

\*\*\*\*\*

# **CÁC ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT CHO KỸ THUẬT**

**ASHFAQ AHMED**

**VŨ NGỌC DŨNG dịch**

Tác giả : Ashfaq Ahmed  
Người dịch : Vũ Ngọc Dũng  
Chủ biên : Nguyễn Trọng Linh

---

# CÁC ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT CHO KỸ THUẬT

TP.HCM - 2004

# CHƯƠNG I : CÔNG SUẤT ĐIỆN TỬ

---

## Đề cương học tập

- 1.1 Giới thiệu
  - 1.2 Công suất điện tử là gì ?
  - 1.3 Tại sao có công suất điện tử ?
    - 1.3.1 Một biến trở như một dụng cụ điều khiển
    - 1.3.2 Một chuyển mạch như một dụng cụ điều khiển
  - 1.4 Các chuyển mạch nửa dẫn công suất
  - 1.5 Tổn thất công suất trong chuyển mạch thực tế
    - 1.5.1 Tổn thất dẫn điện
    - 1.5.2 Tổn thất chuyển mạch
  - 1.6 Các kiểu mạch điện công suất điện tử
  - 1.7 Các ứng dụng của công suất điện tử
  - 1.8 Thảo luận
  - 1.9 Các công thức
- 

## Trọng tâm học tập

Sau khi hoàn thành chương này sinh viên cần có khả năng

- ❖ Định rõ giới hạn công suất điện tử
- ❖ Kể các ứng dụng của việc dùng chuyển mạch để điều khiển công suất điện
- ❖ Liệt kê các kiểu khác của dụng cụ nửa dẫn công suất
- ❖ Xác định tổn hao công suất trong chuyển mạch thực
- ❖ Liệt kê các kiểu khác của mạch công suất điện tử
- ❖ Liệt kê các kiểu ứng dụng của công suất điện tử

## 1.1 Giới thiệu

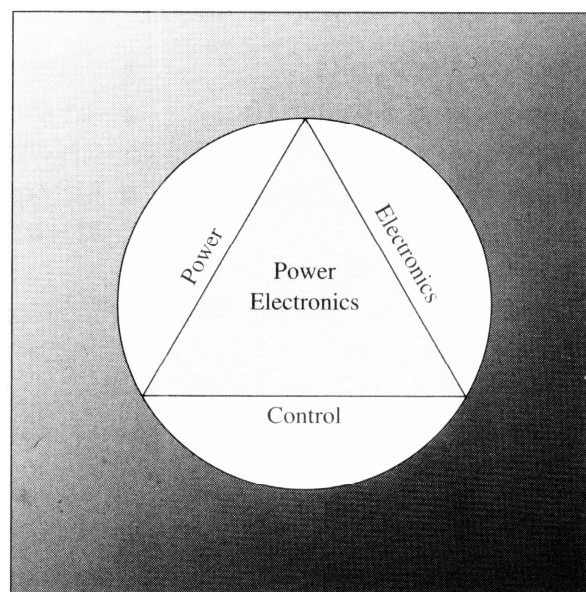
Các ứng dụng của điện tử trạng thái rắn trong lĩnh vực công suất điện tăng trưởng vững chắc, và chiều hướng công suất điện tử hiện nay là đặc trưng phổ biến của nhiều chương trình kỹ thuật cơ điện. Các điện tử công suất đã được dùng từ những năm 1960, sau việc giới thiệu mạch chỉnh lưu có điều khiển silíc (SCR) của điện khí đại cương. Công suất điện tử tăng trưởng nhanh chóng trong những năm gần đây với sự phát triển của các dụng cụ nửa dẫn công suất như chuyển mạch các dòng điện lớn có hiệu quả ở điện áp cao. Từ những dụng cụ này với độ tin cậy cao, kích cỡ nhỏ, công suất điện tử mở rộng chủng loại và phạm vi đến các ứng dụng như điều khiển nhiệt và ánh sáng, điều chỉnh công suất cung cấp, thay đổi tốc độ động cơ AC và DC, sự bù tĩnh VAR, và hệ thống biến thế DC cao áp.

