

## Chương 1

# **KHÁI NIỆM CƠ BẢN & CÁC LINH KIỆN BÁN DẪN CÔNG SUẤT**

1

### **Vài nét về lịch sử phát triển ĐTCS và các ứng dụng**

- 1901: Peter Cooper Hewitt giới thiệu chỉnh lưu dùng đèn hơi thủy ngân (mercury-arc rectifier)
- 1926: Đèn thyatron ra đời
- 1930: Chỉnh lưu dùng đèn hơi thủy ngân công suất 3MW được lắp đặt cho hệ thống tàu điện ngầm New York (dùng để điều khiển động cơ DC của xe điện)
- 1931: Hệ thống cycloconverter dùng đèn hơi thủy ngân được ứng dụng trong hệ thống tàu điện tại Đức
- 1948: Transistor được phát minh tại Bell Labs
- 1956: Diode công suất dùng bán dẫn Silic ra đời
- 1958: GE giới thiệu thyristor (SCR) thương phẩm đầu tiên
- 1971: Kỹ thuật điều khiển vector động cơ không đồng bộ (lý thuyết) được giới thiệu

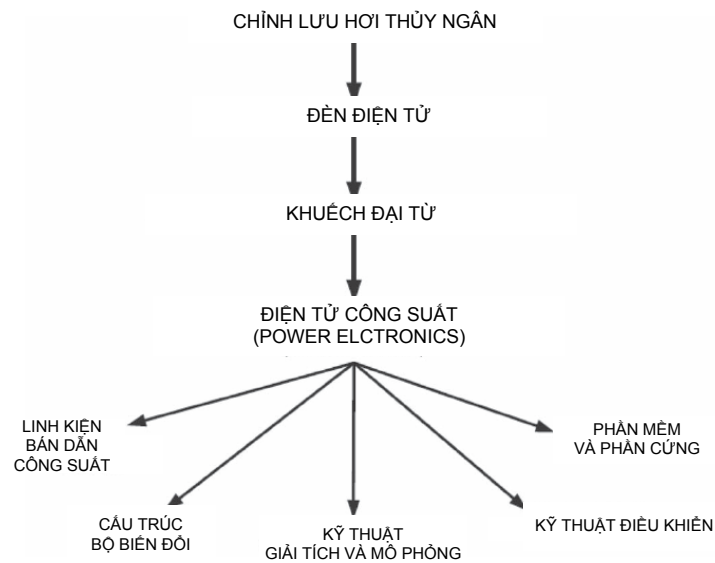
2

## Vài nét về lịch sử phát triển ĐTCS và các ứng dụng

- 1975: Transistor lưỡng cực (BJT) công suất lớn được chế tạo bởi TOSHIBA
- 1980: GTO công suất lớn ra đời tại Nhật
- 1981: Cấu hình nghịch lưu đa bậc (diode clamped) ra đời
- 1983: IGBT ra đời
- 1983: Kỹ thuật điều rộng xung vector không gian (Space Vector PWM) ra đời
- 1986: Kỹ thuật điều khiển trực tiếp momen (Direct Torque Control – DTC) động cơ không đồng bộ ra đời
- 1996: IGCT được giới thiệu lần đầu bởi ABB

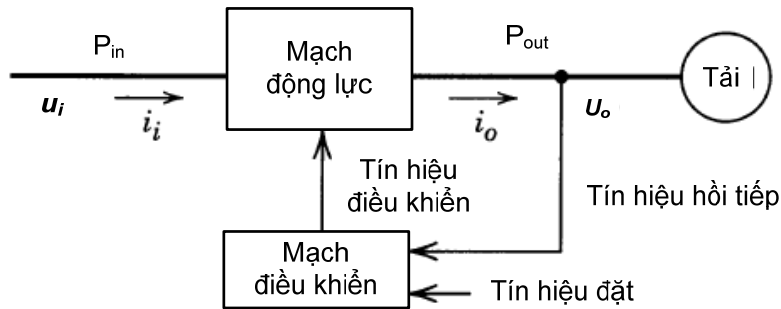
3

## ĐTCS và các lĩnh vực liên quan ngày nay



4

### Sơ đồ khối một hệ thống ĐTCS



5

### Sơ đồ khối một hệ thống ĐTCS

Nhiệm vụ của một hệ thống điện tử công suất (ĐTCS) là kiểm soát và điều khiển dòng năng lượng điện bằng cách cung cấp cho tải điện áp và dòng điện dưới dạng tối ưu nhất.

Ngõ vào của hệ thống ĐTCS thường là điện lưới một pha hoặc 3 pha, tần số 50 hoặc 60Hz. Ngõ ra (điện áp, tần số, dòng điện, số pha) thường được thiết kế để phù hợp với tải.

Phần mạch động lực sử dụng các linh kiện bán dẫn công suất. Phần mạch điều khiển sử dụng kỹ thuật mạch tích hợp tuyến tính (linear integrated circuits) và/hoặc mạch xử lý số (digital signal processor).

Trong những năm gần đây, lĩnh vực điện tử công suất đã có những thành tựu lớn nhờ vào sự phát triển của:

- Kỹ thuật vi điều khiển (microcontroller, digital signal processor - DSP)
- Kỹ thuật bán dẫn công suất lớn (power semiconductor)

6

## Một số ứng dụng tiêu biểu của ĐTCS

### Bộ nguồn



Bộ nguồn xung  
(Switching mode  
power supply)

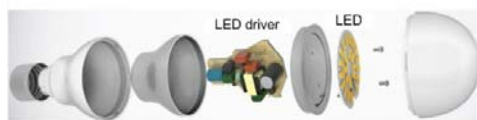


Bộ nguồn liên tục  
(UPS – Uninterruptible Power Supply )

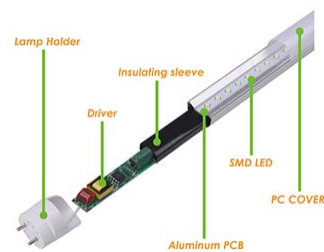
7

## Một số ứng dụng tiêu biểu của ĐTCS

### Bộ biến đổi dùng trong chiếu sáng, điều khiển động cơ



LED driver

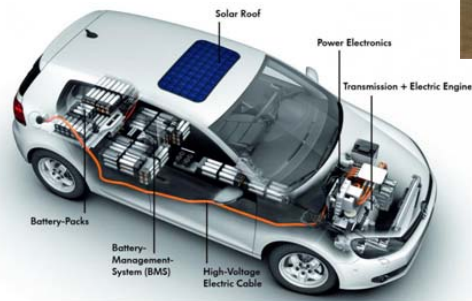


Bộ biến tần  
(dùng điều khiển tốc độ động cơ xoay chiều)

