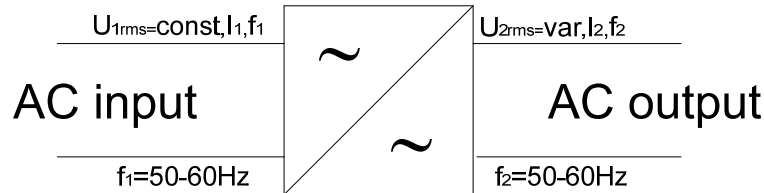


## CHƯƠNG 4

### BỘ BIẾN ĐỔI ĐIỆN ÁP XOAY CHIỀU

#### I. Tổng quát

1. **Chức năng:** biến đổi điện áp xoay chiều có trị hiệu dụng không đổi thành điện áp xoay chiều có trị hiệu dụng thay đổi được.



- Nguồn ngõ vào là điện áp hình sin có trị hiệu dụng và tần số không đổi  $U_1 = \text{const}$ ,  $f_1 = \text{const}$ ; Tạo ra điện áp ngõ ra cùng tần số và có trị hiệu dụng thay đổi được  $U_2 = \text{var}$ ,  $f_1 = f_2 = \text{const}$

#### 2. Ứng dụng

- Cho các thiết bị nhiệt điện (lò điện, thiết bị tiêu thụ nhiệt điện)
- Đóng ngắt điện và điều khiển độ sáng (đèn quảng cáo)
- Điều khiển động cơ không đồng bộ công suất nhỏ và trung bình (máy bơm)
- Hệ thống bù nhuyến công suất phản kháng

#### 3. Phân loại:

##### a. Theo số pha

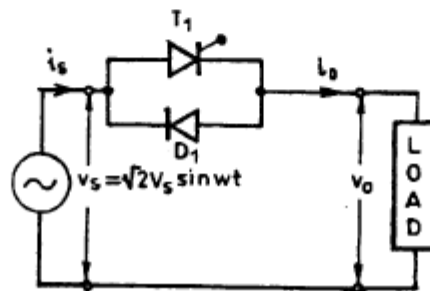
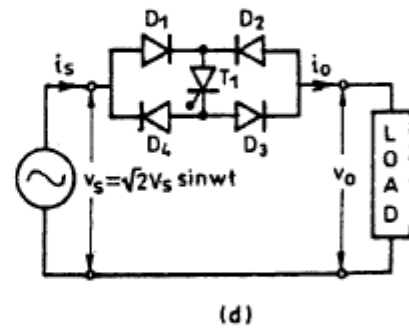
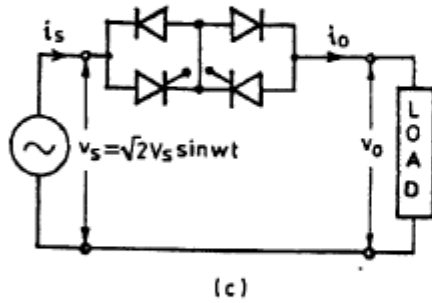
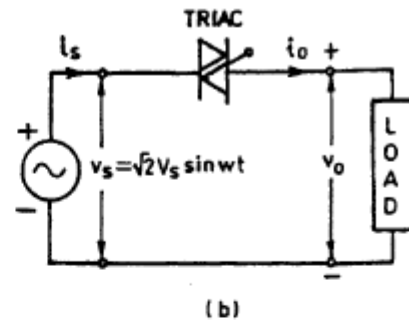
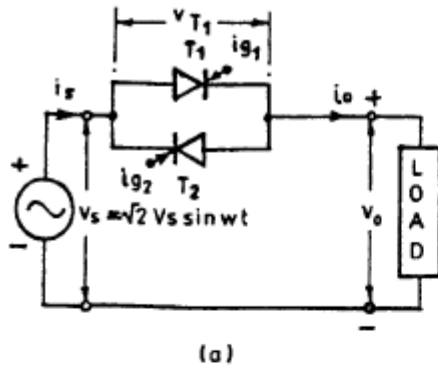
- 1 pha
- 3 pha

##### b. Theo dạng mạch

- dạng đầy đủ (đối xứng)
- dạng tiết kiệm (không đối xứng)

##### c. Theo nguyên tắc điều khiển bộ biến đổi

- Điều khiển hoàn toàn.
- Điều khiển bán phần.