---

## 1.2 Công suất điện tử là gì ?

Lĩnh vực rộng lớn của công việc kỹ sư điện có thể được chia thành ba chủ đề : công suất điện ; điện tử ; và điều khiển. Công suất điện tử với các ứng dụng của các dụng cụ nửa dẫn công suất, như là thyristor và bán dẫn , cho sự biến đổi và điều khiển năng lượng điện tại các mức công suất cao. Sự biến đổi này thường từ AC thành DC, trong đó thông số điều khiển là điện áp, dòng điện hay tần số. Ví dụ như, chỉnh lưu đơn giản từ AC thành DC là biến đổi công suất, nhưng nếu điều chỉnh mức điện áp được cung cấp đến chỉnh lưu, cả hai biến đổi và điều khiển công suất điện là gắn với nhau. Vì vậy, công suất điện tử có thể được xem xét là một công nghệ liên quan nhiều lĩnh vực gồm ba lĩnh vực cơ bản : công suất , điện tử, và điều khiển, như trình bày trong hình 1.1

**Hình 1.1** : Công suất điện tử : một tổ hợp của công suất, điện tử và điều khiển



Cuốn sách này sẽ bao gồm việc sử dụng các dụng cụ nửa dẫn công suất trong các ứng dụng như chỉnh lưu, sự đảo chiều, biến đổi tần số, dụng cụ AC và DC, và công suất cung cấp. Trong công suất điện tử, các dụng cụ như diot, bán dẫn, thyristor, và triac được dùng chủ yếu như là chuyển mạch để thực hiện công việc đóng mở đó là căn bản các mạch công suất điện tử.

### 1.3 Tại sao có công suất điện tử ?

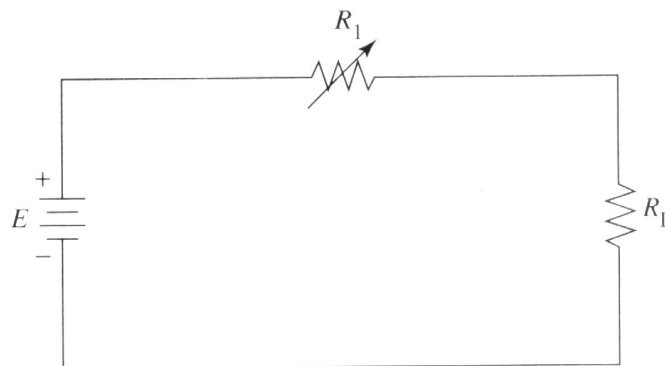
Truyền tải công suất điện từ một nguồn đến tải có thể điều khiển bởi thay đổi điện áp cung cấp (dùng biến thế) hay bằng cách thêm một máy điều chỉnh ( như là biến trở, lò phản ứng hay chuyển mạch ). Các dụng cụ bán dẫn dùng làm chuyển mạch có ưu điểm là kích cỡ nhỏ, không đắt, và hiệu quả, và chúng có thể dùng điều khiển công suất tự động. Một ưu điểm nữa của dùng chuyển mạch như một yếu tố điều khiển ( so với dùng biến trở hay cái phân thế để điều chỉnh điện trở) như trình bày trong phần sau

#### 1.3.1 Dụng cụ điều khiển là một biến trở

Hình 1.2 trình bày một biến trở điều khiển tải. Khi  $R_1$  đặt ở điện trở 0, toàn công suất được phân phối đến tải. Khi  $R_1$  đặt ở điện trở cực đại, công suất phân phối đóng xuống 0. Để truyền tải công suất cực đại đến tải,  $R_1$  phải bằng  $R_L$ . Với điều kiện này, biến trở tiêu thụ nhiều công suất đến tải – hiệu quả của sự biến đổi chỉ còn 50%. Hơn nữa, biến trở lớn hơn tải và tiêu hao thêm nhiệt.

