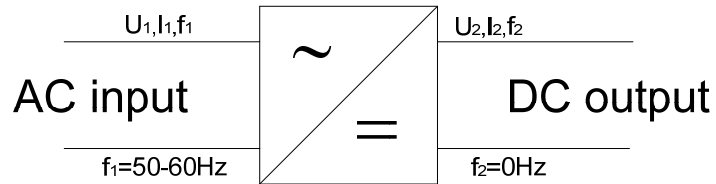


### CHƯƠNG III BỘ CHỈNH LƯU – RECTIFIER

#### I. Tổng quát

1. **Chức năng** : Biến đổi dòng điện xoay chiều thành dòng một chiều



#### 2. Ứng dụng :

- Truyền động điện (Động cơ DC)
- Nguồn cho mạch kích từ máy phát điện
- Nguồn cho mạch kích từ động cơ DC, đồng bộ
- Dùng cho thiết bị hàn điện một chiều, mạ kim loại, nạp ắc quy
- Dùng biến đổi thành dạng một chiều và truyền tải
- Dùng cho phương tiện giao thông công cộng

#### 3. Phân loại:

##### a. Dạng điều khiển

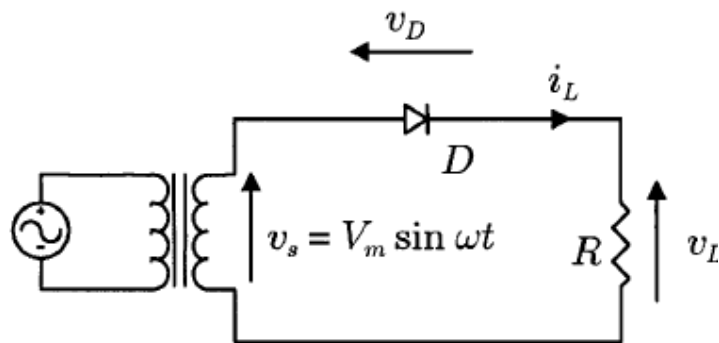
- Điều khiển hoàn toàn (Thyristor)
- Điều khiển bán phần (Thyristor – diode)
- Không điều khiển

##### b. Dạng mạch :

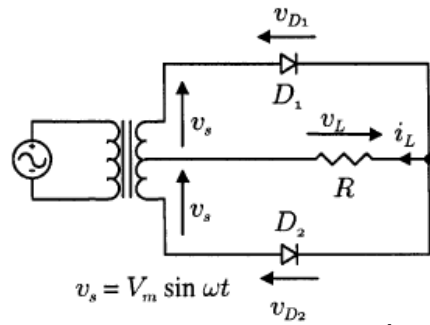
- Dạng mạch tia
- Dạng mạch cầu
- Dạng ghép nối tiếp, song song
- Dạng chỉnh lưu kép

##### c. Số pha :

- Một pha
- Ba pha
- Nhiều pha



Hình 3.1 Bộ chỉnh lưu tia 1 pha bán phần không điều khiển



Hình 3.1 Bộ chỉnh lưu tia 1 pha toàn phần không điều khiển

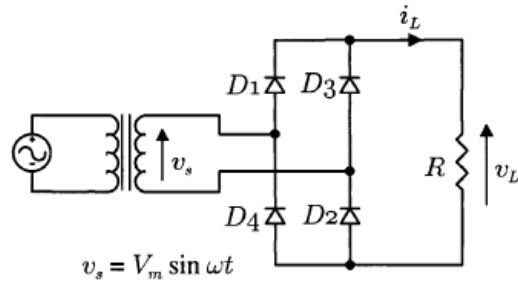


FIGURE 10.5 Bridge rectifier.

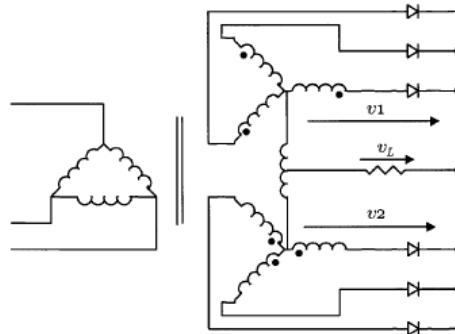


FIGURE 10.10 Three-phase double-star rectifier with interphase transformer.

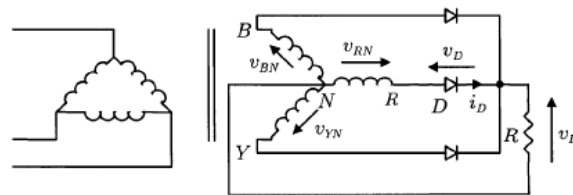


FIGURE 10.7 Three-phase star rectifier.

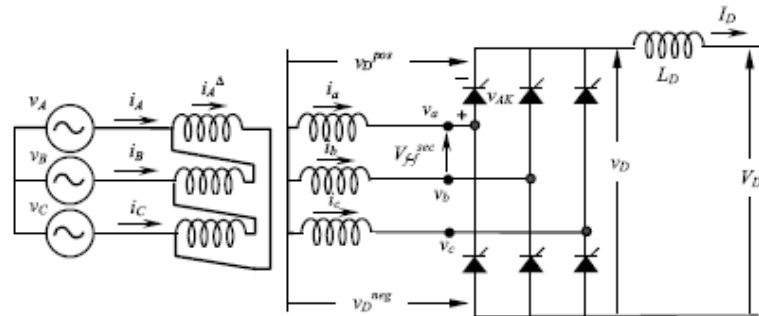
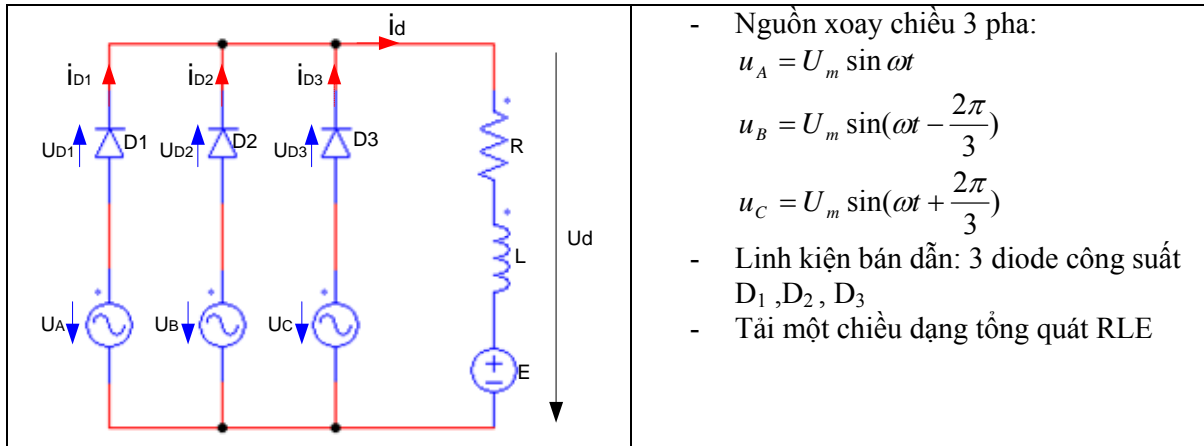


FIGURE 12.12 Three-phase full-wave rectifier or Graetz bridge.

## II . BỘ CHỈNH LƯU TIA 3 PHA KHÔNG ĐIỀU KHIỂN

## 1. Sơ đồ:



## 2. Ký hiệu:

- Dòng tức thời qua linh kiện diodes công suất  $i_{D1}, i_{D2}, i_{D3}$
- Điện áp trên linh kiện diodes công suất  $u_{D1}, u_{D2}, u_{D3}$
- Điện áp và dòng điện tải  $u_d, i_d$
- Trị trung bình điện áp, dòng điện tải  $U_d, I_d$
- 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 ba pha cân bằng, đối xứng điện trở trong của nguồn bằng không.
- Các linh kiện bán dẫn lý tưởng: điện áp trên linh kiện khi dẫn bằng 0.
- Tải  $L$  đủ lớn để dòng tải phẳng và liên tục.
- Mạch ở trạng thái xác lập.

## 4. Phân tích: Tại mỗi thời điểm chỉ có một linh kiện diode dẫn điện.

## a. Xác định khoảng đóng ngắt khoá diodes.

- Để phân tích trình tự đóng ngắt các khoá diode ta dùng phép chứng minh phản chứng.

Xét trong khoảng  $[\pi/6 \div 5\pi/6]$ :

Giả sử  $D_2$  dẫn và  $D_1, D_3$  ngắt ta có  $u_{D2} = 0; u_{D1} < 0; u_{D3} < 0$

- Xét mạch điện  $u_A, u_{D1}, u_{D2}, u_B$  theo định luật Kirshop

$$u_{D1} - u_{D2} + u_B - u_A = 0$$

$$u_{D2} = 0 \Rightarrow u_{D1} = u_A - u_B$$

- Trên giản đồ trong khoảng  $[\pi/6 \div 5\pi/6]$  ta thấy  $u_{D1} = u_A - u_B > 0$  tức là  $D_1$  dẫn trong khoảng này, điều này mâu thuẫn với giả thiết. Vậy  $D_2$  không thể dẫn trong khoảng này.

Giả sử  $D_3$  dẫn và  $D_1, D_2$  ngắt ta có  $u_{D3} = 0; u_{D1} < 0; u_{D2} < 0$

- Xét mạch điện  $u_A, u_{D1}, u_{D3}, u_C$  theo định luật Kirshop

$$u_{D1} - u_{D3} + u_C - u_A = 0$$

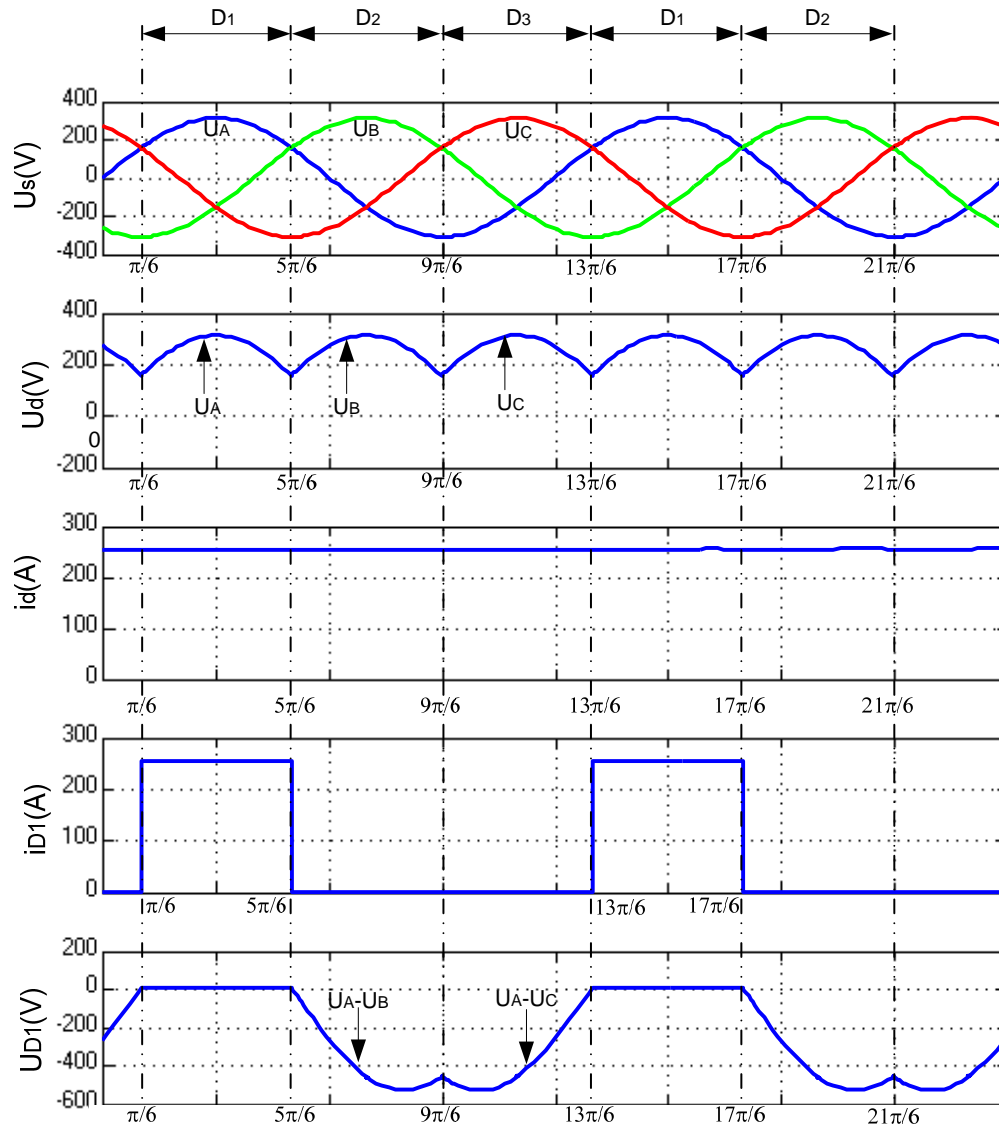
$$u_{D3} = 0 \Rightarrow u_{D1} = u_A - u_C$$

- Trên giản đồ trong khoảng  $[\pi/6 \div 5\pi/6]$  ta thấy  $u_{D1} = u_A - u_C > 0$  tức là  $D_1$  dẫn trong khoảng này, điều này mâu thuẫn với giả thiết. Vậy  $D_3$  không thể dẫn trong khoảng này.

- Như vậy trong khoảng  $[\pi/6 \div 5\pi/6]$  chỉ có  $D_1$  có thể dẫn :

Giả sử  $D_1$  dẫn và  $D_2, D_3$  ngắt ta có  $u_{D1} = 0; u_{D2} < 0; u_{D3} < 0$

- Theo giản đồ ta thấy  $u_{D1} = 0 \Rightarrow u_{D2} = u_B - u_A < 0$ : phù hợp với giả thiết.
- Theo giản đồ ta thấy  $u_{D1} = 0 \Rightarrow u_{D3} = u_C - u_A < 0$ : phù hợp với giả thiết



Time offset: 0

Hình 3.3 Giản đồ điện áp, dòng điện chỉnh lưu và linh kiện

- **Kết luận** : Linh kiện Diode ở pha nào có điện áp tức thời lớn nhất sẽ dẫn.

$$\left[ \frac{\pi}{6} \div \frac{5\pi}{6} \right] - \text{Diode } D_1 \text{ dẫn}$$

$$\left[ \frac{\pi}{6} + \frac{2\pi}{3} \div \frac{5\pi}{6} + \frac{2\pi}{3} \right] - \text{Diode } D_2 \text{ dẫn}$$

$$\left[ \frac{\pi}{6} + \frac{4\pi}{3} \div \frac{5\pi}{6} + \frac{4\pi}{3} \right] \Rightarrow \text{Diode } D_3 \text{ dẫn}$$

**b. Phương trình trạng thái:**

- Khi D1 dẫn.

$$\begin{cases} u_{D1} = 0 \\ i_{D1} = i_d \end{cases} ; \quad \begin{cases} u_{D2} = u_B - u_A < 0 \\ i_{D2} = 0 \end{cases} ; \quad \begin{cases} u_{D3} = u_C - u_A < 0 \\ i_{D3} = 0 \end{cases}$$

$$u_d = u_A; u_d = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} + E$$

- Khi D2 dẫn.

$$\begin{cases} u_{D1} = u_A - u_B \\ i_{D1} = 0 \end{cases}; \quad \begin{cases} u_{D2} = 0 \\ i_{D2} = i_d \end{cases}; \quad \begin{cases} u_{D3} = u_C - u_B \\ i_{D3} = 0 \end{cases}$$

$$u_d = u_B; u_d = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} + E$$

- Khi D3 dẫn.

$$\begin{cases} u_{D1} = u_A - u_C < 0 \\ i_{D1} = 0 \end{cases}; \quad \begin{cases} u_{D2} = u_B - u_C < 0 \\ i_{D2} = 0 \end{cases}; \quad \begin{cases} u_{D3} = 0 \\ i_{D3} = i_d \end{cases}$$

$$u_d = u_C; u_d = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} + E$$

## 5. Hệ quả

⚡ Áp chỉnh lưu có dạng ba xung trong một chu kỳ áp nguồn BCL được gọi là bộ chỉnh lưu ba xung. Tần số hài cơ bản áp chỉnh lưu bằng 3 lần tần số áp nguồn

$$f_{(1)} = p.f = 3.50 = 150\text{Hz}$$

Trong đó: p - số xung chỉnh lưu

⚡ Trị trung bình điện áp chỉnh lưu (điện áp tải).

$$U_{d0} = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} U_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_m = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U$$

⚡ Trị trung bình dòng điện chỉnh lưu (dòng điện tải).

$$I_d = \frac{U_d - E}{R}$$

⚡ Áp ngược lớn nhất mà diode phải chịu.

$$U_{rwm} = \sqrt{6}U = \sqrt{3}U_m$$

⚡ Dòng trung bình qua diode.

$$I_{D1} = \frac{I_d}{3}$$

- Khi thiết kế ta phải chọn linh kiện sao cho :

$$U_{RRM} \geq K_u \cdot U_{RWM} \text{ và } I_d \geq K_i I_{D1}$$

Trong đó:  $K_u = 2,5 - 3,5$  : Hệ số an toàn áp

$K_i \geq 1$  : hệ số an toàn về dòng

⚡ Trị hiệu dụng dòng điện nguồn.

$$I_1 = \frac{I_d}{\sqrt{3}}$$

⚡ Công suất tiêu thụ trên tải.