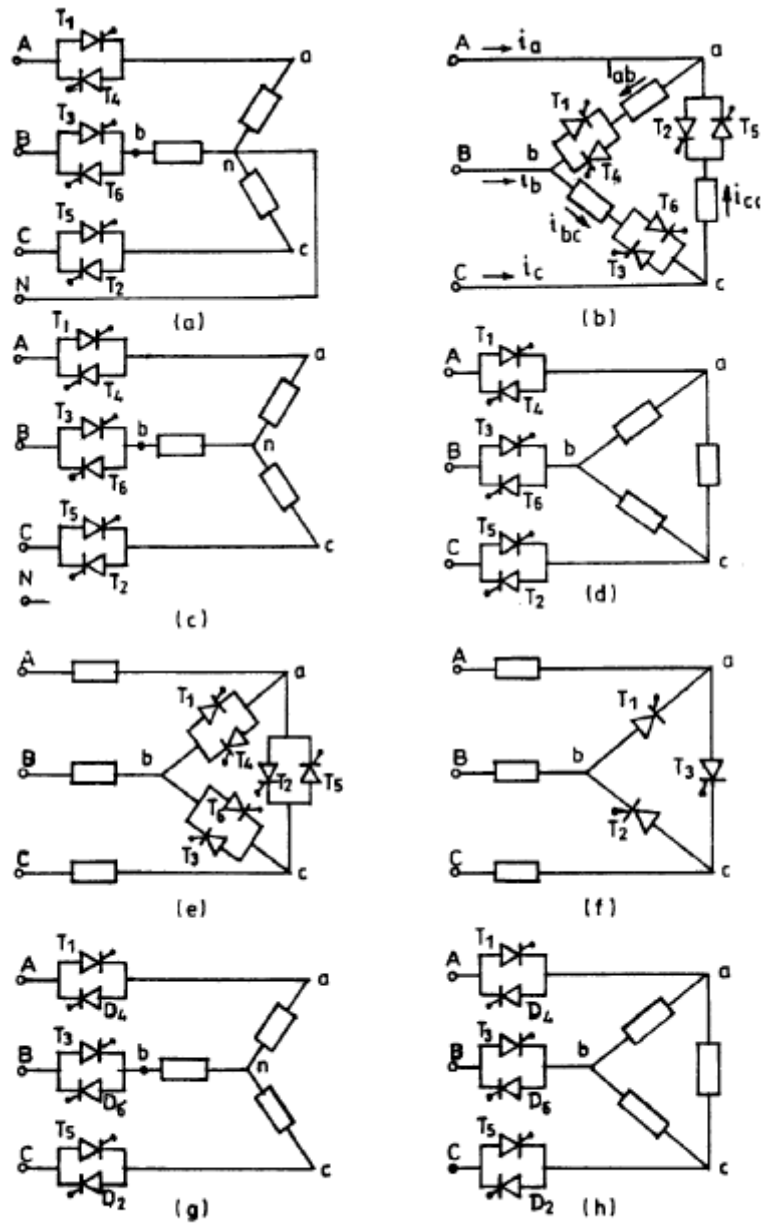
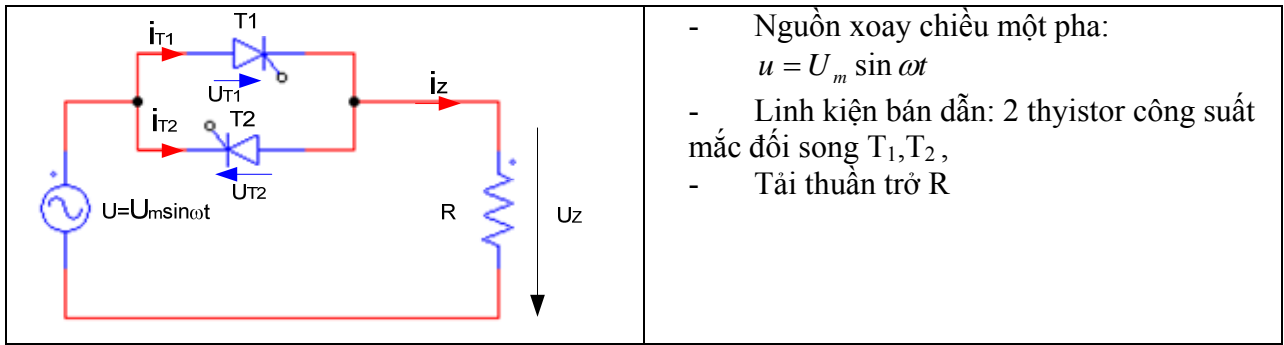


FIGURE 16.11 Three-phase ac voltage-controller circuit configurations.

## II. BỘ BIẾN ĐỔI ĐIỆN ÁP XOAY CHIỀU MỘT PHA TẢI R

### 1. Sơ đồ.



- Nguồn xoay chiều một pha:  
 $u = U_m \sin \omega t$
- Linh kiện bán dẫn: 2 thyristor công suất mắc đối song  $T_1, T_2$ ,
- Tải thuần trở  $R$