8

## Một số ứng dụng tiêu biểu của ĐTCS

Ứng dụng trong giao thông vận tải



Xe điện



Tàu điện

9

## Một số ứng dụng tiêu biểu của ĐTCS

Gia nhiệt cảm ứng



Máy hàn điện (Welding machine)



Máy tôi cao tần (induction heating machine)



Lò cảm ứng (induction melting machine)

10

## Một số ứng dụng tiêu biểu của ĐTCS

Năng lượng tái tạo

Máy phát điện gió



Hệ thống phát điện dùng pin quang điện

11

## Lĩnh vực ứng dụng của ĐTCS

### 1. Các thiết bị gia dụng

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

### 2. Trang thiết bị cho cao ốc

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

### 3. Công nghiệp

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

### 4. Giao thông vận tải

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

### 5. Hệ thống điện

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

### 6. Hàng không

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

### 7. Viễn thông

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

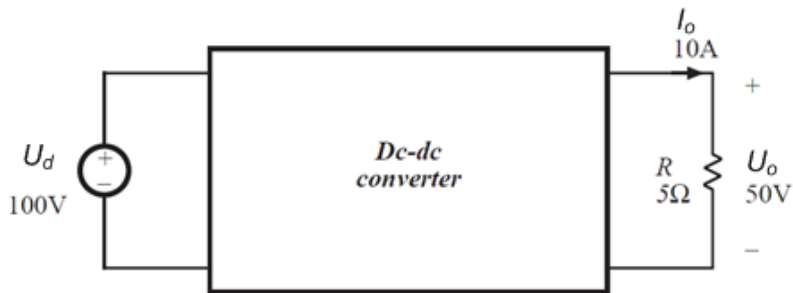
12

### Ví dụ ứng dụng: So sánh ổn áp tuyến tính và ổn áp xung

Xét ứng dụng cần một bộ nguồn ổn áp với:

Ngõ vào  $U_d = 100V$ ,

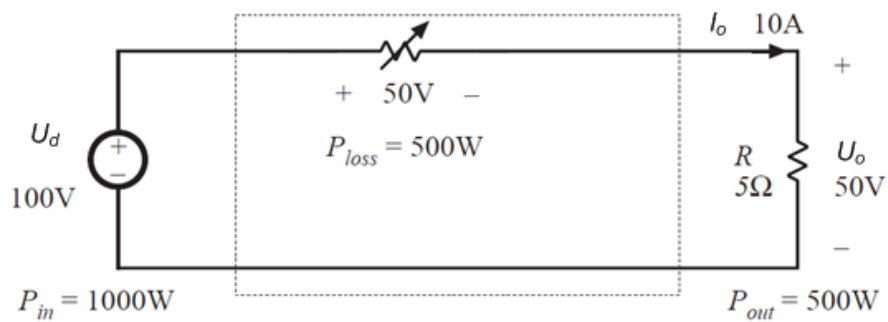
Ngõ ra  $U_o = 50V$ ,  $I_o = 10A$



13

### Ví dụ ứng dụng: So sánh ổn áp tuyến tính và ổn áp xung

Xét mạch sử dụng điện trở phân áp

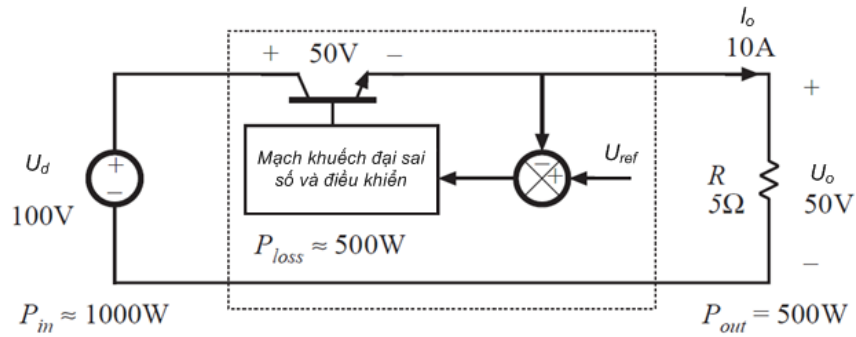


- Công suất tổn hao lớn trên điện trở phân áp  $\rightarrow$  mạch có hiệu suất thấp
- Điện áp ngõ ra thay đổi khi điện áp ngõ vào hoặc điện trở tải thay đổi

14

## Ví dụ ứng dụng: So sánh ổn áp tuyến tính và ổn áp xung

Xét mạch sử dụng bộ ổn áp tuyến tính

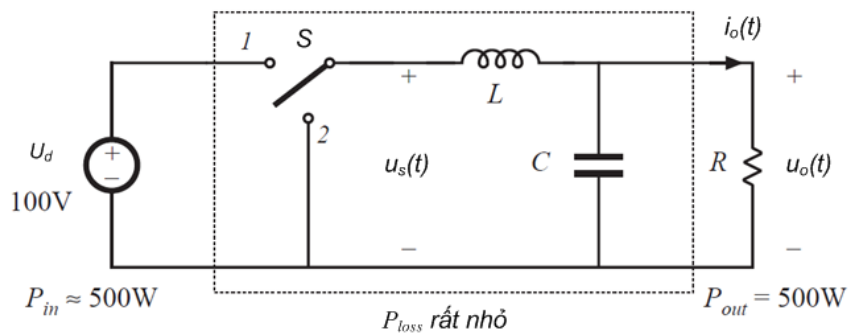


- Transistor công suất được điều khiển hoạt động tương tự như một điện trở biến đổi  $\rightarrow$  điện áp ra được ổn định khi điện áp vào hoặc điện trở tải thay đổi,
- Mạch có hiệu suất thấp và công kênh

15

## Ví dụ ứng dụng: So sánh ổn áp tuyến tính và ổn áp xung

Xét mạch với bộ biến đổi dc-dc



Mạch nguyên lý với S là bộ khóa bán dẫn (transistor + diode)

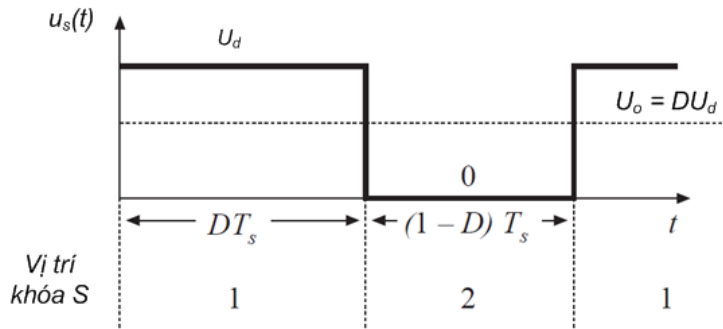
Tổn hao trên S rất nhỏ  $\rightarrow$  mạch có hiệu suất cao

