp ở phía thứ cấp. Xung áp tác dụng lên cổng G của SCR làm cho nó dẫn điện. Khi khóa xung kích, Q1 bị ngắt, dòng qua máy biến áp xung được duy trì qua mạch cuộn sơ cấp và diode Dm.

Hình 1.6.5b: xung điều khiển kết hợp với tín hiệu ra của bộ phát xung vuông qua cổng AND trước khi đưa vào cổng B của Q1 để hạn chế tổn hao ở mạch cổng.

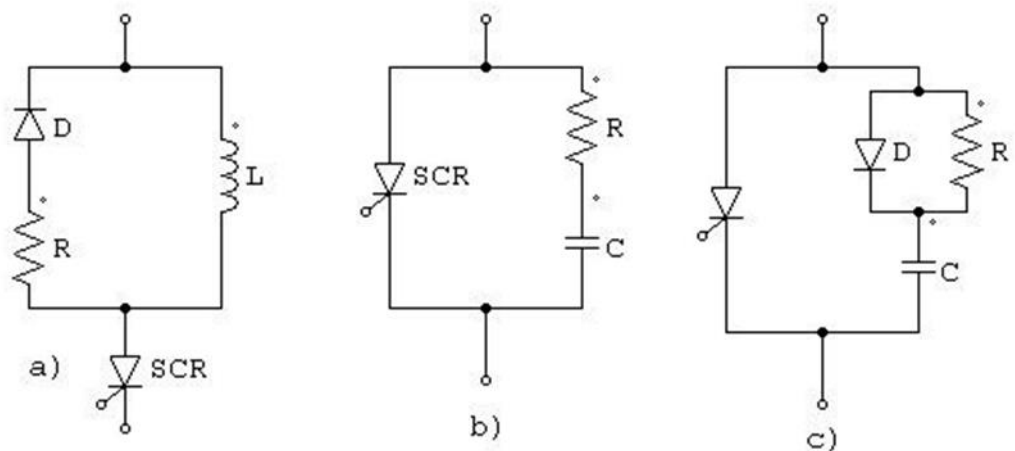
Ta cũng có thể sử dụng các mạch kích đơn giản như trên hình 1.5.6a.





Hình 1.5.6a: Mạch kích SCR đơn

### 1.6.6. Mạch bảo vệ SCR



Hình 1.6.6: Mạch bảo vệ SCR

Để giảm tốc độ thay đổi dòng điện, ta có thể dùng cảm kháng mắc nối tiếp với SCR (hình 1.6.6a).

Để giảm tốc độ thay đổi áp có thể được hạn chế bằng mạch dùng RC hoặc mạch D,R,C mắc song song (hình 1.6.6 b,c).

Hình dạng của một số loại SCR trên thực tế như trên hình 1.6.6a



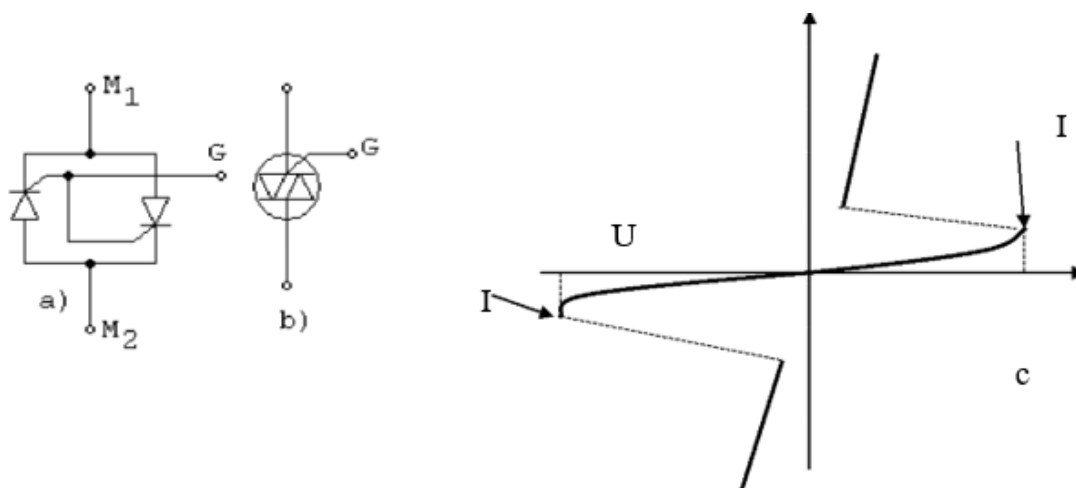
1.6.6a : Một số SCR trên thực tế

## 1.7. TRIAC

### 1.7.1 Đặc điểm cấu tạo

TRIAC được cấu tạo bởi hai SCR mắc đối song (hình 1.7.1). Do đó linh kiện có thể dẫn điện theo cả hai chiều.

Việc kích dẫn TRIAC được thực hiện nhờ xung dòng điện đưa vào cổng điều khiển G. điều kiện để TRIAC dẫn điện là đưa xung dòng kích vào cổng điều khiển trong điều kiện tồn tại điện áp trên linh kiện khác không.



Hình 1.7.1: Cấu tạo TRIAC(a) ký hiệu (b) và đặc tính V-A (c)

Giống như SCR, ta không thể điều khiển ngắt dòng điện qua TRIAC được.

Điều kiện ngắt dòng điện qua TRIAC giống như điều kiện ngắt SCR.

### 1.7.2. Đặc tính V-A

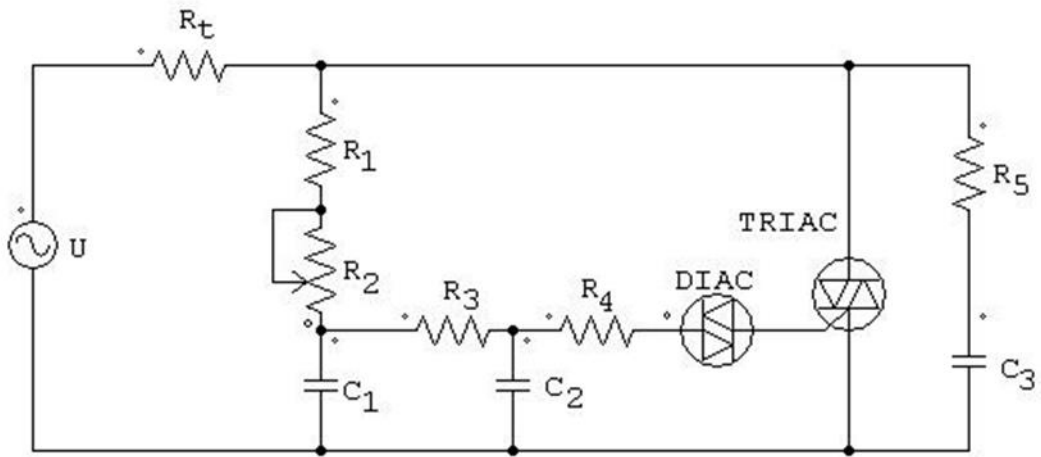
Đặc tính V-A của TRIAC tương tự như của SCR. Do khả năng dẫn điện theo cả hai chiều, đặc tính V-A của TRIAC có dạng đối xứng qua tâm góc tọa độ (hình 1.7.1c).

Việc kích đóng TRIAC có thể chia thành hai trường hợp:

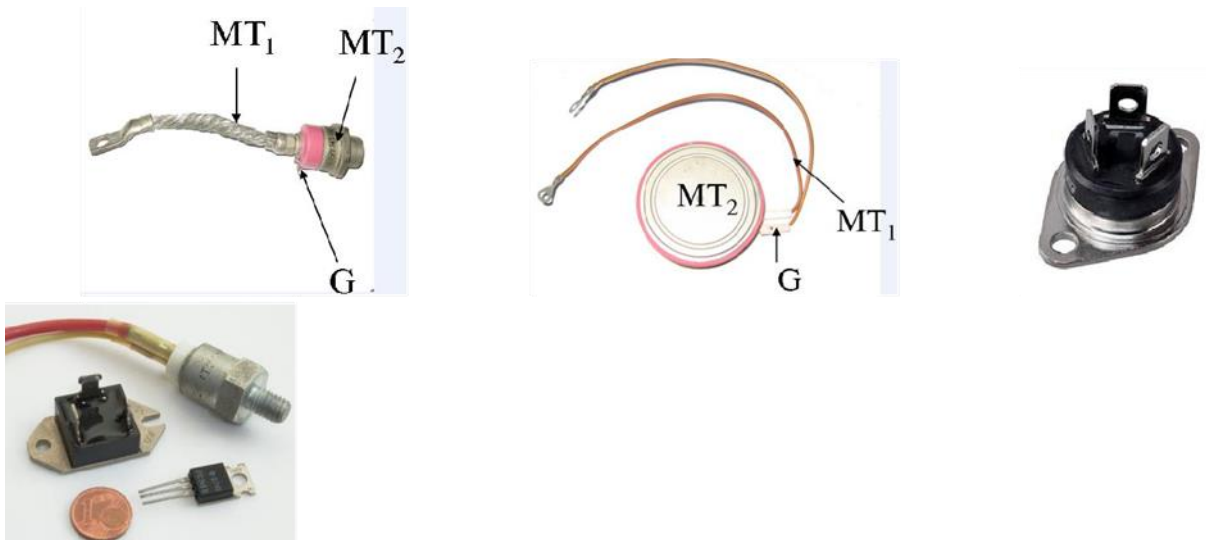
- $UV > 0$ :
  - c)  $UG > 0, IG > 0$
  - d)  $UG < 0, IG < 0$
- $UVR < 0$ :
  - c)  $UG > 0, IG > 0$
  - d)  $UG < 0, IG < 0$

Trên thực tế, việc kích cho TRIAC được thực hiện khi dòng kích dương cho trường hợp dòng qua TRIAC dương và dòng kích âm khi dòng qua TRIAC âm (chiều dương qui ước chiều từ M1 đến M2 như trên hình 1.7.1a).

Mạch kích cho TRIAC như trên hình 1.7.2 và hình dáng của một số TRIAC trên thực tế như trên hình 1.7.2a.



Hình 1.7.2: Một dạng mạch kích cho TRIAC



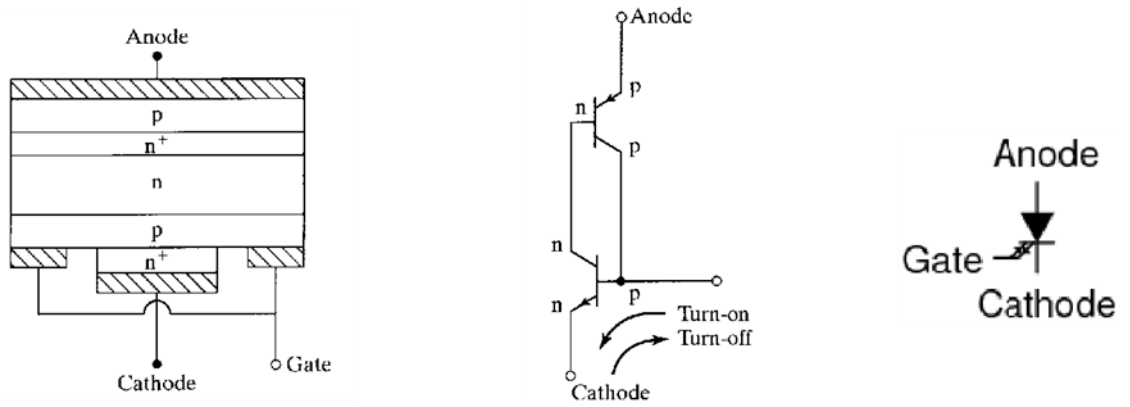
1.7.2a: Một số hình dáng của TRIAC

## 1.8. GTO

□ Đặc điểm cấu tạo :

GTO có cấu tạo như trên hình 1.8a . Cũng giống như SCR, GTO được kích đóng bằng xung dòng điện đưa vào cổng G khi điện áp Anode -Cathode dương  $U_{AK} > 0$ . Tuy nhiên, GTO có khả năng điều khiển ngắt bằng xung dòng đưa vào cổng

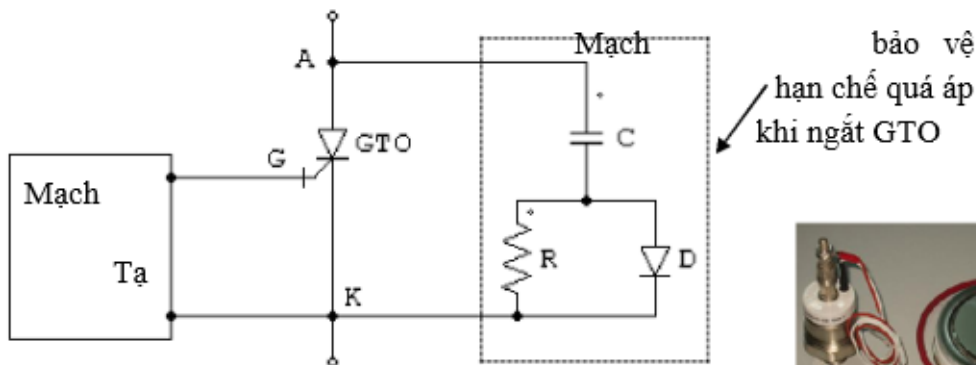
G có giá trị âm. Vì vậy, GTO thích hợp cho một số ứng dụng khi yêu cầu điều khiển cả hai quá trình đóng và ngắt khoá bán dẫn.



Hình 1.8: Cấu trúc GTO(a), sơ đồ tương đương(b) và ký hiệu (c)

Điểm khác biệt giữa GTO so với SCR là xung dòng kích IG đưa vào cổng G của GTO phải được duy trì liên tục trong suốt thời gian GTO dẫn điện.

Linh kiện GTO cần phải có mạch bảo vệ quá trình ngắt của GTO đòi hỏi sử dụng xung dòng kích đủ rộng nên thời gian ngắt sẽ kéo dài. Mạch bảo vệ GTO như trên hình 1.8. Tụ điện C có giá trị từ  $2\mu\text{F} \div 6\mu\text{F}$ .



Hình 1.8.1: Mạch bảo vệ GTO



Hình 1.8.2: Hình dáng thực tế

Hình 1.8.1: Mạch bảo vệ GTO Hình 1.8.2: Hình dáng thực tế

Hình dáng của một số GTO trên thực tế như trên hình 1.8.2

## CHƯƠNG 2:

# CÁC BỘ CHỈNH LƯU CÓ ĐIỀU KHIỂN DÙNG ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT

### 2.1. TỔNG QUAN VỀ MẠCH ĐIỀU KHIỂN

Diode là linh kiện tự dẫn điện (khi  $U_{AK} > 0$ ) nên điện áp chỉnh lưu (điện áp một chiều) có giá trị không đổi. Đối với một số loại tải có yêu cầu về thay đổi điện áp (ví dụ như điều chỉnh tốc độ động cơ) thì bộ chỉnh lưu dùng diode không đáp ứng được. Do đó, người ta thay diode bằng thyristor (hay còn gọi là SCR) để có thể điều chỉnh giá trị điện áp chỉnh lưu.