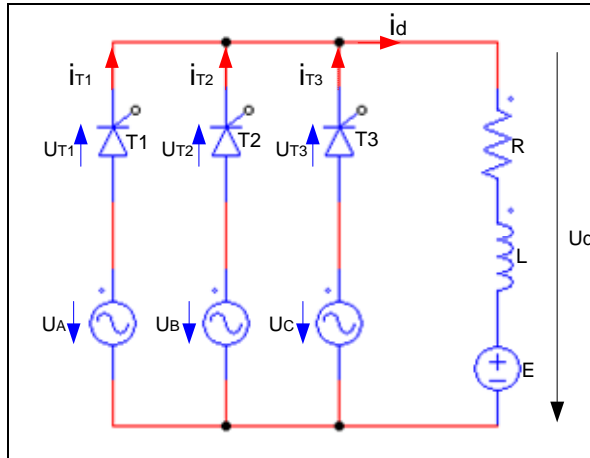
$$P_d = U_d I_d$$

⚡ Hệ số công suất nguồn bộ chỉnh lưu.

$$\lambda = \frac{P_d}{S} = \frac{U_d I_d}{3U I_1} = \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} = 0,676.$$

## III. BỘ CHỈNH LƯU TIA 3 PHA ĐIỀU KHIỂN

## 1. Sơ đồ :



- Nguồn xoay chiều 3 pha:  
 $u_A = U_m \sin \omega t$   
 $u_B = U_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})$   
 $u_C = U_m \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3})$
- Linh kiện bán dẫn: 3 SCR công suất  $T_1, T_2, T_3$
- Tải một chiều dạng tổng quát RLE

## 2. Ký hiệu:

- Dòng tức thời qua linh kiện SCR công suất  $i_{T1}, i_{T2}, i_{T3}$
- Điện áp trên linh kiện SCR công suất  $u_{T1}, u_{T2}, u_{T3}$
- Điện áp và dòng điện tải  $u_d, i_d$
- Trị trung bình điện áp, dòng điện tải  $U_d, I_d$
- 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 ba pha cân bằng, đối xứng điện trở trong của nguồn bằng không.
- Các linh kiện bán dẫn lý tưởng: điện áp trên linh kiện khi dẫn bằng 0.
- Tải L đủ lớn để dòng tải phẳng và liên tục.
- Mạch ở trạng thái xác lập.

## 4. Phân tích:

- **Góc điều khiển ( $\alpha$ ):** là góc trễ so với góc mà nếu ở vị trí đó các diode sẽ dẫn, độ lớn của nó được tính từ thời điểm xuất hiện áp dương trên Thyristor đến khi xuất hiện xung kích ở cổng điều khiển.

- Phạm vi góc điều khiển  $\alpha$  là :  $0 \leq \alpha \leq \pi$

## a. Phương trình trạng thái.

Thyristor T1 dẫn  $[\frac{\pi}{6} + \alpha \div \frac{5\pi}{6} + \alpha]$

$$\begin{cases} u_{T1} = 0 \\ i_{T1} = i_d \end{cases} ; \begin{cases} u_{T2} = u_B - u_A < 0 \\ i_{T2} = 0 \end{cases} ; \begin{cases} u_{T3} = u_C - u_A < 0 \\ i_{T3} = 0 \end{cases}$$

$$u_d = u_A; u_d = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} + E$$

Thyristor T2 dẫn  $[\frac{5\pi}{6} + \alpha \div \frac{9\pi}{6} + \alpha]$

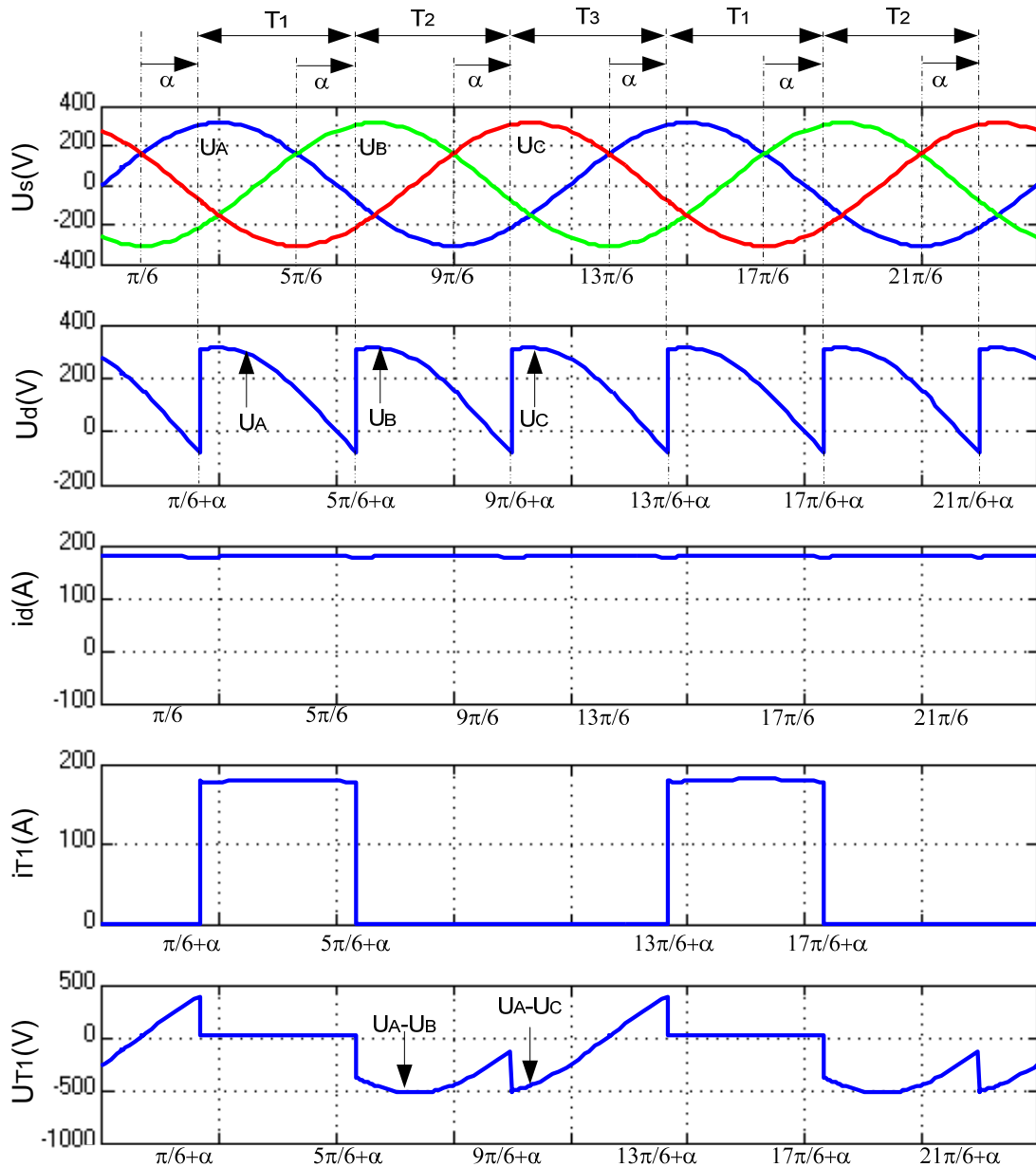
$$\begin{cases} u_{T1} = u_A - u_B < 0 \\ i_{T1} = 0 \end{cases} ; \begin{cases} u_{T2} = 0 \\ i_{T2} = i_d \end{cases} ; \begin{cases} u_{T3} = u_C - u_A < 0 \\ i_{T3} = 0 \end{cases}$$

$$u_d = u_B; u_d = Ri_d + L \frac{d i_d}{d t} + E$$

Thyristor T3 dẫn  $[\frac{9\pi}{6} + \alpha \div \frac{13\pi}{6} + \alpha]$

$$\begin{cases} u_{T1} = u_A - u_C < 0 \\ i_{T1} = 0 \end{cases}; \begin{cases} u_{T2} = u_B - u_C < 0 \\ i_{T2} = 0 \end{cases}; \begin{cases} u_{T3} = 0 \\ i_{T3} = i_d \end{cases}$$

$$u_d = u_C; u_d = Ri_d + L \frac{d i_d}{d t} + E$$



Time offset: 0

Hình 3.4 Giải đồ điện áp, dòng điện chỉnh lưu và linh kiện

### 5. Hệ quả:

Áp chỉnh lưu có dạng ba xung trong một chu kỳ áp nguồn BCL được gọi là bộ chỉnh lưu ba xung. Tần số hài cơ bản áp chỉnh lưu bằng 3 lần tần số áp nguồn

$$f_{(1)} = p \cdot f = 3 \cdot 50 = 150 \text{ Hz}$$

Trong đó: p - số xung chỉnh lưu

Trị trung bình điện áp chỉnh lưu (điện áp tải).

$$U_d = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\alpha+\pi/6}^{\alpha+5\pi/6} U_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_m \cos \alpha = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U \cos \alpha = U_{d0} \cos \alpha$$

$$\text{Khi } 0 \leq \alpha \leq \pi \Rightarrow -\frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U \leq U_d \leq \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U$$

Như vậy bộ chỉnh lưu tia 3 pha điều khiển có thể làm việc ở chế độ nghịch lưu và chuyển năng lượng về nguồn. Nó có thể làm việc ở hai góc phần tư I và IV

Trị trung bình dòng điện chỉnh lưu (dòng điện tải).

$$I_d = \frac{U_d - E}{R}$$

Áp ngược lớn nhất mà SCR phải chịu.

$$U_{rwm} = \sqrt{6}U = \sqrt{3}U_m$$

Dòng trung bình qua SCR.

$$I_T = \frac{I_d}{3}$$

Khi thiết kế ta phải chọn linh kiện sao cho :

$$U_{dm} \geq K_u \cdot U_{RWM} \text{ và } I_{dm} \geq K_i I_{D1}$$

Trong đó:

$K_u$ : Hệ số an toàn áp. ( $K_u = 2,5 - 3,5$ )

$K_i$ : hệ số an toàn về dòng ( $K_i \geq 1$ )

Trị hiệu dụng dòng điện nguồn.

$$I_1 = \frac{I_d}{\sqrt{3}}$$

Công suất tiêu thụ trên tải.

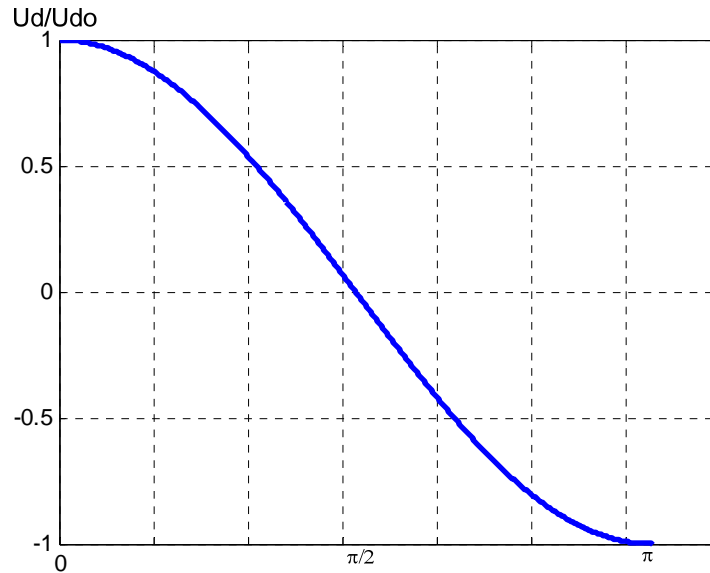
$$P_d = U_d I_d$$

Hệ số công suất nguồn bộ chỉnh lưu.

$$\lambda = \frac{P_d}{S} = \frac{U_d \cdot I_d}{3U \cdot I_1} = \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} \cos \alpha$$

Đặc tuyến điều khiển. Trị trung bình điện áp chỉnh lưu  $U_{da} = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U \cos \alpha$  không phụ thuộc vào tham số tải khi dòng tải liên tục.





#### 6. Chế độ chỉnh lưu và nghịch lưu.

- Khi  $\alpha$  thay đổi  $U_d \alpha$  có thể âm nhưng  $I_d > 0$ . Công suất trung bình :  $P = U_d \cdot I_d$
- Nếu  $U_d > 0 \Rightarrow P > 0$  bộ chỉnh lưu làm việc ở chế độ chỉnh lưu, công suất chuyển từ phía xoay chiều về phía một chiều
- Nếu  $U_d < 0 \Rightarrow P < 0$  bộ chỉnh lưu làm việc ở chế độ nghịch lưu công suất chuyển từ 1 chiều sang xoay chiều.
- Chế độ chỉnh lưu xảy ra khi:  $U_d * E > 0$
- Chế độ nghịch lưu xảy ra khi  $U_d * E < 0$

#### 7. Góc an toàn.

- **Góc an toàn:** là góc điện nhỏ nhất phải có khi SCR chịu tác dụng của áp nghịch để khôi phục khả năng khoá của nó một cách an toàn ( $\gamma$ )

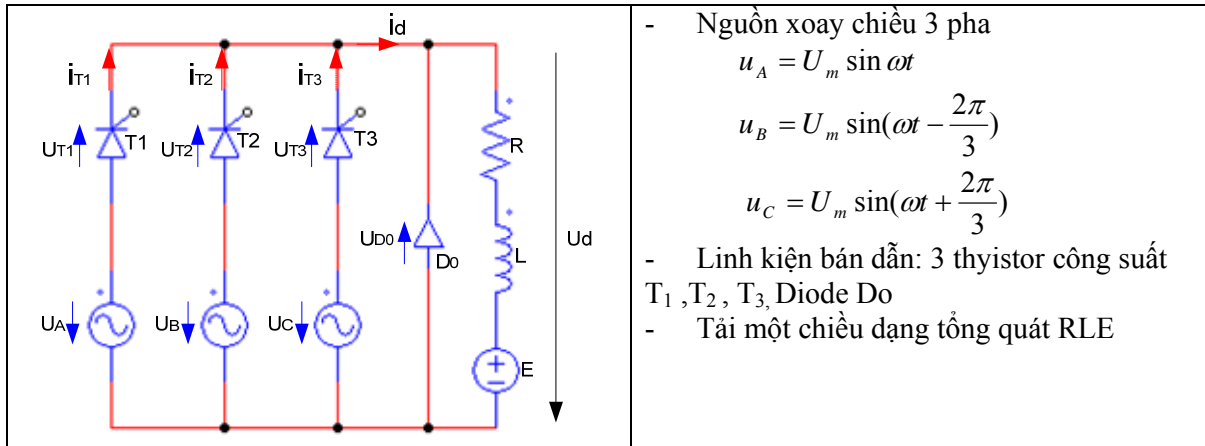
$$\gamma = \omega \cdot t_q$$

Trong đó  $t_q$  thời gian ngắt an toàn

- Khi  $\alpha$  tăng thời gian để khôi phục khả năng khoá sẽ giảm
- Nếu  $\alpha$  tăng đến một giá trị đủ lớn để SCR không còn đủ thời gian khôi phục khả năng khoá của mình SCR đóng không theo ý muốn, dòng điện tăng lớn, hỏng thiết bị, cần được ngắt bởi thiết bị bảo vệ

IV. BỘ CHỈNH LƯU TIA VỚI DIODE D<sub>0</sub>

## 1. Sơ đồ



## 2. Ký hiệu:

- Dòng tức thời qua linh kiện SCR công suất  $i_{T1}, i_{T2}, i_{T3}$
- Điện áp trên linh kiện SCR công suất và diode  $u_{T1}, u_{T2}, u_{T3}, u_{D0}$
- Điện áp và dòng điện tải  $u_d, i_d$
- Trị trung bình điện áp, dòng điện tải  $U_d, I_d$
- 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 ba pha cân bằng, đối xứng điện trở trong của nguồn bằng không.
- Các linh kiện bán dẫn lý tưởng: điện áp trên linh kiện khi dẫn bằng 0.
- Tải L đủ lớn để dòng tải phẳng và liên tục.
- Mạch ở trạng thái xác lập.