#### Hình 1.2 :

Một biến trở điều khiển tải



Trong ứng dụng này, công suất được điều khiển lớn, hiệu quả của sự biến đổi là quan trọng. Hiệu quả thấp có nghĩa là tổn hao lớn, xem xét tính kinh tế vì nó còn phát nhiệt và phải có lớp chuyển tiếp của hệ thống để ngăn ngừa quá nhiệt.

**Ví dụ 1.1** Một nguồn DC 100 V cung cấp cho tải điện trở 10 Ω . Tìm công suất phân phối đến tải  $P_L$  , công suất tổn hao trong biến trở  $P_R$  , tổng công suất cung cấp bởi nguồn  $P_T$  , và hiệu suất  $\eta$  , nếu biến trở đặt ở :

- a) 0 Ω
- b) 10 Ω
- c) 100 Ω

**Giải đáp :**

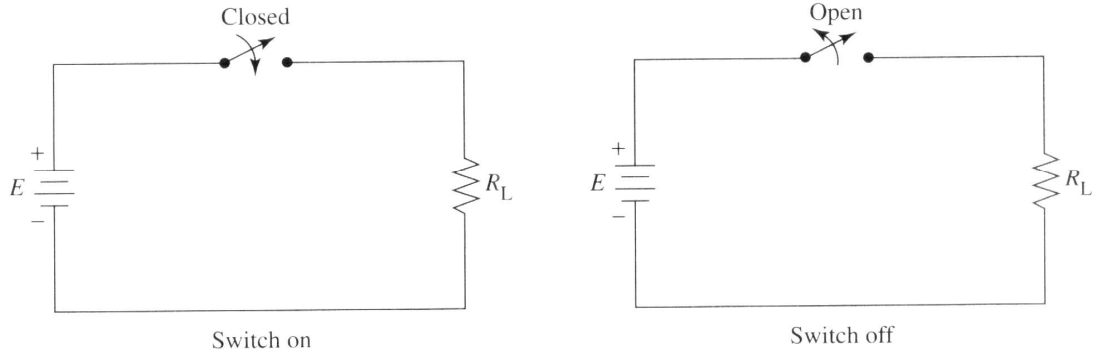
a) Điện áp qua tải	$V_L = 100 \text{ V}$
Công suất cung cấp đến tải	$P_L = 100^2 / 10 = 1 \text{ kW}$
Công suất tiêu thụ trong biến trở	$P_R = 0 \text{ kW}$
Công suất cung cấp bởi nguồn	$P_T = P_L + P_R = 1 \text{ kW}$
Hiệu suất	$\eta = \frac{P_L}{P_T} * 100 = 100\%$
b) Điện áp qua tải	$V_L = 10 * 100 / 20 = 50 \text{ V}$
Công suất cung cấp đến tải	$P_L = 50^2 / 10 = 250 \text{ W}$
Công suất tiêu thụ trong biến trở	$P_R = 250 \text{ W}$
Công suất cung cấp bởi nguồn	$P_T = P_L + P_R = 500 \text{ W}$
Hiệu suất	$\eta = \frac{P_L}{P_T} * 100 = 50\%$
c) Điện áp qua tải	$V_L = 10 * 100 / 110 = 9 \text{ V}$
Công suất cung cấp đến tải	$P_L = 9^2 / 10 = 8,1 \text{ W}$
Công suất tiêu thụ trong biến trở	$P_R = 91 * 19 / 100 = 82,8 \text{ W}$
Công suất cung cấp bởi nguồn	$P_T = P_L + P_R = 90,9 \text{ W}$
Hiệu suất	$\eta = \frac{P_L}{P_T} * 100 = 8,9\%$

Từ ví dụ này rõ ràng là hiệu suất của công suất truyền tải từ nguồn đến tải là rất thấp –nên nhớ rằng nó chỉ bằng 50% trong trường hợp (b)

