

# 可控硅整流电路

## 一、单相半波可控整流电路

### 1、工作原理

电路和波形如图 1 所示，设  $u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$ 。

正半周：

$0 < t < t_1$ ,  $u_g = 0$ , T 正向阻断,  $i_d = 0$ ,  $u_T = u_2$ ,  $u_d = 0$

$t = t_1$  时, 加入  $u_g$  脉冲, T 导通, 忽略其正向压降,  $u_T = 0$ ,  $u_d = u_2$ ,  $i_d = u_d / R_d$ 。

负半周：

$\pi \leq t < 2\pi$  当  $u_2$  自然过零时, T 自行关断而处于反向阻断状态,  $u_T = 0$ ,  $u_d = 0$ ,  $i_d = 0$ 。

从 0 到  $t_1$  的电度角为  $\alpha$ , 叫控制角。从  $t_1$  到  $\pi$  的电度角为  $\theta$ , 叫导通角, 显然

$\alpha + \theta = \pi$ 。当  $\alpha = 0$ ,  $\theta = 180$  度时, 可控硅全导通, 与不控整流一样, 当  $\alpha = 180$  度,  $\theta = 0$  度时, 可控硅全关断, 输出电压为零。

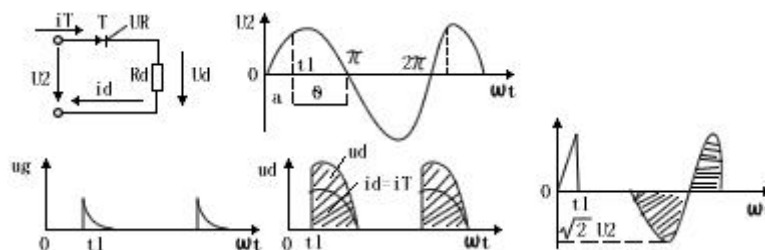


图 1、单相半波可控整流

### 2、各电量关系

$u_d$  波形为非正弦波, 其平均值 (直流电压) :

$$u_d = (1/2\pi) \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d(\omega t) = (0.45 U_2) [(1 + \cos \alpha) / 2] \quad \text{式 1}$$

由上式可见, 负载电阻  $R_d$  上的直流电压是控制角  $\alpha$  的函数, 所以改变  $\alpha$  的大小就可以控制直流电压  $U_d$  的数值, 这就是可控整流意义之所在。

流过  $R_d$  的直流电流  $I_d$ :

$$I_d = (U_d / R_d) = 0.45 (U_2 / R_d) \times [(1 + \cos \alpha) / 2] \quad \text{式 2}$$

$U_d$  的有效值 (均方根值) :

$$\begin{aligned}
 U &= \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} (\sqrt{2} U_2 \sin \omega t)^2 d(\omega t)} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{\pi} \left( \sin 2\alpha + \frac{\pi - \alpha}{2\pi} \right)}
 \end{aligned}$$

式 3

流过  $R_d$  的电流有效值:

$$I = U/R_d = (U_2/R_d) \sqrt{\frac{1}{\pi} \left( \sin 2\alpha + \frac{\pi - \alpha}{2\pi} \right)}$$

式 4

由于电源提供的有功功率  $P=UI$ ，电源视在功率  $S=U_2I$  ( $U_2$  是电源电压有效值)，所以功率因数:

$$\cos \psi = P/S = \sqrt{\frac{1}{\pi} \left( \sin 2\alpha + \frac{\pi - \alpha}{2\pi} \right)}$$

式 5

由上式可见，功率因数  $\cos \psi$  也是  $\alpha$  的函数，当  $\alpha=0$  时， $\cos \psi=0.707$ 。显然，对于电阻性负载，单相半波可控整流的功率因数也不会是 1。

比值  $U_d/U$ 、 $I/I_d$  和  $\cos \psi$  随  $\alpha$  的变化数值，见表一，它们相应的关系曲线，如图 2 所示

表一  $U_d/U$ 、 $I/I_d$  和  $\cos \psi$  的关系

$\alpha$	$0^\circ$	$30^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$	$120^\circ$	$150^\circ$	$180^\circ$
$U_d/U$	0.45	0.42	0.338	0.225	0.113	0.03	0
$I/I_d$	1.57	1.66	1.88	2.22	2.87	3.99	-
$\cos \psi$	0.707	0.698	0.635	0.508	0.302	0.12	0

