

## 第三节、负载性质对整流电路性能的影响

- ❖ 电感量的实际数值是以整流电路的输出量能够满足一定要求为限度， $L_d$ 为有限值。
- ❖ 最常见的是输出电流连续或其脉动度低于某一水平。

# 一、纯阻性负载 ( $L_d = 0$ ) 时的工作情况

## 1. 电流为连续的情况

$0 < \alpha < \pi/3$

$u_d = u_d' = i_d R_d$

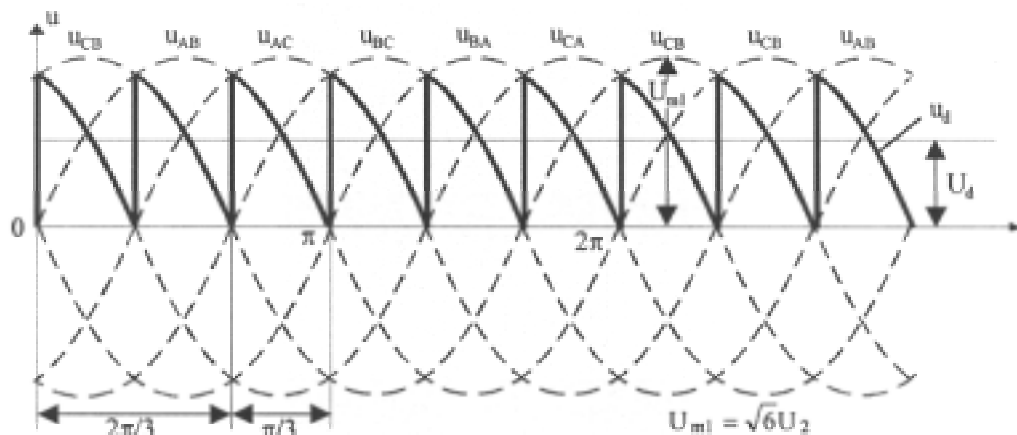
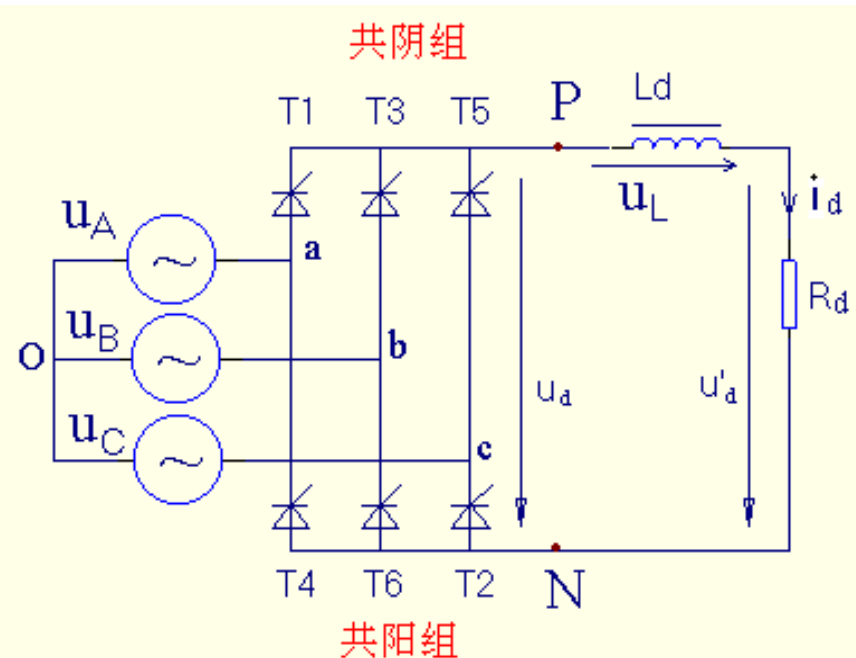