16



## Ví dụ ứng dụng: So sánh ổn áp tuyến tính và ổn áp xung

Xét mạch với bộ biến đổi dc-dc (t-t)



Dạng sóng điện áp tại  $u_s$

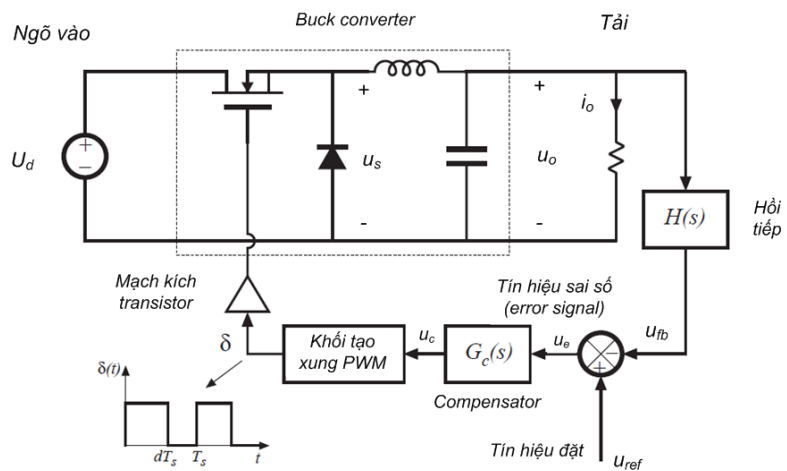
Điện áp ngõ ra  $U_o =$  giá trị trung bình của  $u_s = D.U_d$

Mạch lọc L-C để lọc bỏ sóng hài điện áp tần số cao ở ngõ ra và giữ lại thành phần trung bình của  $u_s$ .

17

## Ví dụ ứng dụng: So sánh ổn áp tuyến tính và ổn áp xung

Xét mạch với bộ biến đổi dc-dc (t-t)



Mạch ổn áp thực tế với phần động lực là mạch Buck converter

18

## Phân loại bộ biến đổi công suất

Phân loại theo tần số điện áp ngõ vào và ngõ ra: các bộ biến đổi công suất (converter) cơ bản (gọi tắt là bộ biến đổi – BBĐ) bao gồm:

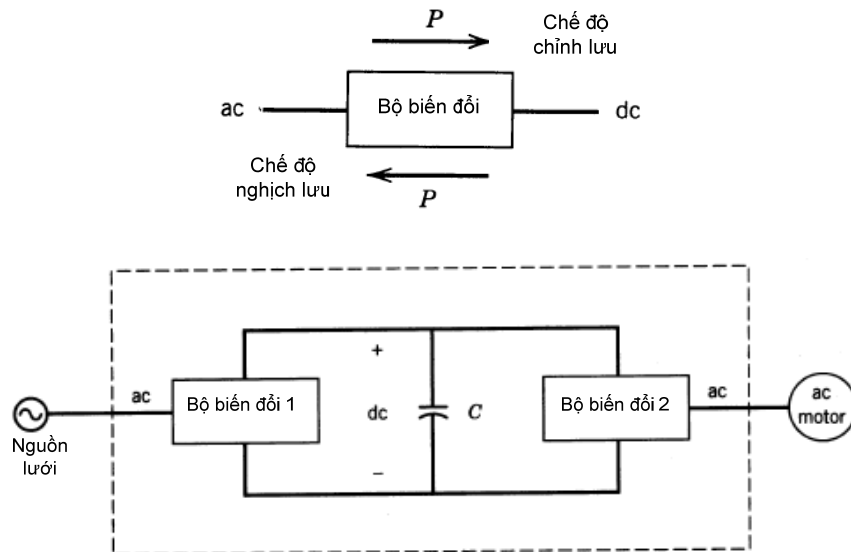
1.  $ac \rightarrow dc$  (chỉnh lưu – rectifier)
2.  $dc \rightarrow ac$  (nghịch lưu – inverter)
3.  $dc \rightarrow dc$
4.  $ac \rightarrow ac$

Trong thực tế, một bộ biến đổi công suất có thể bao gồm nhiều bộ biến đổi cơ bản và các phần tử trữ năng lượng (tụ điện, cuộn cảm).

Chiều truyền công suất của bộ biến đổi có thể là một chiều (nguồn  $\rightarrow$  tải hoặc tải  $\rightarrow$  nguồn) hoặc hai chiều.

19

## Phân loại bộ biến đổi công suất



## Phân loại bộ biến đổi công suất

Phân loại theo tần số hoạt động:

1. Bộ biến đổi tần số lưới (chuyển mạch tự nhiên – naturally commutated converters): ngõ vào hoặc ngõ ra của bộ biến đổi loại này được cung cấp từ lưới, và các khoá bán dẫn được tắt nhờ cực tính của điện áp lưới thay đổi (ví dụ: chỉnh lưu có điều khiển, bộ biến đổi điện áp xoay chiều...). Tần số đóng ngắt của linh kiện phụ thuộc vào tần số lưới (50 hoặc 60Hz).
2. Bộ biến đổi chuyển mạch cưỡng bức (force-commutated converters): tần số đóng ngắt của các khoá bán dẫn không phụ thuộc và cao hơn nhiều so với tần số lưới.
3. Bộ biến đổi cộng hưởng hoặc tựa cộng hưởng (resonant or quasi-resonant converters): các khoá bán dẫn *đóng* và/hoặc *ngắt* tại *điện áp* và/hoặc *dòng điện bằng zero*.

21

## Các khái niệm cơ bản

**Giá trị trung bình** của đại lượng  $i$ :

$$I_{AV} = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} i(t) dt$$

Hoặc:

$$I_{AV} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i(t) d(\omega t)$$

**Giá trị hiệu dụng** của đại lượng  $i$ :

$$I = I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} i^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i^2(t) d(\omega t)}$$

$T_p$  : **chu kỳ** của đại lượng  $i$

22

## Các khái niệm cơ bản

Công suất tức thời:

$$p(t) = v(t).i(t)$$

Công suất trung bình:

$$P_{AV} = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} p(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} p(t) d(\omega t)$$

Tụ điện và cuộn kháng là các phần tử **không tiêu hao công suất**.