### 1.32. Dụng cụ điều khiển là một chuyển mạch

Trong hình 1.3 , một chuyển mạch được dùng để điều khiển tải. Khi chuyển mạch mở, công suất cực đại được phân phối đến tải. Công suất tổn hao trên chuyển mạch là 0 vì không có điện áp qua nó. Khi chuyển mạch đóng, không có công suất phân phối đến tải. Một lần nữa, chuyển mạch không có tổn hao công suất vì không có dòng điện qua nó. Hiệu suất là 100% bởi vì chuyển mạch không có tổn hao công suất ở cả hai vị trí của nó. Vấn đề với phương pháp này đó là không giống như biến trở, một chuyển mạch không thể đặt tại điểm giữa để biến đổi công suất. Tuy nhiên, chúng ta có thể tạo hiệu quả giống như vậy bằng cách vận đổi chiều định kỳ chuyển mạch đóng và mở. Bóng bán dẫn và SCRs được dùng như một chuyển mạch có thể tự động vận đổi chiều đóng và mở hàng trăm lần trong một giây. Chuyển mạch điện tử đặt mở cho một thời gian dài hơn và đặt đóng cho một thời gian ngắn hơn. Khi cần công suất thấp, nó đặt thời gian đóng dài hơn.

**Hình 1.3** : Một chuyển mạch điều khiển tải



**Ví dụ 1.2**

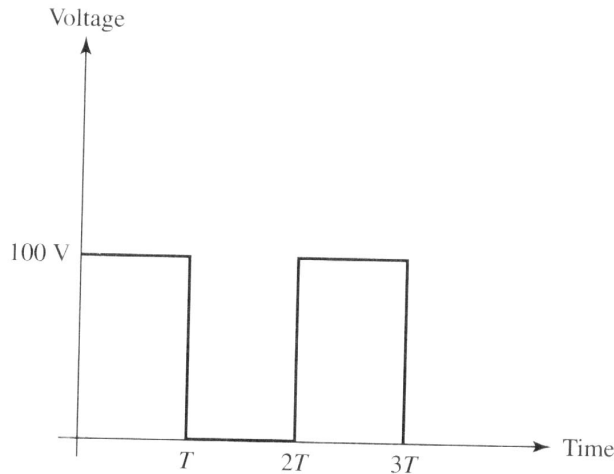
Một nguồn DC 100 V cung cấp tải điện trở 10 Ω qua một chuyển mạch. Tìm công suất cung cấp đến tải  $P_L$ , công suất tổn hao trong chuyển mạch  $P_s$ , và tổng công suất cung cấp bởi nguồn  $P_T$ , nếu chuyển mạch là :

- a) đóng
- b) Mở
- c) Đóng 50% thời gian
- d) Đóng 20% thời gian

**Giải đáp :**

- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| a) Với chuyển mạch đóng                |                                   |
| Điện áp qua tải                        | $V_L = 100 \text{ V}$             |
| Công suất phân phối đến tải            | $P_L = 100^2 / 10 = 1 \text{ kW}$ |
| Công suất tổn hao trong chuyển mạch    | $P_s = 0$                         |
| Công suất cung cấp bởi nguồn           | $P_T = 1 \text{ kW}$              |
| b) Với chuyển mạch mở                  |                                   |
| Điện áp qua tải                        | $V_L = 0 \text{ V}$               |
| Công suất phân phối đến tải            | $P_L = 0 \text{ kW}$              |
| Công suất tổn hao trong chuyển mạch    | $P_s = 0$                         |
| Công suất cung cấp bởi nguồn           | $P_T = 0 \text{ kW}$              |
| c) Đóng 50% thời gian ( xem hình 1.4 ) |                                   |
| Điện áp qua tải                        | $V_L = 50 \text{ V}$              |
| Công suất phân phối đến tải            | $P_L = 50^2 / 10 = 250 \text{ W}$ |
| Công suất tổn hao trong chuyển mạch    | $P_s = 0$                         |
| Công suất cung cấp bởi nguồn           | $P_T = 250 \text{ W}$             |
| d) Đóng 20% thời gian                  |                                   |
| Điện áp qua tải                        | $V_L = 20 \text{ V}$              |
| Công suất phân phối đến tải            | $P_L = 20^2 / 10 = 40 \text{ W}$  |
| Công suất tổn hao trong chuyển mạch    | $P_s = 0$                         |
| Công suất cung cấp bởi nguồn           | $P_T = 40 \text{ W}$              |