图 2—3 某一工况下整流电路输出电压  $u_d$  波形

从图可见：

①  $\alpha = \pi/3$  rad 是电流连续的临界状态；

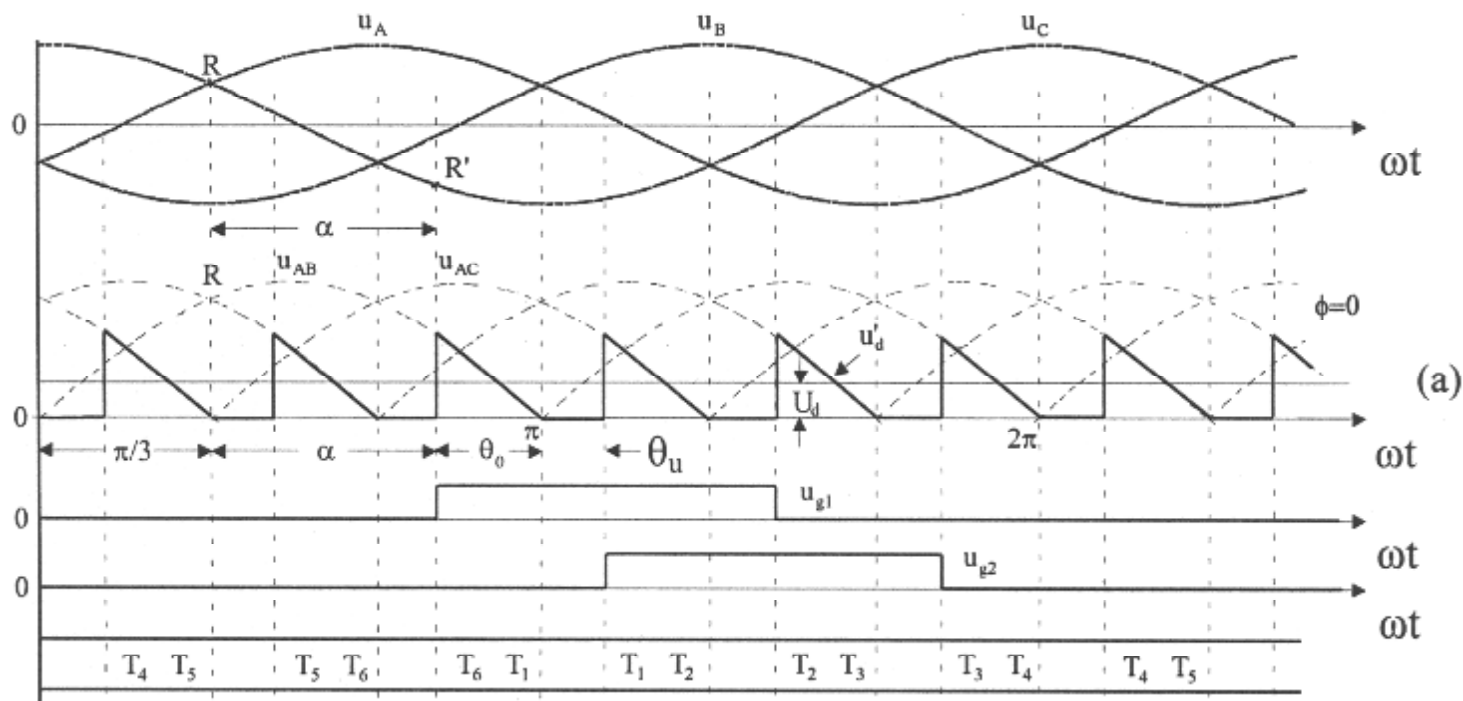
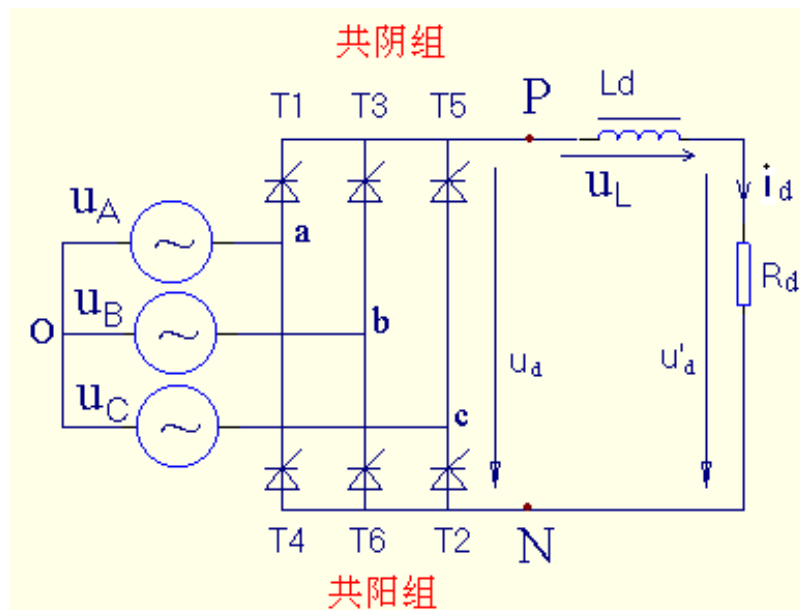
② 在  $0 < \alpha < \pi/3$  rad 区间，输出电压  $u_d$  波形与  $L_d = \infty$  时相同，因而平均值  $u_d$  同样为：