Tải L:  $P_{AV}=0$

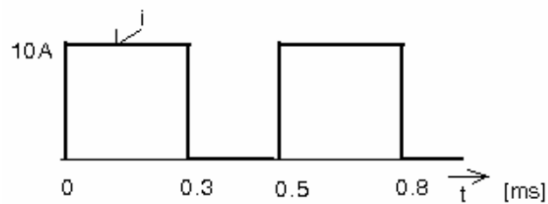
Tải C:  $P_{AV}=0$

23

## Ví dụ tính toán

**Ví dụ 0.1:**

Xét quá trình dòng điện trên hình sau:



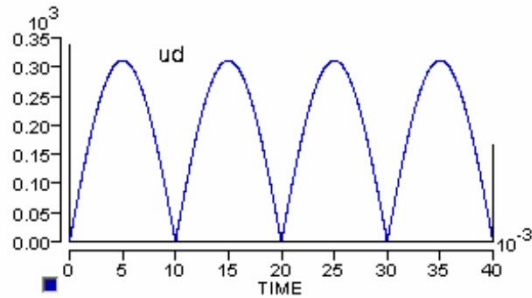
Trị trung bình dòng điện cho bởi hệ thức:

$$I_d = \frac{1}{0.5} \int_0^{0.5} i(t) dt = \frac{1}{0.5} \int_0^{0.3} 10 dt = 6[A]$$

24

### Ví dụ tính toán

**Ví dụ 0.2:** Tính trị trung bình điện áp chỉnh lưu của bộ chỉnh lưu cầu 1 pha không điều khiển. Hàm điện áp chỉnh lưu có dạng  $u = U_m |\sin(\omega.t)|$ ; với  $U_m = 220\sqrt{2}$  [V];  $\omega = 314$  [rad/s].



25

### Ví dụ tính toán

**Giải:**

Chu kỳ của dạng áp trên là  $T_p = 0.01\text{s} = 10\text{ms}$  (tần số: 100Hz)

Đặt  $X = 314.t$ ;

$X_p = 314.0.01 = \pi$  [rad].

Ta có:

$$U_d = \frac{1}{X_p} \int_{X_0}^{X_0+X_p} u(X) dX = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} 220\sqrt{2} \sin X \cdot dX = 198[V]$$

26

### Ví dụ tính toán

#### **Ví dụ 0-4**

Cho một điện áp dạng  $u = U_m \cdot \sin(314.t) = 220\sqrt{2} \cdot \sin(314.t)[V]$ .

a. Tính trị hiệu dụng của điện áp trên ?

Cho hàm  $u_1$  và  $u_2$  với tính chất sau:

$$u_1 = \begin{cases} u & ; u \geq 0 \\ 0 & ; u < 0 \end{cases}; \quad u_2 = \begin{cases} u & ; u \geq 0 \\ -u & ; u < 0 \end{cases}$$

b. Xác định trị trung bình và hiệu dụng của các điện áp  $u_1$  và  $u_2$  nêu trên.

27

### Ví dụ tính toán

Giải:

a.

Chu kỳ của điện áp  $u$  là  $2\pi$  [rad]. Trị hiệu dụng điện áp cho bởi hệ thức:

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T_p} \cdot \int_{t_0}^{t_0+T_p} u^2 \cdot dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} (U_m \cdot \sin X)^2 \cdot dX}$$

Lấy tích phân ta thu được kết quả:

$$U_{RMS} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 220[V]$$

28

### Ví dụ tính toán

$$\text{b. } U_{1AV} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} U_m \cdot \sin x \cdot dx = \frac{U_m}{\pi} = \frac{220\sqrt{2}}{\pi} = 99V$$

$$U_{2AV} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} U_m \cdot \sin x \cdot dx = \frac{U_m}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} 220 = 198V$$

$$U_{1rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (U_m \cdot \sin x)^2 \cdot dx} = U \cdot \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \left( \frac{1 - \cos 2x}{2} \right) \cdot dx}$$

$$= U \cdot \sqrt{\frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2}x - \frac{\sin 2x}{4} \right) \Big|_0^{\pi}}$$

$$U_{1rms} = U \cdot \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \frac{\pi}{2}} = \frac{220}{\sqrt{2}} = 155,56V$$

$$U_{2rms} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} (U_m \cdot \sin x)^2 \cdot dx} = U \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \left( \frac{1 - \cos 2x}{2} \right) \cdot dx}$$

$$= U \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi} \left( \frac{1}{2}x - \frac{\sin 2x}{4} \right) \Big|_0^{\pi}}$$

$$U_{2rms} = U \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi} \cdot \frac{\pi}{2}} = U = 220V$$

29

### Ví dụ tính toán

#### Ví dụ 0-5

Cho hàm tuần hoàn biểu diễn điện áp tải  $u$  trong một chu kỳ  $T$  như sau:

$$u = \begin{cases} U_m & ; \quad 0 \leq t < \gamma \cdot T \\ 0 & ; \quad \gamma \cdot T \leq t \leq T \end{cases} ; \quad 0 \leq \gamma \leq 1$$

Vẽ dạng sóng điện áp  $u$  và xác định trị hiệu dụng điện áp tải.

#### **Giải:**

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) \cdot dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \left( \int_0^{\gamma T} U_m^2 \cdot dt + \int_{\gamma T}^T 0^2 \cdot dt \right)} = U_m \cdot \sqrt{\gamma}$$

30

## Một số trường hợp thường gặp

### Tải R:

Quan hệ giữa điện áp và dòng điện tức thời qua R cho bởi:

$$u_R = R \cdot i_R$$

Lấy trị trung bình hai vế ta có:

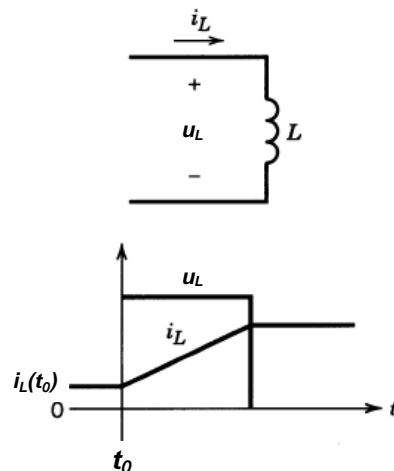
$$U_{RAV} = R \cdot I_{RAV}$$

31

## Một số trường hợp thường gặp

### Tải L:

Lưu ý: dòng qua L luôn liên tục



32



## Một số trường hợp thường gặp

### Tải L:

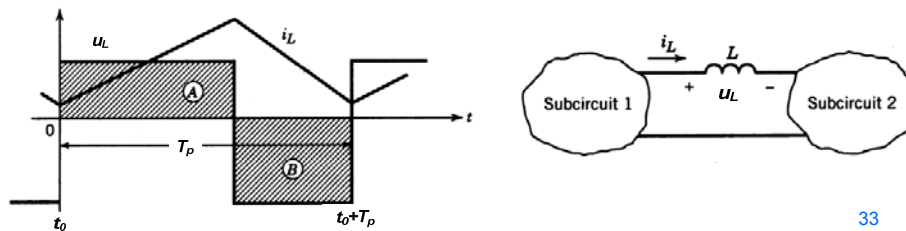
Ta có:  $u_L = L \cdot \frac{di_L}{dt}$

Ở chế độ xác lập  $i_L(t_0) = i_L(t_0 + T_p)$ .