**Hình 1.4 :** xem ví dụ 1.2



Như ví dụ này trình bày, tất cả công suất cung cấp bởi nguồn được phân phối đến tải. Hiệu suất truyền tải công suất là 100%. Dĩ nhiên, trong ví dụ này chuyển mạch giả sử là lý tưởng, nhưng khi chúng ta dùng bóng bán dẫn làm chuyển mạch, kết quả rất gần với sự làm việc của mạch lý tưởng.

---

#### **1.4 Công suất chuyển mạch bán dẫn**

Công suất các chuyển mạch bán dẫn là yếu tố quan trọng nhất trong mạch điện công suất điện tử. Các loại chủ yếu của các dụng cụ bán dẫn được dùng làm chuyển mạch trong mạch công suất điện tử là :

Các diot

Các bóng bán dẫn nối hai cực ( BJT )

Lĩnh vực chất bán dẫn oxit kim loại – các bóng bán dẫn hiệu quả ( MOSFET )

Các chỉnh lưu có điều khiển silic ( SCR )

Các triac

Các thyristor cổng rẽ ( GTO )

Các thyristor có điều khiển – MOS ( MCT )

Trong các điện tử công suất, các dụng cụ này làm việc theo kiểu chuyển mạch. Các chuyển mạch này có thể làm để hoạt động ở các tần số cao để biến đổi và điều khiển công suất điện với hiệu suất cao và cách thức tốt. Công suất tổn hao trong chuyển mạch tự nó rất nhỏ vì điện áp gần là 0 khi chuyển mạch mở và dòng điện gần là 0 khi chuyển mạch đóng.

Chúng ta sẽ xem như các chuyển mạch này là lý tưởng ( các hạn chế của một chuyển mạch thực tế trình bày trong phần tiếp theo ). Một chuyển mạch lý tưởng thoả mãn các điều kiện sau :



1. Nó vận mở và vận đóng trong thời gian là 0
2. Khi chuyển mạch mở, điện áp qua nó là 0
3. Khi chuyển mạch đóng, dòng điện qua nó là 0
4. Nó không tiêu thụ công suất

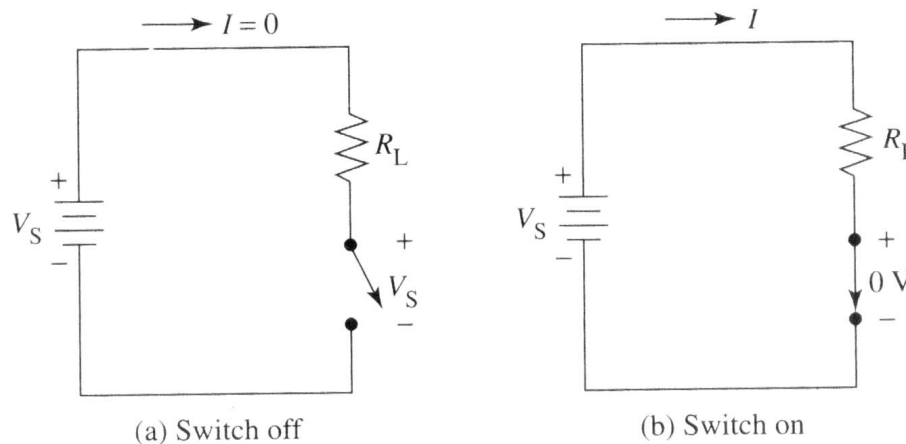
Thêm vào còn muốn các điều kiện sau :