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha ;$$

③ 由于  $L_d = 0$ ，输出电压  $u_d'$  中谐波含量明显增加。

## 2. 电流为断续的情况

$\alpha > \pi/3$



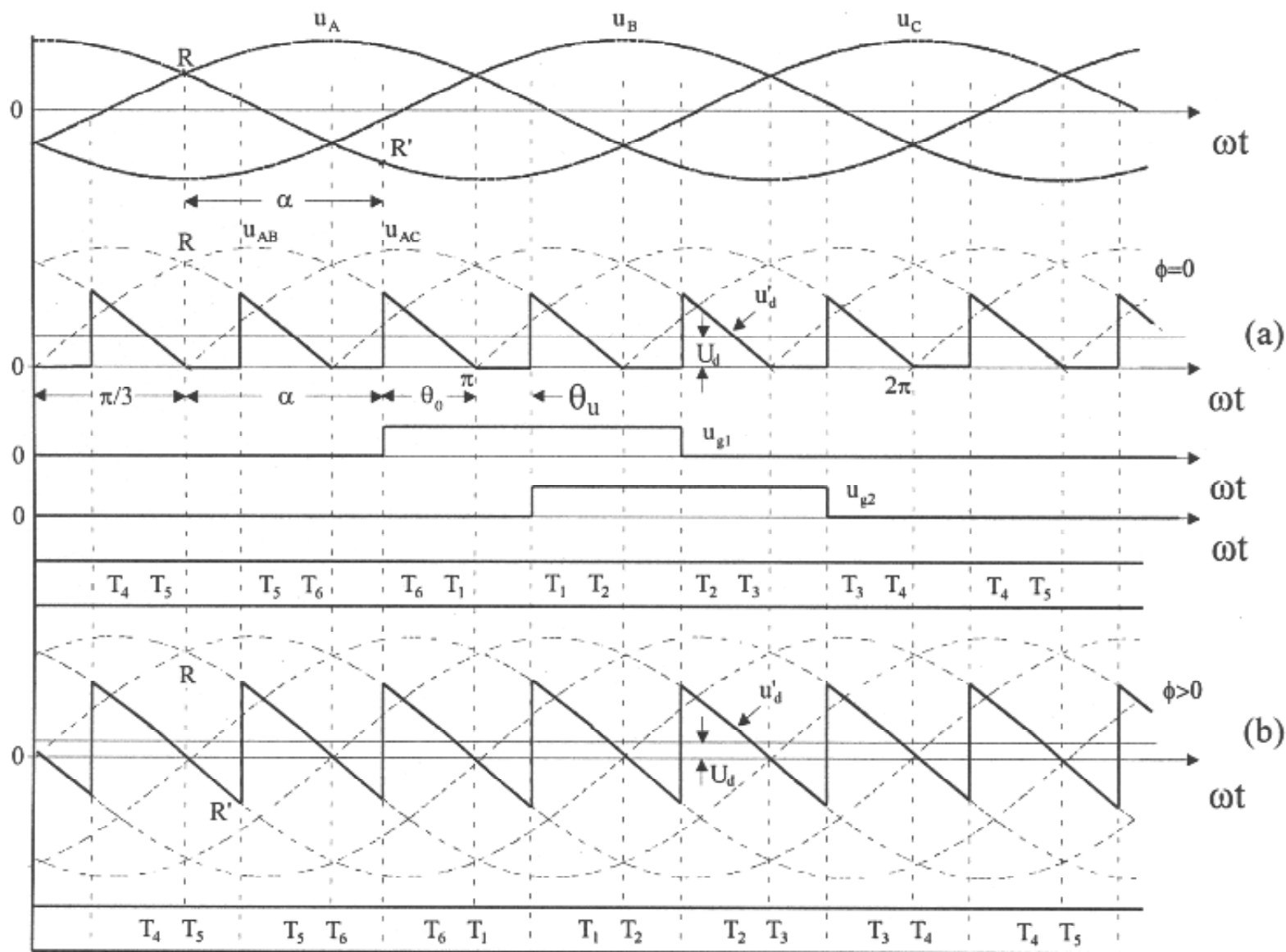


图 2—8 电流为断续及连续时的电压波形

## 直流电压平均值

$$U_d = \frac{3}{\pi} \int_{\pi/3+\alpha}^{\pi} \sqrt{6}U_2 \sin \omega t d\omega t = U_{d0} [1 + \cos(\frac{\pi}{3} + \alpha)]$$

在电流出现断续时，所有工作循环中的每个元件实际上是导通两次，若以  $\theta_0$  表示输出电压每次脉动中负载电流持续的角度，则元件一个工作循环中的导电角  $\theta = \theta_0$ ；显然 值随 的增大而减小，且

$$\text{有 } \theta = 2\theta_0 = \frac{4\pi}{3} - 3\alpha \quad \left| \alpha \geq \frac{\pi}{3} \text{ rad} \right.$$