SCR thuộc nhóm linh kiện chỉ điều khiển kích đóng. Việc ngắt SCR có thể thực hiện bằng cách đặt điện áp ngược hoặc triệt tiêu dòng điện qua nó.

Để kích đóng được SCR thì phải thỏa hai điều kiện:

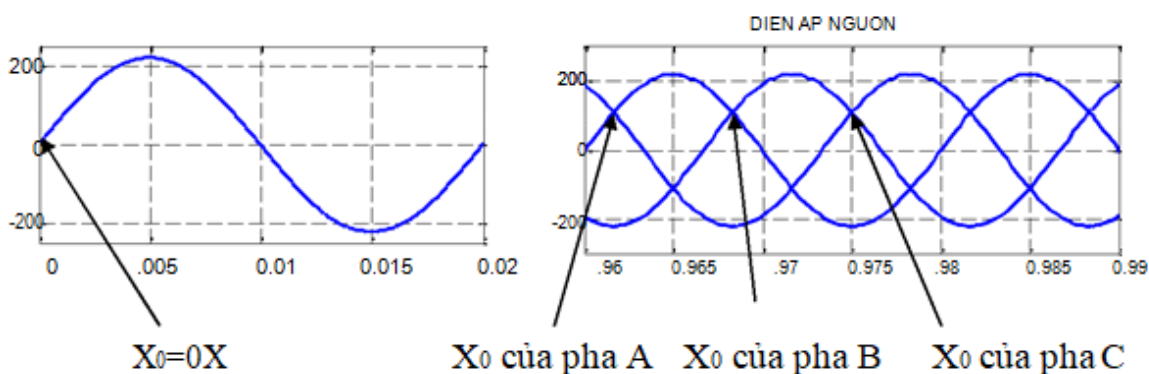
- + Xuất hiện điện áp khóa trên SCR:  $U_{AK} > 0$
- + Có dòng xung kích đủ lớn tác động vào cổng G.

Góc điều khiển (hay còn gọi là góc kích, ký hiệu là  $\alpha$ ): là góc tính từ thời điểm mở tự nhiên đến thời điểm có xung kích đưa vào cực G của SCR.

Thời điểm mở tự nhiên là thời điểm mà ở đó diode bắt đầu dẫn điện.

Gọi  $X_0$  là thời điểm mở tự nhiên. Ta có:

- + Đối với chỉnh lưu 1 pha:  $X_0 = 0$  (hình H2.1a)
- + Đối với chỉnh lưu ba pha:  $X_0 = 6^\circ$  hay  $X_0 = 30^\circ$  (hình H2.7b)



Hình H2.1: Vị trí  $X_0$  của diode

Gọi  $X_\alpha$  là vị trí đưa xung kích vào cực G của SCR.

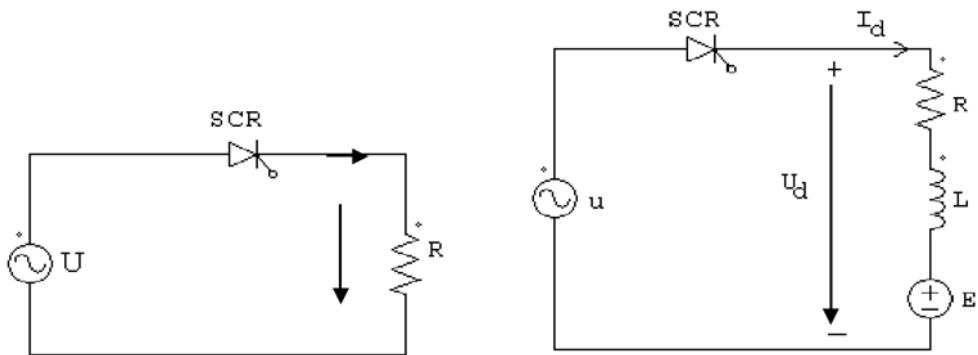
Ta xác định được góc kích  $\alpha$  như sau:

$$\alpha = X_\alpha - X_0$$

## 2.2. CHỈNH LƯU MỘT PHA CÓ ĐIỀU KHIỂN

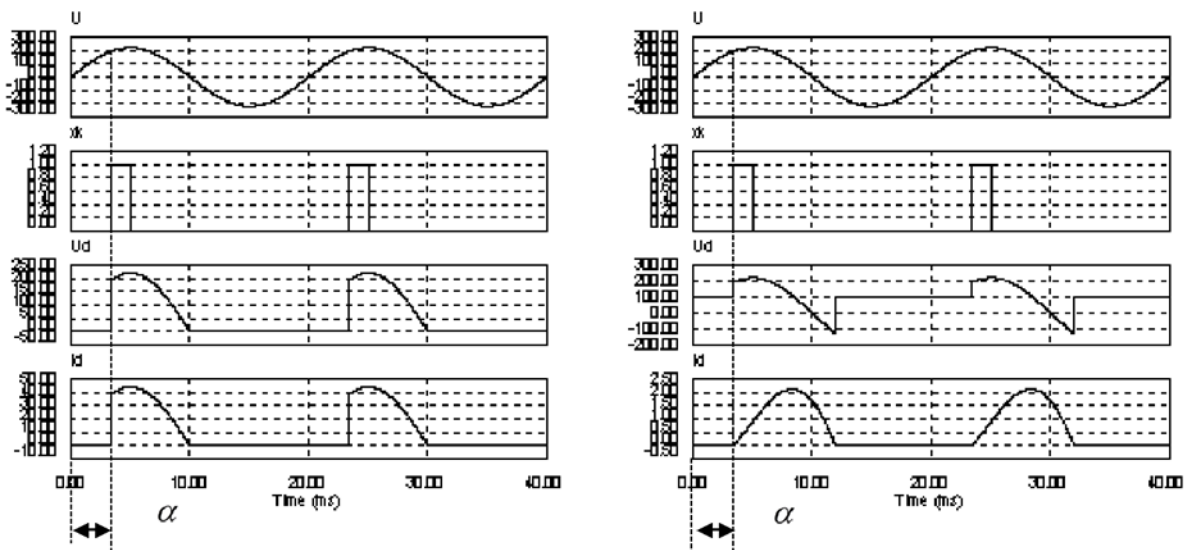
### 2.2.1. Chỉnh lưu nửa chu kỳ có điều khiển

Sơ đồ mạch chỉnh lưu điều khiển bán kỳ một pha tải thuần trở như trên hình H2.2.1a và với tải R – L – E như trên hình H2.2.1b. Tải một chiều R – L - E thường là động cơ điện một chiều.



Hình H2.2.1: Sơ đồ chỉnh lưu bán kỳ một pha có điều khiển

Đồ thị dạng sóng ở ngõ ra của bộ chỉnh lưu như trên hình H2.2.1



Hình H2.1.1a: Dạng sóng ứng với hình 2.2.1a Hình H2.2.1b: Dạng sóng ứng với hình H2.2.2b

Điện áp chỉnh lưu có một xung, chu kỳ áp chỉnh lưu bằng với chu kỳ của nguồn áp xoay chiều. Ở hình H2.2.2a, do tải thuần trở nên khi điện áp nguồn  $U$  bằng không thì điện áp chỉnh lưu  $U_d$  bằng không và dòng điện qua tải  $I_d$  cũng bằng không.

Ngược lại, hình H2.2b, do tải có khả năng lưu trữ năng lượng (tải R-L-E) nên khi điện áp nguồn bằng không, linh kiện không ngắt mà tiếp tục dẫn do dòng điện tải  $I_d > 0$ . Khi  $I_d = 0$  thì linh kiện ngưng dẫn và điện áp chỉnh lưu  $U_d = E$ .

Trong hai trường hợp trên, dòng điện tải luôn có đoạn bằng không nên được gọi là dòng tải gián đoạn.

Giả sử điện áp nguồn xoay chiều có dạng:  $u(t) = U_m \sin(\omega t)$

Trị trung bình của điện áp chỉnh lưu:

$$U_{d\alpha} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi U_d(\theta) d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi U_m \sin(\omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{U_m}{\pi} [-\cos(\omega t)]_0^\pi = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U \left( \frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) \quad (3.2)$$

Với:  $U$  là trị hiệu dụng của điện áp nguồn.

$\alpha$  là góc kích từ

SCR dẫn điện trong khoảng thời gian nửa chu kỳ điện áp nguồn. Do đó, trị trung bình dòng điện qua linh kiện

$$I_{SCR} = \frac{I_d}{2}$$

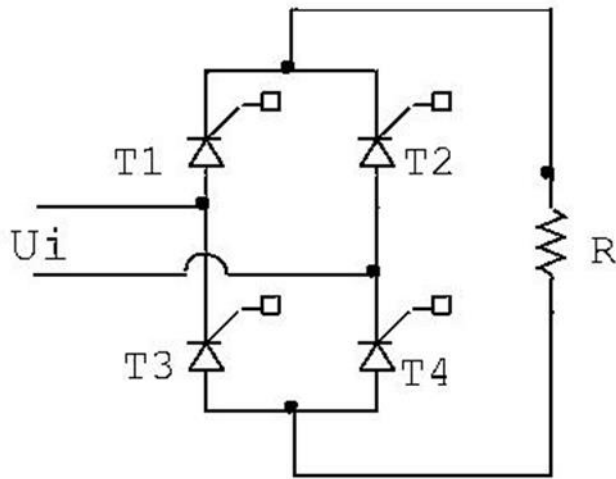
Điện áp ngược lớn nhất đặt lên linh kiện:

$$U_{n-\max} = U_m$$

Phạm vi góc điều khiển:  $0 \leq \alpha \leq 180^\circ$

### 2.2.2 Chỉnh lưu toàn kỳ có điều khiển



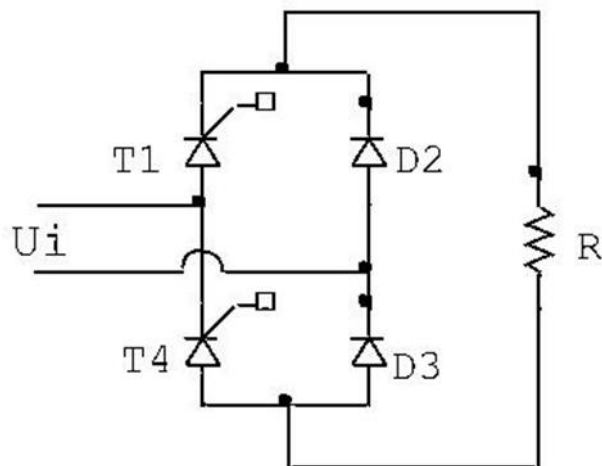


Hình 2.2.2: Sơ đồ chỉnh lưu cầu dùng SCR

Dạng điện áp ra cũng giống trường hợp chỉnh lưu hình tia nhưng biên độ gấp đôi.  
Điện áp trung bình lối ra

Ngoài sơ đồ chỉnh lưu cầu như ở trên, còn có các mạch chỉnh lưu gọi là không đối xứng với việc thay hai SCR bằng hai diod.

Tuy nhiên mạch điều khiển đơn giản, dễ sử dụng và giá thành hạ.

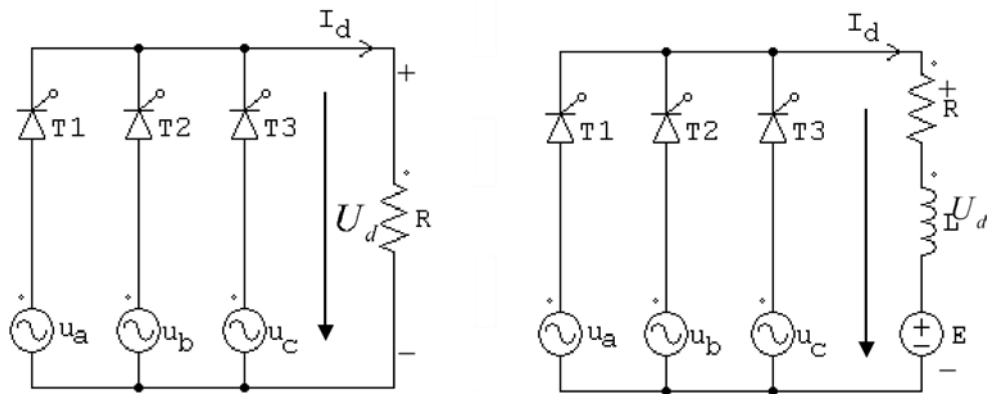


Hình 2.2.2.1: Mạch chỉnh lưu cầu không đối xứng

## 2.3. CHỈNH LƯU BA PHA CÓ ĐIỀU KHIỂN

### 2.3.1. Chỉnh lưu ba pha hình tia có điều khiển

Ta xét tải của bộ chỉnh lưu là tải thuần trở (hình 2.3.1a) và tải R-L-E (hình 2.3.1b).

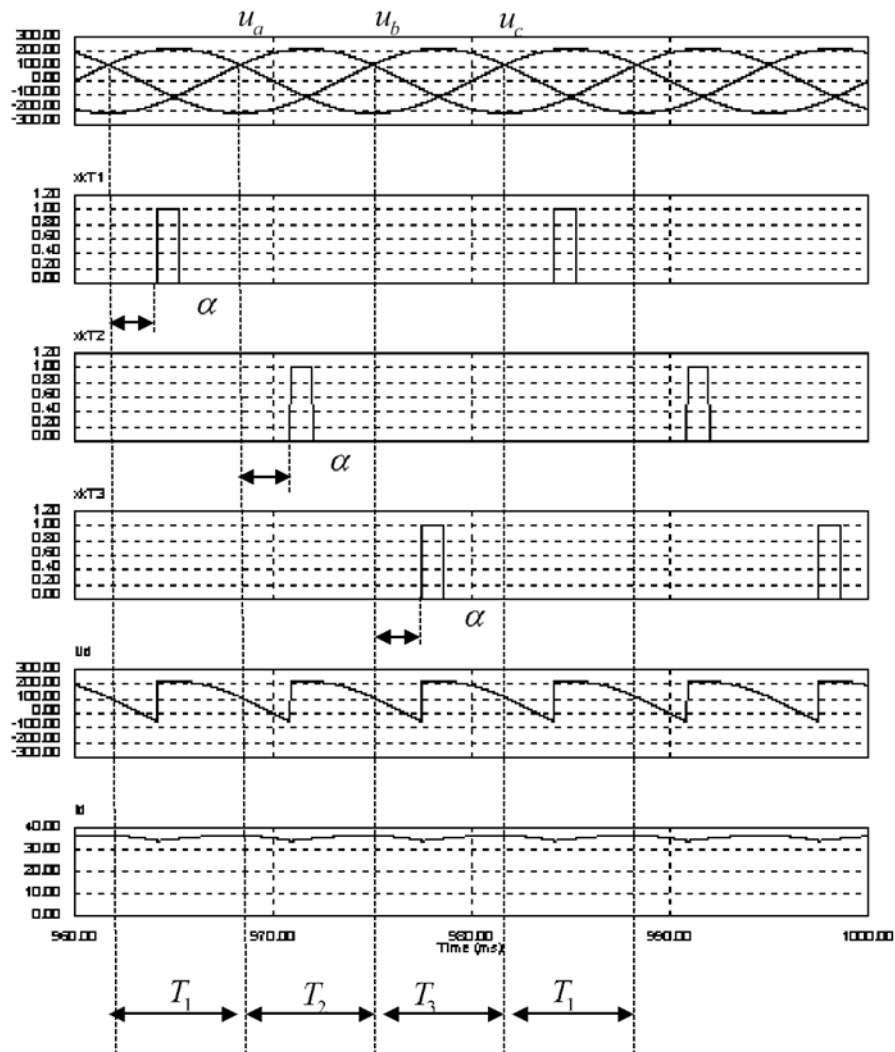


Hình 2.3.1: Sơ đồ chỉnh lưu tia ba pha

Giả sử dòng tải liên tục. Do đó, tại mỗi thời điểm, dòng điện tải sẽ kẹp kín qua một nhánh chứa nguồn và SCR dẫn điện.