## 4. Phân tích.

a. Khi  $\alpha \leq \frac{\pi}{6}$  Tương tự tia ba pha điều khiển.

b. Khi  $\frac{\pi}{6} < \alpha < \frac{5\pi}{6}$

- Diode D<sub>0</sub> dẫn trong khoảng điện áp chỉnh lưu mang giá trị âm.

🔧 Thyristor T<sub>1</sub> dẫn  $[\alpha \div \pi]$

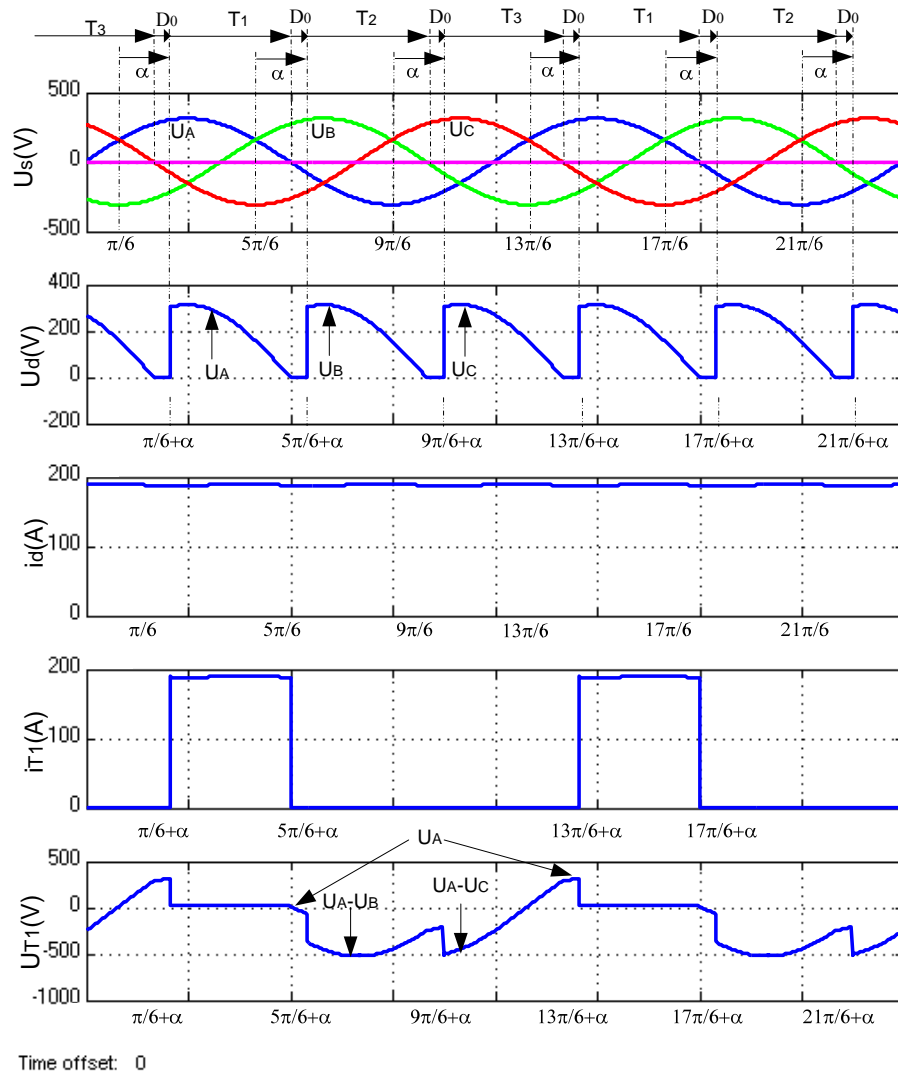
$$\begin{cases} u_{T1} = 0 \\ i_{T1} = i_d \end{cases}; \begin{cases} u_{T2} = u_B - u_A < 0 \\ i_{T2} = 0 \end{cases}; \begin{cases} u_{T3} = u_C - u_A < 0 \\ i_{T3} = 0 \end{cases}; \begin{cases} u_{D0} = -u_d < 0 \\ i_{D0} = 0 \end{cases}$$

$$u_d = u_A; u_d = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} + E$$

🔧 Diode D<sub>0</sub> dẫn  $[\pi \div \pi + \alpha]$

$$\begin{cases} u_{D0} = u_d = 0 \\ i_{D0} = i_d \end{cases}; \begin{cases} u_{T1} = u_A < 0 \\ i_{T1} = 0 \end{cases}; \begin{cases} u_{T2} = u_B - u_A < 0 \\ i_{T2} = 0 \end{cases}; \begin{cases} u_{T3} = u_C - u_A < 0 \\ i_{T3} = 0 \end{cases}$$

$$u_d = 0; u_d = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} + E$$



Time offset: 0

Hình 3.6 Giải đồ điện áp, dòng điện chỉnh lưu và linh kiện

Thyristor T2 dẫn  $\left[ \frac{5\pi}{6} + \alpha \div \frac{10\pi}{6} \right]$

$$\begin{cases} u_{T1} = u_A - u_B < 0 \\ i_{T1} = 0 \end{cases}; \begin{cases} u_{T2} = 0 \\ i_{T2} = i_d \end{cases}; \begin{cases} u_{T3} = u_C - u_A < 0 \\ i_{T3} = 0 \end{cases}; \begin{cases} u_{D0} = -u_d < 0 \\ i_{D0} = 0 \end{cases}$$

$$u_d = u_B; u_d = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} + E$$

Diode Do dẫn  $\left[ \frac{10\pi}{6} \div \frac{9\pi}{6} + \alpha \right]$

$$\begin{cases} u_{D0} = u_d = 0 \\ i_{D0} = i_d \end{cases}; \begin{cases} u_{T1} = u_A - u_B < 0 \\ i_{T1} = 0 \end{cases}; \begin{cases} u_{T2} = u_B < 0 \\ i_{T2} = 0 \end{cases}; \begin{cases} u_{T3} = u_C - u_B < 0 \\ i_{T3} = 0 \end{cases}$$

$$u_d = 0; u_d = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} + E$$

Thyristor T3 dẫn  $\left[ \frac{9\pi}{6} + \alpha \div \frac{14\pi}{6} \right] -$

$$\begin{cases} u_{T1} = u_A - u_C < 0 \\ i_{T1} = 0 \end{cases}; \begin{cases} u_{T2} = u_B - u_C < 0 \\ i_{T2} = 0 \end{cases}; \begin{cases} u_{T3} = 0 \\ i_{T3} = i_d \end{cases}; \begin{cases} u_{D0} = -u_d < 0 \\ i_{D0} = 0 \end{cases}$$

$$u_d = u_C; u_d = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} + E$$

Diode D0 dẫn  $\left[ \frac{14\pi}{6} \div \frac{13\pi}{6} + \alpha \right]$

$$\begin{cases} u_{D0} = u_d = 0 \\ i_{D0} = i_d \end{cases}; \begin{cases} u_{T1} = u_A - u_C < 0 \\ i_{T1} = 0 \end{cases}; \begin{cases} u_{T2} = u_B - u_C < 0 \\ i_{T2} = 0 \end{cases}; \begin{cases} u_{T3} = u_C < 0 \\ i_{T3} = 0 \end{cases}$$

$$u_d = 0; u_d = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} + E$$

### 5. Hệ quả:

Áp chỉnh lưu có dạng ba xung trong một chu kỳ áp nguồn BCL được gọi là bộ chỉnh lưu ba xung. Tần số hài cơ bản áp chỉnh lưu bằng 3 lần tần số áp nguồn

$$f_{(1)} = p.f = 3.50 = 150\text{Hz}$$

Trong đó: p - số xung chỉnh lưu.

a. Khi  $\alpha \leq \frac{\pi}{6}$ : Tương tự tia ba pha điều khiển.

b. Khi  $\frac{\pi}{6} < \alpha \leq \frac{5\pi}{6}$

Trị trung bình điện áp chỉnh lưu (điện áp tải).

$$U_d = \frac{3}{2\pi} \int_{\alpha + \frac{\pi}{6}}^{\pi} U_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{3}{2\pi} U_m (1 + \cos(\alpha + \frac{\pi}{6})) = \frac{3}{2\pi} U_m (1 - \sin(\alpha - \frac{\pi}{3}))$$

$$0 \leq U_d \leq \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U$$

Như vậy bộ chỉnh lưu tia 3 pha điều khiển với diode D0 chỉ có thể làm việc ở chế độ chỉnh lưu. Nó có thể làm việc ở hai góc phần tư I

Trị trung bình dòng điện chỉnh lưu (dòng điện tải).

$$I_d = \frac{U_d - E}{R}$$

Áp ngược lớn nhất mà SCR phải chịu.

$$U_{rwm} = \sqrt{6}U = \sqrt{3}U_m$$

Dòng trung bình qua SCR.

$$I_T = \frac{\frac{5\pi}{6} - \alpha}{2\pi} I_d$$

Dòng trung bình qua diode D0

$$I_T = I_d - 3I_T = \frac{3\alpha - \frac{\pi}{2}}{2\pi} I_d$$

Khi thiết kế ta phải chọn linh kiện sao cho :

$$U_{dm} \geq K_u \cdot U_{RWM} \text{ và } I_{dm} \geq K_i I_{D1}$$

Trong đó:  $K_u$ : Hệ số an toàn áp. ( $K_u = 2,5 - 3,5$ )  
 $K_i$ : hệ số an toàn về dòng ( $K_i \geq 1$ )

Trị hiệu dụng dòng điện nguồn.

$$I_1 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha+\frac{\pi}{6}}^{\pi} I_d \cdot d(\omega t)} = \sqrt{\frac{\frac{5\pi}{6} - \alpha}{2\pi}} I_d$$

Công suất tiêu thụ trên tải.

$$P_d = U_d I_d$$

Hệ số công suất nguồn bộ chỉnh lưu.

$$\lambda = \frac{P_d}{S} = \frac{U_d \cdot I_d}{3U \cdot I_1} = \frac{\frac{3\sqrt{2}}{2\pi} U (1 + \cos(\alpha + \frac{\pi}{6})) I_d}{3U \cdot \sqrt{\frac{\frac{5\pi}{6} - \alpha}{2\pi}} I_d} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2\pi} (1 + \cos(\alpha + \frac{\pi}{6}))}{\sqrt{\frac{\frac{5\pi}{6} - \alpha}{2\pi}}}$$

Đặc tuyến điều khiển. Trị trung bình điện áp chỉnh lưu, không phụ thuộc vào tham số tải khi dòng tải liên tục.

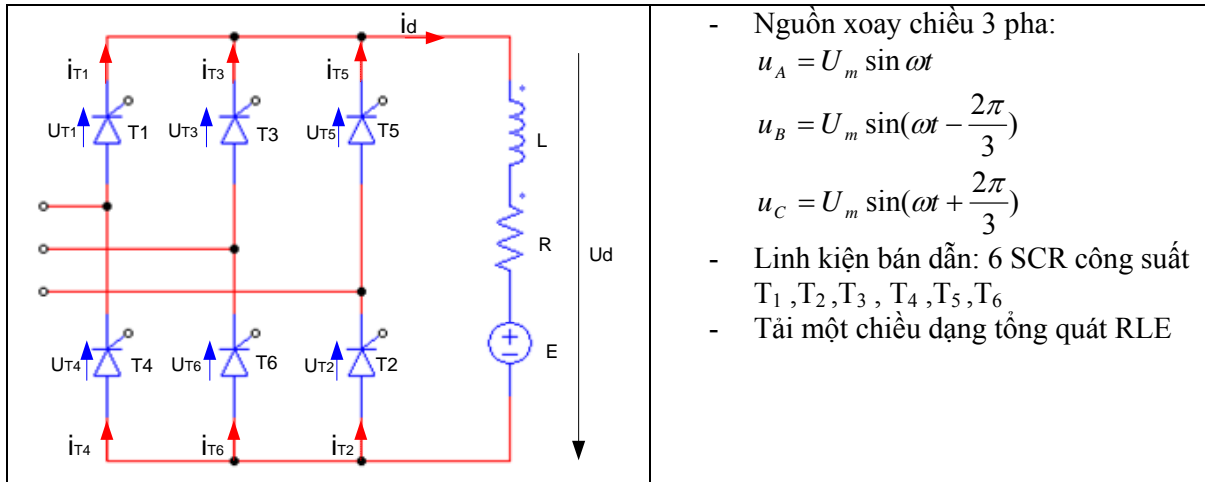
6. Tác dụng của diode Do:

- Giảm trị hiệu dụng thành phần xoay chiều của áp chỉnh lưu
- Tăng hệ số công suất nguồn:  $\alpha$  tăng  $I_1$  Giảm  $\Rightarrow U_1 I_1$  giảm  $\Rightarrow P_1$  giảm  $\Rightarrow \lambda$  tăng
- Không cho phép chế độ nghịch lưu.

- Khảo sát đặc tuyến  $\frac{U_{d\alpha}}{U_{do}}$

## V. BỘ CHỈNH LƯU CẦU BA PHA ĐIỀU KHIỂN HOÀN TOÀN

## 6. Sơ đồ:



## 7. Ký hiệu:

- Dòng tức thời qua linh kiện SCR công suất  $i_{T1}, i_{T2}, i_{T3}, i_{T4}, i_{T5}, i_{T6}$
- Điện áp trên linh kiện SCR công suất  $u_{T1}, u_{T2}, u_{T3}, u_{T4}, u_{T5}, u_{T6}$
- Điện áp và dòng điện tải  $u_d, i_d$
- Trị trung bình điện áp, dòng điện tải  $U_d, I_d$
- Trị hiệu dụng áp pha nguồn  $U$
- Trị hiệu dụng dòng điện nguồn  $I_1$
- Biên độ điện áp pha nguồn  $U_m$

## 8. Giả thiết:

- Nguồn áp lý tưởng: nguồn xoay chiều ba pha cân bằng, đối xứng điện trở trong của nguồn bằng không.
- Các linh kiện bán dẫn lý tưởng: điện áp trên linh kiện khi dẫn bằng 0.
- Tải L đủ lớn để dòng tải phẳng và liên tục.
- Mạch ở trạng thái xác lập.
- Điện áp dây nguồn:

$$u_{AB} = u_A - u_B = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{6})$$

$$u_{BA} = u_B - u_A = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t - \frac{5\pi}{6})$$

$$u_{BC} = u_B - u_C = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$u_{CB} = u_C - u_B = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$u_{CA} = u_C - u_A = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t - \frac{7\pi}{6})$$

$$u_{AC} = u_A - u_C = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{6})$$

## 9. Phân tích.

- Giả thiết dòng qua tải liên tục, ta tách mạch cầu thành hai nhóm linh kiện Anode ( $T_1, T_3, T_5$ ) và Cathode ( $T_2, T_4, T_6$ ). Điện áp phụ được đưa ra khảo sát là  $u_{dA}$  và  $u_{dK}$ .
- Tại một thời điểm sẽ có hai SCR dẫn: một của nhóm Anode và một của nhóm Cathode. Trước hết ta chứng minh rằng hai nhóm linh kiện làm việc độc lập với nhau và mỗi nhóm làm việc như một mạch tia