Trị trung bình điện áp trên L được xác định bằng cách lấy tích phân hai vế biểu thức trên trong một chu kỳ, kết quả:  $U_{LAV} = 0 \rightarrow$  **Điện áp trung bình trên điện cảm L = 0**

Lưu ý là tích phân theo thời gian của điện áp trên L chính là từ thông trong cuộn dây này.

Do đó, ý nghĩa vật lý của việc điện áp trung bình trên L bằng zero là: ở trạng thái xác lập **tổng độ biến thiên từ thông của cuộn dây L trong một chu kỳ bằng zero** (trên hình: diện tích A = diện tích B).

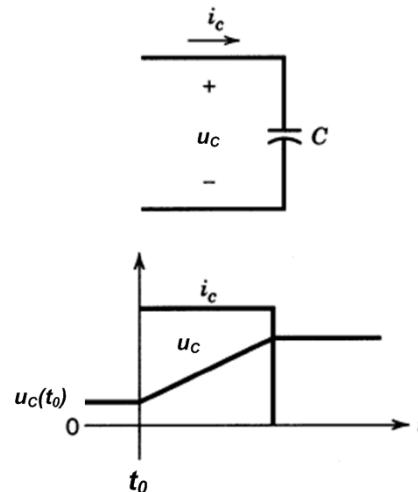


33

## Một số trường hợp thường gặp

### Tải C:

Lưu ý: Áp qua C luôn liên tục



34

## Một số trường hợp thường gặp

### Tải C:

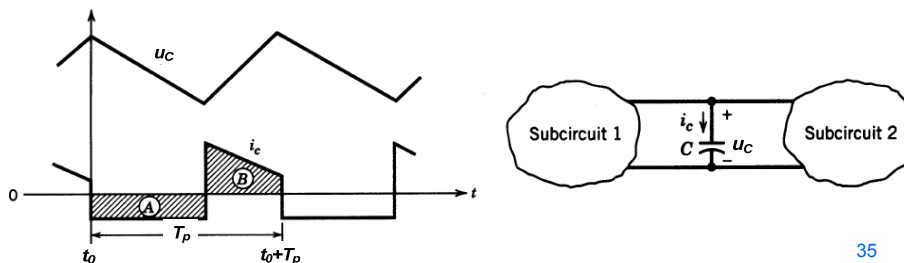
Ta có:  $i_C = C \frac{du_C}{dt}$

Ở chế độ xác lập  $u_C(t_0) = u_C(t_0 + T_p)$ .

Trị trung bình dòng điện qua C được xác định bằng cách lấy tích phân hai vế biểu thức trên trong một chu kỳ, kết quả:  $I_{CAV} = 0 \rightarrow$  **Dòng trung bình qua tụ C = 0**

Lưu ý là tích phân theo thời gian của dòng điện qua C chính là điện tích trên tụ.

Do đó, ý nghĩa vật lý của việc dòng trung bình qua tụ C bằng zero là: ở trạng thái xác lập **tổng độ biến thiên điện tích trên tụ C trong một chu kỳ bằng zero** (trên hình: diện tích A = diện tích B).



35

## Một số trường hợp thường gặp

### Tải RL:

Tương tự, ta có:

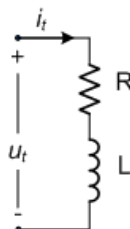
$$u_t = R \cdot i_t + L \cdot \frac{di_t}{dt}$$

Trị trung bình áp:

$$U_{tAV} = R \cdot I_{tAV} + U_{LAV} = R \cdot I_{tAV}$$

$$\text{Từ đó: } I_{tAV} = U_{tAV} / R$$

**Trị trung bình dòng qua tải RL chỉ phụ thuộc vào R và giá trị trung bình của điện áp  $u_t$ .**



36

## Một số trường hợp thường gặp

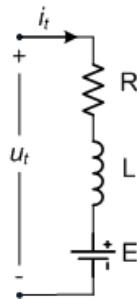
### Tải RLE:

$$u_t = R.i_t + L.\frac{di_t}{dt} + E$$

Với E là sức điện động không đổi:  $E = \text{const.}$

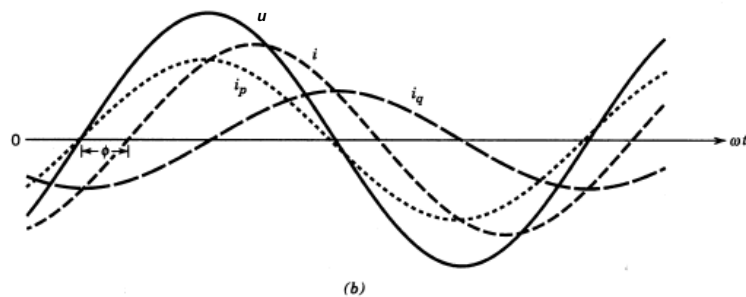
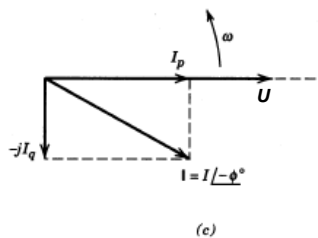
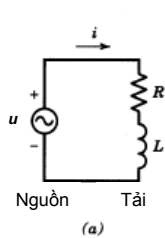
Kết quả:  $U_{tAV} = R.I_{tAV} + E$  hay  $I_{tAV} = (U_{tAV} - E)/R$

Trị trung bình dòng qua tải RLE chỉ phụ thuộc vào R, E và giá trị trung bình của điện áp  $u_t$ .