### 2. Ký hiệu:

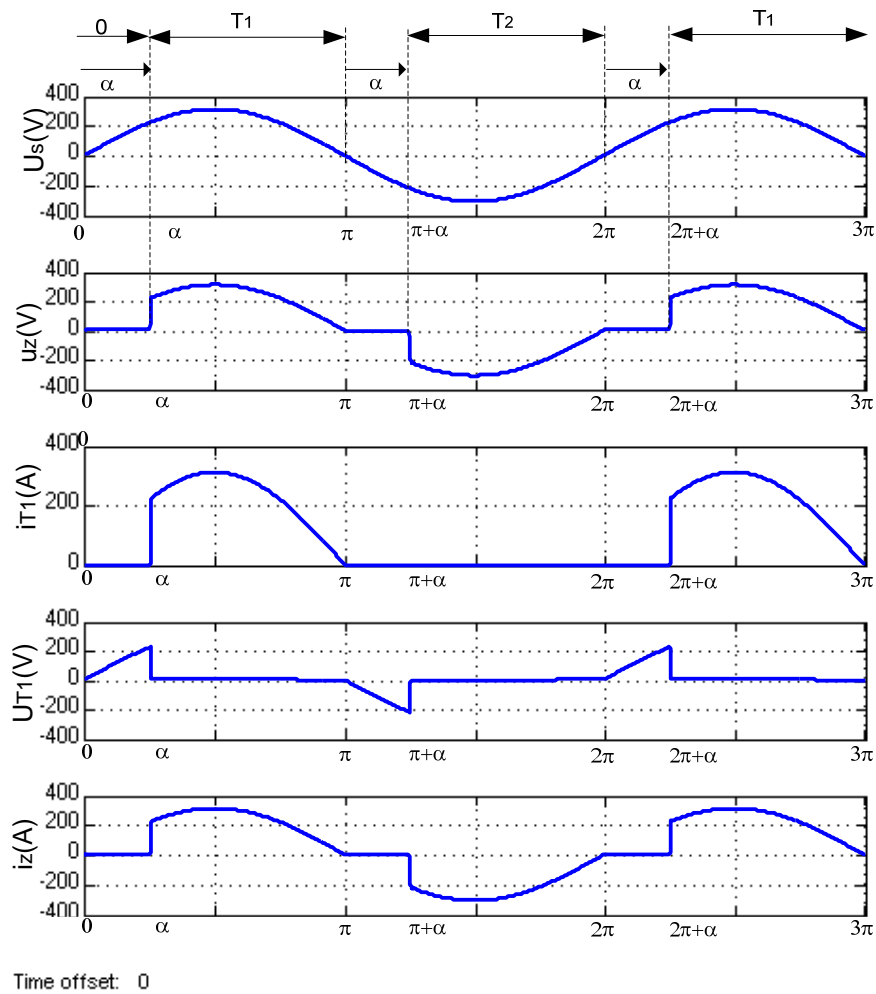
- Dòng tức thời qua linh kiện SCR công suất  $i_{T1}, i_{T2}$
- Điện áp trên linh kiện SCR công suất  $u_{T1}, u_{T2}$
- Điện áp và dòng điện tải  $u_z, i_z$
- Trị hiệu dụng điện áp, dòng điện tải  $U_z, I_z$
- Trị hiệu dụng áp pha nguồn  $U$
- Trị hiệu dụng dòng điện nguồn  $I_1$
- Biên độ điện áp pha nguồn  $U_m$

### 3. Giả thiết:

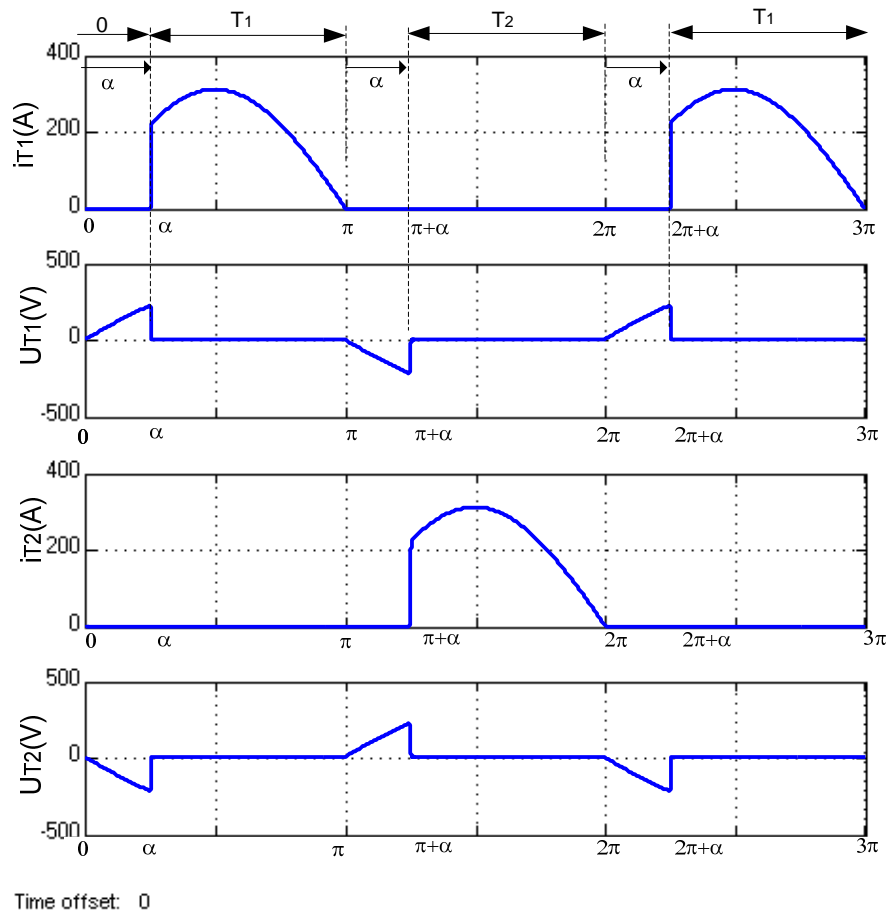
- Nguồn áp lý tưởng: nguồn xoay chiều một pha lý tưởng, điện trở trong của nguồn bằng không.
- Các linh kiện bán dẫn lý tưởng: điện áp trên linh kiện khi dẫn bằng 0.
- Mạch ở trạng thái xác lập.

### 4. Phân tích.

Trạng thái 0 $[0 \div \alpha]: I_{G1} = 0$	Trạng thái T1 $[\alpha \div \pi] I_{G1} > 0;$
$u_{T1} = u = U_m \sin \omega t > 0; i_{T1} = 0$	$u_{T1} = 0; i_{T1} = i_z$
$u_{T2} = -u_{T1} = -U_m \sin \omega t < 0; i_{T2} = 0$	$u_{T2} = 0; i_{T2} = 0$
$u_z = 0; i_z = 0$	$u_z = u = U_m \sin \omega t; i_z = \frac{u_z}{R}$
Trạng thái 0 $[\pi \div \pi + \alpha]: I_{G2} = 0$	Trạng thái T2 $[\pi + \alpha \div 2\pi]$
$u_{T1} = u = U_m \sin \omega t < 0; i_{T1} = 0$	$u_{T1} = 0; i_{T1} = 0$
$u_{T2} = -u_{T1} = -U_m \sin \omega t > 0; i_{T2} = 0$	$u_{T2} = 0; i_{T2} = i_z$
$u_z = 0; i_z = 0$	$u_z = u = U_m \sin \omega t; i_z = \frac{u_z}{R}$