5. Khi mở, nó có thể mang dòng điện lớn
6. Khi đóng , nó có thể chịu được điện áp cao
7. Nó dùng ít công suất để điều khiển hoạt động của nó
8. Nó có độ tin cậy cao
9. Nó có kích cỡ và trọng lượng nhỏ
10. Nó có chi phí thấp
11. Nó không cần bảo dưỡng

### 1.5 Tổn hao công suất trong chuyển mạch thực:

Một chuyển mạch lý tưởng trình bày trong hình 1.5. Công suất tổn hao phát sinh trong chuyển mạch là sản phẩm của dòng điện qua chuyển mạch và điện áp qua chuyển mạch. Khi chuyển mạch là đóng, không có dòng điện qua nó ( dẫn cho có một điện áp  $V_s$  qua nó ), Và vì vậy không có công suất tiêu thụ. Khi chuyển mạch mở, Có một dòng (  $V_s / R_L$  ) qua nó , nhưng không có điện áp qua nó , như vậy không có công suất tổn hao. Chúng ta cũng giả sử rằng với một chuyển mạch lý tưởng thời gian tăng vượt và rơi xuống của dòng điện là 0, đó là chuyển mạch lý tưởng thay đổi từ trạng thái đóng sang trạng thái mở tức thời. Công suất tổn hao trong chuyển mạch vì thế là 0.

**Hình 1.5** :Tổn hao công suất trong chuyển mạch lý tưởng



Không giống chuyển mạch lý tưởng, một chuyển mạch thực tế, như là bóng bán dẫn nối lưỡng cực, có hai nguồn chủ yếu tổn thất công suất : tổn hao dẫn điện và tổn hao chuyển mạch.

### 1.5.1 Tổn hao dẫn điện

Khi bóng bán dẫn trong hình 1.6a là đóng, nó mang một dòng rò rỉ ( $I_{leak}$ ). Công suất tổn hao liên đới với dòng rò rỉ là  $P_{off} = V_s * I_{leak}$ . Tuy nhiên vì dòng rò rỉ là hoàn toàn nhỏ và không thay đổi đáng kể với điện áp, như thế tổn hao công suất bóng bán dẫn cơ bản là 0. Khi bóng bán dẫn là mở, như hình 1.6b, có một điện áp nhỏ qua nó. Điện áp này được gọi là điện áp bão hòa ( $V_{CE(SAT)}$ ). Công suất tiêu thụ của bóng bán dẫn hay tổn hao dẫn điện hưởng từ điện áp bão hòa là :

$$P_{on} = V_{CE(SAT)} * I_c \quad 1.1$$

Ở đây :

$$I_c = \frac{V_s - V_{CE(SAT)}}{R_L} \approx \frac{V_s}{R_L} \quad 1.2$$

Công thức 1.1 cho tổn hao công suất do sự dẫn điện nếu chuyển mạch vẫn còn mở là không xác định. Tuy nhiên, để điều khiển công suất với ứng dụng đã cho, chuyển mạch vận mở và đóng một cách tuần hoàn. Vì vậy, để tìm tổn hao công suất trung bình chung ta phải xét đến hệ số chu kỳ :

$$P_{on(avg)} = V_{CB(SAT)} * I_c * \frac{t_{on}}{T} = V_{CB(SAT)} * I_c * d \quad 1.3$$

Tương tự

$$P_{off(avg)} = V_s * I_{leak} * \frac{t_{off}}{T} \quad 1.4$$

Ở đây, hệ số chu kỳ  $d$  được xác định như tỷ lệ của chu kỳ trong chuyển mạch mở:

$$d = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \quad 1.5$$

**Hình 1.6** : Các tổn hao công suất trong chuyển mạch bán dẫn