🔗 **Xét mạch Anode:** giả thiết  $T_1$  đóng,  $T_3, T_5$  ngắt ta có phương trình trạng thái:

$$\begin{cases} u_{T1} = 0; \\ i_{T1} = i_d; \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_{T3} = u_B - u_A; \\ i_{T3} = 0; \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_{T5} = u_C - u_A; \\ i_{T5} = 0; \end{cases}$$

$$u_{dA} = u_A$$

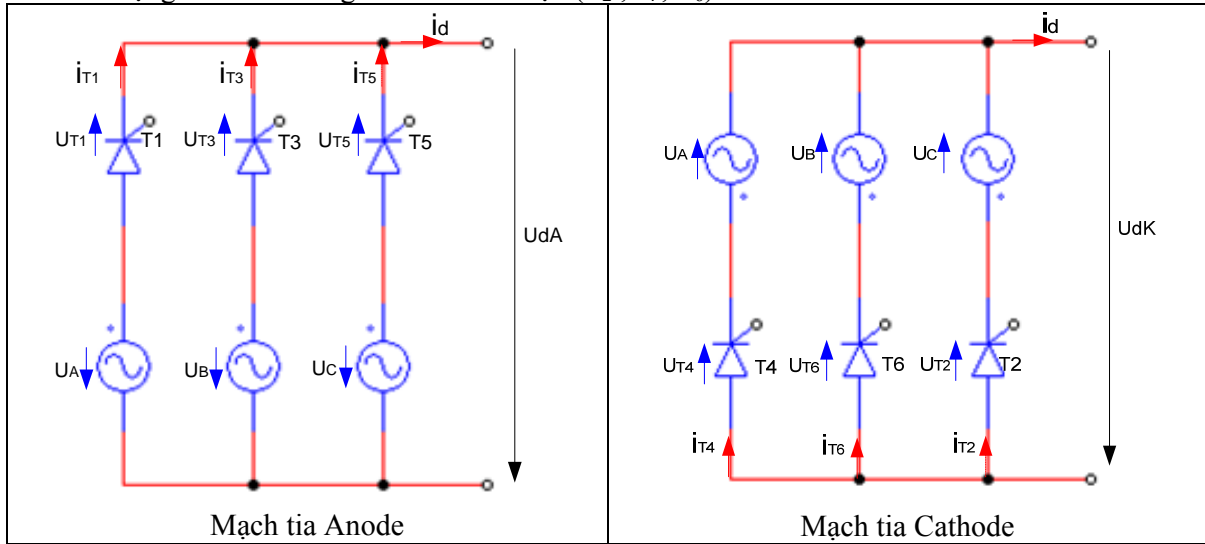
✚ **Xét mạch Cathode:** giả thiết  $T_2$  đóng,  $T_4, T_6$  ngắt ta có phương trình trạng thái:

$$\begin{cases} u_{T2} = 0; \\ i_{T2} = i_d; \end{cases} \quad \begin{cases} u_{T4} = u_A - u_C; \\ i_{T4} = 0; \end{cases} \quad \begin{cases} u_{T6} = u_B - u_C; \\ i_{T6} = 0; \end{cases}$$

$$u_{dK} = u_C$$

$$u_d = u_{dA} - u_{dK}; \quad u_d = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} + E$$

- Các hệ thức mô tả điện áp và dòng nhóm Anode hoàn toàn không phụ thuộc vào trạng thái đóng ngắt của các Thyristor nhóm Cathode và ngược lại. Do đó để khảo sát điện áp  $u_{dA}$  ta chỉ cần xét đến trạng thái kích đóng của các thyristor ( $T_1, T_3, T_5$ ), tương tự để khảo sát điện áp  $u_{dK}$  ta chỉ cần xét trạng thái kích đóng của các linh kiện ( $T_2, T_4, T_6$ ).



**a. Xác định khoảng dẫn của các linh kiện.**

✚  $\left[ \frac{\pi}{6} + \alpha \div \frac{\pi}{2} + \alpha \right]$  - SCR  $T_1, T_6$  dẫn

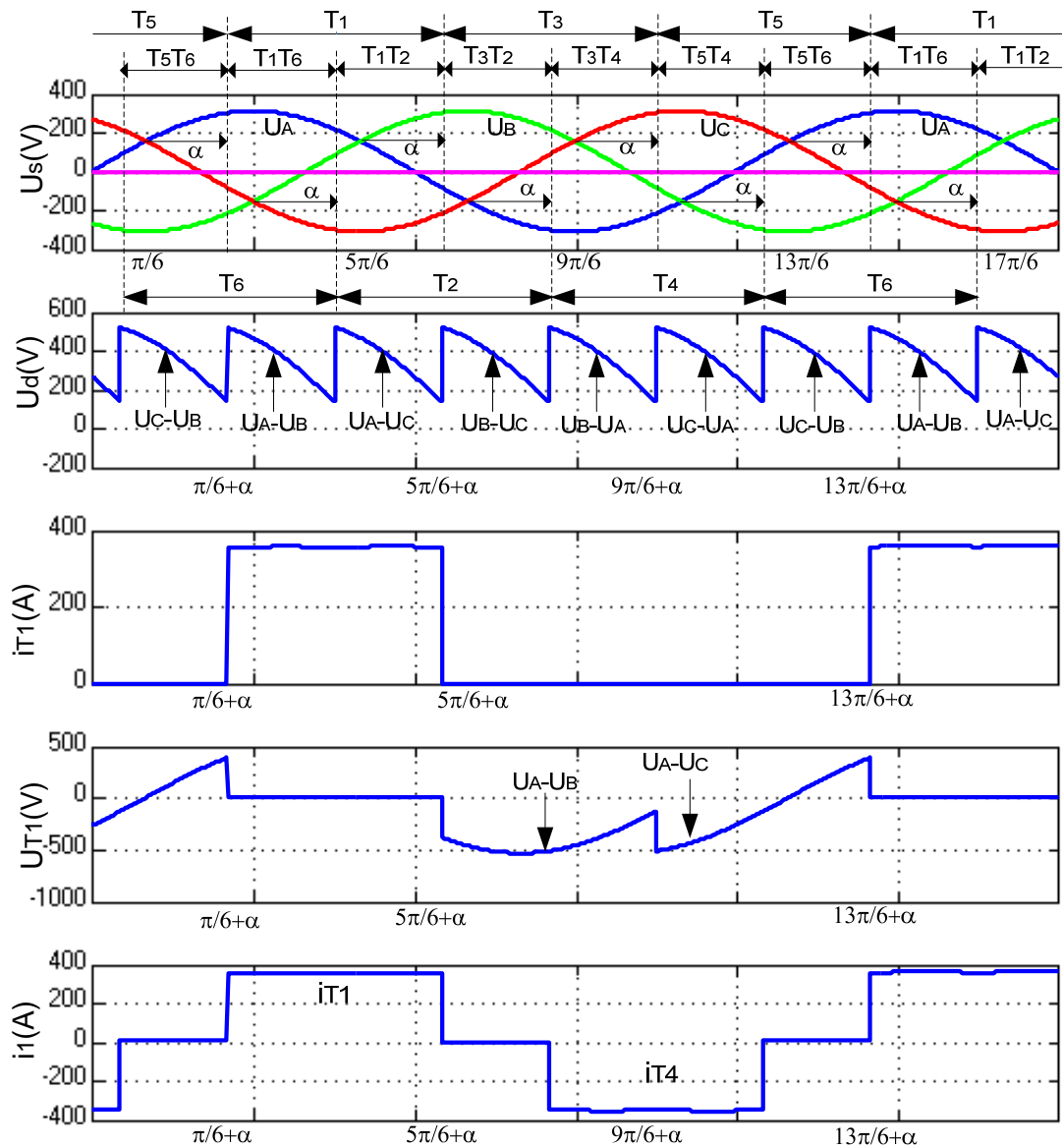
$\begin{cases} u_{T1} = 0 \\ i_{T1} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T3} = u_B - u_A \\ i_{T3} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T5} = u_C - u_A \\ i_{T5} = 0 \end{cases}$	$u_{dA} = u_A$
$\begin{cases} u_{T4} = u_B - u_A \\ i_{T4} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T6} = 0 \\ i_{T6} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T2} = u_B - u_C \\ i_{T2} = 0 \end{cases}$	$u_{dK} = u_B$
$u_d = u_{dA} - u_{dK} = u_A - u_B = u_{AB} = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{6})$			

✚  $\left[ \frac{\pi}{2} + \alpha \div \frac{5\pi}{6} + \alpha \right]$  - SCR  $T_1, T_2$  dẫn

$\begin{cases} u_{T1} = 0 \\ i_{T1} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T3} = u_B - u_A \\ i_{T3} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T5} = u_C - u_A \\ i_{T5} = 0 \end{cases}$	$u_{dA} = u_A$
$\begin{cases} u_{T4} = u_C - u_A \\ i_{T4} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T6} = u_C - u_B \\ i_{T6} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T2} = 0 \\ i_{T2} = i_d \end{cases}$	$u_{dK} = u_C$
$u_d = u_{dA} - u_{dK} = u_A - u_C = u_{AC} = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{6})$			

$$\left[ \frac{5\pi}{6} + \alpha \div \frac{7\pi}{6} + \alpha \right] - \text{SCR } T_3, T_2 \text{ dẫn}$$

$\begin{cases} u_{T1} = u_A - u_B \\ i_{T1} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T3} = 0 \\ i_{T3} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T5} = u_C - u_B \\ i_{T5} = 0 \end{cases}$	$u_{dA} = u_B$
$\begin{cases} u_{T4} = u_C - u_A \\ i_{T4} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T6} = u_C - u_B \\ i_{T6} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T2} = 0 \\ i_{T2} = i_d \end{cases}$	$u_{dK} = u_C$
$u_d = u_{dA} - u_{dK} = u_B - u_C = u_{BC} = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$			



Time offset: 0

Hình 3.6 Giải đồ điện áp, dòng điện chỉnh lưu và linh kiện ( $\alpha=45^\circ$ )



$$\left[ \frac{7\pi}{6} + \alpha \div \frac{9\pi}{6} + \alpha \right] - \text{SCR } T_3, T_4 \text{ dẫn}$$

$\begin{cases} u_{T1} = u_A - u_B \\ i_{T1} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T3} = 0 \\ i_{T3} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T5} = u_C - u_B \\ i_{T5} = 0 \end{cases}$	$u_{dA} = u_B$
$\begin{cases} u_{T4} = 0 \\ i_{T4} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T6} = u_A - u_B \\ i_{T6} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T2} = u_A - u_C \\ i_{T2} = 0 \end{cases}$	$u_{dK} = u_A$
$u_d = u_{dA} - u_{dK} = u_B - u_A = u_{BA} = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t - \frac{5\pi}{6})$			

$$\left[ \frac{9\pi}{6} + \alpha \div \frac{11\pi}{6} + \alpha \right] - \text{SCR } T_5, T_4 \text{ dẫn}$$

$\begin{cases} u_{T1} = u_A - u_C \\ i_{T1} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T3} = u_B - u_C \\ i_{T3} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T5} = 0 \\ i_{T5} = i_d \end{cases}$	$u_{dA} = u_C$
$\begin{cases} u_{T4} = 0 \\ i_{T4} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T6} = u_A - u_B \\ i_{T6} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T2} = u_A - u_C \\ i_{T2} = 0 \end{cases}$	$u_{dK} = u_A$
$u_d = u_{dA} - u_{dK} = u_C - u_A = u_{CA} = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t - \frac{7\pi}{6})$			

$$\left[ \frac{11\pi}{6} + \alpha \div \frac{13\pi}{6} + \alpha \right] - \text{SCR } T_5, T_6 \text{ dẫn}$$

$\begin{cases} u_{T1} = u_A - u_C \\ i_{T1} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T3} = u_B - u_C \\ i_{T3} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T5} = 0 \\ i_{T5} = i_d \end{cases}$	$u_{dA} = u_C$
$\begin{cases} u_{T4} = u_B - u_A \\ i_{T4} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T6} = 0 \\ i_{T6} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T2} = u_B - u_C \\ i_{T2} = 0 \end{cases}$	$u_{dK} = u_B$
$u_d = u_{dA} - u_{dK} = u_C - u_B = u_{CB} = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$			

## 10. Hệ quả

Áp chỉnh lưu có dạng sáu xung trong một chu kỳ áp nguồn, BCL được gọi là bộ chỉnh lưu sáu xung. Tần số hài cơ bản áp chỉnh lưu bằng 6 lần tần số áp nguồn

$$f_{(1)} = p \cdot f = 6 \cdot 50 = 300 \text{ Hz}$$

Trong đó: p - số xung chỉnh lưu

Trị trung bình điện áp chỉnh lưu (điện áp tải).

$$U_d = \frac{1}{2\pi/6} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\alpha} \sqrt{3}U_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{6}) d(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} U_m \cos \alpha = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U \cos \alpha$$

$$\text{Khi } 0 \leq \alpha \leq \pi \quad -\frac{3\sqrt{6}}{\pi} U \leq U_d \leq \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U$$

Như vậy bộ chỉnh lưu cầu 3 pha điều khiển hoàn toàn có thể làm việc ở chế độ nghịch lưu và chuyển năng lượng về nguồn. Nó có thể làm việc ở hai góc phần tư I và IV

Trị trung bình dòng điện chỉnh lưu (dòng điện tải).

$$I_d = \frac{U_d - E}{R}$$

⚡ Áp ngược lớn nhất mà SCR phải chịu.

$$U_{RWM} = \sqrt{6}U = \sqrt{3}U_m$$

⚡ Dòng trung bình qua SCR.

$$I_{T1} = \dots = I_{T6} = \frac{I_d}{3}$$

- Khi thiết kế ta phải chọn linh kiện sao cho :

$$U_{RRM} \geq K_u \cdot U_{RWM} \text{ và } I_d \geq K_i I_{D1}$$

Trong đó:  $K_u = 2,5 - 3,5$  : Hệ số an toàn áp

$K_i \geq 1$  : hệ số an toàn về dòng

⚡ Trị hiệu dụng dòng điện nguồn.

$$I_1 = I_d \sqrt{\frac{2}{3}}$$

⚡ Công suất tiêu thụ trên tải.

$$P_d = U_d I_d$$

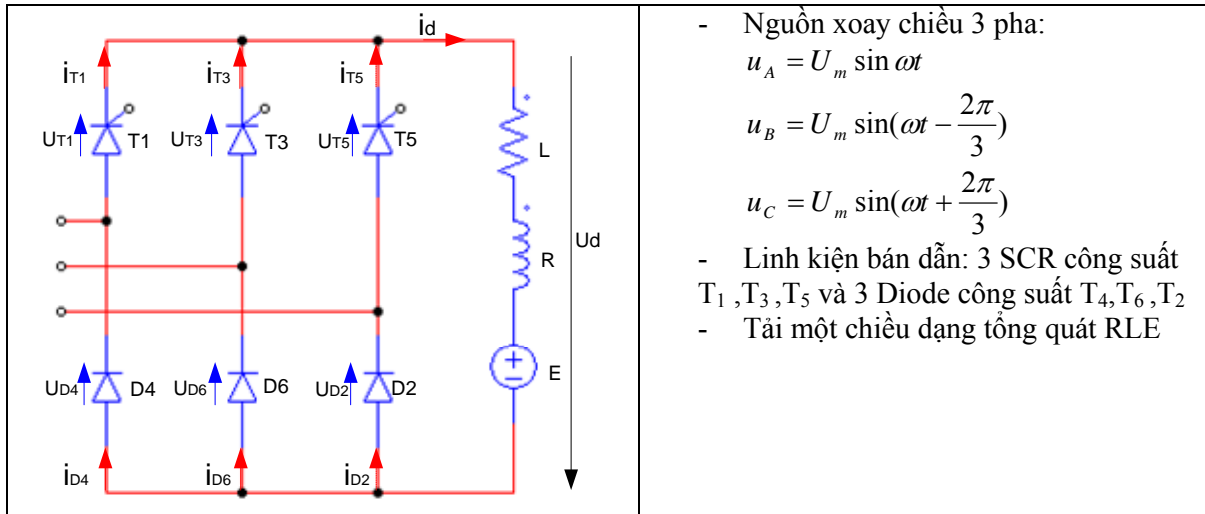
⚡ Hệ số công suất nguồn bộ chỉnh lưu.

$$\lambda = \frac{P_d}{S} = \frac{U_d I_d}{3U I_1}$$

$$\lambda = \frac{U_d I_d}{3UI} = \frac{3\sqrt{6}UI_d}{3U\pi\sqrt{\frac{2}{3}}I_d} \cos \alpha = 0,955 \cos \alpha$$