Hình 4.1 Giản đồ điện áp dòng điện tải và linh kiện



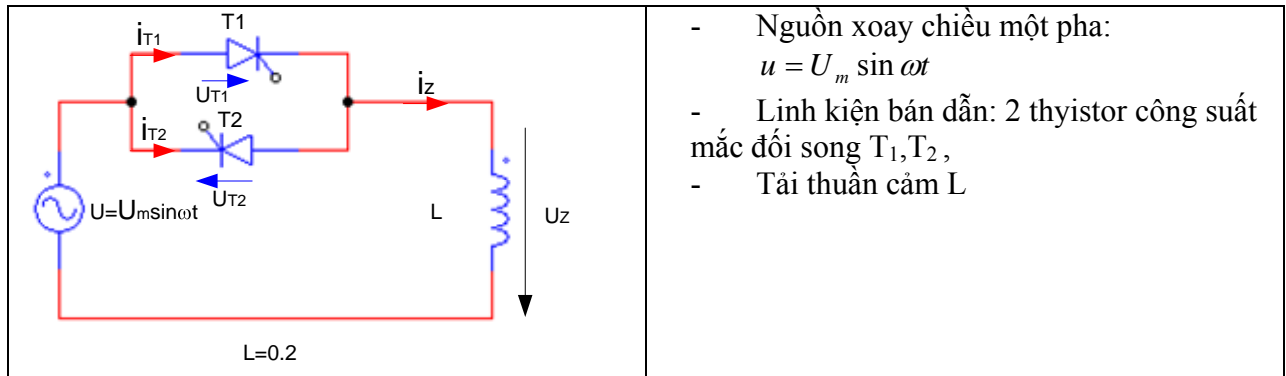
Hình 4.2 Giải đồ điện áp dòng điện qua linh kiện

## 5. Hệ quả

- Trị hiệu dụng điện áp tải :  $U_z = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_m^2 (\sin \omega t)^2 d\omega t} = U \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$   
 $U$ : trị hiệu dụng điện áp nguồn  
 $\alpha = 0; \Rightarrow u_z = u$
- Trị hiệu dụng dòng tải :  $I_z = \frac{U_z}{R}$
- Công suất tiêu thụ của tải:  $P_z = \frac{U_z^2}{R}$
- Hệ số công suất :  $\lambda = \frac{P_z}{S} = \frac{U_z \cdot I_z}{U \cdot I} = \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$
- Trị hiệu dụng điện áp trên SCR:  $I_{VAV} = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{\alpha}^{\pi} \frac{U_m}{R} \sin \omega t \cdot d\omega t = \frac{U_m}{2\pi R} (1 + \cos \alpha)$
- Trị trung bình dòng điện qua SCR:  $U_{VRMS} = \frac{U}{\sqrt{2}R} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} = \frac{I_z}{\sqrt{2}}$

## II. BỘ BIẾN ĐỔI ĐIỆN ÁP XOAY CHIỀU MỘT PHA TẢI THUẦN CẢM

### 1. Sơ đồ.



- Nguồn xoay chiều một pha:  
 $u = U_m \sin \omega t$
- Linh kiện bán dẫn: 2 thyristor công suất mắc đối song  $T_1, T_2$ ,
- Tải thuần cảm  $L$

### 2. Ký hiệu:

- Dòng tức thời qua linh kiện SCR công suất  $i_{T1}, i_{T2}$
- Điện áp trên linh kiện SCR công suất  $u_{T1}, u_{T2}$
- Điện áp và dòng điện tải  $u_z, i_z$
- Trị hiệu dụng điện áp, dòng điện tải  $U_z, I_z$
- Trị hiệu dụng áp pha nguồn  $U$
- Trị hiệu dụng dòng điện nguồn  $I_1$
- Biên độ điện áp pha nguồn  $U_m$

### 3. Giả thiết:

- Nguồn áp lý tưởng: nguồn xoay chiều một pha lý tưởng, điện trở trong của nguồn bằng không.
- Các linh kiện bán dẫn lý tưởng: điện áp trên linh kiện khi dẫn bằng 0.
- Mạch ở trạng thái xác lập.

### 4. Phân tích. Ta phân biệt hai trường hợp

- Khi  $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$  dòng tải liên tục  $u_z = u$ ; trị hiệu dụng điện áp ngõ ra không đổi và bằng trị hiệu dụng áp ngõ vào  $U_z = U$ : Bộ biến đổi điện áp hoạt động như công tắc ở trạng thái đóng
- Khi  $\frac{\pi}{2} \leq \alpha \leq \pi$  Dòng tải gián đoạn trị hiệu dụng  $U_z$  thay đổi  $0 \leq u_z \leq u$