Do tính chất đối xứng của nguồn nên các SCR sẽ được kích đóng đối xứng theo trật tự T1, T2, T3, T1, .... Giản đồ xung kích đóng, dạng sóng điện áp và dòng điện chỉnh lưu như trên hình H3.11. Khi linh kiện nào dẫn điện thì điện áp ngõ ra của bộ chỉnh lưu bằng với điện áp của nguồn nối với linh kiện đó.

Khi T1 dẫn, dòng điện tải khép kín qua mạch ( $u_a$ , T1, RLE), T2 và T3 ngắt. Ta có thể rút ra qui tắc dẫn của các linh kiện như sau: điện áp pha nào lớn nhất thì linh kiện nằm trên pha đó sẽ dẫn điện (nếu có xung kích).



Hình 2.3.1a: Giải đồ xung kích và dạng sóng ngõ ra của bộ chỉnh lưu Các hệ quả khi dòng tải liên tục:

Điện áp tải chỉ phụ thuộc vào điện áp nguồn và góc điều khiển  $\alpha$ . Điện áp tải có ba xung trong một chu kỳ của điện áp nguồn. Chu kỳ điện áp tải  $T_p = \frac{T}{3}$  (với T là chu kỳ điện áp nguồn).

Phạm vi góc điều khiển: do điện áp khóa trên phạm vi góc điều khiển là  $(0, \pi)$ .

SCR chỉ tồn tại trong khoảng  $0 < \alpha < \pi$  nên áp chỉnh lưu trung bình  $U_d$  sẽ có độ lớn nằm trong khoảng

$$-\frac{3\sqrt{6}}{2\pi}U < U_d < \frac{3\sqrt{6}}{2\pi}U$$

Khi điện áp trên tải có trị trung bình dương có nghĩa là tải nhận năng lượng từ nguồn và bộ chỉnh lưu làm việc ở chế độ chỉnh lưu. Khi điện áp trên tải có trị trung bình âm, do dòng tải chỉ dương nên tải phát ra năng lượng và ta gọi bộ chỉnh lưu làm việc ở chế độ nghịch lưu.

Mỗi SCR dẫn điện trong  $1/3$  chu kỳ áp nguồn, do đó trị trung bình qua nó:

$$I_{SCR} = \frac{I_d}{3}$$

Điện áp khóa và điện áp ngược lớn nhất đặt lên tryristor:

$$U_{K-max} = U_{n-max} = \sqrt{6}.U$$

Ghi chú: đối với tải thuần trở, dòng điện tải chliên tục trong phạm vi góc kích  $\alpha < 30^0$ . Khi  $\alpha \geq 30^0$  thì điện áp có đoạn bằng không nên dòng tải bị gián đoạn và trị trung bình điện áp chỉnh lưu trong trường hợp này là:

$$U_{d\alpha} = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{\alpha}}^{\pi} U_d(\theta) d\theta = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{\alpha}}^{\pi} \sqrt{2}U \sin(\theta) d\theta = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U \frac{1 + \cos(\alpha + \frac{\pi}{6})}{\sqrt{3}}$$

Ví dụ 1: Bộ chỉnh lưu tia ba pha điều khiển mắc vào tải chứa  $R = 10\Omega$ ,  $E=50V$  và  $L$  rất lớn làm cho dòng tải liên tục và phẳng. Áp nguồn xoay chiều ba pha có trị hiệu dụng  $U = 220V$ . Mạch ở trạng thái xác lập.

a. Tính trị trung bình điện áp chỉnh lưu và dòng chỉnh lưu khi góc điều khiển

$$\alpha = \frac{\pi}{3} \text{ (rad) .}$$

b. Tính công suất trung bình của tải

c. Tính trị trung bình dòng qua mỗi linh kiện

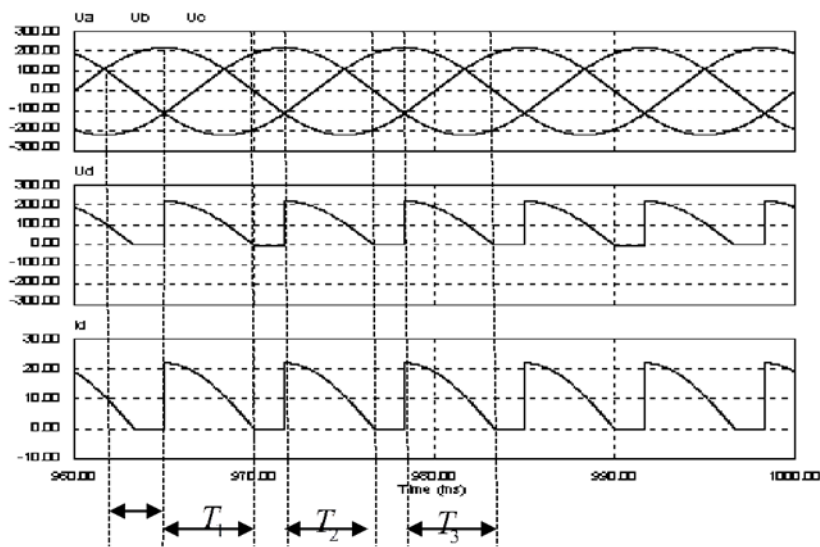
Ví dụ 1: Cho bộ chỉnh lưu tia ba pha với tải  $R = 10\Omega$ ,  $E = 0$ ,  $L = 0$ . Nguồn áp ba pha có trị hiệu dụng điện áp pha  $U = 220V$ . Cho góc điều khiển  $\alpha = 60^\circ$ .

a. Vẽ dạng sóng điện áp chỉnh lưu và dòng điện tải. Nhận xét về dòng điện tải.

b. Tính trị trung bình áp chỉnh lưu, dòng điện tải và công suất trung bình trên tải.

Giải:

a. Dạng sóng áp chỉnh lưu và dòng điện tải như trên hình 2.3.1b



Hình 2.3.1b

Nhận xét: dòng điện tải bị gián đoạn.

a. Trị trung bình điện áp tải:

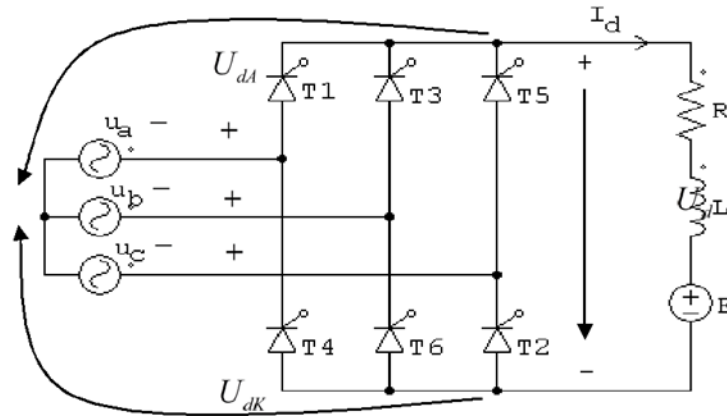
$$U_d = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} \cdot U \cdot \frac{1 + \cos(\alpha + \frac{\pi}{6})}{\sqrt{3}} = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} \cdot 220 \cdot \frac{1 + \cos(\frac{\pi}{2})}{\sqrt{3}} = 148,6V$$

b. Trị trung bình dòng điện tải:

$$I_d = \frac{U_d}{R} = \frac{148,6}{10} = 14,86A$$

Công suất trung bình trên tải:  $P_d = U_d I_d = 148,6 \cdot 14,86 = 2208,2W$

### 2.3.2. Chỉnh lưu ba pha hình cầu có điều khiển

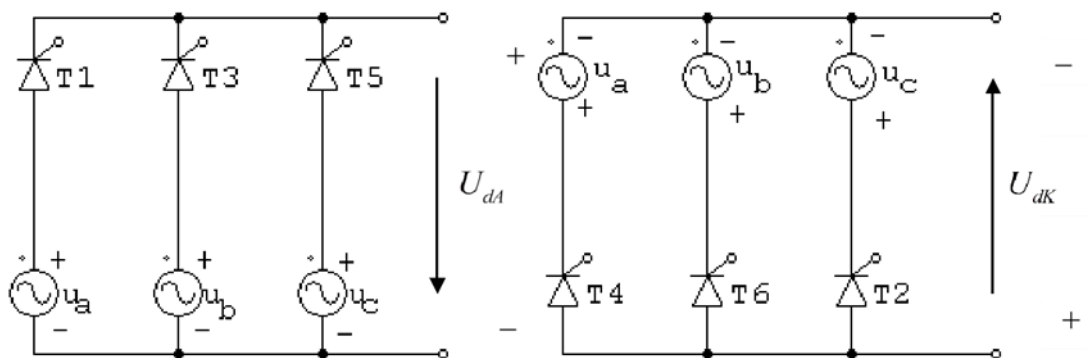


Hình 2.3.2

Nguồn xoay chiều ba pha lý tưởng mắc vào bộ chỉnh lưu cầu gồm 6 SCR như hình 2.3.2. Các điện áp  $U_{dA}$  và  $U_{dK}$  là điện áp từ điểm nút chung của các nhóm linh kiện (nhóm Anode và nhóm Cathode) đến điểm trung tính của nguồn áp ba pha.

Giả sử dòng điện qua tải liên tục. Theo định luật Kirchhoff 2 ta có:

$$U_d = U_{dA} - U_{dK}$$



Nhóm anode    Nhóm cathode

Hình 2.3.2a

Ta phân tích mạch chỉnh lưu hình 2.3.2 thành tổng của hai nhóm mạch chỉnh lưu tia như hình 2.3.2a. Thứ tự dẫn điện của các linh kiện cũng giống như mạch chỉnh lưu cầu ba pha không điều khiển  $(T1, T6) \rightarrow (T1, T2) \rightarrow (T3, T2) \rightarrow (T3, T4) \rightarrow (T5, T4) \rightarrow (T5, T6)$ .

Xét nhóm anode: giả sử T1 đóng, T3 và T5 ngắt. Ta có:

$$U_{dA} = u_a$$

Xét nhóm cathode: giả sử T6 đóng, T2 và T4 ngắt. Ta có:

$$U_{dK} = u_b$$

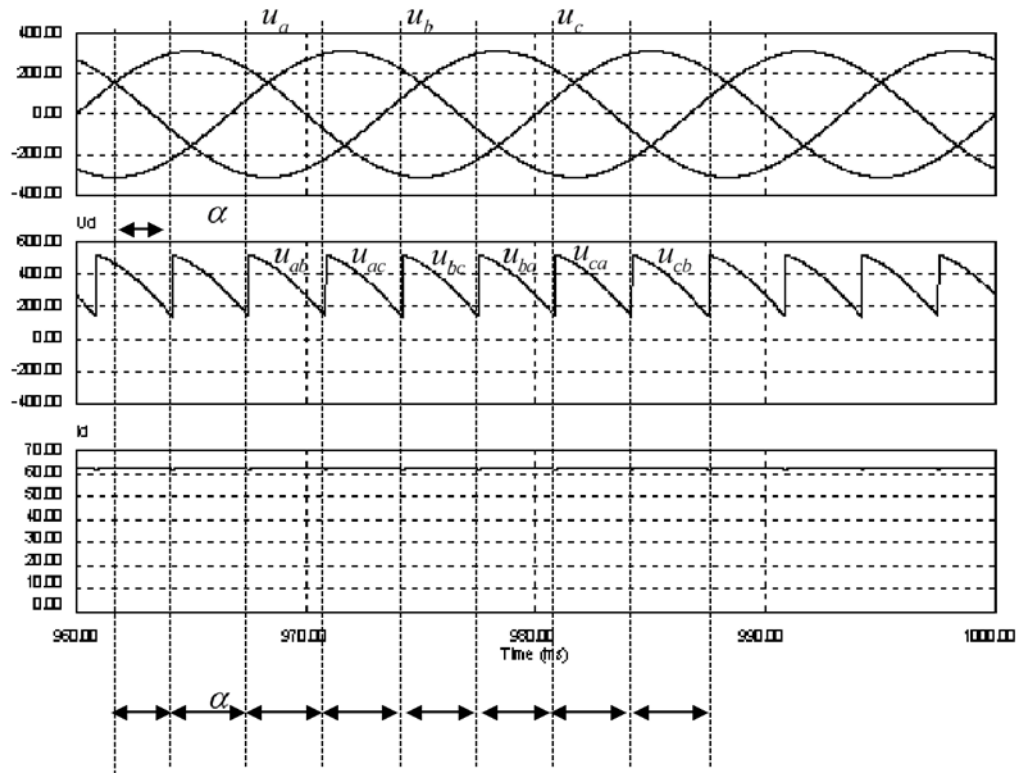
Điện áp ở ngõ ra của bộ chỉnh lưu khi T1 và T6 dẫn:

$$U_{d} = U_{dA} - U_{dK} = u_a - u_b = u_{ab}$$

Tương tự đối với các cặp linh kiện dẫn điện còn lại:

- (T1, T2):  $U_{d} = u_a - u_c = u_{ac}$
- (T3, T2):  $U_{d} = u_a - u_c = u_{ac}$
- (T3, T4):  $U_{d} = u_b - u_a = u_{ba}$
- (T5, T4):  $U_{d} = u_c - u_a = u_{ca}$
- (T5, T6):  $U_{d} = u_c - u_b = u_{cb}$

Đồ thị điện áp và dòng điện chỉnh lưu như trên hình 2.3.2b

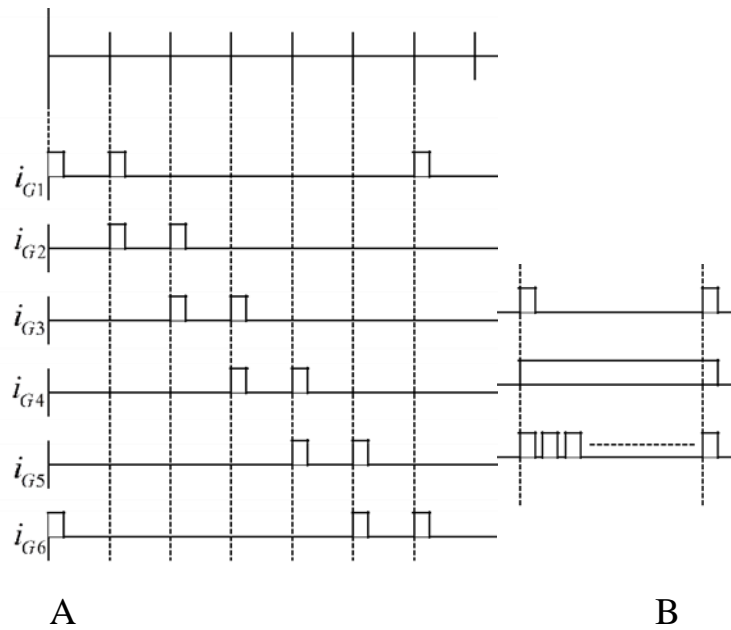


Hình 2.3.2b

Xung kích cho các linh kiện: để kích dẫn thành công cho các linh kiện, xung kích phải được kích lặp lại trong mỗi khoảng dẫn. Trình tự kích các linh kiện từ T1, T2, ..., T6 như trên hình 2.3.2cc. Khoảng cách giữa các xung kích đồng thời đến xung kích lặp lại bằng 1200 điện.