37

## Mạch một pha với dòng, áp dạng sin



Mạch một pha với dòng, áp dạng sin và ở chế độ xác lập

38

## Mạch một pha với dòng, áp dạng sin

Dòng áp 1 pha dạng sin:

$$u = \sqrt{2}U \cos \omega t$$

$$i = \sqrt{2}I \cos \omega t$$

$$\mathbf{U} = Ue^{j0}$$

$$\mathbf{I} = Ie^{-j\Phi}$$

Công suất phức (complex power):

$$\mathbf{S} = \mathbf{UI}^* = UIe^{j\Phi} = Se^{j\Phi} = P + jQ$$

Công suất biểu kiến (apparent power):

$$S = UI$$

Công suất thực:

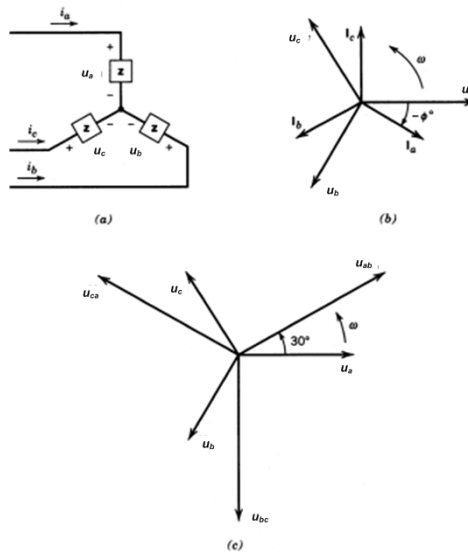
$$P = \operatorname{Re}[\mathbf{S}] = UI \cos \Phi$$

Công suất phản kháng (reactive power):

$$Q = \operatorname{Im}[\mathbf{S}] = UI \sin \Phi$$

39

## Mạch ba pha cân bằng (dòng, áp dạng sin)



Mạch 3 pha với dòng, áp dạng sin và ở chế độ xác lập

40

### Mạch ba pha cân bằng (dòng, áp dạng sin)

Thứ tự pha: a-b-c:

$$\mathbf{I}_a = \frac{\mathbf{U}_a}{\mathbf{Z}} = \frac{Ue^{j0}}{Ze^{j\Phi}} = \frac{U}{Z}e^{-j\Phi} = Ie^{-j\Phi}$$

$$\mathbf{I}_b = \mathbf{I}_a e^{-j2\pi/3} = Ie^{-j(\Phi+2\pi/3)}$$

$$\mathbf{I}_c = \mathbf{I}_a e^{j2\pi/3} = Ie^{-j(\Phi-2\pi/3)}$$

Liên hệ giữa điện áp pha và điện áp dây:

$$U_{LL} = \sqrt{3}U$$

41

### Mạch ba pha cân bằng (dòng, áp dạng sin)

Công suất trên 1 pha:

$$S_{phase} = UI \quad \text{và} \quad P_{phase} = UI \cos \Phi$$

Với mạch 3 pha cân bằng, công suất tổng trên 3 pha tính bởi:

$$S_{3-phase} = 3S_{phase} = 3UI = \sqrt{3}U_{LL}I$$

$$P_{3-phase} = 3P_{phase} = 3UI \cos \Phi = \sqrt{3}U_{LL}I \cos \Phi$$

42

## Hệ số công suất

Hệ số công suất  $\lambda$  hoặc PF (Power Factor) đối với một tải được định nghĩa bằng tỉ số giữa công suất tiêu thụ  $P$  và công suất biểu kiến  $S$  mà nguồn cấp cho tải đó.

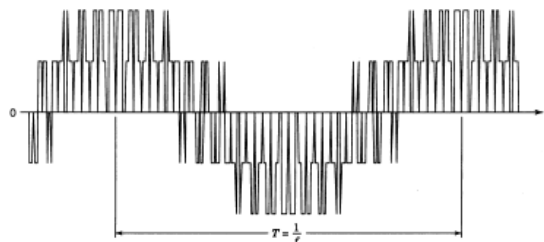
$$\lambda = PF = \frac{P}{S}$$

Trong trường hợp dòng, áp tải có dạng sin:  $PF = \frac{P}{S} = \frac{P}{UI} = \cos \Phi$

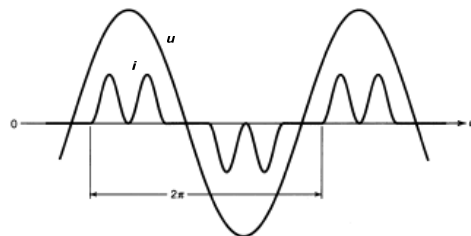
43

## Chế độ xác lập với dòng, áp không sin

Ví dụ: Dạng sóng điện áp ngõ ra và dạng sóng dòng-áp ngõ vào của một bộ biến tần 3-pha kiểu điều rộng xung (PWM) điển hình.



a. Điện áp (pha) ngõ ra của bộ biến tần

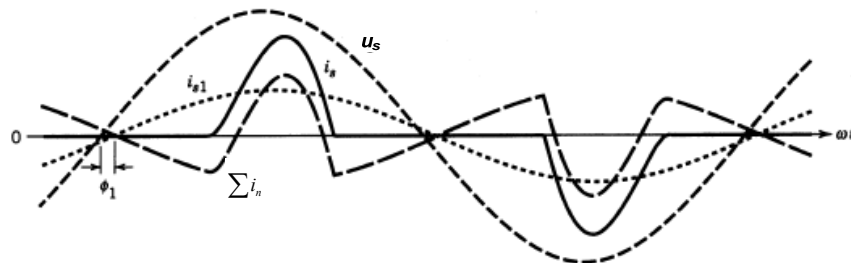


b. Điện áp và dòng ngõ vào của bộ biến tần

Dạng sóng điển hình của một bộ biến tần 3 pha

44

### Chế độ xác lập với dòng, áp không sin



Dòng và áp ngõ vào của bộ chỉnh lưu một pha có tụ lọc ở ngõ ra

45

### Phân tích Fourier

Dòng điện không sin  $i(t)$  có thể triển khai thành các thành phần hình sin theo phân tích Fourier:

$$i = I_{AV} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \sin(n.X) + B_n \cdot \cos(n.X)$$

$$\text{với } I_{AV} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i.dX, \quad X = \omega t$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i \cdot \sin(n.X).dX; \quad B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i \cdot \cos(n.X).dX$$

Biên độ sóng hài bậc  $n$  của đại lượng  $i$  được xác định theo hệ thức:

$$I_{(n)m} = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$$

46

### Phân tích Fourier

Sử dụng hệ thức biên độ vừa tìm được, đại lượng  $i$  có thể viết lại dưới dạng:

$$i = I_{AV} + \sum_{n=1}^{\infty} I_{(n)m} \cdot \sin(n.X - \varphi_n)$$

với  $\varphi_n$  xác định theo hàm:  $\varphi_n = \arctan \frac{B_n}{A_n}$

Trị trung bình đại lượng  $i$  chính là hệ thức  $I_{AV}$

Trị hiệu dụng đại lượng  $i$  cho bởi hệ thức:

$$I_{rms} = \sqrt{I_{AV}^2 + \sum_{n=1}^{\infty} I_{(n)}^2} = \sqrt{I_{AV}^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{I_{(n)m}^2}{2}}$$

47

### Phân tích Fourier

Gọi  $u$ ,  $i$  và  $p$  là điện áp, dòng điện và công suất với  $u, i$  có dạng tuần hoàn không sin.