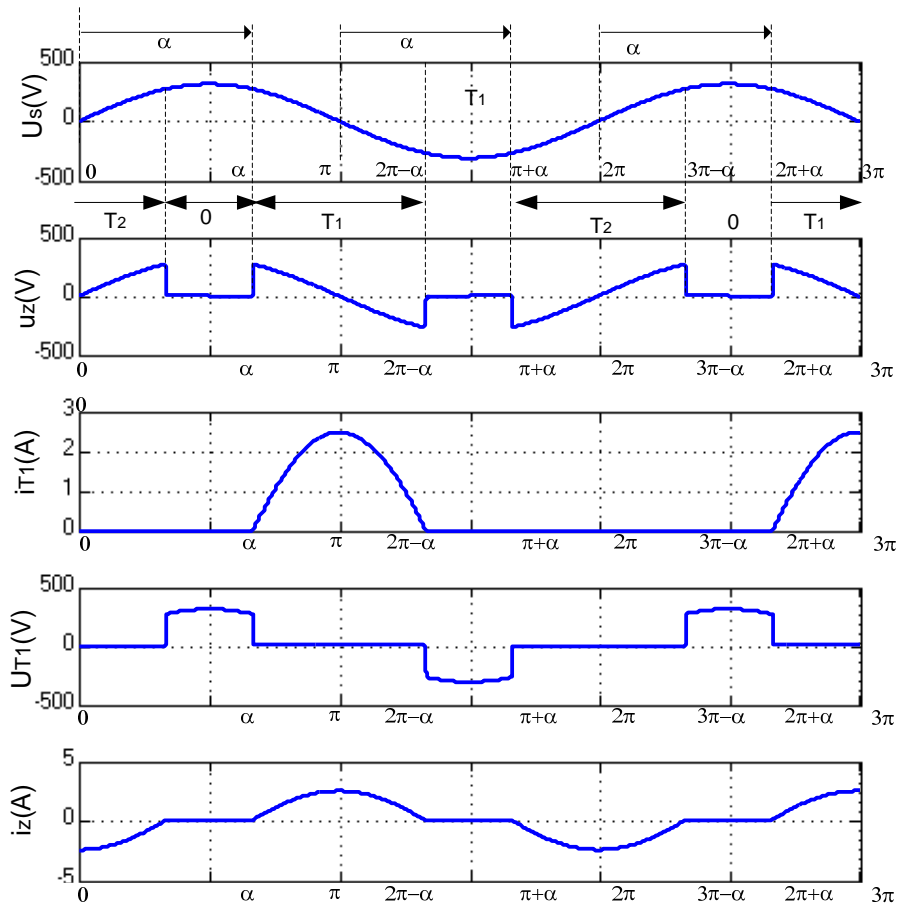
Trạng thái 0: $[0 \div \alpha]; I_{G1} = 0$	Trạng thái T1: $[\alpha \div 2\pi - \alpha]; I_{G1} > 0$
$u_{T1} = u = U_m \sin \omega t > 0; i_{T1} = 0$	$u_{T1} = 0; i_{T1} = i_z$
$u_{T2} = -u_{T1} = -U_m \sin \omega t < 0; i_{T2} = 0$	$u_{T2} = 0; i_{T2} = 0$
$u_z = 0; i_z = 0$	$u_z = u = U_m \sin \omega t; L \frac{di_z}{dt} = U_m \sin \omega t$ $i_z = \frac{U_m}{\omega L} \int_{\alpha}^{\omega t} \sin \omega t \cdot d\omega t = \frac{U_m}{\omega L} (\cos \alpha - \cos \omega t)$ - Khi $\omega t = \alpha$ dòng tải $i_z = i_{T1}$ tăng dần từ 0 đạt giá trị cực đại tại $\omega t = \pi$ sau đó giảm về 0 khi $\omega t = 2\pi - \alpha$
Trạng thái 0: $[2\pi - \alpha \div \pi + \alpha]; I_{G2} = 0$	Trạng thái T2: $[\pi + \alpha \div 3\pi - \alpha]; I_{G2} > 0$
$u_{T1} = u = U_m \sin \omega t < 0; i_{T1} = 0$	$u_{T1} = 0; i_{T1} = 0$
$u_{T2} = -u_{T1} = -U_m \sin \omega t > 0; i_{T2} = 0$	$u_{T2} = 0; i_{T2} = -i_z$

$$u_z = 0; i_z = 0$$

$$u_z = u = U_m \sin \omega t; L \frac{di_z}{dt} = U_m \sin \omega t$$

$$i_z = \frac{U_m}{\omega L} \int_{\pi+\alpha}^{\omega t} \sin \omega t d(\omega t) = \frac{U_m}{\omega L} [\cos(\alpha + \pi) - \cos \omega t]$$