Ngoài dạng xung kích đơn lặp lại trên linh kiện vừa nêu (kỹ thuật kích đôi), xung kích có thể ở dạng chuỗi xung hoặc xung kích liên tục (hình 2.3.2c).





Hình 2.3.2c: Giảm đồ xung kích cho các linh kiện

Hệ quả: khi dòng tải liên tục:

Dạng điện áp tải có 6 xung, chỉ phụ thuộc vào góc điều khiển và điện áp của nguồn xoay chiều  $1/6$  chu kỳ điện áp nguồn. Chu kỳ điện áp chỉnh lưu bằng  $T_p = 1/6 T$

## **Chương 3 :**

# **ĐỘ TIN CẬY CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT DÙNG TRONG CÔNG NGHIỆP**

### **3.1. MỘT TƯƠNG LAI CÔNG NGHIỆP**

Hệ thống thiết bị điện tử công suất được sử dụng ngày càng nhiều trong một loạt các lĩnh vực ứng dụng, chẳng hạn như các hệ truyền động điện có tốc độ thay đổi tốc độ, xe điện, và các hệ thống năng lượng tái tạo. Những yếu tố đã trở nên rất quan trọng tạo nên trong việc phát triển hơn nữa, như các lĩnh vực ứng dụng nổi lên như ánh sáng, máy bay điện, và hệ thống y tế. Hoạt động đáng tin cậy trong cuộc đời được thiết kế là điều cần thiết cho bất kỳ hệ thống điện tử công suất, đặc biệt bởi vì độ tin cậy của thiết bị điện tử điện đang trở thành một điều kiện tiên quyết cho sự an toàn hệ thống trong một số địa bàn trọng điểm, ví dụ, năng lượng, y tế, và vận chuyển.

Môi trường hoạt động đòi hỏi thách thức các khía cạnh độ tin cậy của hệ thống điện tử công suất. Tùy thuộc vào việc áp dụng một hệ thống cụ thể, một số các yếu tố gây căng thẳng, ví dụ: nhiệt độ cao, độ ẩm, bụi, độ rung, nhiễu điện từ (EMI), và bức xạ có thể gây nguy hiểm cho các hoạt động an toàn của các thành phần. Số lượng lớn các yếu tố mong manh trong các hệ thống điện tử công suất bao gồm chất bán dẫn, tụ điện, từ tính, bộ điều khiển, cảm biến, và các thiết bị phụ trợ. Sự thất bại của một bộ phận đơn lẻ gây ra thời gian chết và chi phí bảo trì.

Sự cần thiết của hệ thống đáng tin cậy buộc cả hai học viện và ngành công nghiệp để theo đuổi những tiến bộ trong nghiên cứu độ tin cậy

Mục đích của bài viết này là để xác định những thách thức công nghiệp tái tìm kiếm tương lai và phát triển (R & D) để quảng cáo vảy trong việc đối phó với các vấn đề độ tin cậy ứng dụng cụ thể. Công trình được dựa trên thông tin

thu được bằng cách khảo sát lớn nhóm chuyên gia hệ thống điện tử đáng tin cậy từ ngành điện tử công nghiệp

Cho đến nay, chỉ có một vài cuộc điều tra rộng khảo sát dựa trên liên quan đến các khía cạnh độ tin cậy của hệ thống điện tử công suất, như đã thấy bởi các chuyên gia, đã được hoàn thành. Hầu hết được thực hiện trong ngành công nghiệp năng lượng gió và xử lý sẵn có của công viên gió, so sánh các tuabin khác nhau, và độ tin cậy của subassemblies. Tuy nhiên, những cuộc điều tra này bao gồm phân tích chỉ tỷ lệ thất bại của các thành phần hệ thống điện tử công suất. Cuộc khảo sát toàn ngành công nghiệp chỉ báo cáo trong các tài liệu đã được tiến hành trong năm 2008 (và cũng đã tính đến việc phân tích các yếu tố gây stress).

#### Các thành phần của hệ thống điện tử

Với sự gia tăng nhu cầu về các hệ thống điện tử công suất trong điều kiện về chức năng và hiệu suất, phức tạp của chúng phát triển. Nhóm lại thành các loại thể hiện trong hình 3.2.3 bởi màu sắc, sơ đồ hệ thống cấp của một hệ thống năng lượng gió, quang điện (PV) thiết lập, và xe điện được trình bày trong hình 3.2.2,

Trong sơ đồ khối của một hệ thống năng lượng gió chung thể hiện trong hình 3.3, các thành phần cơ khí bao gồm rotor, sân và hệ thống yaw, hộp số, và các phép đo gió. Bộ chuyển đổi máy phát điện được điều khiển sử dụng theo dõi công suất tối đa.

Bộ chuyển đổi xử lý các thức ăn lưới. Hệ thống PV hình 3.3 cung cấp một cái nhìn chi tiết hơn về một hệ thống điện tử công suất, vì nó cũng bao gồm các role ngắt kết nối lưới điện và những cho bỏ qua bộ chuyển đổi động lực để tăng hiệu quả. Ngoài các hệ thống truyền động điện (động cơ điện và biến tần), tổng quan về hệ thống của một chiếc xe điện và trạm thu phí được đưa ra trong hình 3.4 cho thấy sự hiện diện của nhiều hệ thống phụ trợ cơ điện khác nhau. Trên tàu chính lưu cho sạc ac được cài đặt, và chính lưu lớn hơn nhiều cho sạc được nhanh có mặt tại các trạm thu phí.

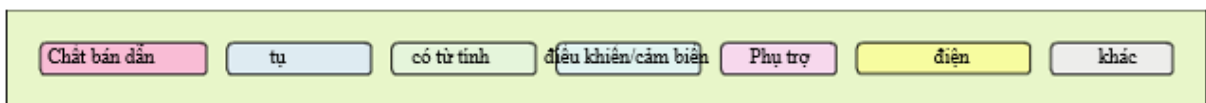
### 3.2 ỨNG DỤNG ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT VÀO CÔNG NGHIỆP

ỨNG DỤNG	TRẢ LỜI
Tất cả các	83
Năng lượng gió	tám
PV	chín
Xe điện	21
hệ thống truyền động traction	20
UPS và nguồn cung cấp điện	bảy
Thấp sáng	Hai
Không khí và tàu vũ trụ	Số năm
truyền năng lượng	Số ba

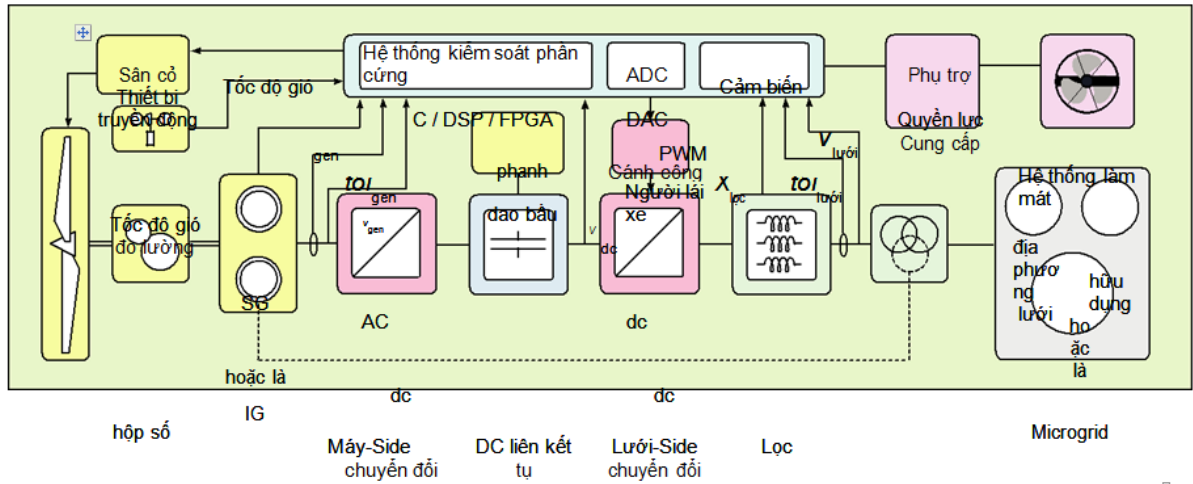
UPS: liên tục cung cấp điện.

Hình 3.2.1 - Sự phân bố của các lĩnh vực ứng dụng khác nhau.

Các sơ đồ hệ thống cấp chỉ hiển thị các thành phần chính và không bao gồm các yếu tố như xe buýt dữ liệu, liên kết thông tin liên lạc, và cảm biến và mạch bảo vệ. Số lượng lớn các thành phần hệ thống làm tăng nguy cơ bị trục trặc và thất bại. Do đó, điều cực kỳ quan trọng là không chỉ giải quyết các phần chính như chất bán dẫn điện, tụ điện, và trình điều khiển mà còn là bộ hoàn chỉnh các thành phần hệ thống



Hình 3.2.2 - Một phân loại của các thành phần hệ thống điện điện tử.



Hình 3.2.3 - Các thành phần của một hệ thống năng lượng gió. ADC: bộ chuyển đổi tương tự sang số; DAC: chuyển đổi công nghệ kỹ thuật số; PWM: điều chế độ rộng xung; nC: vi điều khiển; SG: máy phát điện đồng bộ; IG: máy phát điện cảm ứng; DSP: bộ xử lý tín hiệu kỹ thuật số; FPGA: mảng lập trình trường.

Sự cần thiết của hệ thống đáng tin cậy buộc cả hai học viện và ngành công nghiệp để theo đuổi những tiến bộ trong nghiên cứu độ tin cậy.

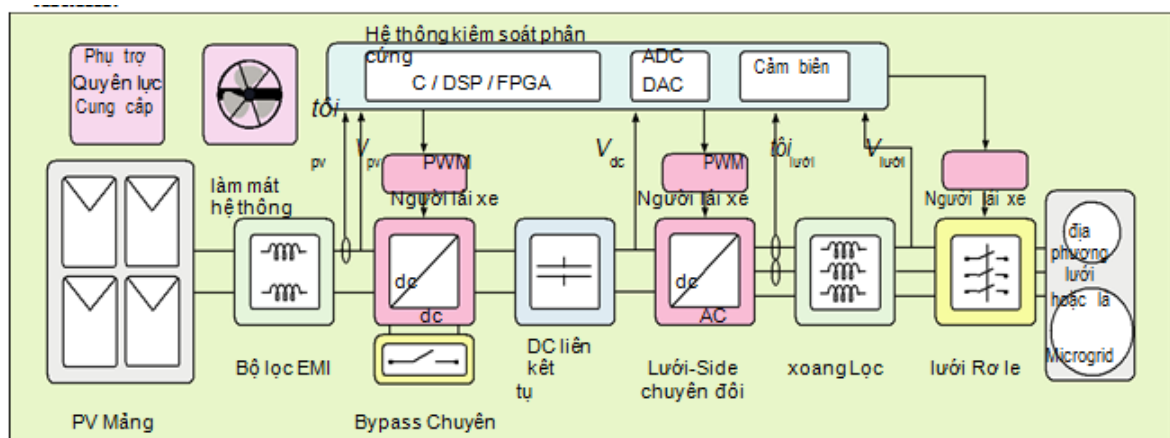
Đối với hầu hết các ứng dụng, chức năng và hoạt động điều kiện cần thiết là cố định. Mục tiêu cần thiết về việc áp dụng, quy mô công suất thị trường và mục tiêu.

### 3.3 ĐỘ TIN CẬY ỨNG DỤNG CỤ THỂ CỦA CÁC THÀNH PHẦN

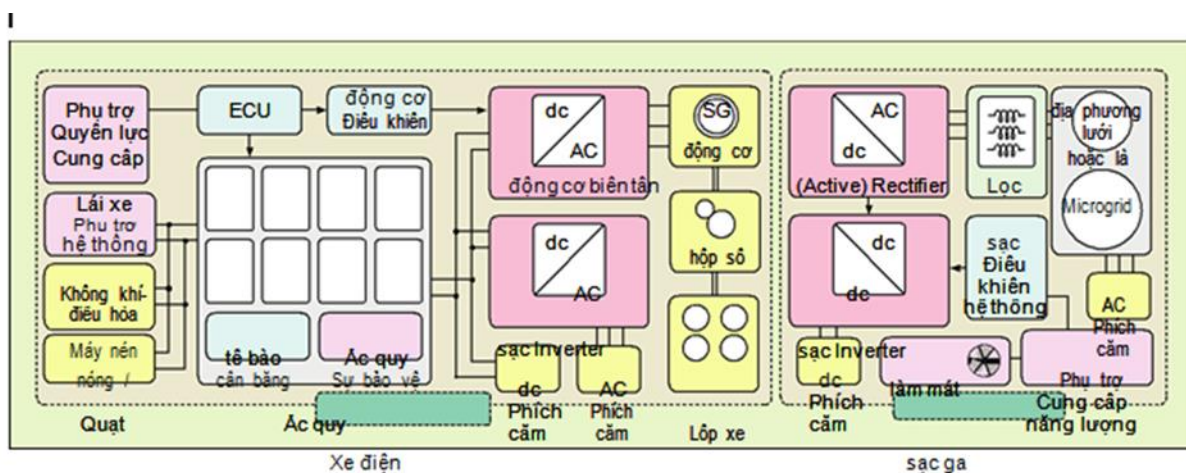
Các mặt hàng quan trọng nhất là những thứ trong đó khoảng cách giữa độ tin cậy thực tế và độ tin cậy cần thiết là cao nhất. Để xác định thành phần như vậy, các yếu tố như tuổi thọ mục tiêu, những yếu tố gây căng thẳng điển hình, và cơ chế thất bại đã được phân tích trong cuộc khảo sát của các chuyên gia ngành công nghiệp điện tử.