## VI. BỘ CHỈNH LƯU CẦU BA PHA ĐIỀU KHIỂN BÁN PHẦN

## 1. Sơ đồ



## 2. Ký hiệu:

- Dòng tức thời qua linh kiện công suất  $i_{T1}, i_{D2}, i_{T3}, i_{D4}, i_{T5}, i_{D6}$
- Điện áp trên linh kiện công suất  $u_{T1}, u_{D2}, u_{T3}, u_{D4}, u_{T5}, u_{D6}$
- Điện áp và dòng điện tải  $u_d, i_d$
- Trị trung bình điện áp, dòng điện tải  $U_d, I_d$
- Trị hiệu dụng áp pha nguồn  $U$
- Trị hiệu dụng dòng điện nguồn  $I_l$
- Biên độ điện áp pha nguồn  $U_m$

## 3. Giả thiết:

- Nguồn áp lý tưởng: nguồn xoay chiều ba pha cân bằng, đối xứng điện trở trong của nguồn bằng không.
- Các linh kiện bán dẫn lý tưởng: điện áp trên linh kiện khi dẫn bằng 0.
- Tải L đủ lớn để dòng tải phẳng và liên tục.
- Mạch ở trạng thái xác lập.
- Điện áp dây nguồn:

$$u_{AB} = u_A - u_B = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{6})$$

$$u_{BA} = u_B - u_A = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t - \frac{5\pi}{6})$$

$$u_{BC} = u_B - u_C = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$u_{CB} = u_C - u_B = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$u_{CA} = u_C - u_A = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t - \frac{7\pi}{6})$$

$$u_{AC} = u_A - u_C = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{6})$$

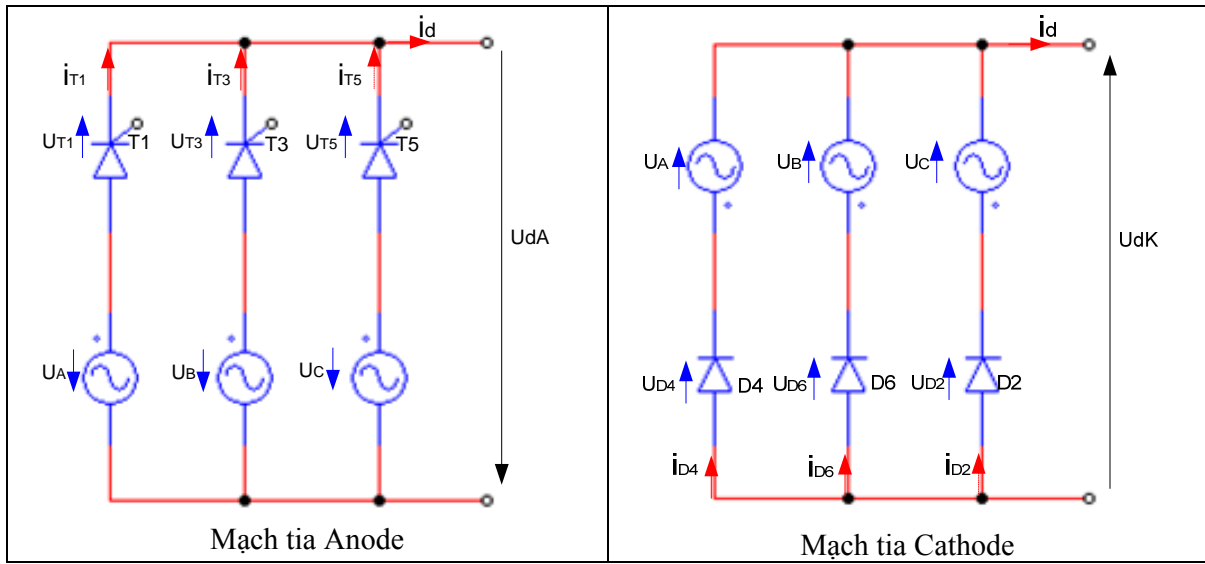
## 4. Phân tích.

- Khi thay nhóm linh kiện Anode (hoặc Cathode) trong bộ chỉnh lưu mạch cầu ba pha điều khiển hoàn toàn bằng diode công suất ta được bộ chỉnh lưu mạch cầu **ba pha điều khiển bán phần**.

- Việc phân tích BCL cầu 3 pha điều khiển bán phần hoàn toàn giống BCL cầu 3 pha điều khiển hoàn toàn với việc phân thành hai nhóm Anode và Cathode.

- Trong trường hợp này ta xem diode như Thyristor bình thường với góc điều khiển  $\alpha = 0$ . Việc phân tích tiến hành tương tự chỉnh lưu cầu 3 pha điều khiển hoàn toàn

- Mạch có cấu trúc gồm 2 bộ chỉnh lưu tia 3 pha điều khiển và không điều khiển



**a. Xác định khoảng dẫn của các linh kiện.**

🚦  $\left[ \frac{\pi}{6} + \alpha \div \frac{\pi}{2} \right]$  - SCR T<sub>1</sub>, D<sub>6</sub> dẫn

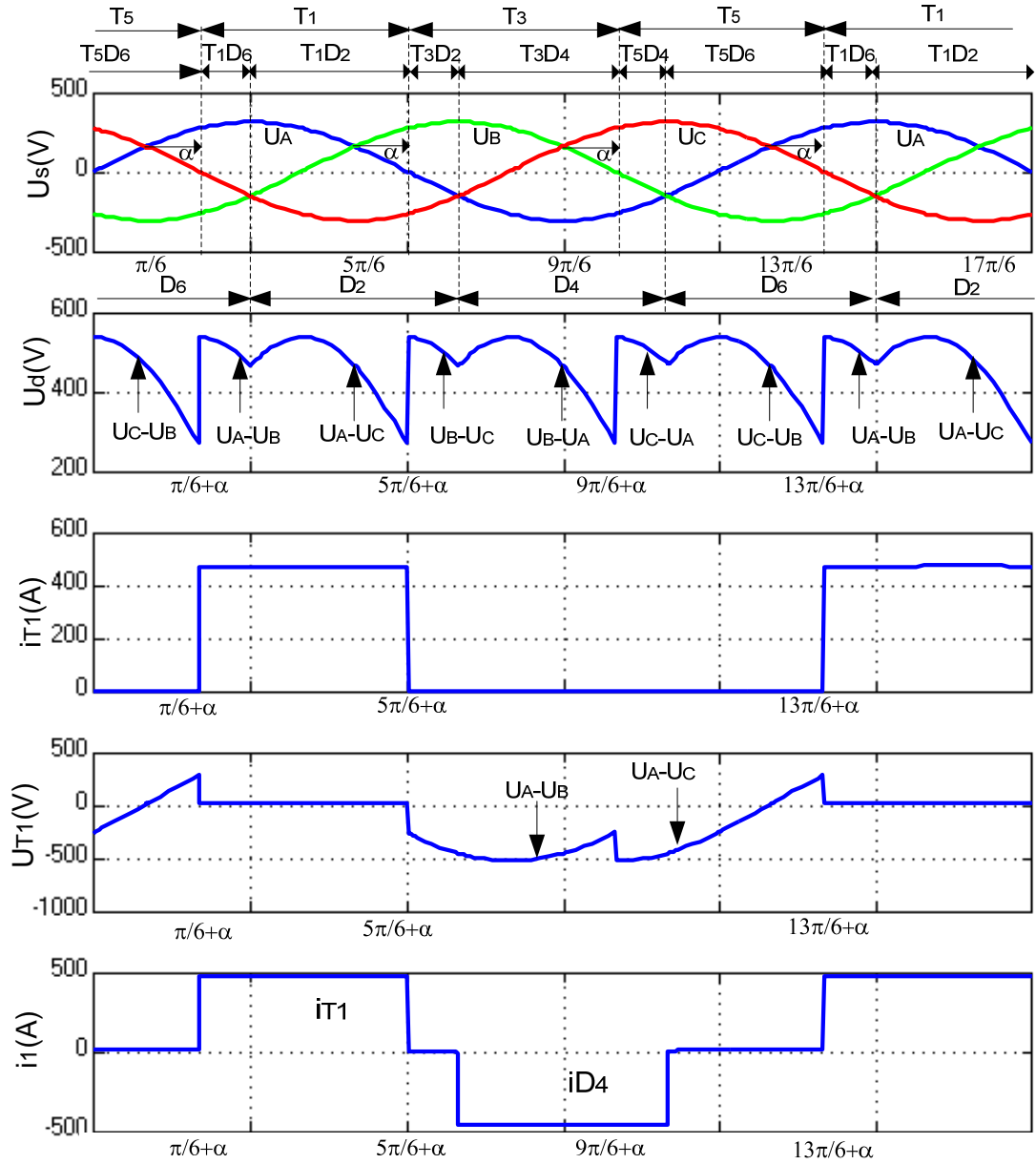
$\begin{cases} u_{T1} = 0 \\ i_{T1} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T3} = u_B - u_A \\ i_{T3} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T5} = u_C - u_A \\ i_{T5} = 0 \end{cases}$	$u_{dA} = u_A$
$\begin{cases} u_{D4} = u_B - u_A \\ i_{D4} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{D6} = 0 \\ i_{D6} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{D2} = u_B - u_C \\ i_{D2} = 0 \end{cases}$	$u_{dK} = u_B$
$u_d = u_{dA} - u_{dK} = u_A - u_B = u_{AB} = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{6})$			

🚦  $\left[ \frac{\pi}{2} \div \frac{5\pi}{6} + \alpha \right]$  - SCR T<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> dẫn

$\begin{cases} u_{T1} = 0 \\ i_{T1} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T3} = u_B - u_A \\ i_{T3} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T5} = u_C - u_A \\ i_{T5} = 0 \end{cases}$	$u_{dA} = u_A$
$\begin{cases} u_{D4} = u_C - u_A \\ i_{D4} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{D6} = u_C - u_B \\ i_{D6} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{D2} = 0 \\ i_{D2} = i_d \end{cases}$	$u_{dK} = u_C$
$u_d = u_{dA} - u_{dK} = u_A - u_C = u_{AC} = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{6})$			

🚦  $\left[ \frac{5\pi}{6} + \alpha \div \frac{7\pi}{6} \right]$  - SCR T<sub>3</sub>, D<sub>2</sub> dẫn

$\begin{cases} u_{T1} = u_A - u_B \\ i_{T1} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T3} = 0 \\ i_{T3} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T5} = u_C - u_B \\ i_{T5} = 0 \end{cases}$	$u_{dA} = u_B$
$\begin{cases} u_{D4} = u_C - u_A \\ i_{D4} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{D6} = u_C - u_B \\ i_{D6} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{D2} = 0 \\ i_{D2} = i_d \end{cases}$	$u_{dK} = u_C$
$u_d = u_{dA} - u_{dK} = u_B - u_C = u_{BC} = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$			



Time offset: 0

Hình 3.7 Giản đồ áp chỉnh lưu, áp và dòng qua linh kiện

⚡  $\left[ \frac{7\pi}{6} \div \frac{9\pi}{6} + \alpha \right]$  - SCR  $T_3, D_4$  dẫn

$\begin{cases} u_{T1} = u_A - u_B \\ i_{T1} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T3} = 0 \\ i_{T3} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T5} = u_C - u_B \\ i_{T5} = 0 \end{cases}$	$u_{dA} = u_B$
$\begin{cases} u_{D4} = 0 \\ i_{D4} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{D6} = u_A - u_B \\ i_{D6} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{D2} = u_A - u_C \\ i_{D2} = 0 \end{cases}$	$u_{dK} = u_A$
$u_d = u_{dA} - u_{dK} = u_B - u_A = u_{BA} = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t - \frac{5\pi}{6})$			

$$\left[ \frac{9\pi}{6} + \alpha \div \frac{11\pi}{6} \right] - \text{SCR } T_5, T_4 \text{ dẫn}$$

$\begin{cases} u_{T1} = u_A - u_C \\ i_{T1} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T3} = u_B - u_C \\ i_{T3} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T5} = 0 \\ i_{T5} = i_d \end{cases}$	$u_{dA} = u_C$
$\begin{cases} u_{D4} = 0 \\ i_{D4} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{D6} = u_A - u_B \\ i_{D6} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{D2} = u_A - u_C \\ i_{D2} = 0 \end{cases}$	$u_{dK} = u_A$
$u_d = u_{dA} - u_{dK} = u_C - u_A = u_{CA} = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t - \frac{7\pi}{6})$			

$$\left[ \frac{11\pi}{6} \div \frac{13\pi}{6} + \alpha \right] - \text{SCR } T_5, D_6 \text{ dẫn}$$

$\begin{cases} u_{T1} = u_A - u_C \\ i_{T1} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T3} = u_B - u_C \\ i_{T3} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T5} = 0 \\ i_{T5} = i_d \end{cases}$	$u_{dA} = u_C$
$\begin{cases} u_{D4} = u_B - u_A \\ i_{D4} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{D6} = 0 \\ i_{D1} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{D2} = u_B - u_C \\ i_{D2} = 0 \end{cases}$	$u_{dK} = u_B$
$u_d = u_{dA} - u_{dK} = u_C - u_B = u_{CB} = \sqrt{3}U_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$			

## 5. Hệ quả

Áp chỉnh lưu có dạng ba xung trong một chu kỳ áp nguồn BCL được gọi là bộ chỉnh lưu sáu xung. Tần số hài cơ bản áp chỉnh lưu bằng 6 lần tần số áp nguồn

$$f_{(1)} = p \cdot f = 6 \cdot 50 = 300 \text{ Hz}$$

Trong đó: p - số xung chỉnh lưu

Trị trung bình điện áp chỉnh lưu (điện áp tải).

$$U_D = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U (1 + \cos \alpha)$$

$$\text{Khi } 0 \leq \alpha \leq \pi \quad 0 \leq U_d \leq \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U$$

Như vậy bộ chỉnh lưu cầu 3 pha điều khiển bán phần chỉ có thể làm việc ở chế độ chỉnh lưu. Nó có thể làm việc ở góc phần tư I

Trị trung bình dòng điện chỉnh lưu (dòng điện tải).

$$I_d = \frac{U_d - E}{R}$$

Áp ngược lớn nhất mà SCR phải chịu.

$$U_{RWM} = \sqrt{6}U = \sqrt{3}U_m$$

Dòng trung bình qua SCR.

$$I_{T1} = \dots = I_{T6} = \frac{I_d}{3}$$

Khi thiết kế ta phải chọn linh kiện sao cho :

$$U_{RRM} \geq K_u \cdot U_{RWM} \text{ và } I_d \geq K_i I_{D1}$$

Trong đó:  $K_u = 2,5 - 3,5$  : Hệ số an toàn áp

$K_i \geq 1$  : hệ số an toàn về dòng

Trị hiệu dụng dòng điện nguồn.

$$I_1 = I_d \sqrt{\frac{2}{3}}$$

✚ Công suất tiêu thụ trên tải.

$$P_d = U_d I_d$$

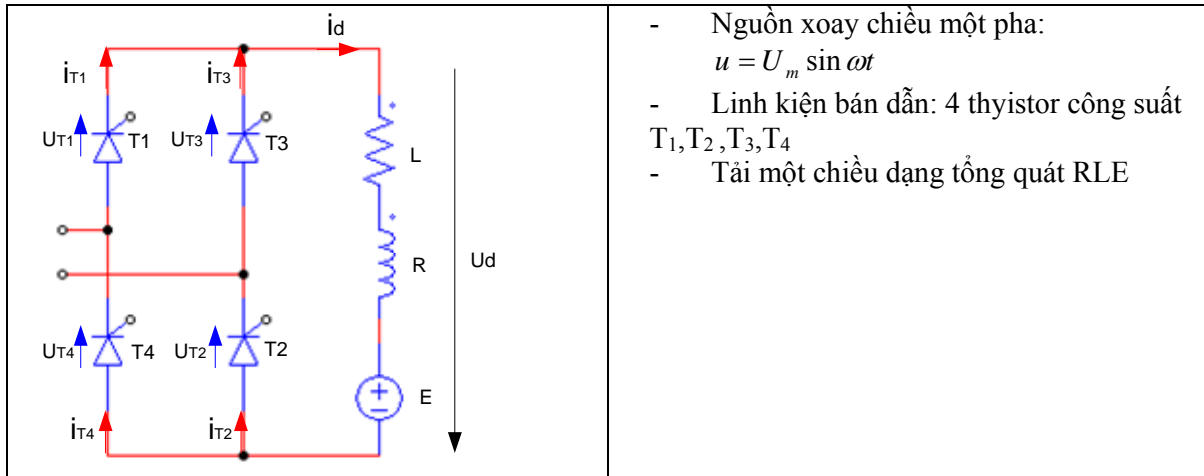
✚ Hệ số công suất nguồn bộ chỉnh lưu.