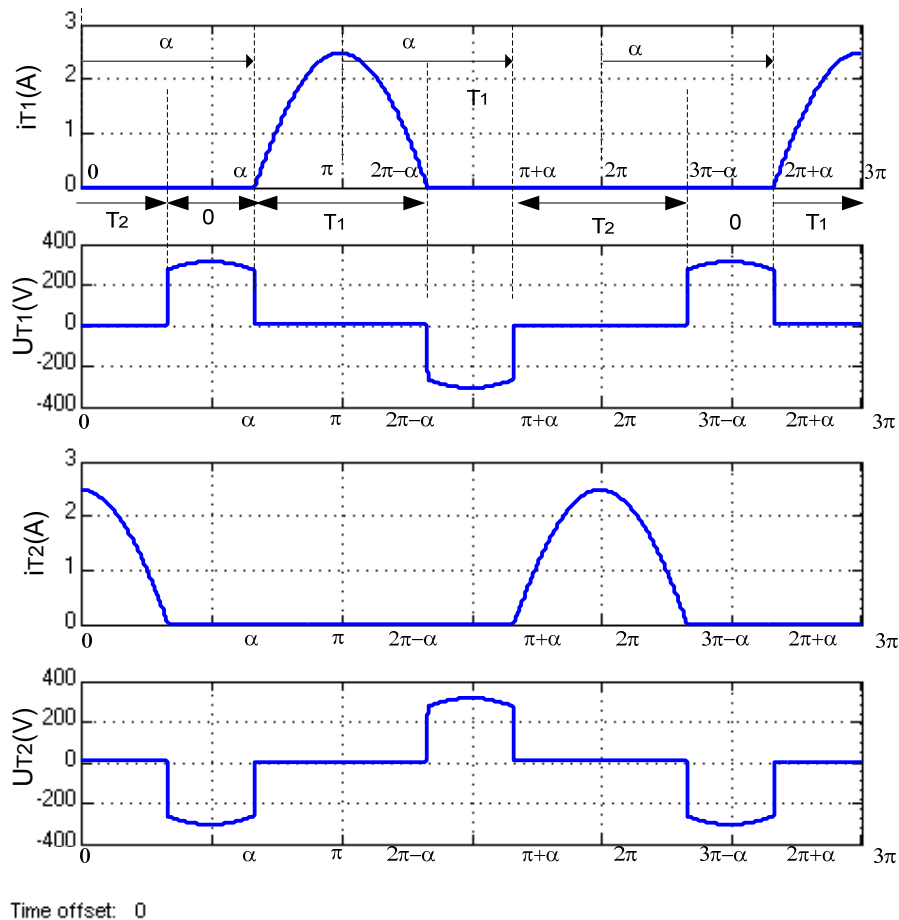
Khi  $\omega t = \pi + \alpha$  dòng tải  $i_z = i_{T2}$  tăng dần từ 0 đạt giá trị cực đại tại  $\omega t = 2\pi$  sau đó giảm về 0 khi  $\omega t = 3\pi - \alpha$



Time offset: 0

Hình 4.3 Giản đồ điện áp dòng điện tải và linh kiện





Hình 4.4 Giải đồ điện áp dòng điện qua linh kiện

## 5. Hệ quả

- Trường hợp  $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$

- dòng qua tải liên tục :  $u_z = u; U_z = U$  không đổi
- Mạch hoạt động như một khoá đóng

- Trường hợp  $\frac{\pi}{2} < \alpha \leq \pi$  dòng qua tải gián đoạn  $0 \leq U_z \leq U$

- Trị hiệu dụng áp tải :

$$U_z = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{2\pi-\alpha} (U_m \sin \omega t)^2 d\omega t} = U_m \sqrt{\left(1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}\right)} = U \sqrt{2 \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}\right)}$$

- Trị hiệu dụng dòng trên tải :

$$I_z = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{2\pi-\alpha} i_z^2 d\omega t} = \frac{U}{\omega L} \sqrt{2 \left(1 - \frac{\alpha}{\pi}\right) (1 + 2 \cos^2 \alpha) + \frac{3 \sin(2\alpha)}{\pi}}$$

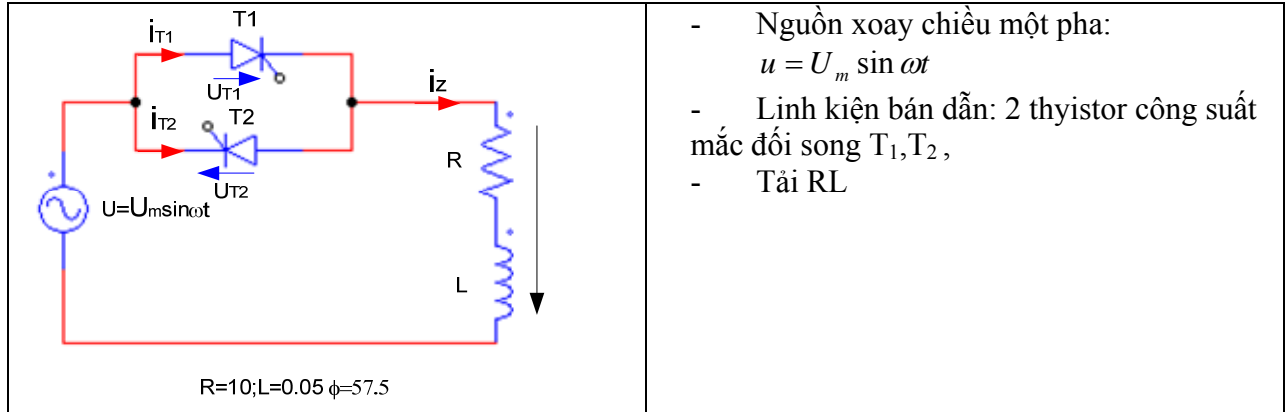
- Thành phần hài cơ bản :  $I_{L(1)m}(\alpha) = \frac{U_m}{\omega L} \left(2 - \frac{2}{\pi} \alpha + \frac{1}{\pi} \sin 2\alpha\right)$

- Mạch hoạt động như một tải L điều chỉnh với cảm kháng là hàm phụ thuộc góc kích:

$$X_L(\alpha) = \frac{V_m}{I_{L(1)m}(\alpha)} = \frac{\omega L}{2 - \frac{2}{\pi}\alpha + \frac{1}{\pi}\sin 2\alpha}$$

## II. BỘ BIẾN ĐỔI ĐIỆN ÁP XOAY CHIỀU MỘT PHA TẢI RL

### 1. Sơ đồ.



- Nguồn xoay chiều một pha:  
 $u = U_m \sin \omega t$
- Linh kiện bán dẫn: 2 thyristor công suất mắc đối song  $T_1, T_2$ ,
- Tải RL

### 2. Ký hiệu:

- Dòng tức thời qua linh kiện SCR công suất  $i_{T1}, i_{T2}$
- Điện áp trên linh kiện SCR công suất  $u_{T1}, u_{T2}$
- Điện áp và dòng điện tải  $u_z, i_z$
- Trị hiệu dụng điện áp, dòng điện tải  $U_z, I_z$
- Trị hiệu dụng áp pha nguồn  $U$
- Trị hiệu dụng dòng điện nguồn  $I_1$
- Biên độ điện áp pha nguồn  $U_m$

### 3. Giả thiết:

- Nguồn áp lý tưởng: nguồn xoay chiều một pha lý tưởng, điện trở trong của nguồn bằng không.
- Các linh kiện bán dẫn lý tưởng: điện áp trên linh kiện khi dẫn bằng 0.
- Mạch ở trạng thái xác lập.