Từ quan điểm kỹ thuật của xem, độ tin cậy là xác suất mà một hệ thống hoặc một thành phần sẽ thực hiện một chức năng cần thiết mà không bị lỗi theo điều kiện quy định cho một thời gian nhất định. Nó được phân biệt với sự mạnh mẽ, đó là khả năng của một hệ thống để vận hành đầy đủ trên một phạm vi phạm vi của các biến tham số đã chỉ định. Ngày nay, ngành công nghiệp đang trong giai đoạn của chuyển đổi mô hình hướng tới các hệ thống điện tử công suất đáng tin cậy hơn. Đặc biệt, các ngành công nghiệp ô tô và hàng không vũ trụ đã đưa ra yêu cầu về độ tin cậy cho hệ thống điện tử công suất của họ, vì các yêu cầu an toàn. Định nghĩa về độ tin cậy cho trước đó đã đưa ra ba tình huống có thể dẫn đến nhu cầu về độ bền độ tin cậy:

- 1) Các chức năng cần có thể trở nên phức tạp hơn hoặc khó khăn để hoàn thành
- 2) Các điều kiện quy định có thể trở nên khắc nghiệt hơn.
- 3) Các thời gian nhất định có thể tăng.



Hình 3.3 - Các thành phần của một hệ thống PV.



Hình 3.3.1 - Các thành phần của một hệ thống xe điện và trạm thu phí.  
 ECU: Bộ điều khiển động cơ.

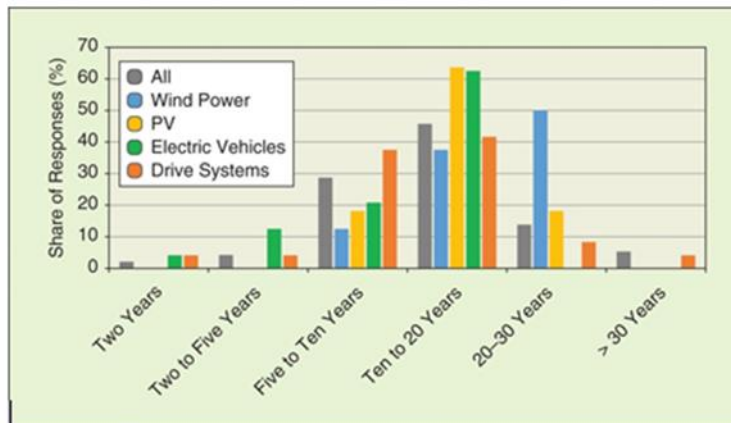
Cuộc khảo sát đã cung cấp một cái nhìn tổng quan về các vấn đề độ tin cậy cảm nhận và nhìn vào hiện trạng nghiên cứu trong lĩnh vực này.

### 3.4 YÊU CẦU TUỔI THỌ

Để xác định tuổi thọ dự kiến của các hệ thống điện tử công suất trong các ứng dụng được xác định trước, người tham gia khảo sát được hỏi về thời gian tồn tại mục tiêu của hệ thống điện tử công suất sản xuất bởi các công ty của họ. Nhiều lựa chọn là có thể. Các câu trả lời trong hình 3.4.1 được đưa ra theo các lĩnh vực ứng dụng khác nhau. Rất ít người được hỏi cho rằng kiếp sống ngắn hơn năm năm là điển hình. Thay vào đó, đối với hầu hết các ứng dụng, thời gian mục tiêu và 20 năm dường như là chuyện bình thường. Thời gian mục tiêu dài hơn từ 20-30 năm dự kiến trong các hệ thống năng lượng gió. Các kết quả này đồng ý với các cuộc điều tra của Yang et al. trong năm 2008 và với thời gian mục tiêu được xác định trong Wang et al. vào năm 2014. Hơn nữa, điều này chỉ ra rằng sự mong đợi về tuổi thọ hệ thống điện tử công suất đã không thay đổi đáng kể trong thời gian thập kỷ trước

Mục tiêu đặc trưng của hệ thống điện tử công suất của ứng dụng, từ câu trả lời của các chuyên gia cho câu hỏi, ‘tuổi thọ mục tiêu đặc trưng của hệ thống

điện tử công suất sản xuất bởi công ty của bạn trong lĩnh vực ứng dụng này là gì?’



Hình 3.4.1 Tuổi thọ

Các thành phần trong hệ thống điện tử công suất được tiếp xúc với những yếu tố gây căng thẳng phụ thuộc vào ứng dụng và điều kiện hoạt động. Do đó, kiến thức về các ứng dụng có liên quan căng thẳng là vô cùng quan trọng.

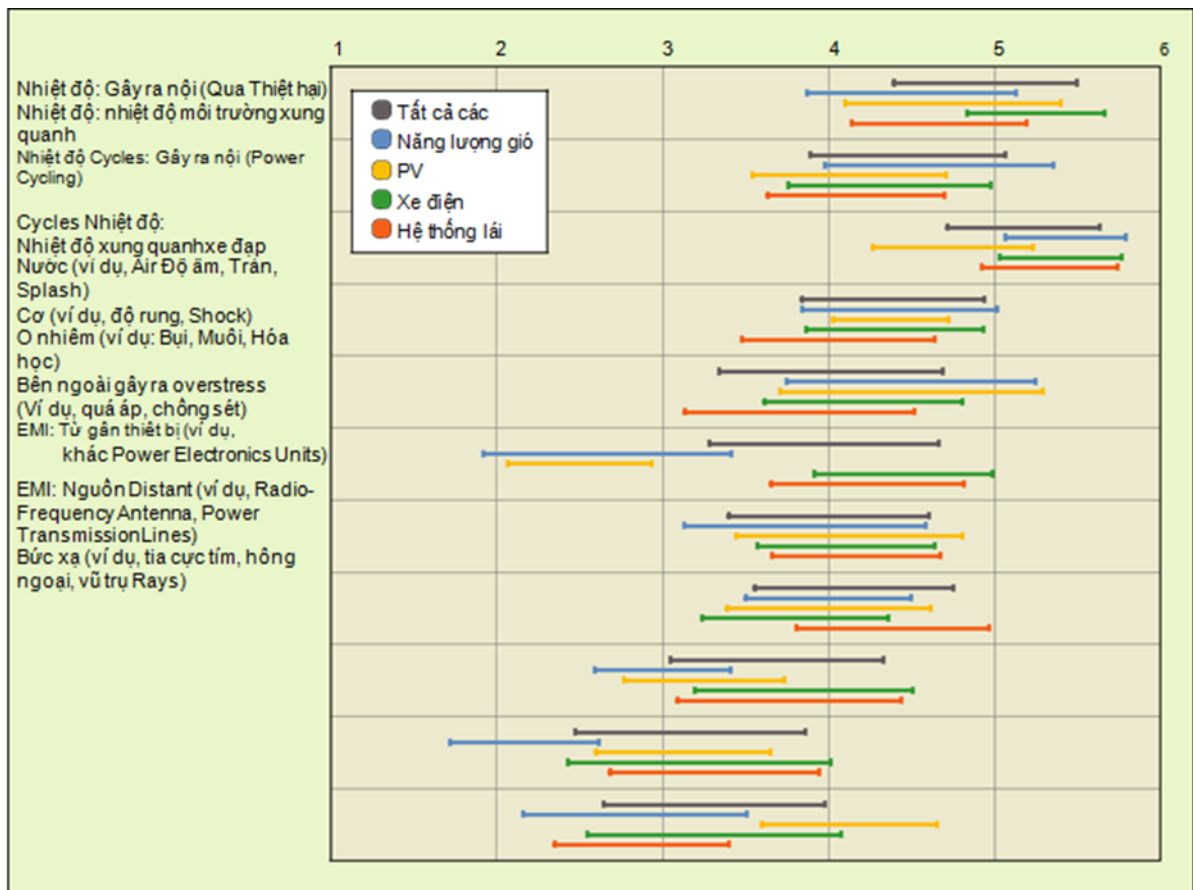
Các yếu tố gây căng thẳng liên quan đến nhiệt độ ảnh hưởng đến độ tin cậy của một số thành phần hệ thống điện tử công suất, chẳng hạn như bảng mạch in (PCB), chất bán dẫn, và tụ điện. Đối với bán dẫn, các yếu tố ứng suất này có liên quan đến mối nối trung bình trên một mặt và đi xe đạp của nhiệt độ ngã ba mặt khác. đi xe đạp nhiệt độ ngã ba là tiếp tục chia thành mà gọi lên bởi nhiệt độ môi trường và điều đó gọi lên bởi những thành phần tự sưởi ấm (còn gọi là xe đạp điện). Các yếu tố gây căng thẳng liên quan đến nhiệt độ có mặt ở khắp nơi, mà làm cho chúng phù hợp hơn. Nhưng đi xe đạp nhiệt do thua lỗ nội bộ là khó tránh khỏi.

Các hệ thống điện tử công suất được tiếp xúc với nhiều ảnh hưởng môi trường xung quanh bao gồm độ ẩm cao. Như vậy hầu hết các mối quan tâm về độ tin cậy các quá trình là các vấn đề đa thông số tác dụng kết hợp của nhiệt độ xe và rung cơ kết nối hàn đã được điều tra . Kết quả cho thấy sự lan truyền vết nứt hàn trên PCBs được tăng lên với các ứng suất kết hợp so với các yếu tố gây căng thẳng cá nhân



Nguồn EMI có thể được tìm thấy trong các hệ thống điện tử công suất riêng của mình, thiết bị điện tử khác trong phạm vi, và lưới điện. Họ vĩnh viễn có thể gây nguy hiểm cho hoạt động không bị ảnh hưởng của hệ thống. Ngược lại với EMI, bức xạ vũ trụ trên mặt đất có thể gây ra sự đốt cháy trên chất bán dẫn điện, được thể hiện bằng thực nghiệm vào năm 1994 và vẫn là một chủ đề nghiên cứu tích cực. Tác hại của EMI phụ thuộc vào che chắn và mật độ của quá trình cài đặt hệ thống điện tử.

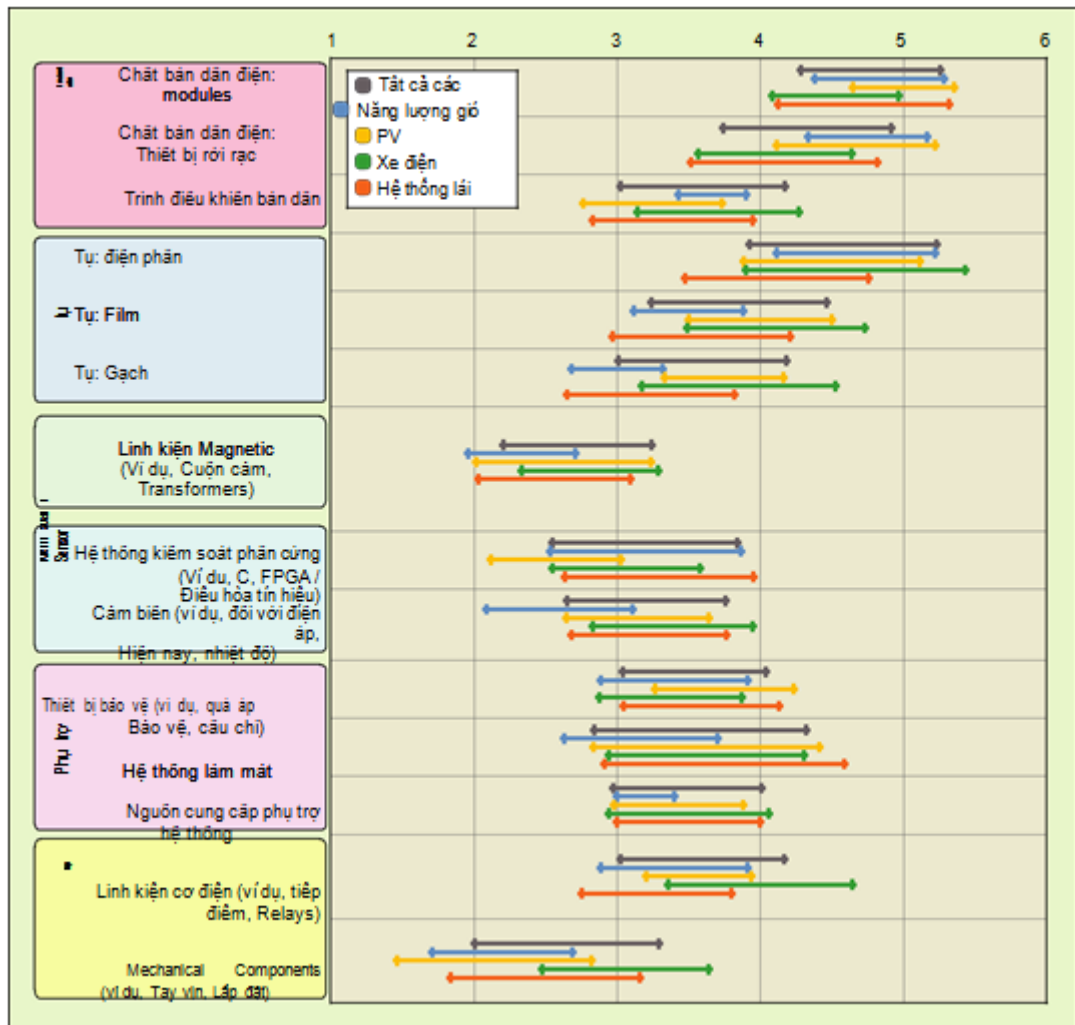
Những người tham gia khảo sát ngành công nghiệp được yêu cầu xếp hạng các yếu tố gây căng thẳng được thảo luận theo mức độ quan trọng chúng được coi là ứng dụng đã chọn. Các kết quả này được thể hiện trong Hình 3.4.2. Được tổng hợp qua tất cả các ứng dụng, họ chỉ ra rằng hầu hết mọi ảnh hưởng căng thẳng được đánh giá là rất quan trọng, như tất cả các điểm trung bình nhận được đều trên hình 3.4.2 Tất cả nhiệt yếu tố gây căng thẳng đã được xem xét đặc biệt quan trọng, với sức mạnh đi xe đạp được xác định như là hệ quả nhất. Cơ khí căng thẳng, ví dụ, rung động, được hiển thị là đặc biệt là ứng dụng phụ thuộc. Dành cho nhiều yếu tố gây căng thẳng khác, chỉ có một ít khác biệt giữa các ứng dụng. Kết quả được chia thành các lĩnh vực ứng dụng khác nhau để xác định yếu tố căng thẳng đặc biệt quan trọng trong các ứng dụng khác nhau



Hình 3.4.2 Các yếu tố gây căng thẳng quan trọng đối với hệ thống điện tử công suất

- Các yếu tố gây căng thẳng quan trọng đối với hệ thống điện tử công suất của ứng dụng, từ câu trả lời các chuyên gia ngành công nghiệp cho câu hỏi, 'Đó là, phù hợp để kinh nghiệm của bạn, các yếu tố gây căng thẳng quan trọng nhất đối với điện tử công suất hệ thống chuyên đổi trong lĩnh vực ứng dụng này?'