$$\lambda = \frac{P_d}{S} = \frac{U_d I_d}{3UI_1}$$

$$\lambda = \frac{U_d I_d}{3UI} = \frac{3\sqrt{6}UI_d}{6U\pi\sqrt{\frac{2}{3}}I_d}(1 + \cos \alpha) = 0,478(1 + \cos \alpha)$$

## VII. BỘ CHỈNH LƯU CẦU MỘT PHA ĐIỀU KHIỂN HOÀN TOÀN.

## 1. Sơ đồ.



## 2. Ký hiệu:

- Dòng tức thời qua linh kiện SCR công suất  $i_{T1}, i_{T2}, i_{T3}, i_{T4}$
- Điện áp trên linh kiện SCR công suất  $u_{T1}, u_{T2}, u_{T3}, u_{T4}$
- Điện áp và dòng điện tải  $u_d, i_d$
- Trị trung bình điện áp, dòng điện tải  $U_d, I_d$
- 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:

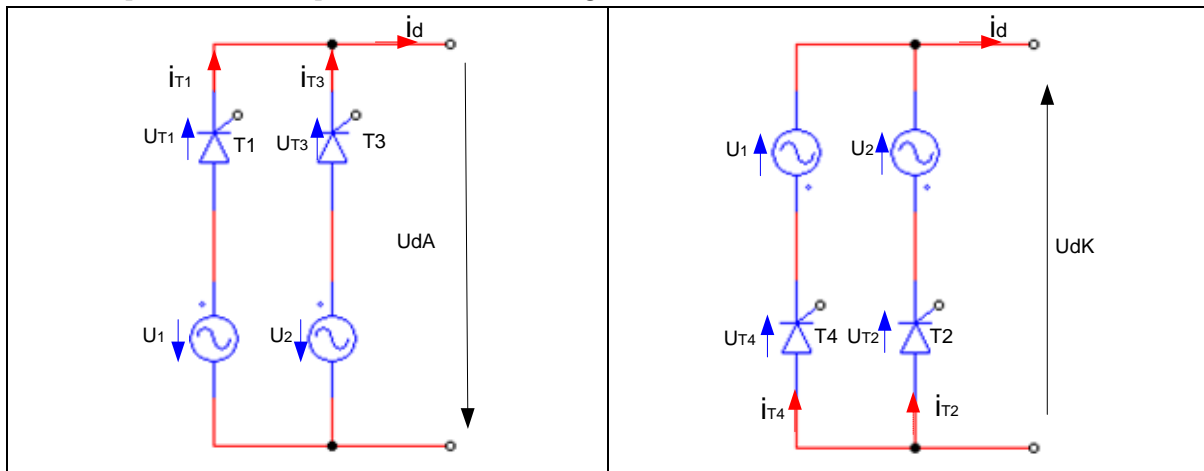
- Nguồn áp lý tưởng: nguồn xoay chiều một pha lý tưởng, điện trở trong của nguồn bằng không.
- Các linh kiện bán dẫn lý tưởng: điện áp trên linh kiện khi dẫn bằng 0.
- Tải L đủ lớn để dòng tải phẳng và liên tục.
- Mạch ở trạng thái xác lập.

## 4. Phân tích.

- Tương tự BCL cầu ba pha ta chia thành hai nhóm: nhóm Anode ( $T_1, T_3$ ) và nhóm Cathode ( $T_4, T_2$ ). Trong cùng một khoảng một thời gian sẽ có hai linh kiện của hai nhóm cùng dẫn.

## a. Xác định khoảng dẫn của các SCR

- $[\alpha \div \pi + \alpha]$  - Linh kiện  $T_1, T_2$  cùng dẫn.
- $[\pi + \alpha \div 2\pi + \alpha]$  - Linh kiện  $T_3, T_4$  cùng dẫn.





Giả sử nguồn xoay chiều một pha được chia làm hai nguồn  $u_1, u_2$  :

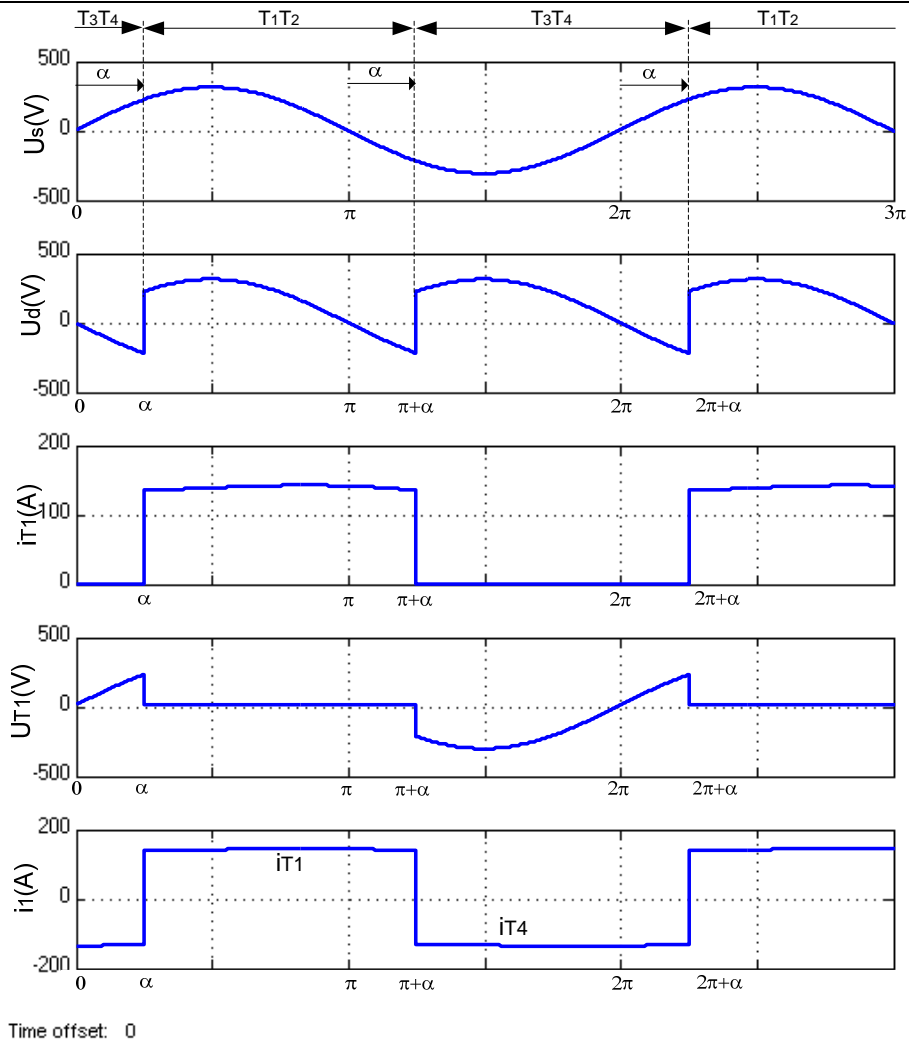
$$u_1 = \frac{u}{2} = \frac{U_m}{2} \sin \omega t; \quad u_2 = \frac{-u}{2} = \frac{U_m}{2} (\sin \omega t - \pi)$$

✚  $[\alpha \div \pi + \alpha]$ :  $T_1, T_2$  dẫn

$\begin{cases} u_{T1} = 0 \\ i_{T1} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T3} = u_2 - u_1 = -u \\ i_{T3} = 0 \end{cases}$	$u_{dA} = u_1$
$\begin{cases} u_{T2} = 0 \\ i_{T2} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T4} = u_2 - u_1 = -u \\ i_{T4} = 0 \end{cases}$	$u_{dK} = u_2$
$u_d = u_{dA} - u_{dK} = u_1 - u_2 = u = U_m \sin \omega t$		

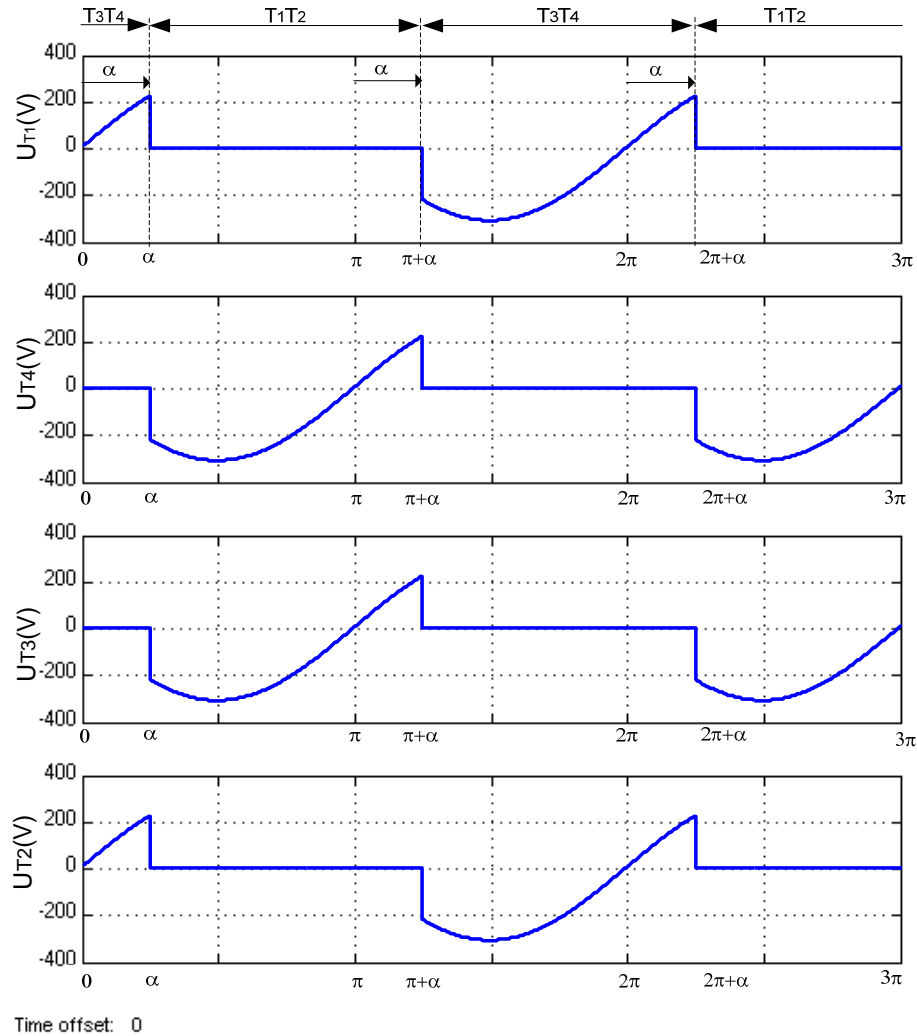
✚  $[\pi + \alpha \div 2\pi + \alpha]$ :  $T_3, T_4$  dẫn

$\begin{cases} u_{T1} = u_1 - u_2 = u < 0 \\ i_{T1} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T3} = 0 \\ i_{T3} = i_d \end{cases}$	$u_{dA} = u_2$
$\begin{cases} u_{T2} = u_1 - u_2 = u < 0 \\ i_{T2} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T4} = 0 \\ i_{T4} = i_d \end{cases}$	$u_{dK} = u_1$
$u_d = u_{dA} - u_{dK} = u_2 - u_1 = -u = -U_m \sin \omega t$		



Time offset: 0

Hình 3.11 Giản đồ áp chỉnh lưu, áp và dòng qua linh kiện



Hình 3.11 Giảm đồ điện áp và dòng điện qua linh kiện

### 5. Hệ quả

Áp chỉnh lưu có dạng hai xung trong một chu kỳ áp nguồn, BCL được gọi là bộ chỉnh lưu hai xung. Tần số hài cơ bản áp chỉnh lưu bằng 2 lần tần số áp nguồn

$$f_{(1)} = p \cdot f = 2 \cdot 50 = 100 \text{ Hz}$$

Trong đó: p - số xung chỉnh lưu

Trị trung bình điện áp chỉnh lưu (điện áp tải).

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} U_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2}{\pi} U_m \cos \alpha = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U \cos \alpha$$

$$\text{Khi } 0 \leq \alpha \leq \pi \quad -\frac{2\sqrt{2}}{\pi} U \leq U_d \leq \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U$$

Như vậy bộ chỉnh lưu cầu 3 pha điều khiển hoàn toàn có thể làm việc ở chế độ nghịch lưu và chuyển năng lượng về nguồn. Nó có thể làm việc ở hai góc phần tư I và IV

Trị trung bình dòng điện chỉnh lưu (dòng điện tải).

$$I_d = \frac{U_d - E}{R}$$

Áp ngược lớn nhất mà SCR phải chịu.

$$U_{RWM} = \sqrt{2}U = U_m$$

✚ Dòng trung bình qua SCR.

$$I_{T1} = \dots = I_{T4} = \frac{I_d}{2}$$

- Khi thiết kế ta phải chọn linh kiện sao cho :

$$U_{RRM} \geq K_u \cdot U_{RWM} \text{ và } I_d \geq K_i I_{D1}$$

Trong đó:  $K_u = 2,5 - 3,5$  : Hệ số an toàn áp

$K_i \geq 1$  : hệ số an toàn về dòng

✚ Trị hiệu dụng dòng điện nguồn.

$$I_1 = I_d$$

✚ Công suất tiêu thụ trên tải.

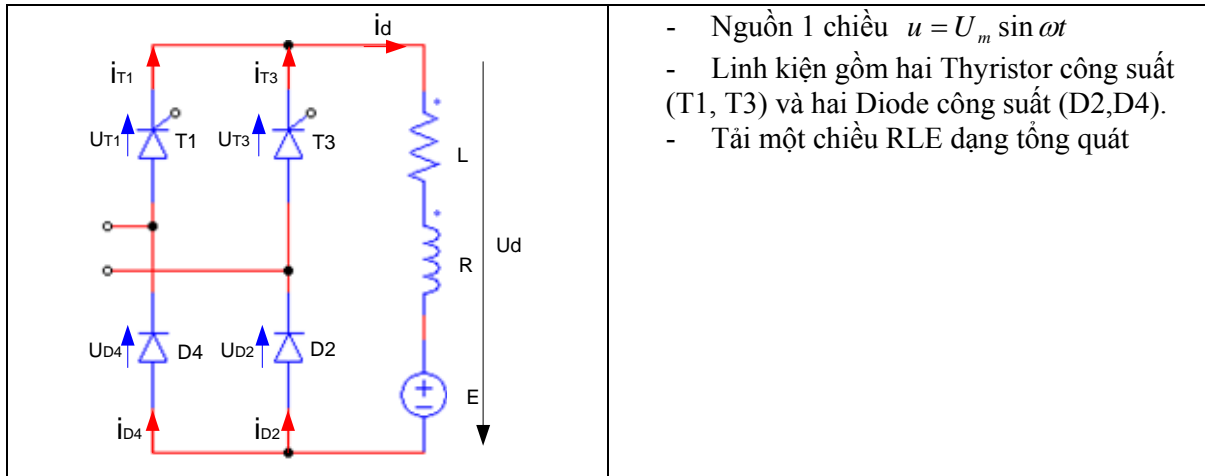
$$P_d = U_d I_d$$

✚ Hệ số công suất nguồn bộ chỉnh lưu.

$$\lambda = \frac{P_d}{S} = \frac{U_d I_d}{U I_1} = \frac{2\sqrt{2} U I_d}{\pi U I_d} = 0.901 \cos \alpha$$

## VIII. BỘ CHỈNH LƯU CẦU 1 PHA ĐIỀU KHIỂN BÁN PHẦN ĐỐI XỨNG

## 1. Sơ đồ:



## 2. Ký hiệu:

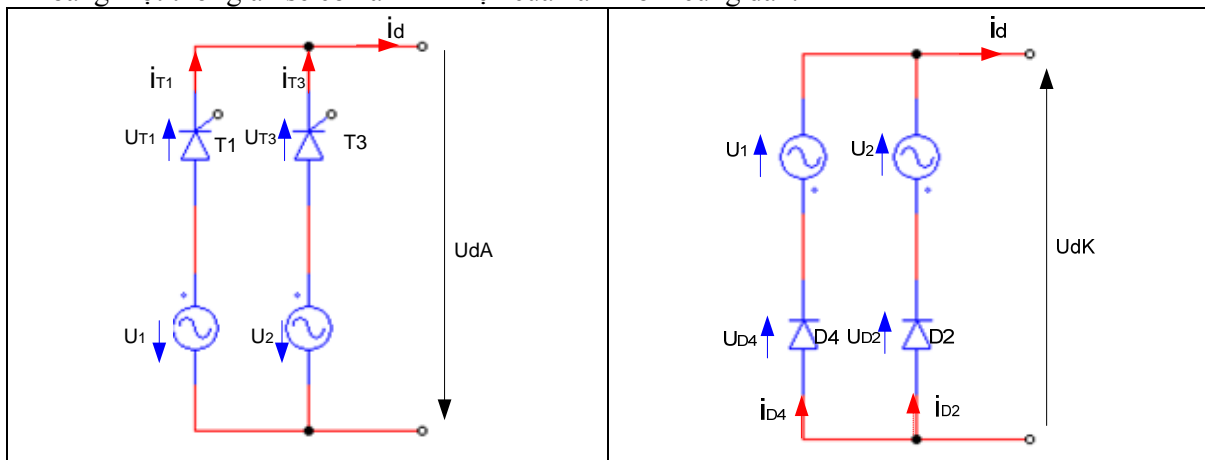
- Dòng tức thời qua linh kiện công suất  $i_{T1}$ ,  $i_{D2}$ ,  $i_{T3}$ ,  $i_{D4}$
- Điện áp trên linh kiện công suất  $u_{T1}$ ,  $u_{D2}$ ,  $u_{T3}$ ,  $u_{D4}$
- Điện áp và dòng điện tải  $u_d$ ,  $i_d$
- Trị trung bình điện áp, dòng điện tải  $U_d$ ,  $I_d$
- Trị hiệu dụng áp pha nguồn  $U$
- 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.
- Tải L đủ lớn để dòng tải phẳng và liên tục.
- Mạch ở trạng thái xác lập.