在纯阻负载下，最大移相为  $\alpha = 2\pi/3 \text{ rad}$ ，有  $U_d = 0, \theta = 0$ ；

在控制角相等的条件下，纯阻负载的输出电压平均值高于电感负载。

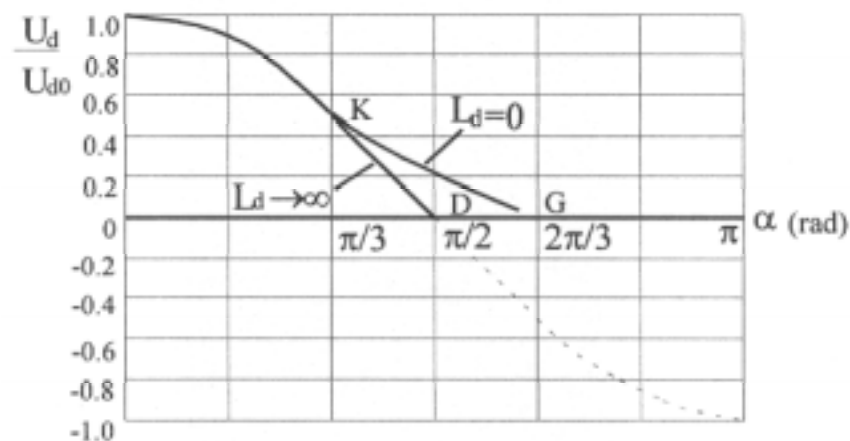


图 2—7 大电感负载条件下三相桥式整流电路的控制特性

## 二、感性负载 ( $0 < L_d < \infty$ ) 时的工作情况

### 1. 负载电流为连续的情况

❖  $\theta_1 < \omega t < \theta_2 : T_5^0 T_6^0$

$$u_d = u_{CB}$$

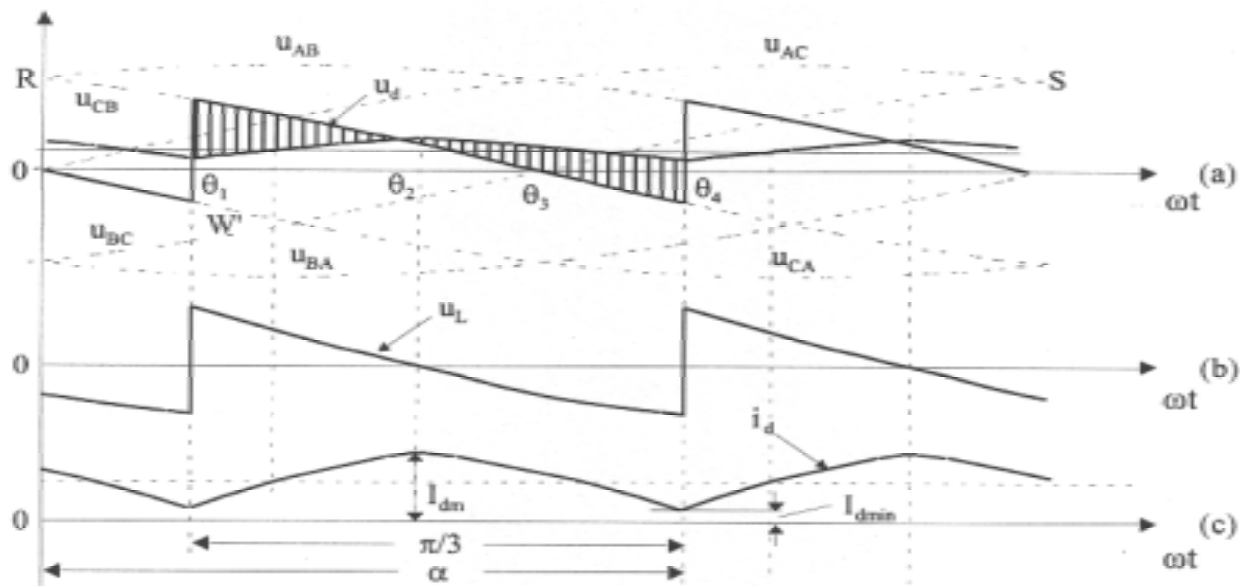
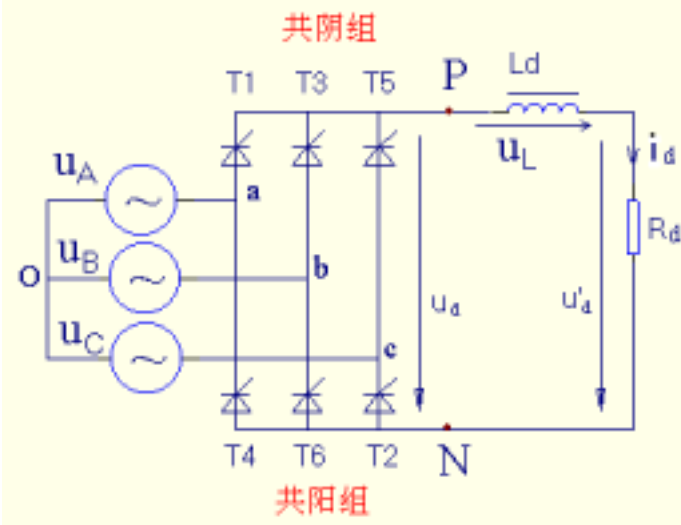
$$u_d = u_L + u'_d = L_d \frac{di_d}{dt} + i_d R_d$$

由于  $u_d > u'_d$  , 即  $u_L = L_d(di_d/dt) > 0$ 。负载电流  $i_d$  处于增长阶段

能量传输：

交流电网  $\Rightarrow R_d$

$\Rightarrow L_d$



❖  $\theta_2 < \omega t < \theta_3$  :

$$u_{CB} \downarrow \Rightarrow u_d < u_d' \Rightarrow i_d \downarrow$$

$L_d$  释放磁能给负载

❖  $\theta_3 < \omega t < \theta_4$  :

$$u_d < 0 \Rightarrow p_d = u_d \times i_d < 0$$

$L_d$  释放磁能给负载和电网

☰  $L_d$  较大  $\Rightarrow$  储存磁能较多  $\Rightarrow i_d(\theta_4^-) = I_{d \min} > 0$

❖  $\omega t = \theta_4^+$  :