Các thanh hiển thị độ lệch chuẩn xung quanh giá trị trung bình. Quy mô là từ một (không quan trọng) đến sáu (rất quan trọng). phụ thuộc vào loại tụ điện.



Hình 3.4.3 Các thành phần quan trọng của hệ thống điện tử công suất

- Các thành phần quan trọng của hệ thống điện tử công suất của ứng dụng, từ câu trả lời chuyên gia trong ngành để tuyên bố, ‘Xin cho biết như thế nào để bị thất bại các hệ thống con được liệt kê / linh kiện trong lĩnh vực ứng dụng này được, theo kinh nghiệm của bạn.’ Quy mô là từ một (không quan trọng) đến sáu (rất quan trọng). thành phần được tính toán liên quan đến việc căng thẳng xảy ra trong hoạt động lĩnh vực. Sử dụng phân tích ứng suất, sức mạnh cần thiết của hệ thống được xác định, thường là một vấn đề cấu trúc liên kết đa tham số được thảo luận. Đa số người tham gia muốn xem chi tiết nghiên cứu tập trung vào chất bán dẫn điện, mô-đun điện bán dẫn, và tụ điện phụ thuộc vào loại tụ điện.

AlCaps bị bốc hơi điện giải đó là gia tốc ở nhiệt độ cao và với dòng chảy gọn. Phản ứng điện hóa được tăng lên do ứng suất điện áp. Nhiệt độ, gọn căng thẳng hiện tại và độ ẩm dẫn đến mất điện trong MPPF-Caps. MLC-Caps bị di cư chỗ trống oxit và cách điện xuống cấp cùng ảnh hưởng căng thẳng và rung động. Sự hao mòn dẫn đến sự trôi dạt trong các thông số điện và có thể làm phát sinh lỗi mạch hở hoặc mạch kín các chế độ. PCB phải duy trì khả năng điện và nhiệt trong các đường dây điện và mối hàn. Rung là các yếu tố gây căng thẳng chính cho PCB. Các tần số cộng hưởng khác nhau của hàn các thành phần và PCB tự dẫn đến căng cơ và cuối cùng là mệt mỏi trong các kết nối, đó là mối hàn. Mối quan hệ của rung động với các yếu tố căng thẳng khác, như như tần số, nhiệt độ và sức mạnh đi xe đạp. Độ ẩm gây ra bởi cả nước tràn và ngưng tụ có thể thỏa hiệp chức năng bảng. Biến dạng và căng thẳng trong quá trình lắp ráp PCB trong trường hợp có thể dẫn đến thiệt hại của các thành phần hàn. Phân tích các yếu tố gây căng thẳng, thất bại cơ chế, và chế độ thất bại là được sử dụng để kết luận thành phần nào dễ bị thất bại nhất. Chất bán dẫn và tụ điện được sử dụng trong điện giai đoạn của hệ thống. Vì các thành phần này có chế độ lỗi ngắn mạch, họ có nguy cơ cao đối với an toàn của hệ thống. Đối với cả hai yếu tố, các yếu tố căng thẳng ở khắp nơi như chu kỳ nhiệt độ và ứng suất điện áp là quan trọng. Do đó, các thành phần này là những người dễ bị thất bại nhất. Đối với các bộ phận cơ khí và cơ điện và hệ thống con, rung động và tiếp xúc với hóa chất có liên quan. Các đối tượng đã được hỏi về các yếu tố trong điện tử công suất các hệ thống được coi là dễ bị thất bại. Việc tham gia các chuyên gia trong ngành được yêu cầu phân công điểm giữa một (không nhạy cảm) và sáu (rất nhạy cảm) với mỗi các thành phần nhất định. Kết quả là thể hiện trong hình 3.4.3. Các thành phần được đánh giá là dễ bị lỗi nhất trên tất cả các ứng dụng là các chất bán dẫn, cả mô-đun và các thiết bị rời rạc và tụ điện. Kết quả này đồng ý với kết quả của một cuộc khảo sát trước đó tiến hành năm 2008. Tiếp theo là tụ điện phim và gốm bởi trình điều khiển bán dẫn, bộ phận cơ điện và thiết bị bảo vệ và hệ thống làm mát. Phân tích sâu hơn là cách đánh giá linh kiện dễ bị thất bại thay đổi theo

ứng dụng cánh đồng. Các kết quả dường như hiển thị ít sự khác biệt giữa các ứng dụng. Tuy nhiên, đối với xe điện, cơ khí và các yếu tố cơ điện là coi dễ bị thất bại hơn trong các ứng dụng khác tác nhân gây stress ngoài nhiệt độ. Sự xuất hiện của chúng phụ thuộc vào ứng dụng và nơi hoạt động của nó. Ở đó là những điều kiện môi trường rộng có thể gây căng thẳng cho các thành phần này, đặc biệt là cho xe điện. Những kết quả này cũng được phản ánh trong khảo sát ngành đã được tiến hành

Những nghiên cứu trong tương lai vẫn đang được gấp rút tiến hành

### **3.5 CƠ CHẾ KHÔNG THÀNH PHẦN**

Để tạo thuận lợi cho đời mục tiêu của toàn bộ hệ thống, độ tin cậy của tất cả các thành phần hệ thống cần phải được đảm bảo. Trong phần này, các cơ chế thất bại cùng với các chế độ thất bại kết quả được cung cấp cho các thành phần được chọn của các hệ thống điện tử công suất và ảnh hưởng liên quan đến hiệu quả của chúng trên độ tin cậy.

Sự thất bại của chất bán dẫn điện có thể là do một trong hai thất bại trên, ở cấp chip hoặc thất bại trong gói bán dẫn. Trong văn học, đánh giá mô tả các cơ chế thất bại có liên quan khác nhau. Lỗi trên bao bì mức độ đóng gói thường là hậu quả của việc liên tục thay đổi ứng suất nhiệt áp dụng trên mối liên kết giữa tích tụ bên trong bao vây hệ thống dẫn đến sự ngưng tụ nước, có thể gây tăng dòng rò rỉ và ăn mòn. Tiếp xúc với dòng chảy nhiệt độ môi trường đặc trưng cho chu kỳ đêm / ngày gây ra một sự gia tăng đáng kể nồng độ hơi nước. Ảnh hưởng của độ ẩm cũng đã được nghiên cứu để lắp ráp PCB.

Tác động cơ học, chẳng hạn như rung động và sốc, chủ yếu ảnh hưởng đến độ bền các thành phần cơ khí và các mối liên kết các thành phần PV điện. Như với hầu hết các mối quan tâm độ tin cậy, quá trình mệt mỏi cơ khí là nhanh và nhiều vấn đề. Ảnh hưởng kết hợp của nhiệt

Tất cả các yếu tố gây stress nhiệt được coi là đặc biệt quan trọng, với xe đạp điện xác định là do hậu quả nhất.

Thu thập trong các thông số bảng dữ liệu, nó có thể an toàn để hy vọng rằng các vấn đề như thay đổi tham số và sự giảm sút khác sẽ không xảy ra. Tuy nhiên, căng thẳng quá tải có thể gây ra thất bại thiết bị. Một cơ chế thất bại cụ thể mà không có thể tránh được hoàn toàn là đơn kiện kiệt sức gây ra bởi bức xạ vũ trụ. Trong trường hợp này, sự vững mạnh của các thiết bị và điện áp, áp dụng trong ứng dụng có thể được phân tích để đánh giá liệu dự kiến tỷ lệ thất bại là có thể chấp nhận cho một ứng dụng nhất định. cảm biến thành các module điện tử công suất có thể làm giảm sự xuất hiện của các yếu tố ký sinh do các đường dẫn thấp hơn hiện tại. Tuy nhiên, mạch khuếch đại là rất nhạy cảm với EMI, có thể xảy ra ở gần trực tiếp đến các yếu tố chuyển đổi.

Tụ là các thành phần dễ bị thất bại trong các hệ thống điện tử công suất. Ba loại chính của tụ là tụ điện phân nhôm (Al-Caps), tụ điện màng polypropylen (MPPF-Caps), và tụ gốm nhiều lớp (MLC-Caps). Các cơ chế hao mòn

Theo đó, ngành công nghiệp tham gia khảo sát được yêu cầu xác định các yếu tố đó là quan trọng nhất để được nghiên cứu để cải thiện độ tin cậy của hệ thống chuyển đổi năng lượng điện tử. Đối với câu hỏi này, câu trả lời bằng văn bản được yêu cầu. Các câu trả lời được gán cho danh mục sử dụng trước đó như thể hiện trong hình 3.6.1. Rõ ràng phần lớn người tham gia muốn thấy nghiên cứu nhiều hơn tập trung vào chất bán dẫn điện, mô-đun điện bán dẫn, và tụ điện. Trong lĩnh vực tụ, tụ điện và bộ phim được đặt tên thường xuyên nhất. Trong một số các câu trả lời bằng văn bản, không có thành phần cụ thể được đặt tên, nhưng nó đã được tuyên bố chung nghiên cứu mà nên giải quyết những phần tiếp xúc với môi trường khắc nghiệt (ví dụ, nhiệt độ cao hoặc độ ẩm).

### **3.6 TIỀM NĂNG ĐỂ CẢI THIẾN ĐỘ TIN CẬY**

Trong phần này, chúng tôi đề cập thảo luận về tiềm năng các phương pháp khác nhau để cải thiện độ tin cậy. Nói chung, có hai hướng nghiên cứu để tăng độ tin cậy của hệ thống điện tử công suất :

- 1) Tìm kiếm và củng cố vật liệu cứng và mối liên kết để bị thất bại và
- 2) Thay đổi việc sử dụng của các thành phần để giảm căng thẳng.

Thành phần cải tiến

Việc phân tích lợi nhuận sản phẩm đã tạo điều kiện cho việc phát hiện các thành phần dễ bị thất bại trong một hệ thống. Điều này đã dẫn đến một số cải tiến tăng sức mạnh. Những tiến bộ trong công nghệ kết nối và lắp ráp mô-đun đã đạt được . Quá trình thiêu kết và nhiệt độ thấp khi tham gia thay vì hàn các chip được sử dụng để tăng sự vững mạnh của các kết nối, và trái phiếu được thay thế bằng áp lực trong dòng sản phẩm có độ tin cậy cao kiểm tra chất nền của bề mặt có thể được giảm bằng cách tránh các góc 90 ° trên mô hình . Cách bố trí PCB và dòng chảy làm mát có thể được tối ưu hóa để làm mát tụ điện

Vật lý của không tiếp cận vật lý của thất bại (POF) là một cách tiếp cận để nâng cao độ tin cậy sản phẩm sử dụng kiến thức về nguyên nhân gốc rễ của các cơ chế thất bại. Khái niệm được dựa trên sự hiểu biết về mối quan hệ giữa các yêu cầu và đặc điểm vật lý của sản phẩm và phản ứng của các yếu tố sản phẩm với tác nhân gây stress và ảnh hưởng đến sự xuống cấp với sự cần trọng sử dụng điều kiện và thời gian hoạt động . Ảnh hưởng của các yếu tố căng thẳng đến bộ phận sản phẩm và vật liệu được đánh giá theo ảnh hưởng của chúng trên hoạt động để sử dụng. Các biến bổ sung là các thành phần biến thể trong các quy trình sản xuất, điều kiện sử dụng, và thời gian phục vụ. Cách tiếp cận này đã được áp dụng để tăng tuổi thọ và độ tin cậy của các mô-đun điện tử công suất . Kỹ thuật PoF được kết nối chặt chẽ với thuật ngữ thiết kế cho độ tin cậy . Mục tiêu của nó là đảm bảo đủ sự mạnh mẽ của hệ thống trong quá trình thiết kế các thành phần được tính toán liên quan đến các yếu tố gây căng thẳng xảy ra trong quá trình hoạt động . Sử dụng phân tích căng thẳng, sức mạnh cần thiết của hệ thống

được xác định, thường là một vấn đề đa thông số. Các cấu trúc liên kết chịu lỗi được thảo luận trong các phương pháp

Phương pháp tích cực:

Phương pháp tích cực để cải thiện độ tin cậy là cấu trúc điều khiển dựa trên phần mềm áp dụng trong hoạt động. Mục đích là để thay đổi vận hành hệ thống để tái lieue căng thẳng trên các thành phần như vậy sẽ không có hoặc chỉ có ảnh hưởng nhỏ đến hiệu suất tổng thể

Một phương pháp đầu tiên là theo dõi tình trạng (CM). Khái niệm này là để đánh giá tình trạng sức khỏe hiện tại của một thành phần hệ thống và phát hiện lỗi phôi thai để có hành động khắc phục trước khi thất bại

Ví dụ, giảm nhiệt độ ngắn hạn có thể được ngăn chặn hoặc giảm trong biên độ khi lỗi tạm thời gia tăng bằng cách tăng tần số chuyển mạch. Một mô hình điện nhiệt có thể được sử dụng để có được ước tính trực tuyến của nhiệt độ lưỡng giao nhau. Ngoài ra, nhiệt độ đo thông qua nhiệt số điện có thể được áp dụng. kiểm soát nhiệt hoạt động là một khả năng để giảm căng thẳng nhiệt, nhưng việc sử dụng thương mại vẫn chưa được báo cáo.

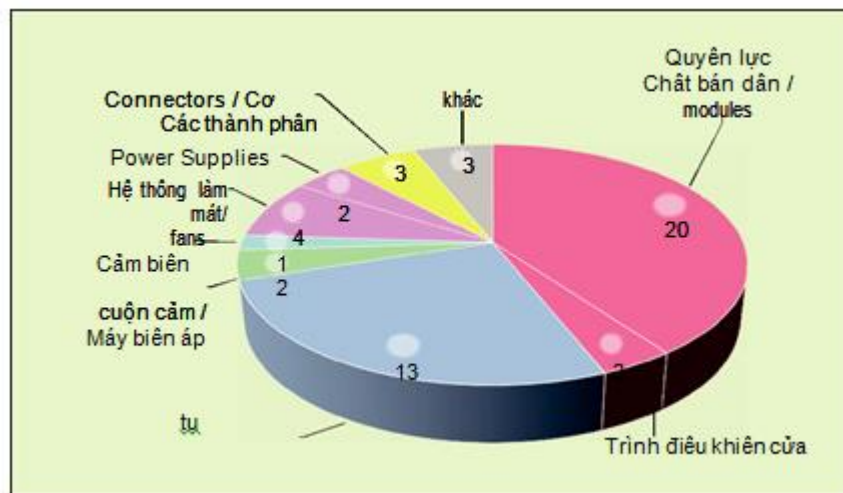
Đối với tụ, gợn gợn nhiệt độ và điện áp đã được xác định như những căng thẳng chính dẫn đến thất bại. Một đặc điểm của bộ chỉnh lưu kết nối dòng ac-line là truyền năng lượng xung đến dc. Điều này mở đường cho việc bảo trì được thực hiện nhu cầu hệ thống thay vì bám vào các khoảng cố định. Bắt đầu từ một tình trạng hệ thống nổi tiếng, CM cho phép dự đoán sự khởi đầu của thất bại do hao mòn. Khi một trạng thái quan trọng là chẩn đoán, thiết bị có thể được nhắm mục tiêu để bảo trì theo kế hoạch.