## 4. Phân tích.

- Chia thành hai nhóm: nhóm Anode (T1, T3) và nhóm Cathode (D2, D4). Trong cùng một khoảng một thời gian sẽ có hai linh kiện của hai nhóm cùng dẫn.



## a. Xác định khoảng dẫn của các linh kiện.

Giả sử nguồn xoay chiều một pha được chia làm hai nguồn  $u_1, u_2$ :

$$u_1 = \frac{u}{2} = \frac{U_m}{2} \sin \omega t; u_2 = \frac{-u}{2} = \frac{U_m}{2} (\sin \omega t - \pi)$$

✚ **Phân tích nhóm Anode:**  $T_1, T_3$ :

-  $[\alpha \div \pi + \alpha]$  :  $T_1$  dẫn khi khoá áp trên linh kiện dương tức là trong bán phần dương của điện áp nguồn  $u_1$

-  $[\pi + \alpha \div 2\pi + \alpha]$  :  $T_3$  dẫn khi khoá áp trên linh kiện dương tức là trong bán kỳ dương của điện áp nguồn  $u_2$

✚ **Phân tích nhóm Cathode:**  $D_2, D_4$

-  $[0 \div \pi]$  :  $D_2$  dẫn khi khoá áp trên linh kiện dương tức là trong bán kỳ âm của điện áp nguồn  $u_2$ .

-  $[\pi \div 2\pi]$  :  $D_4$  dẫn khi khoá áp trên linh kiện dương tức là trong bán kỳ âm của điện áp nguồn  $u_1$

✚  $[0 \div \alpha]$ :  $T_3, D_2$  dẫn

$\begin{cases} u_{T1} = u_1 - u_2 \\ i_{T1} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T3} = 0 \\ i_{T3} = 0 \end{cases}$	$u_{dA} = u_2$
$\begin{cases} u_{T2} = 0 \\ i_{T2} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{D4} = u_2 - u_1 = -u \\ i_{D4} = 0 \end{cases}$	$u_{dK} = u_2$
$u_d = u_{dA} - u_{dK} = u_2 - u_2 = 0$		

✚  $[\alpha \div \pi]$ :  $T_1, T_2$  dẫn

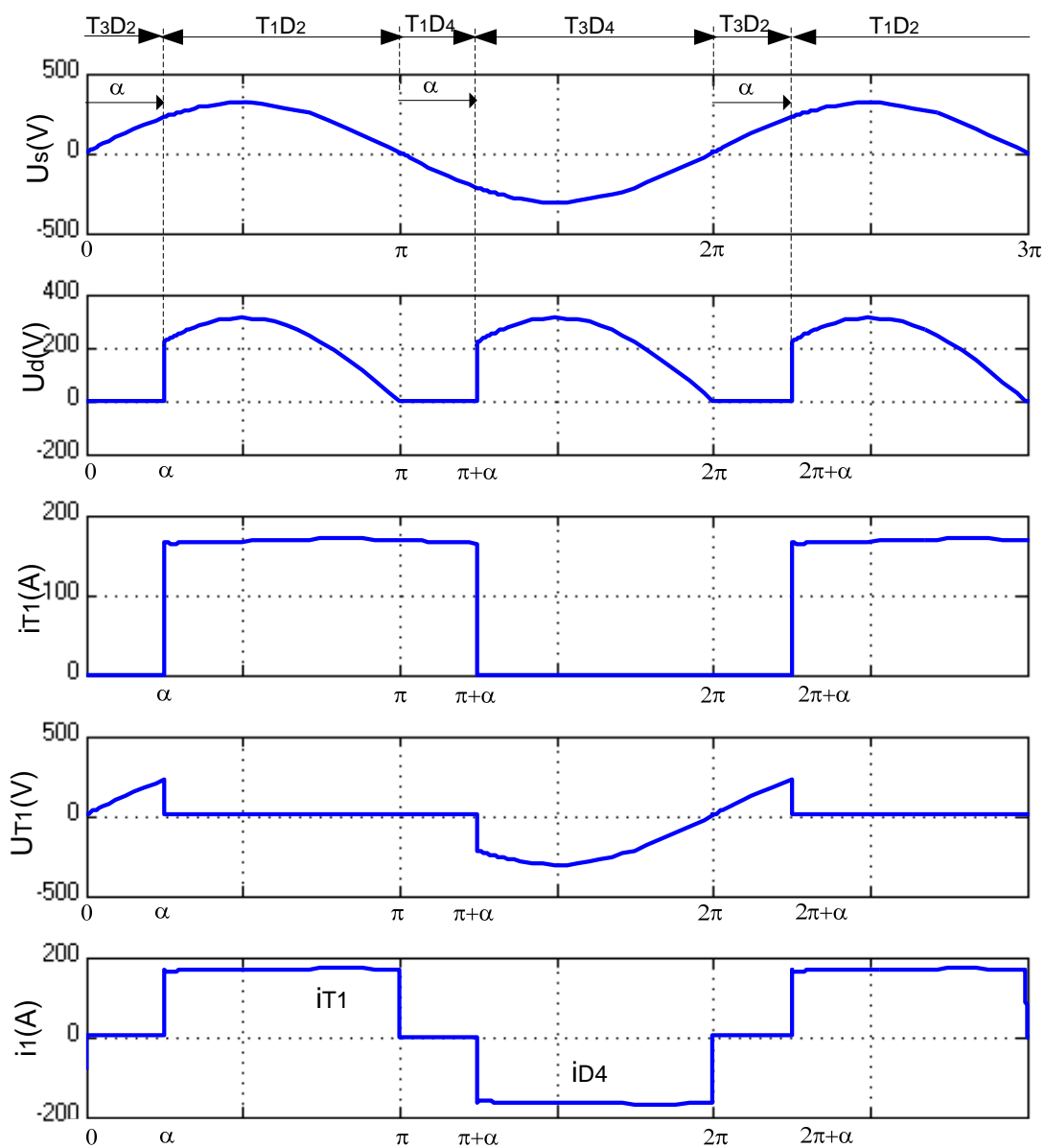
$\begin{cases} u_{T1} = 0 \\ i_{T1} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T3} = u_2 - u_1 = -u \\ i_{T3} = 0 \end{cases}$	$u_{dA} = u_1$
$\begin{cases} u_{T2} = 0 \\ i_{T2} = i_d \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T4} = u_2 - u_1 = -u \\ i_{T4} = 0 \end{cases}$	$u_{dK} = u_2$
$u_d = u_{dA} - u_{dK} = u_1 - u_2 = u = U_m \sin \omega t$		

✚  $[0 \div \alpha]$ :  $T_1, D_4$  dẫn

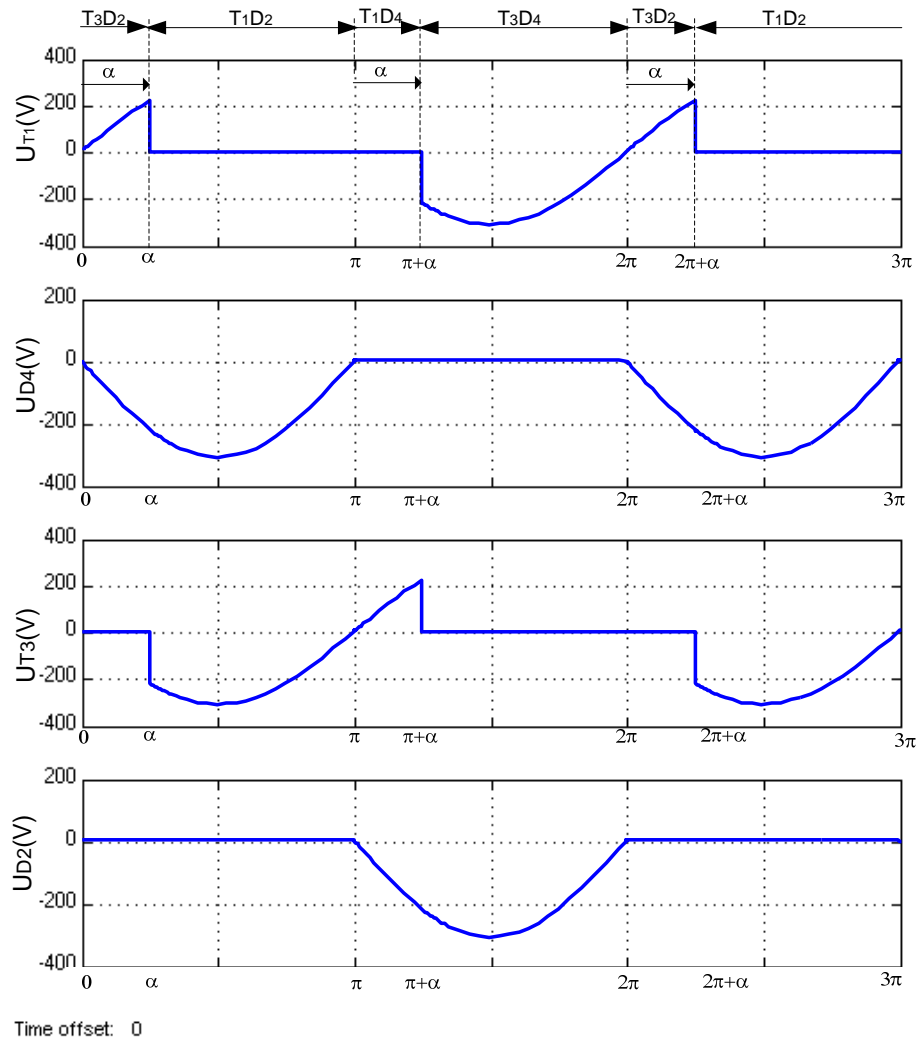
$\begin{cases} u_{T1} = 0 \\ i_{T1} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T3} = u_2 - u_1 \\ i_{T3} = 0 \end{cases}$	$u_{dA} = u_1$
$\begin{cases} u_{T2} = u_1 - u_2 \\ i_{T2} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{D4} = 0 \\ i_{D4} = 0 \end{cases}$	$u_{dK} = u_1$
$u_d = u_{dA} - u_{dK} = u_2 - u_2 = 0$		

✚  $[\pi + \alpha \div 2\pi]$ :  $T_3, D_4$  dẫn

$\begin{cases} u_{T1} = u_1 - u_2 = u < 0 \\ i_{T1} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T3} = 0 \\ i_{T3} = i_d \end{cases}$	$u_{dA} = u_2$
$\begin{cases} u_{T2} = u_1 - u_2 = u < 0 \\ i_{T2} = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} u_{T4} = 0 \\ i_{T4} = i_d \end{cases}$	$u_{dK} = u_1$
$u_d = u_{dA} - u_{dK} = u_2 - u_1 = -u = -U_m \sin \omega t$		



Hình 3.13 Giản đồ áp chỉnh lưu, áp và dòng qua linh kiện



Hình 3.14 Giảm đồ áp chỉnh lưu, áp và dòng qua linh kiện

### 5. Hệ quả

⚡ Áp chỉnh lưu có dạng hai xung trong một chu kỳ áp nguồn, BCL được gọi là bộ chỉnh lưu hai xung. Tần số hài cơ bản áp chỉnh lưu bằng 2 lần tần số áp nguồn

$$f_{(1)} = p \cdot f = 2 \cdot 50 = 100 \text{ Hz}$$

Trong đó: p - số xung chỉnh lưu

⚡ Trị trung bình điện áp chỉnh lưu (điện áp tải).

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{U_m}{\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U (1 + \cos \alpha)$$

$$\text{Khi } 0 \leq \alpha \leq \pi \quad 0 \leq U_d \leq \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U$$

- Như vậy bộ chỉnh lưu cầu 3 pha điều khiển bán phần chỉ có thể làm việc ở chế độ chỉnh lưu. Nó có thể làm việc ở hai góc phần tư I

⚡ Trị trung bình dòng điện chỉnh lưu (dòng điện tải).

$$I_d = \frac{U_d - E}{R}$$

⚡ Áp ngược lớn nhất mà SCR phải chịu.

$$U_{RWM} = \sqrt{2}U = U_m$$

✚ Dòng trung bình qua SCR.

$$I_{T1} = \dots = I_{D6} = \frac{I_d}{2}$$

- Khi thiết kế ta phải chọn linh kiện sao cho :

$$U_{RRM} \geq K_u \cdot U_{RWM} \text{ và } I_d \geq K_i I_{D1}$$

Trong đó:  $K_u = 2,5 - 3,5$  : Hệ số an toàn áp

$K_i \geq 1$  : hệ số an toàn về dòng

✚ Trị hiệu dụng dòng điện nguồn.

$$I_1 = I_d \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}}$$

✚ Công suất tiêu thụ trên tải.

$$P_d = U_d I_d$$

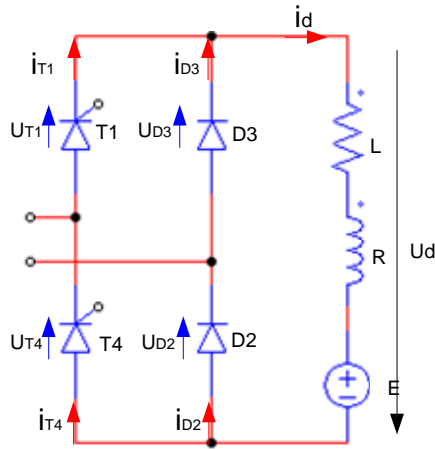
✚ Hệ số công suất nguồn bộ chỉnh lưu.

$$\lambda = \frac{P_d}{S} = \frac{U_d I_d}{U I_1}$$



## IX. BỘ CHỈNH LƯU CẦU 1 PHA ĐIỀU KHIỂN BÁN PHẦN KHÔNG ĐỐI XỨNG

### 1. Sơ đồ:



Nguồn 1 chiều lý tưởng  $u = U_m \sin \omega t$

-Linh kiện gồm hai Thyristor công suất (T1, T4) và hai Diode công suất (D2, D3)

- Tải một chiều RLE dạng tổng quát

### 2. Giả thiết :

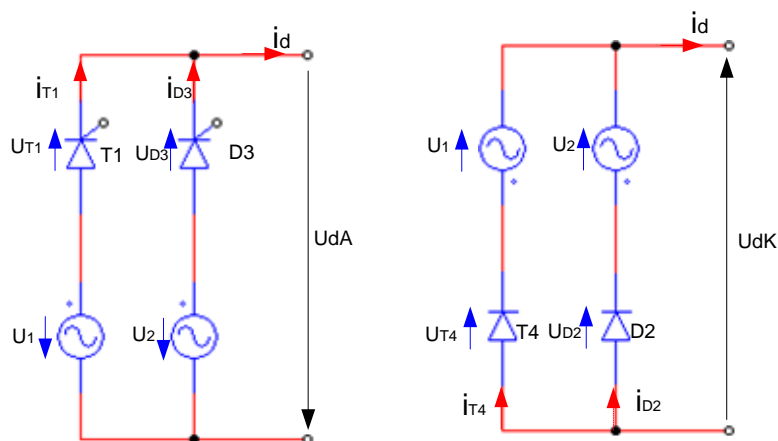
- Nguồn một pha lý tưởng
- Linh kiện lý tưởng
- Dòng tải liên tục và mạch ở trạng thái xác lập

#### 1. Phân tích.

-Tương tự BCL cầu ba pha ta chia thành hai nhóm : nhóm Anode (T1, T3) và nhóm Cathode (D4, D2). Trong cùng một khoảng một thời gian sẽ có hai linh kiện của hai nhóm cùng dẫn.

$$u_1 = \frac{u}{2} = \frac{U_m}{2} \sin \omega t$$

$$u_2 = -\frac{u}{2} = \frac{U_m}{2} \sin(\omega t - \pi)$$



- $[\alpha \div \pi]$  -Linh kiện T1, D2 cùng dẫn.