Góc tới hạn  $\varphi$  là góc điều khiển mà dòng điện tải ở ranh giới giữa chế độ dòng điện gián đoạn và dòng liên tục. Góc tới hạn được tính bằng công thức:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{\omega L}{R}\right); \omega = 2\pi f = 314$$

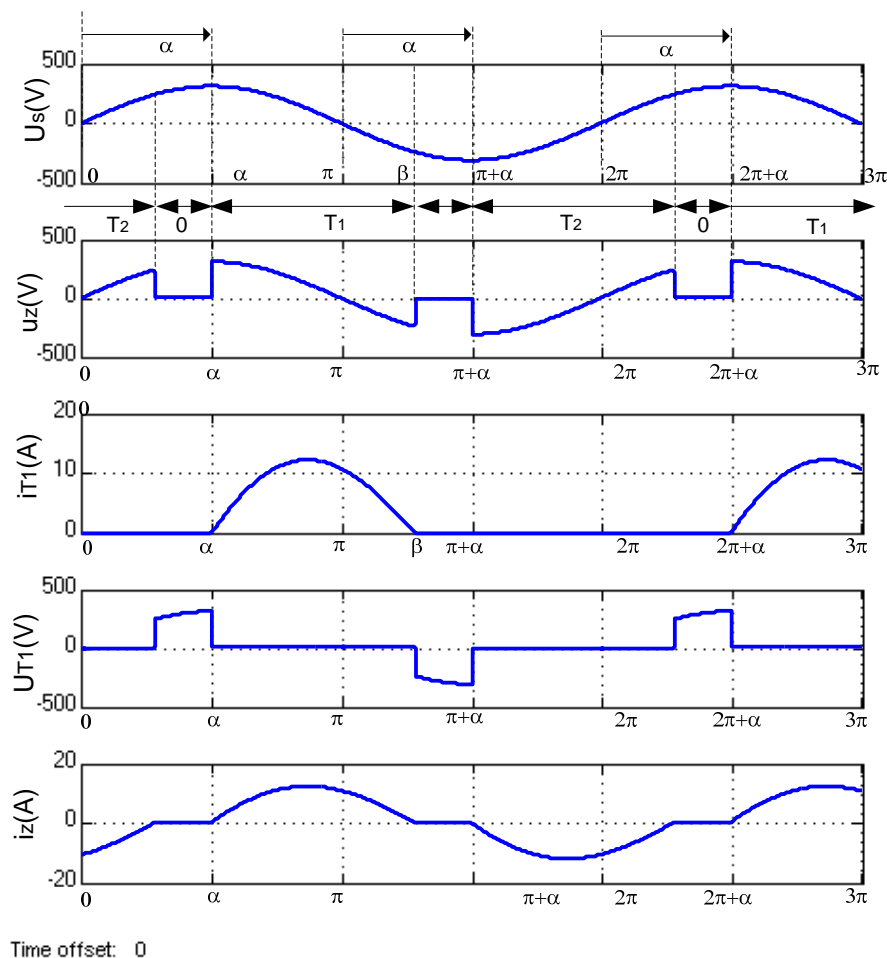
- Khi  $0 \leq \alpha \leq \varphi$  Dòng tải  $i_z$  liên tục  $u_z = u$ ; Trị hiệu dụng áp tải bằng trị hiệu dụng áp nguồn  $U_z = U$  (không đổi)

- Khi  $\varphi \leq \alpha \leq \pi$ : Dòng tải gián đoạn, trị hiệu dụng  $u_z$  thay đổi  $0 \leq U_z \leq U$