Kiểm soát nhiệt tích cực sử dụng các thông số điều khiển chu vi liên quan đến tem ảnh hưởng đến nhiệt độ ngã ba của mô-đun điện bán dẫn trực tuyến

Mục đích là để giảm bớt sự căng thẳng nhiệt trong các mô-đun bằng cách giảm nhiệt độ dao động. Ảnh hưởng đến nhiệt độ lưỡng giao nhau, điều khiển nhiệt tạm thời tăng hoặc giảm những tổn thất trong các chip mong muốn. Chỉ có

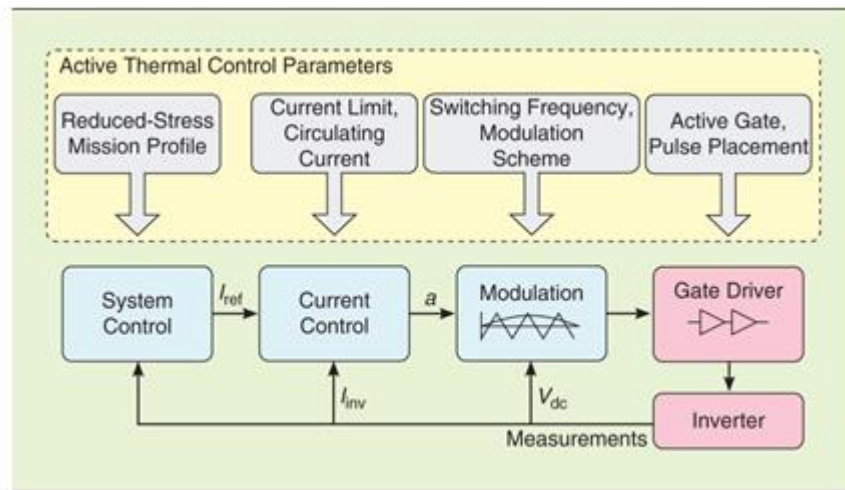


một vài hoạt động kiểm soát nhiệt tích cực đã được đề xuất cho đến nay. Một phân loại các tham số kiểm soát lựa chọn theo mức độ thứ bậc sự tương tác với hệ thống được trình bày trong hình 3.6.2. Các lớp đạt từ kiểm soát hệ thống xuống trình điều khiển công. Trên lớp kiểm soát hiện tại (dòng điện), thay đổi giới hạn hiện tại, dc liên kết điện áp, lưu hành hiện tại giữa các bộ chuyển đổi con-nối kết song song, và công suất phản kháng lưu hành có thể kiểm soát nhiệt độ ngã ba . Trên lớp điều biến , một lựa chọn về tần số chuyển đổi và phương pháp điều chế có thể được áp dụng. Trên lớp phần cứng,



Hình3.6.1 Các thành phần của hệ thống điện tử công suất

- Các thành phần của hệ thống điện tử công suất phải được giải quyết bởi các nghiên cứu trong tương lai, từ câu trả lời chuyên gia trong ngành để tuyên bố, “Xin cho biết thành phần nào là quan trọng nhất phải được giải quyết bởi các nghiên cứu trong tương lai để cải thiện độ tin cậy của hệ thống điện tử chuyển đổi.”



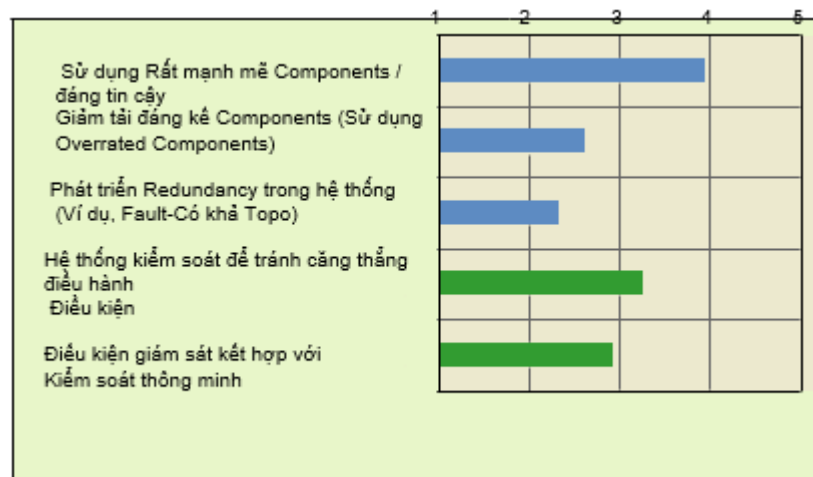
Hình 3.6.2 Phân loại các thông số để kiểm soát nhiệt hoạt động bởi thời điểm của sự tương tác với hệ thống điều khiển

Chỉ có 13% số người được hỏi tin rằng số lượng hiện tại và trọng tâm của nghiên cứu là đủ cho nhu cầu công nghiệp.

	1	2	3	4	5	6
TopoĐồ giúp lây lan Thiệt hại Trên một số lượng lớn các thành phần				—		
Tăng Sử dụng rộng Bandgap Thiết bị (ví dụ, Silicon Carbide / Gallium Nitride)			—			
Tích cực Ripple Giảm Circuit để Giảm Pulsating Bất Tu				—		
Mô hình dựa trên Điều kiện giám sát để Ước tính thiệt hại tích lũy				—		
Sensor-Driven Điều kiện giám sát để Đo Thiệt hại Taken				—		
Điều kiện giám sát dữ liệu để ước tính Lifetime còn lại				—		

Hình 3.6.3 độ lệch chuẩn xung quanh giá trị trung bình

- Các xu hướng hoặc cách tiếp cận đó sẽ cải thiện độ tin cậy hệ thống của bộ chuyển đổi điện tử công suất trong tương lai, từ câu trả lời các chuyên gia ngành công nghiệp cho câu hỏi, “Theo ý kiến của bạn, mà xu hướng / cách tiếp cận sẽ cải thiện độ tin cậy hệ thống của bộ chuyển đổi điện tử công suất trong tương lai?” quy mô là từ một (không có lợi) đến sáu (rất có lợi). Các thanh hiển thị độ lệch chuẩn xung quanh giá trị trung bình.



Hình 3.6.4 bảng hiển thị các giá trị trung bình của tất cả các câu trả lời.

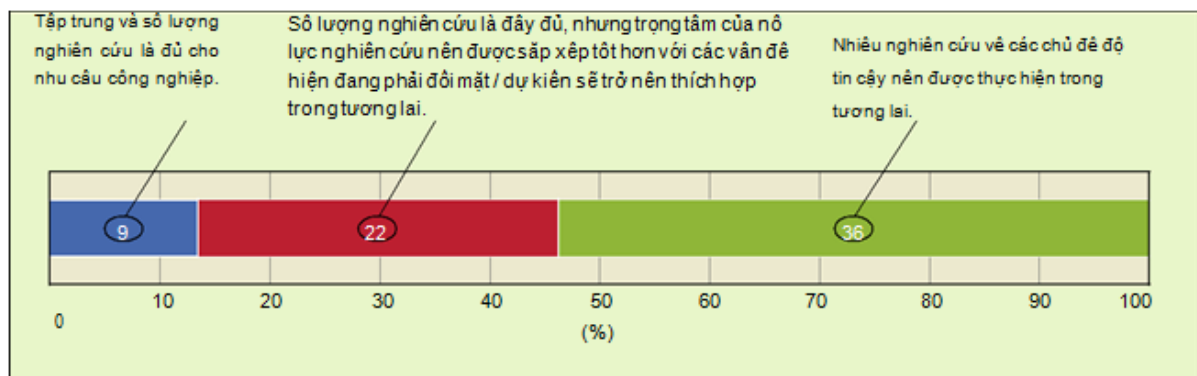
- Các phương pháp để đạt được độ tin cậy cao cho các hệ thống điện tử công suất, từ câu trả lời của các chuyên gia trong bảng với tuyên bố, ‘Hãy xếp hạng các tùy chọn sau để đạt được độ tin cậy cao cho các hệ thống điện tử công suất.’ Quy mô là từ năm (ưu tiên cao nhất) một (ưu tiên thấp nhất). Các thanh hiển thị các giá trị trung bình của tất cả các câu trả lời.

AI-Caps với MPPF-Caps đáng tin cậy hơn. Tuy nhiên, các mạch bổ sung và các chương trình điều khiển có thể là một nguồn thất bại tiềm năng mới và làm tăng chi phí, do đó, chúng hiếm khi thực hiện trong các sản phẩm công nghiệp.

Các biện pháp chủ động trao cho trong nhãn độ tin cậy chỉ ít được sử dụng trong các hệ thống điện tử công suất. Để đánh giá tiềm năng của những phương pháp để cải thiện độ tin cậy, ngành công nghiệp cũ perters đã hỏi mà xu hướng sẽ cải thiện độ tin cậy hệ thống tương lai của bộ chuyển đổi điện tử công suất. Các kết quả được thể hiện trong hình 3.6.6 và 3.6.4. Các phương pháp tích cực là màu xanh lá cây. Kết quả cho thấy tất cả các xu hướng đề cập đã được đánh giá là có lợi chung, như các giá trị trung bình nằm giữa 3.6 và 4.2. Điểm số cao nhất là đối với việc sử dụng các thành phần được chứng minh là có mạnh mẽ và đáng tin cậy, giám sát tình trạng và kiểm soát, chẳng hạn như kiểm soát nhiệt hoạt động, mà tránh được tình trạng hoạt động căng thẳng điều kiện hoạt

động đạt điểm cao thứ hai. Thêm dự phòng vào hệ thống và tăng cường sử dụng các thiết bị băng thông rộng nhận được điểm số thấp nhất. Thiết bị băng thông rộng cung cấp lợi thế đáng kể, chẳng hạn như tốc độ chuyển đổi cao hơn và nhiệt độ hoạt động cao hơn, cho phép mật độ năng lượng tăng lên. Tuy nhiên, điều này làm cho quản lý nhiệt độ của họ rất quan trọng, dẫn đến những lo ngại mới cho PCB và các thành phần mà các thiết bị được kết nối.

xác minh thực nghiệm các phương pháp tích cực để cải thiện độ tin cậy là rất phức tạp. Các bộ phận có một đời trên thang điểm từ năm, mà làm các xét nghiệm đòi hỏi real-time tốn thời gian đánh giá. Ngoài ra, điều kiện thử nghiệm như độ ẩm hoặc bức xạ phải được giữ không đổi trong suốt quá trình thử nghiệm. Do đó, kiểm tra tuổi thọ tăng tốc (ALTS) được sử dụng để ước lượng cuộc sống thời gian các thành phần. Đối với alts, những căng thẳng liên quan được xác định đầu tiên và sau đó áp dụng cho các thiết bị được thử nghiệm với liều lượng định lượng trong nếp nhăn. Nhiều thử nghiệm là cần thiết để tạo ra đủ dữ liệu thống kê. Đối với những căng thẳng nhiệt, một cách phổ biến để xác định một mối quan hệ căng thẳng cuộc sống là thời gian tồn tại mô hình Arrhenius. Ngay cả khi chỉ có một vài thông số được coi là, thiết kế



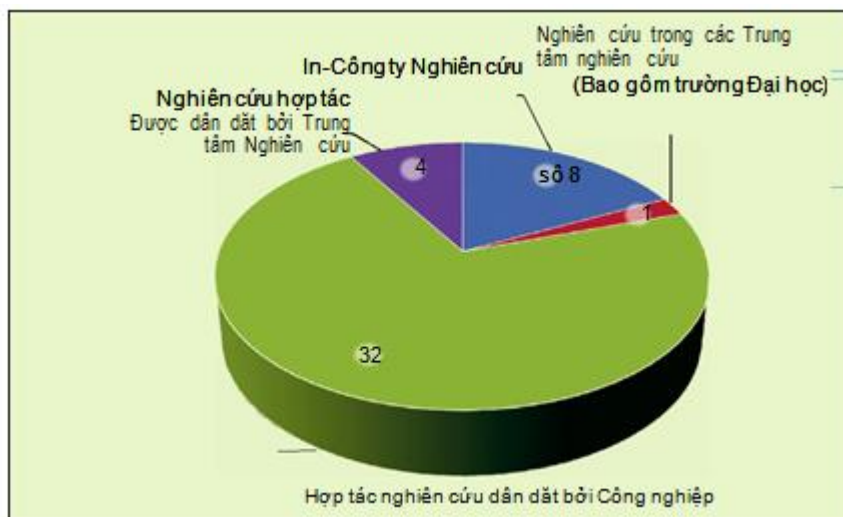
Hình 3.6.5 bảng % câu trả lời về ý kiến hiện trạng nghiên cứu về độ tin cậy

- Đánh giá hiện trạng nghiên cứu độ tin cậy trên bộ chuyển đổi năng lượng điện tử, từ câu trả lời các chuyên gia ngành công nghiệp cho câu hỏi, ‘Theo ý kiến của bạn, mà xu hướng / cách tiếp cận sẽ cải thiện độ tin cậy hệ

thống của bộ chuyển đổi điện tử công suất trong tương lai của một người mẫu tuổi thọ cho một thành phần rất phức tạp và dựa trên dữ liệu thực nghiệm. Vì vậy, nó rất nhạy cảm với lỗi. Việc thiếu các phương pháp xác minh một cách dễ dàng áp dụng là một vấn đề chung về nghiên cứu độ tin cậy.

Nhà nước hiện tại của nghiên cứu đáng tin cậy để phát hiện các quan điểm chung trong ngành công nghiệp về tình trạng của nghiên cứu liên quan đến độ tin cậy của bộ chuyển đổi năng lượng điện tử, một câu hỏi được hỏi về tình trạng hiện tại của công việc này. Các kết quả được trình bày trong Hình 3.6.5.

Ba câu trả lời có thể đại diện cho những ý kiến rất khác nhau trong sự đánh giá của hiện trạng nghiên cứu về độ tin cậy. Chỉ có 13% số người được hỏi tin rằng số lượng hiện tại



Hình 3.6.6 Biểu đồ biểu thị sự hợp tác nghiên cứu độ tin cậy

- Một số cách đầy hứa hẹn để nâng cao độ tin cậy trong các hệ thống điện tử công suất, từ câu trả lời các chuyên gia ngành công nghiệp cho câu hỏi, ‘Theo kinh nghiệm của bạn, mà là con đường hứa hẹn nhất để cải thiện độ tin cậy?’