- $[\pi \div \pi + \alpha]$  -Linh kiện D3 dẫn.

- $[\pi + \alpha \div 2\pi]$  - Linh kiện D3, T4 cùng dẫn.

- $[0 \div \alpha]$  - Linh kiện  $D_2$  dẫn.

**Phân tích nhóm Anode:**  $T_1, D_3$

-  $T_1$  dẫn khi khoá áp trên linh kiện dương tức là trong bán phần dương của  $u_1$

$$u_{T1} = 0; u_{T3} = u_2 - u_1 = -u < 0; u_{dA} = u_1$$

-  $D_3$  dẫn khi khoá áp trên linh kiện dương tức là trong bán phần dương của  $u_2$

$$u_{D3} = 0; u_{T1} = u_1 - u_2 = u < 0; u_{dA} = u_2$$

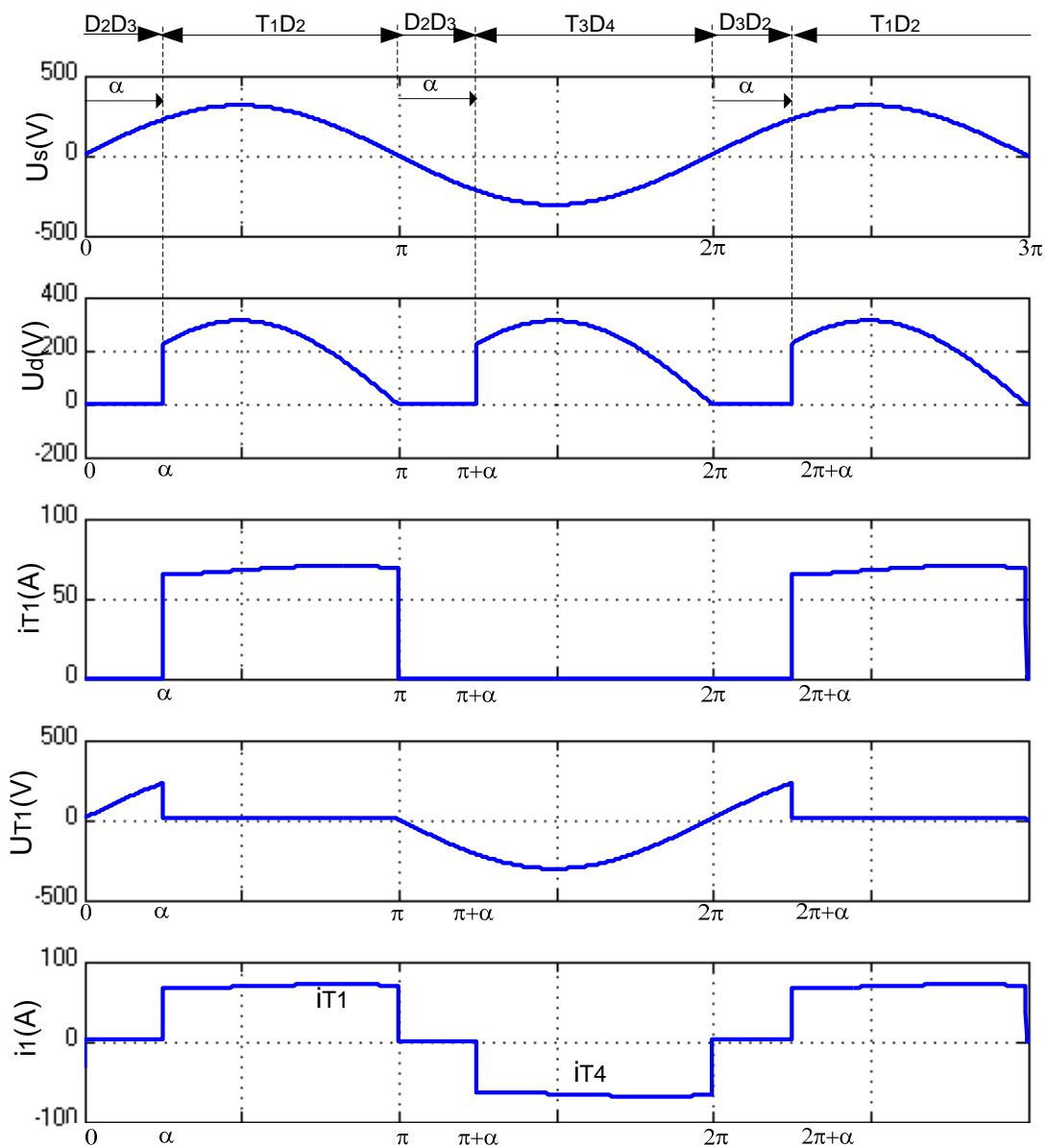
**Phân tích nhóm Cathode:**  $D_2, T_4$

-  $D_2$  dẫn khi khoá áp trên linh kiện dương tức là trong bán phần âm của  $u_2$

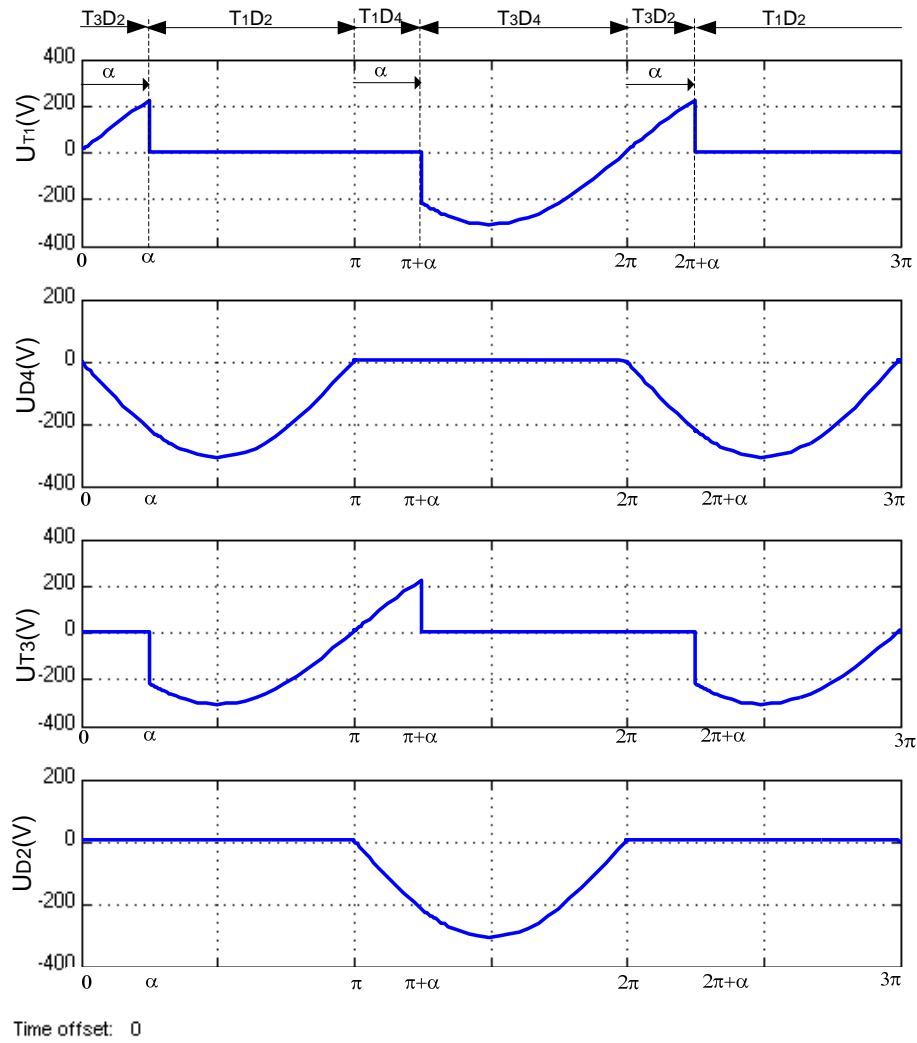
$$u_{D2} = 0; u_{T4} = u_2 - u_1 = -u < 0; u_{dK} = u_2$$

-  $T_4$  dẫn khi khoá áp trên linh kiện dương tức là trong bán phần âm của  $u_1$

$$u_{T4} = 0; u_{D2} = u_1 - u_2 = u < 0; u_{dA} = u_1$$



Time offset: 0



Giản đồ áp chỉnh lưu, khoảng dẫn các linh kiện

-Trong khoảng  $[0 \div \alpha]$  hoặc  $[2\pi \div 2\pi + \alpha]$  -  $D_3, D_2$  dẫn

$$\begin{cases} u_{T1} = u > 0 \\ i_{T1} = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} u_{D2} = 0 \\ i_{D2} = i_d \end{cases} \quad \begin{cases} u_{T3} = 0 \\ i_{T3} = i_d \end{cases} \quad \begin{cases} u_{D4} = -u < 0 \\ i_{D4} = 0 \end{cases}$$

$$u_d = u_{dA} - u_{dk} = 0; u_d = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} + E$$

-Trong khoảng  $[\alpha \div \pi]$   $T_1, D_2$  dẫn

$$\begin{cases} u_{T1} = 0 \\ i_{T1} = i_d \end{cases} \quad \begin{cases} u_{D2} = 0 \\ i_{D2} = i_d \end{cases} \quad \begin{cases} u_{T3} = -u < 0 \\ i_{T3} = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} u_{D4} = -u < 0 \\ i_{D4} = 0 \end{cases}$$

$$u_d = u_{dA} - u_{dk} = u; u_d = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} + E$$

-Trong khoảng  $[\pi \div \pi + \alpha]$   $D_2, D_3$  dẫn

$$\begin{cases} u_{T1} = u < 0 \\ i_{T1} = i_d \end{cases} \quad \begin{cases} u_{D2} = 0 \\ i_{D2} = i_d \end{cases} \quad \begin{cases} u_{D3} = 0 \\ i_{D3} = i_d \end{cases} \quad \begin{cases} u_{T4} = -u > 0 \\ i_{T4} = 0 \end{cases}$$

$$u_d = u_{dA} - u_{dk} = 0; u_d = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} + E$$

-Trong khoảng  $[\pi + \alpha \div 2\pi]$   $D_3, T_4$  dẫn

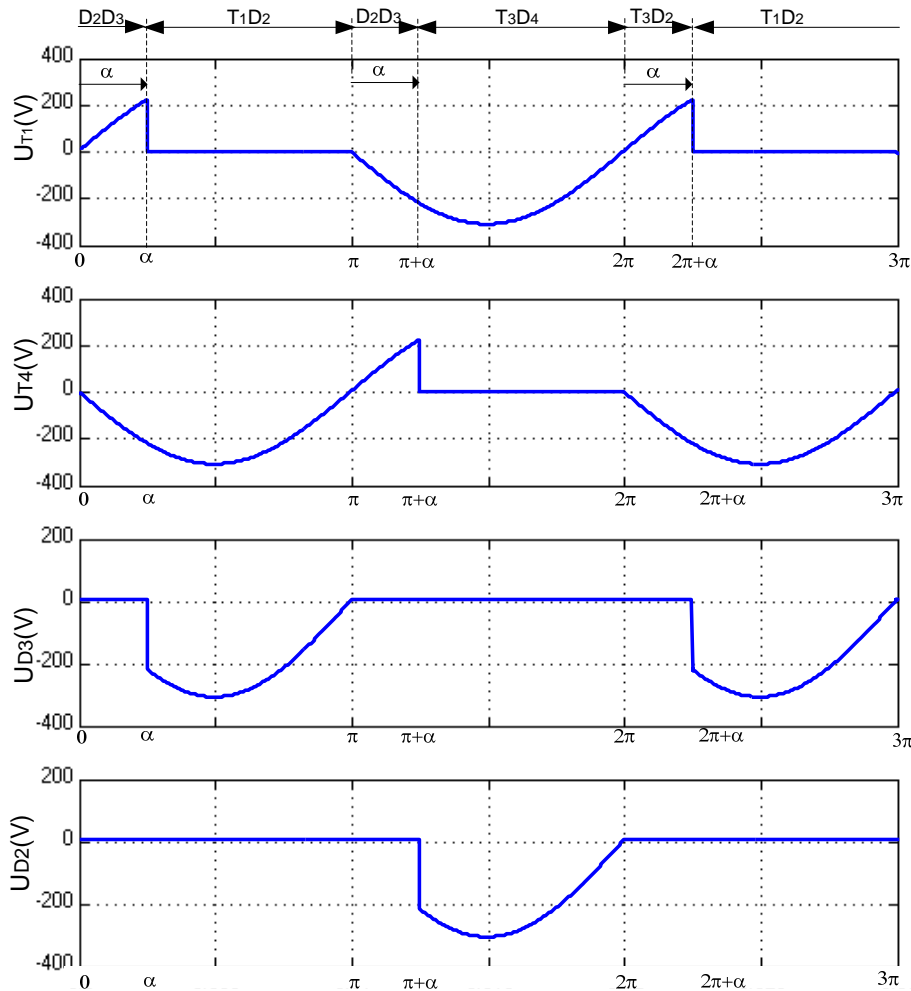
$$\begin{cases} u_{T1} = u < 0 \\ i_{T1} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_{D2} = u < 0 \\ i_{D2} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_{T3} = 0 \\ i_{T3} = i_d \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_{D4} = 0 \\ i_{D4} = i_d \end{cases}$$

$$u_d = u_{dA} - u_{dK} = -u; u_d = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} + E$$



Time offset: 0

Giản đồ áp chỉnh lưu, khoảng dẫn các linh kiện

#### 4. Hệ quả.

-Trị trung bình áp chỉnh lưu:  $U_d = \frac{1}{\pi} U_m \sin(\omega t) d\omega t = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U (1 + \cos \alpha)$

$$0 \leq \alpha \leq \pi \Rightarrow 0 \leq U_d \leq \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U$$

Như vậy BCL này chỉ có thể làm việc ở chế độ chỉnh lưu. Khi dòng qua tải liên tục điện áp tải có dạng chỉ phụ thuộc vào góc điều khiển  $\alpha$  và áp nguồn

-Trị trung bình dòng tải:  $I_{d\alpha} = \frac{U_{d\alpha} - E}{R}$

-Dòng trung bình qua linh kiện Thyristor  $I_T = \frac{\pi - \alpha}{2\pi} I_d$

- Dòng trung bình qua linh kiện Diode  $I_T = \frac{\pi + \alpha}{2\pi} I_d$

- Áp ngược lớn nhất qua linh kiện  $U_{RNM} = \sqrt{2}U$

- Trị hiệu dụng dòng nguồn  $I_1 = \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}} I_d$

- Hệ số công suất nguồn bộ chỉnh lưu  $\lambda = \frac{U_d \cdot I_d}{U \cdot I}$

**Nhận xét.**

- Cả hai cấu hình đều làm mất phần âm trên tải vì thế thuận lợi hơn cho các ứng dụng
- Chế độ nghịch lưu không xảy ra
- Hệ số công suất cao hơn so với chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển hoàn toàn
- Thời gian ngắt an toàn : mạch không đối xứng an toàn hơn mạch đối xứng và điều khiển hoàn toàn.