Ta có:

$$u = U_{AV} + \sum_{n=1}^{\infty} U_{(n)m} \cdot \sin(n.X - \varphi_{n-U})$$

$$i = I_{AV} + \sum_{n=1}^{\infty} I_{(n)m} \cdot \sin(n.X - \varphi_{n-I})$$

Công suất trung bình:

$$P = U_{AV} \cdot I_{AV} + \sum_{n=1}^{\infty} U_{(n)} \cdot I_{(n)} \cdot \cos(\varphi_{n-U} - \varphi_{n-I})$$

$$P = U_{AV} \cdot I_{AV} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{U_{(n)m} \cdot I_{(n)m}}{2} \cdot \cos(\varphi_{n-U} - \varphi_{n-I})$$

48



### Phân tích Fourier

Với tải RL, quan hệ giữa điện áp hài  $U_{(n)}$  và dòng điện hài  $I_{(n)}$  :

$$I_{(n)m} = \frac{U_{(n)m}}{Z_{(n)}} = \frac{U_{(n)m}}{\sqrt{R^2 + (n.\omega.L)^2}}$$

$$\text{hoặc: } I_{(n)} = \frac{U_{(n)}}{Z_{(n)}} = \frac{U_{(n)}}{\sqrt{R^2 + (n.\omega.L)^2}}$$

49

### Méo dạng do sóng hài

Dòng ngõ vào  $i_s(t)$  qua phân tích Fourier:

$$i_s(t) = i_1 + \sum_{n \neq 1}^{\infty} i_n$$

Hệ số méo dạng (distortion factor - DF):

$$DF = \frac{I_1}{I}$$

Độ méo dạng tổng do hài (Total harmonic distortion – THD):

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n \neq 1}^{\infty} I_n^2}}{I_1}$$

50

### Méo dạng do sóng hài

Ta có:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{j=2}^{\infty} I_{(j)}^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{I^2 - I_1^2}}{I_1}$$

Trong đó,  $I_{(j)}$  là trị hiệu dụng sóng hài bậc  $j$ ,  $j \geq 2$  và  $I_1$  là trị hiệu dụng thành phần hài cơ bản dòng điện.

Quan hệ giữa DF và THD:

$$DF = \sqrt{\frac{1}{1 + (THD)^2}}$$

51

### Méo dạng do sóng hài

Các bộ biến đổi công suất là những thiết bị có tính phi tuyến.

Giả sử **nguồn điện áp cung cấp có dạng sin** và **dòng điện qua nó có dạng tuần hoàn không sin**.

Dựa vào phân tích Fourier áp dụng cho dòng điện  $i$ , ta có thể tách dòng điện thành các thành phần sóng hài cơ bản  $I_{(1)}$  cùng tần số với nguồn áp và các sóng hài bậc cao  $I_{(2)}$ ,  $I_{(3)}$ , ...

**Sóng điện áp nguồn và sóng hài cơ bản của dòng điện tạo nên công suất tiêu thụ của tải:**

$$P = P_1 = m \cdot U \cdot I_{(1)} \cdot \cos \varphi_1$$

$\varphi_1$ : góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện sóng hài cơ bản.

**Các sóng hài còn lại (bậc cao) tạo nên công suất ảo.**

52

### Méo dạng do sóng hài

Ta có:

$$S^2 = (m.U.I)^2 = m^2.U^2.(I_{(1)}^2 + I_{(2)}^2 + I_{(3)}^2 + \dots)$$

$$S^2 = m^2.U^2.I_{(1)}^2 + m^2.U^2.\sum_{j=2}^{\infty} I_{(j)}^2$$

$$= m^2.U^2.I_{(1)}^2.\cos^2 \varphi_1 + m^2.U^2.I_{(1)}^2.\sin^2 \varphi_1 + m^2.U^2.\sum_{j=2}^{\infty} I_{(j)}^2$$

$$S^2 = P^2 + Q_1^2 + D^2$$

53

### Méo dạng do sóng hài

$$S^2 = P^2 + Q_1^2 + D^2$$

Với :

$P=m.U.I_{(1)}.\cos \varphi_1$  : công suất tiêu thụ của tải

$Q_1=m.U.I_{(1)}.\sin \varphi_1$  : công suất phản kháng (công suất ảo do sóng hài cơ bản của dòng điện tạo nên)

$D = \sqrt{m^2.U^2.\sum_{j=2}^{\infty} I_{(j)}^2}$  : công suất biến dạng (công suất ảo do các sóng hài bậc cao của dòng điện tạo nên).

Khái niệm biến dạng (deformative) xuất hiện từ ý nghĩa tác dụng gây ra biến dạng điện áp nguồn của các thành phần dòng điện này vì khi đi vào lưới điện chúng tạo nên sụt áp tổng không sin trên trở kháng trong của nguồn, từ đó sóng điện áp thực tế cấp cho tải bị méo dạng.

54

## Méo dạng do sóng hài

Từ đó, ta rút ra biểu thức tính hệ số công suất theo các thành phần công suất như sau:

$$\lambda = PF = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2 + D^2}}$$

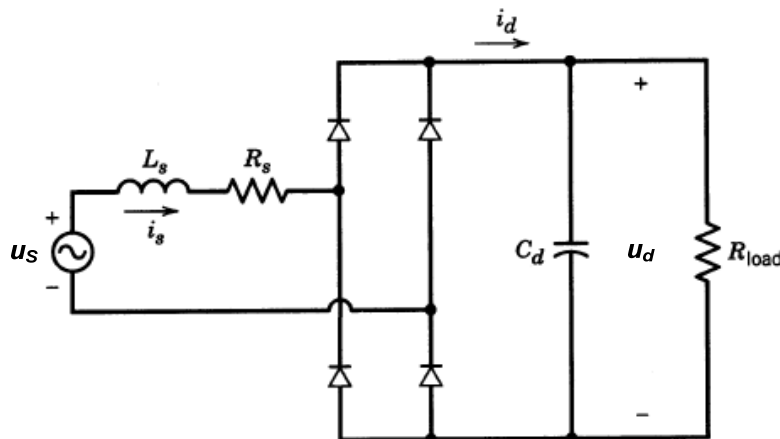
**Muốn tăng hệ số công suất và giảm méo dạng, ta có thể:**

- Giảm  $Q_1$  - công suất ảo của sóng hài cơ bản, tức *thực hiện bù công suất phản kháng*. Các biện pháp thực hiện như bù bằng tụ điện, bù bằng máy điện đồng bộ kích từ dư hoặc dùng thiết bị hiện đại bù bán dẫn (SVC - Static Var Compensator);
- Giảm  $D$  - công suất ảo của các sóng hài bậc cao.