Trọng tâm của nghiên cứu là đủ cho nhu cầu trong dustry. Tổng cộng có 54% chỉ ra rằng số lượng nghiên cứu nên được tăng lên, và nhóm còn lại đã chọn phương án nỗ lực nghiên cứu là đầy đủ nhưng sự tập trung cần được gắn kết tốt hơn với nhu cầu của ngành công nghiệp. Nhìn chung, kết quả có thể

được hiểu là một lời kêu gọi hành động. Họ gợi ý rằng nghiên cứu nhiều hơn trong lĩnh vực độ tin cậy nên được thực hiện và những nỗ lực nghiên cứu nên được liên kết tốt hơn với nhu cầu của ngành công nghiệp.

Cách hứa hẹn để cải thiện đáng tin cậy như đa số các câu trả lời đề xuất rằng trọng tâm và số lượng tái nghiên cứu trách nhiệm pháp lý không đầy đủ cho nhu cầu của ngành công nghiệp, những câu dưới đây nhằm xác định cách tiếp cận để tổ chức nghiên cứu độ tin cậy là coi con đường hứa hẹn nhất để cải thiện độ tin cậy trong tương lai. Việc tái surveys được cung cấp trong Hình 3.3.6.

Các câu trả lời rõ ràng cho thấy hợp tác nghiên cứu dẫn đầu bởi toàn ngành được coi là hứa hẹn nhất cách tiếp cận để nâng cao độ tin cậy, tiếp theo là nghiên cứu trong công ty. Một lợi thế lớn của nghiên cứu dẫn đầu bởi ngành công nghiệp là nó có thể được tối ưu phù hợp với nhu cầu của ngành công nghiệp. Các phương pháp được sử dụng và tập trung vào các thành phần có thể được lựa chọn cho nhu cầu thị trường phù hợp nhất. Ngoài ra, trong công ty nghiên cứu có thể có lợi ích để có được một lợi thế cạnh tranh và tránh sự cần thiết để tham gia cộng bên ngoài trong khu vực nhạy cảm. Sự tự tin thấp trong công việc thực hiện tại các trung tâm tái tìm kiếm có thể chỉ ra sự mất kết nối giữa các nhu cầu của ngành công nghiệp và các nghiên cứu thực sự thực hiện tại các trang web. Một cách giải thích có thể là chuyên gia trong ngành xem xét nghiên cứu của Trung tâm là không liên quan đến ứng dụng thực tế.

Độ tin cậy cải thiện cao hơn làm giảm cúp và chi phí bảo trì. Vì vậy, độ tin cậy tốt hơn dẫn đến một sự sẵn sàng cao hơn về phía khách hàng phải trả tiền cho một sản phẩm trong những trường hợp nhất định, chẳng hạn như các hệ thống điện tử công suất với chi phí cúp cao và đơn xin phát sinh chi phí nhạy cảm. Do đó, chúng ta có thể mong đợi khách hàng cho năng lượng gió, năng lượng truyền tải, và các hệ thống máy bay đặc biệt là sẵn sàng trả thêm cho các hệ thống đáng tin cậy hơn. hệ thống chiếu sáng thường vẫn được coi là một mặt hàng được dự kiến để mặc ra ngoài và sau đó được. Đặc biệt trong các ứng dụng như máy bay,

truyền tải năng lượng và năng lượng gió, sẵn sàng mạnh mẽ thanh toán cho các hệ thống đáng tin cậy hơn đã được xác định, và năng lượng gió, sẵn sàng chi trả mạnh mẽ thanh toán cho các hệ thống đáng tin cậy hơn đã được xác định. Các phương pháp hoạt động giúp tăng độ tin cậy trong quá trình vận hành, chẳng hạn như theo dõi tình trạng và tránh các điều kiện hoạt động căng thẳng, chỉ được chỉ định tích cực một chút. Tuy nhiên, có tiềm năng trong những phương pháp này, vì phần lớn người được hỏi muốn xem thêm nghiên cứu về những chủ đề này. Đặc biệt là trong các ứng dụng như máy bay, truyền năng lượng

## KẾT LUẬN:

Qua quá trình thực hiện tập luận văn tốt nghiệp đã giúp em hiểu rõ hơn về thực tế đồng thời củng cố lại kiến thức đã học trong suốt thời gian qua. Đề tài này mang nặng về lý thuyết liên quan đến ngành truyền động điện. Dưới sự hướng dẫn của GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn, sinh viên thực hiện đã cố gắng để trình bày khá đầy đủ yêu cầu của đề án tốt nghiệp:

- Giới thiệu các linh kiện bán dẫn công suất lớn như: diode, transistor, triac và đặc biệt là tiristor.

- Giới thiệu các phương pháp điều chỉnh tốc mạch chỉnh lưu có điều khiển bằng điên trở công suất

Nghiên cứu hiểu biết thêm độ tin cậy điện tử công suất vào công nghiệp

Với sự quan tâm và nỗ lực không ngừng, đề án tốt nghiệp đã được hoàn thành và có nội dung bám sát yêu cầu đề ra. Mặc dù còn nhiều hạn chế, thiếu sót nhưng qua đề án tốt nghiệp này đã giúp sinh viên thực hiện đánh giá được chính mình. Đây sẽ là một thành quả lớn sau nhiều năm học tập với sự giúp đỡ của quý thầy cô, bạn bè. Một lần nữa em xin chân thành cảm ơn Thầy GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn đã tận tình chỉ bảo để giúp em hoàn thành tập luận văn này.



## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Điện tử công suất Nguyễn Bính ( nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật năm 2000), ( Các phần tử bán dẫn công suất tr11-41),(chính lưu Diôt tr44-72),(chính lưu Transistor 84-128)
2. H. Wang, M. Liserre, và F. Blaabjerg, “Hướng tới thiết bị điện tử đáng tin cậy điện: Thách thức, công cụ thiết kế, và các cơ hội,” IEEE Ind Electron..Mag., Vol. 7, không có.2, tr. 17-26, tháng 6 năm 2013.
3. F. Blaabjerg và K. Ma, “Tương lai về điện tử công suất cho hệ thống tua-bin gió,” IEEE J. Emerg. Sel. Chủ đề điện Electron., Vol. 1, không có. 3,139-152, tháng 9 năm 2013.
4. JG Kassakian và TM Jahns, “phát triển và ứng dụng mới nổi của điện Elec-tronics trong các hệ thống,” IEEE J. Emerg. Sel. Chủ đề điện Electron., Vol. 1, không có. 2, tr. 47-58, tháng 6 năm 2013.
5. N. Baker, M. Liserre, L. Dupont, và Y. Avenas, “Cải thiện độ tin cậy của mô-đun năng lượng: A lại quan điểm của nhiệt độ ngã ba phương pháp đo lường-ment trực tuyến”, IEEE Ind Electron..Mag., Vol. 8, không có.3, tr. 17-27, tháng 9 năm 2014.
6. H. Wang, M. Liserre, F. Blaabjerg, P. de Noi Rimmen, J. Jacobsen, T. Kvisgaard, và J. Landkildehus, “Chuyển đổi sang vật lý-of-thất bại như một tài xế độ tin cậy trong điện electron-ics” IEEE J. Emerg. Sel. Chủ đề điện Electron., Vol. 2, không có. 1, pp. 97-114 2014.
7. K. Fischer và J. Wenske, “Hướng tới bộ chuyển đổi năng lượng đáng tin cậy cho tuabin gió: Dòng dữ liệu dựa trên xác định các điểm yếu và trình điều khiển chi phí,” trong Proc. Châu Âu Năng lượng gió Như-sociation Conf hàng năm. Triển lãm và Hội năm 2015 117-120.

8. S. Yang, A. Bryant, P. Mawby, D. Xiang, L. Ran, và P. Tavner, “Một cuộc khảo sát ngành công nghiệp dựa trên tái trách nhiệm trong bộ chuyển đổi điện tử công suất”, IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 47 tuổi, không có. 3, tr. 1441-1451, Tháng năm 2011.
9. PD O'Connor, P. O'Connor, và A. Kleyner, thực hành kỹ thuật đáng tin cậy. Hoboken, NJ: Wiley, 2012.
10. P. Ghimire, S. Beczkowski, S. Munk-Nielsen, B. Rannestad, và PB Thogersen, “Một đánh giá về thời gian thực kỹ thuật đo lường chất và nỗ lực của họ để dự đoán tình trạng mặc-out của IGBT,” trong Proc. 2013 15 Conf châu Âu. Điện điện tử và ứng dụng (EPE), 1-10.
10. H. Conseil-Gudla, Z. Staliulionis, MS Jellesen, M. Jabbari, JH Hattel, và R. Ambat, “âm-ity tích tụ trong các thùng điện tử tiếp xúc với điều kiện không đổi,” IEEE Trans. Compon. Packag. Manuf. Technol. Năm., Vol. 7, không có. 3, tr. 412- 423, năm 2017.
11. SJ Watson, BJ Xiang, W. Yang, PJ Tavner, và CJ Crabtree, “giám sát Điều kiện sản lượng điện của máy phát điện tuabin gió sử dụng wavelets,” IEEE Trans. Convers năng lượng., Vol. 25, không có. 3, tr. 715-721, 2010.
12. JS Karppinen, J. Li, và M. Paulasto-Krockel, “Ảnh hưởng của sức mạnh và VIBRA-tion tải đồng thời trên độ tin cậy của mối liên kết ban cấp quyền điện tử assem-blies,” IEEE Trans. Mater thiết bị. Rel., Vol. 13, không có. 1, pp. 167-176, 2013.
13. H. Kabza, HJ Schulze, Y. Gerstenmaier, P. Voss, JWW Schmid, F. Pfirsch, và K. Plat-zoder, “bức xạ vũ trụ là nguyên nhân cho sự thất bại thiết bị điện và biện pháp đối phó có thể,” trong Proc. 6 Int. Symp. Điện Semiconductor De-tệ nạn và IC, tháng năm 1994, tr. 9-12.

- 14.M. Ciappa, “Đã chọn cơ chế thất bại của mô-đun năng lượng hiện đại”, *Microelectron. Tái liab.*, Vol. 42 tuổi, không có. 4, tr. 653-667, 2002.
- 15.H. Oh, B. Han, P. McCluskey, C. Han, và BD Youn, “Vật lý-of-thất bại, tình trạng màn hình-ing, và prognostics công cách điện module transistor lưỡng cực: Một đánh giá,” *IEEE Trans. Điện điện tử.*, Vol. 30, không có. 5, tr. 2413-2426, tháng 5 năm 2015.
- 16.A. Wintrich, U. Nicolai, W. Tursky, và T. Rei-mann, *Ứng dụng Hướng dẫn sử dụng điện Semiconduc-TOR*, 2nd ed. Semikron: Nuremberg, Đức, năm 2015.
- 17.V. Smet, F. Forest, J.-J. Huselstein, F. Richard-eau, Z. Khatir, S. Lefebvre, và M. Berkani, “lão hóa và suy chế độ của mô-đun IGBT trong xe đạp điện ở nhiệt độ cao”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 58 tuổi, không có. 10, tr. 4931-4941, 2011.
- 18.H. Wang và F. Blaabjerg, “Độ tin cậy của capaci-TOR cho các ứng dụng dc-link trong khả năng chuyển đổi điện tử-ic: Tổng quan”, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol. 50, không có. 5, tr. 3569-3578, năm 2014.
- 19.A. Volke và M. Hornkamp, *IGBT Modules: Technologies, điều khiển và ứng dụng*, 2nd ed. Munich: Infineon Technologies AG, 2012.
- 20.M. Musallam, C. Yin, C. Bailey, và M. Johnson, “Mission hồ sơ thiết kế dựa trên độ tin cậy và thời gian thực ước tính tiêu thụ cuộc sống trong điện tử công suất”, *IEEE Trans. Điện điện tử.*, Vol. 30, không có. 5, tr. 2601-2613, tháng 5 năm 2015.
- 21.W. Zhang, D. Xu, PN Enjeti, H. Li, JT Hawke, và HS Krishnamoorthy, “Khảo sát về kỹ thuật lỗi tol-erant cho điện điện tử chuyển đổi-ers”, *IEEE Trans. Điện điện tử.*, Vol. 29, không có. 12,6319-6331, năm 2014.

- 22.J. Falck, M. Andresen, và M. Liserre, “phương pháp tích cực để cải thiện độ tin cậy trong điện Elec-tronics”, trong Proc. 43 Annu. Conf. IEEE Society Indus-thử nghiệm Electronics, 2017, pp. 7923-7928.
- 23.D. Murdock, J. Torres, J. Connors, và R. Lo-Renz, “kiểm soát nhiệt tích cực của điện module Elec-tronic,” IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 42 tuổi, không có. 2, tr. 552-558, 2006.
- 24.J. Falck, G. Buticchi, và M. Liserre, “căng thẳng nhiệt dựa trên mô hình điều khiển dự phòng của các ổ đĩa Elec-tric,” IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 54, không có. 2, tr. 1513-1522, 2018.
- 25.M. Andresen, K. Ma, G. Buticchi, J. Falck, F. Blaabjerg, và M. Liserre, “Junction kiểm soát tempera-ature cho sức mạnh đáng tin cậy hơn electron-ics”, IEEE Trans. Điện điện tử., Vol. 33 tuổi, không có. 1,765-776, 2018.
- 26.K. Ma, M. Liserre, và F. Blaabjerg, “ảnh hưởng công suất phản kháng trên xe đạp nhiệt của đa mw biến tần năng lượng gió,” IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 49 tuổi, không có. 2, tr. 922-930, 2013.
- 27.H. Wen, W. Xiao, X. Wen, và P. Armstrong, “Phân tích và đánh giá các tụ dc-link cho điện mật độ cao hệ thống truyền động xe điện”, IEEE Trans. Veh. Technol.Năm., Vol. 61 tuổi, không có. 7, tr. 2950-2964, năm 2012.
- 28.R. Wang, F. Wang, D. Boroyevich, R. Burgos, R. Lai, P. Ning, và K. Rajashekara, “Một mật độ năng lượng cao duy nhất pha PWM chỉnh lưu với lưu trữ năng lượng gợn tích cực”, IEEE Trans. Điện điện tử., Vol. 26, không có. 5, tr. 1430-1443, Tháng năm 2011
- 29.JM Thebaud, E. Woirgard, C. Zardini, S. Az-zopardi, O. Briat, và JM Vinassa, “Chiến lược thiết kế tăng tốc các xét nghiệm để lão hóa evalu-ate IGBT module điện đòi trong chế độ thực opera-tion”,

IEEE Trans . Compon.Packag.Tech-nol., Vol. 26, không có. 2, tr.  
429-438, June 2003.