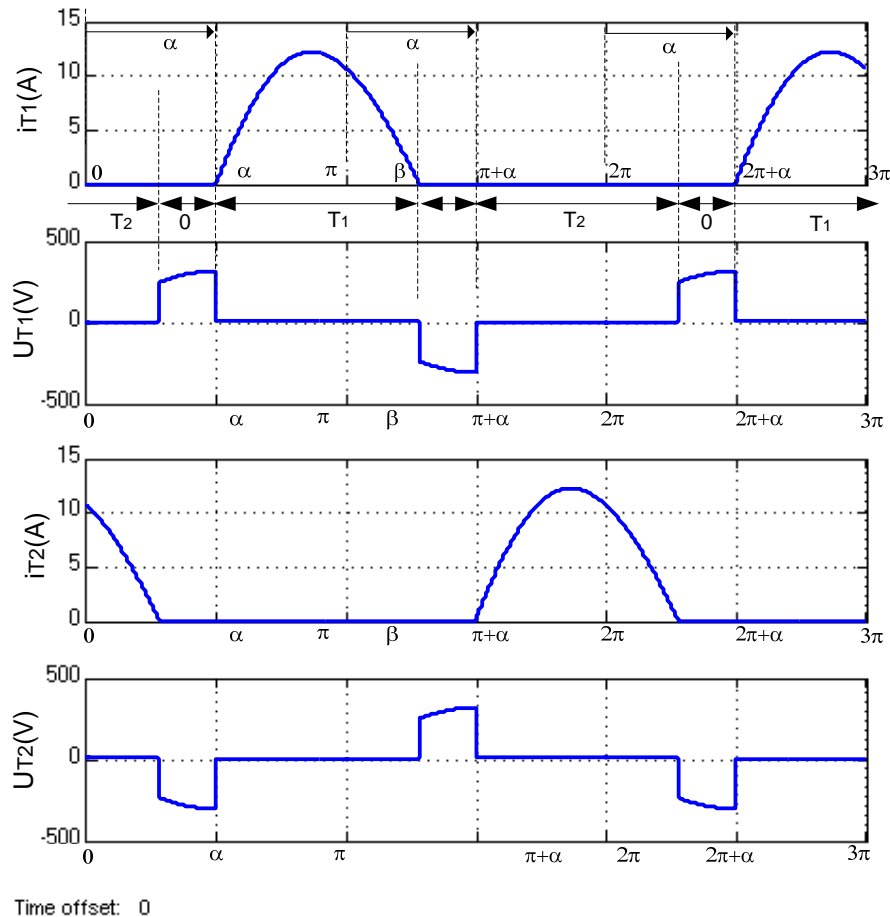
Phân tích trường hợp gián đoạn

Trạng thái 0 $[0 \div \alpha] I_{G1} = 0$	Trạng thái T1 $(\alpha \div \beta) I_{G1} > 0$
$u_{T1} = U_m \sin \omega t > 0; i_{T1} = 0$	$u_{T1} = 0; i_{T1} = i_z$
$u_{T2} = -U_m \sin \omega t < 0; i_{T2} = 0$	$u_{T2} = -u_{T1} = 0; i_{T2} = 0$
$u_z = 0; i_z = 0$	$u_z = U_m \sin \omega t; Ri_z + L \frac{di_z}{dt} = U_m \sin \omega t$

	$i_z = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \left[ \sin(\omega t - \varphi) - \sin(\alpha - \varphi) e^{-\frac{\omega t - \alpha}{\omega \tau}} \right]$ <p>Trong đó <math>\tau = \frac{L}{R}</math> - thời hằng tải</p> <p>Dòng <math>i_z = i_{T1}</math> tăng từ giá trị 0 khi <math>\omega t = \alpha</math> đạt cực trị và sau đó giảm về 0 khi <math>\omega t = \beta</math>.</p> <p>Góc <math>\beta</math> được tìm ra từ phương trình</p> $\sin(\beta - \varphi) - \sin(\alpha - \varphi) e^{-\frac{\beta - \alpha}{\omega \tau}} = 0$ <p>Khoảng dẫn của T1 được xác định bởi biểu thức</p> $\delta = \beta - \alpha$
<b>Trạng thái 0</b> $[\beta \div \pi + \alpha]$ : $I_{G2} = 0$	<b>Trạng thái T2</b> $[\pi + \alpha \div]$ : $I_{G2} > 0$
$u_{T1} = u = U_m \sin \omega t < 0; i_{T1} = 0$	$u_{T1} = -u_{T2} = 0; i_{T1} = 0$
$u_{T2} = -u_{T1} = -U_m \sin \omega t > 0; i_{T2} = 0$	$u_{T2} = 0; i_{T2} = -i_z$
$u_z = 0; i_z = 0$	$u_z = U_m \sin \omega t; Ri_z + L \frac{di_z}{dt} = U_m \sin \omega t$ $i_z = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \left[ \sin(\omega t - \varphi) - \sin(\alpha - \varphi) e^{-\frac{\omega t - \alpha}{\omega \tau}} \right]$



Hình 4.5 Giản đồ điện áp dòng điện tải và linh kiện



Hình 4.6 Giải đồ điện áp dòng điện qua linh kiện

Hệ quả :

- Trị hiệu dụng áp tải : 
$$U_z = U \sqrt{\frac{\beta - \alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha - \sin 2\beta}{2\pi}} = U \sqrt{\frac{\delta}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha - \sin 2\beta}{2\pi}}$$

$\delta$  : là góc dẫn của Thyristor

$\beta$  : là góc tắt của Thyristor

- Trị hiệu dụng dòng qua Thyristor

$$I_{T1} = I_{T2} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} i_z^2 d(\omega t)} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\beta} [\sin(\omega t - \varphi) - \sin(\alpha - \varphi)e^{-\frac{\omega t - \alpha}{\omega \tau}}]^2 d(\omega t)}$$

- Trị hiệu dụng dòng tải

$$I_z = \sqrt{2} I_{T1} = \sqrt{2} I_{T2}$$

- Trị trung bình dòng qua Thyristor

$$I_{AVRT1} = I_{AVRT2} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} i_z d(\omega t) = \frac{U \sqrt{2}}{2\pi \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\beta} [\sin(\omega t - \varphi) - \sin(\alpha - \varphi)e^{-\frac{\omega t - \alpha}{\omega \tau}}] d(\omega t)$$

- Công suất tiêu thụ của tải

$$P_z = R I_z^2$$

- Công suất nguồn xoay chiều

$$S = UI = UI_z$$

- Hệ số công suất nguồn  $\lambda = \frac{P}{S} = \frac{R I_z^2}{U I_z} = \frac{R I_z}{U} = \frac{U_R}{U}$