$u_{g1} > 0$  , 电路转换为  $T_1$ 、 $T_6$  导通 ,  $u_d = u_{AB} > u_d'$  ,

$i_d$  再次从  $I_{d \min}$  增长。

● 元件导通角  $\theta \equiv 2\pi/3$  rad

●  $L_d$  减小  $\Rightarrow di_L/dt = u_L/L_d \uparrow \Rightarrow i_d$  的脉动增大

## 2. 负载电流为断续的情况

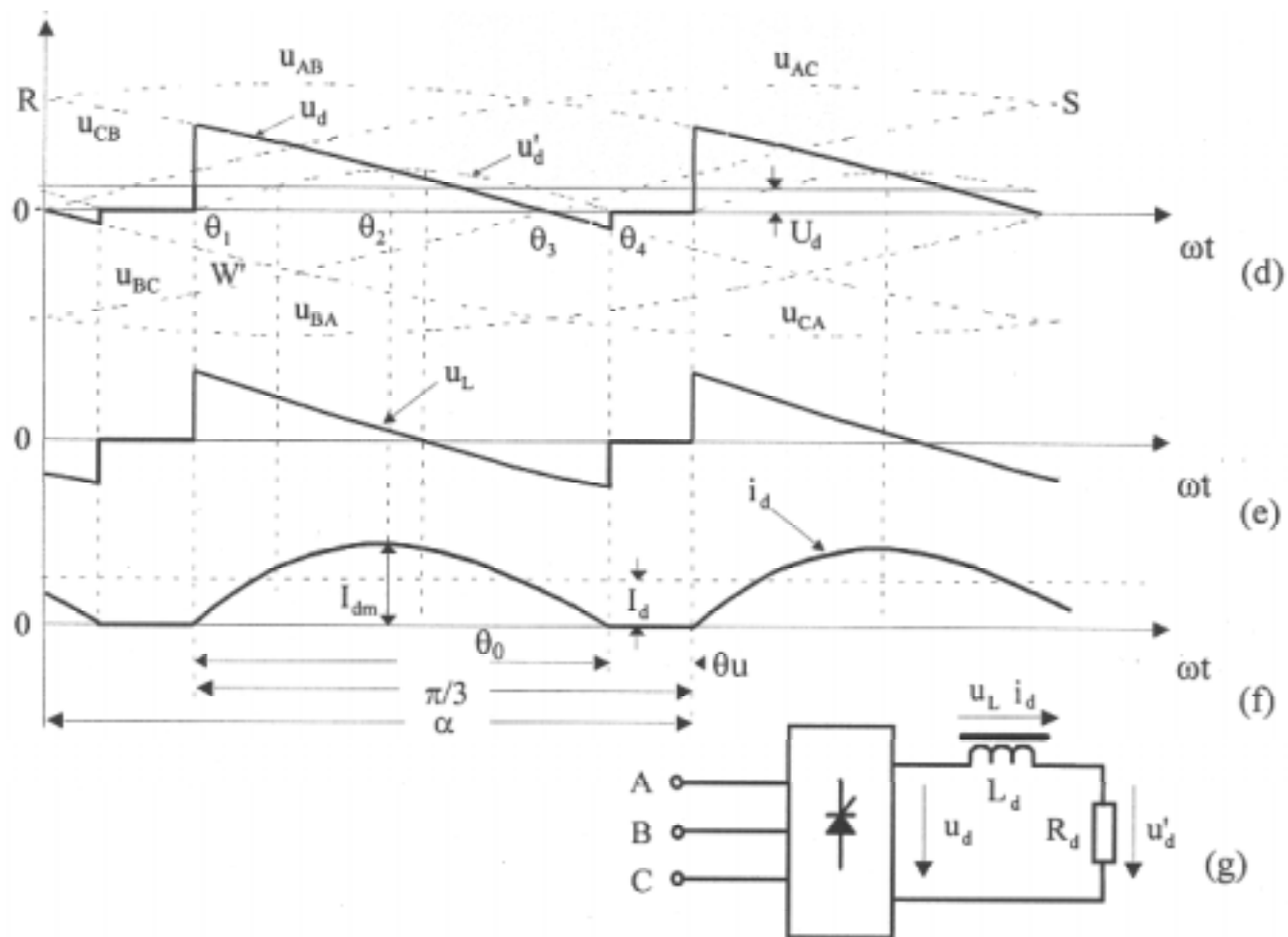


图 2—9 具有 RL 负载的整流电路



- ❖ 若 $L_d$ 中磁能 ( $W_L=1/2L_dI_{dm}^2$ ) 并不很大, 以至于在换流点R'之前便全部释放光, 则负载电流便出现断续。
- ❖ 每次脉动中电流  $I_d$  的底部宽度  $\theta_0 = \pi/3 - \theta_u$  。
- ❖  $\theta_u$  称断流角。
- ❖ 磁能 $W_L$ 越小,  $\theta_u$  越大。

$$\begin{aligned}
 U_d &= \frac{\pi}{3} \int_{\alpha}^{\alpha+\frac{\pi}{3}} u_d d\omega t = \frac{3}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\theta_0} \sqrt{6}U_2 \sin(\omega t + \frac{\pi}{3}) d\omega t \\
 &= \frac{3\sqrt{6}U_2}{\pi} [\cos(\alpha + \frac{\pi}{3}) - \cos(\alpha + \frac{\pi}{3} + \theta_0)]
 \end{aligned}$$