55

## Ví dụ: Ảnh hưởng của dòng nguồn không sin

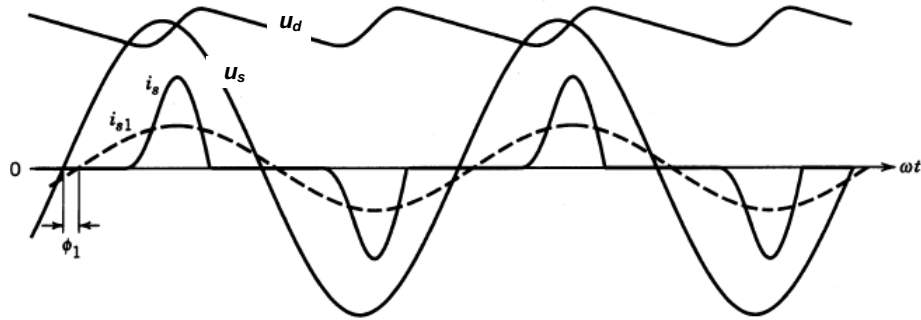
Xét mạch chỉnh lưu cầu diode 1 pha với tụ lọc ở ngõ ra



56

### Ví dụ: Ảnh hưởng của dòng nguồn không sin

Xét mạch chỉnh lưu cầu diode 1 pha với tụ lọc ở ngõ ra

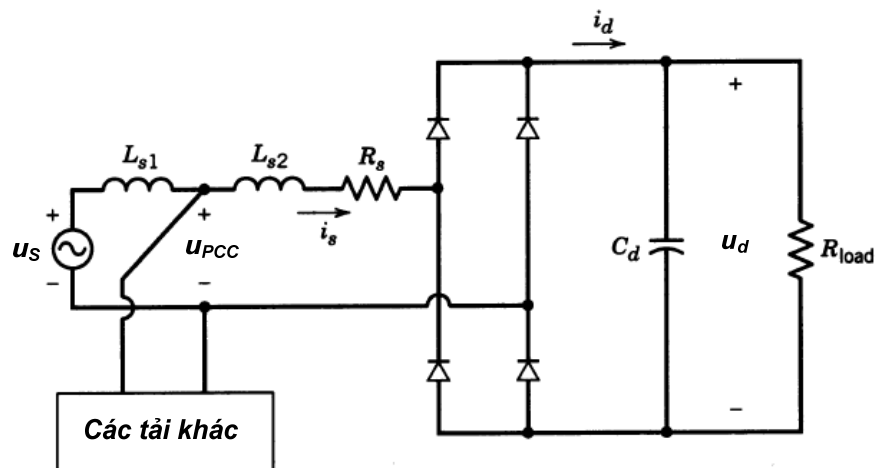


Dạng dòng ngõ vào  $i_s$  của cầu chỉnh lưu là không sin  $\rightarrow$  chứa nhiều sóng hài

57

### Ví dụ: Ảnh hưởng của dòng nguồn không sin

Xét mạch chỉnh lưu cầu diode 1 pha với tụ lọc ở ngõ ra

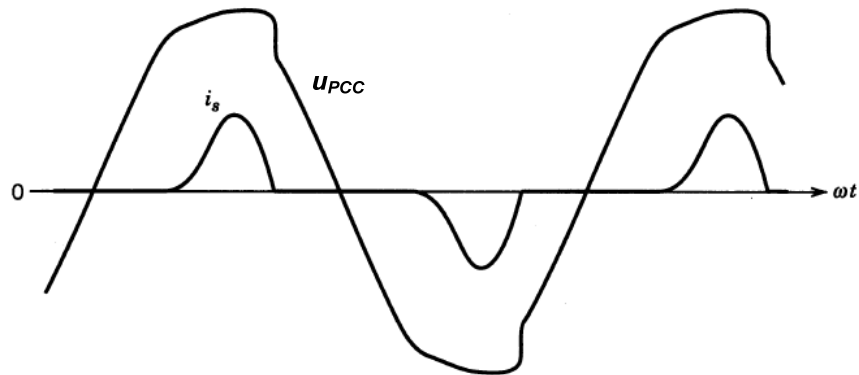


Xét trường hợp cầu chỉnh lưu được cấp nguồn chung với các tải khác và điện kháng nguồn cung cấp  $L_{s1}$  là đáng kể

58

### Ví dụ: Ảnh hưởng của dòng nguồn không sin

Xét mạch chỉnh lưu cầu diode 1 pha với tụ lọc ở ngõ ra



Thành phần hài trong dòng  $i_s$  gây ra sụt áp do sóng hài trên  $L_{s1}$ , có thể làm méo dạng áp  $u_{PCC}$  tại điểm nối chung với các tải khác

59

### Các công thức thường dùng

$$\sin(A \pm B) = \sin A \cos B \pm \cos A \sin B$$

$$\cos(A \pm B) = \cos A \cos B \mp \sin A \sin B$$

$$\sin 2A = 2 \sin A \cos A$$

$$\cos 2A = 1 - 2 \sin^2 A = 2 \cos^2 A - 1$$

$$\sin A + \sin B = 2 \sin \frac{A+B}{2} \cos \frac{A-B}{2}$$

$$\sin A - \sin B = 2 \cos \frac{A+B}{2} \sin \frac{A-B}{2}$$

$$\cos A + \cos B = 2 \cos \frac{A+B}{2} \cos \frac{A-B}{2}$$

$$\cos A - \cos B = 2 \sin \frac{A+B}{2} \sin \frac{B-A}{2}$$

$$\sin A \sin B = \frac{1}{2} [\cos(A-B) - \cos(A+B)]$$

$$\cos A \cos B = \frac{1}{2} [\cos(A-B) + \cos(A+B)]$$

$$\sin A \cos B = \frac{1}{2} [\sin(A-B) - \sin(A+B)]$$

$$\int \sin nx \, dx = -\frac{\cos nx}{n} \quad \int \cos nx \, dx = \frac{\sin nx}{n}$$

60