## ❖ 导通角 $\theta_0$ 的确定

根据图2-9d所定坐标原点，并选择 $i_d$ 为变量。  
设电路有 $T_1T_6$ 导通，列出微分方程为

$$u_d = u_{AB} = \sqrt{6}U_2 \sin(\omega t + \frac{\pi}{3}) = L_d \frac{di_d}{dt} + i_d R_d$$

解出 $i_d$ 得 
$$i_d = A e^{-\omega t / \omega \tau} + \frac{\sqrt{6}U_2}{|Z|} \sin(\omega t + \frac{\pi}{3} - \phi)$$

式中阻抗角 
$$\phi = \text{tg}^{-1} \omega L_d / R_d$$

时间常数 
$$\tau = \frac{L_d}{R_d} \quad ; \quad \omega \tau = \frac{\omega L_d}{R_d} = \text{tg} \phi$$

阻抗模 
$$|Z| = \sqrt{R_d^2 + (\omega L_d)^2}$$

积分常数A由电路初值决定，当  $\omega t = \alpha$  时， $i_d(\quad) = 0$ ，得

$$A = - \frac{\sqrt{6}U_2}{|Z|} e^{\frac{\alpha}{\text{tg} \phi}} \sin(\alpha + \frac{\pi}{3} - \phi)$$

$$i_d = \frac{\sqrt{6}U_2}{|Z|} \left[ \sin(\omega t + \frac{\pi}{3} - \phi) - \sin(\alpha + \frac{\pi}{3} - \phi) e^{\frac{\alpha - \omega t}{\text{tg} \phi}} \right]$$

$$i_d = \frac{\sqrt{6}U_2}{|Z|} \left[ \sin(\omega t + \frac{\pi}{3} - \phi) - \sin(\alpha + \frac{\pi}{3} - \phi) e^{\frac{\alpha - \omega t}{\text{tg}\phi}} \right]$$

当  $\omega t = \alpha + \theta_0$  时， $i_d(\theta_0 + \alpha) = 0$ ，代入上式并经演算得

$$\text{tg}(\alpha + \frac{\pi}{3} - \phi) = \frac{\sin \theta_0}{e^{-\theta_0/\text{tg}\phi} - \cos \theta_0}$$

利用上式，对于给定的控制角 和阻抗角 可以确定出导电角 $\theta_0$ 。

若负载电流为连续，即  $\theta_0 = \pi/3$ ，代入上式有

$$\text{tg}(\alpha + \frac{\pi}{3} - \phi) = \frac{\sin \frac{\pi}{3}}{e^{-\frac{\pi}{3}/\text{tg}\phi} - \cos \frac{\pi}{3}}$$

$$\operatorname{tg}\left(\alpha + \frac{\pi}{3} - \phi\right) = \frac{\sin \frac{\pi}{3}}{e^{-\frac{\pi}{3}/\operatorname{tg}\phi} - \cos \frac{\pi}{3}}$$

📄 对应于不同 $\phi$ 为保证电流连续的最大控制角 $\alpha_m$

$\phi$ ( $^\circ$ ) :	0	15	30	60	90	↑
$\alpha_m$ ( $^\circ$ ) :	60	74	81.3	86.9	90	↑

📄  $\alpha \uparrow \Rightarrow$  输出电流谐波分量 $\uparrow$

📄  $\Rightarrow$  保持电流连续所需磁能 $\uparrow \Rightarrow \phi \uparrow$

- (1) 在同样的 $\phi$ 下, 若 $\alpha > \alpha_m$ , 则出现断流
- (2) 在同样的 $\alpha$ 下,  $\phi$ 越小, 越可能出现断流