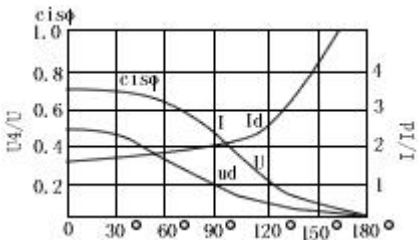


图 2、单相半波可控整流的电压、电流及功率因数与控制角的关系

由于可控硅 T 与  $R_d$  是串联的，所以，流过  $R_d$  的有效值电流  $I$  与平均值电流  $I_d$  的比值，也就是流过可控硅 T 的有效值电流  $I_T$  与平均值电流  $I_{dT}$  的比值，即  $I/I_d=I_T/I_{dT}$ 。

## 二、单相桥式半控整流电路

电路与波形如图 3 所示

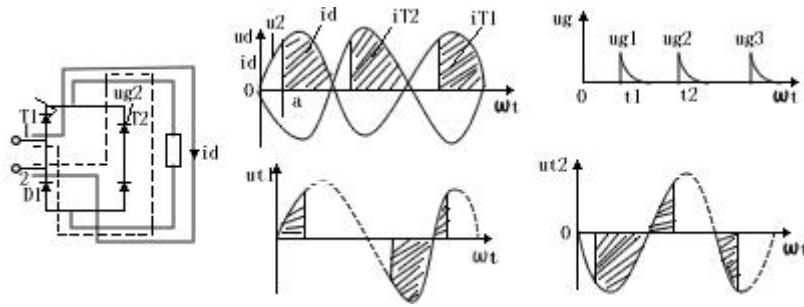


图 3、单相桥式半控整流

$t_1$  时刻加入  $u_{g1}$ ,  $T_1$  导通, 电流通路如图实线所示。  $u_{T1}=0$ ,  $u_d=u_2$ ,  $u_{T2}=-u_2$ 。  $u_2$  过零时,  $T_1$  自行关断。

负半周:

$t_2$  时刻加入  $u_{g2}$ ,  $T_2$  导通, 电流通路如图虚线所示,  $u_{T2}=0$ ,  $u_d=-u_2$ ,  $u_{T1}=u_2$ 。  $u_2$  过零时  $T_2$  自行关断。

## 2、各电量关系

由图 3 可见,  $u_d$  波形为非正弦波, 其幅值为半波整流的两倍, 所以  $R_d$  上的直流电压  $U_d$ :

$$U_d = 0.9U_2[(1 + \cos \alpha) / 2] \quad \text{式 6}$$

直流电流  $I_d$ :

$$I_d = U_d / R_d = 0.9(u_2 / R_d) \times [(1 + \cos \alpha) / 2] \quad \text{式 7}$$

电压有效值  $U$ :

$$U = U_2 \sqrt{\frac{1}{2} \frac{1}{\pi} \sin 2\alpha + \frac{\pi - \alpha}{\pi}} \quad \text{式 8}$$

电流有效值  $I$ :

$$I = \frac{U_2}{R_d} \sqrt{\frac{1}{2} \frac{1}{\pi} \sin 2\alpha + \frac{\pi - \alpha}{\pi}} \quad \text{式 9}$$

功率因数  $\cos \psi$ :

$$\cos \psi = \frac{U_d}{U} = \frac{0.9U_2[(1 + \cos \alpha) / 2]}{U_2 \sqrt{\frac{1}{2} \frac{1}{\pi} \sin 2\alpha + \frac{\pi - \alpha}{\pi}}} \quad \text{式 10}$$

比值  $U_d/U$ ,  $I/I_d$  和  $\cos \psi$  随  $\alpha$  的变化数值见表二, 相应关系曲线见图 4

表二、  $U_d/U$ 、 $I_d/I_d$ 、 $\cos\psi$ 与 $\alpha$ 的关系表

$\alpha$	$0^\circ$	$30^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$	$120^\circ$	$150^\circ$	$180^\circ$
$U_d/U$	0.9	0.84	0.676	0.45	0.226	0.06	0
$I/I_d$	1.112	1.179	1.335	1.575	1.97	2.835	-
$\cos\psi$	1	0.985	0.896	0.717	0.426	0.169	0

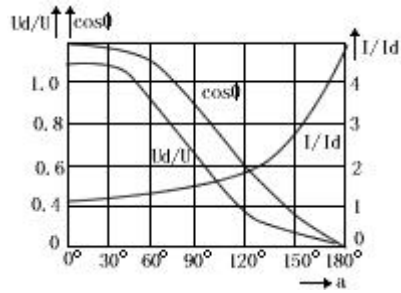


图 4、单相全波和桥式电路电压、电流及功率因数与控制角的关系

把单相全波整流单相半波整流进行比较可知：

- (1) 当 $\alpha$ 相同时，全波的输出直流电压比半波的大一倍。
- (2) 在 $\alpha$ 和  $I_d$  相同时，全波的电流有效值比半波的减小 $\sqrt{2}$ 倍。
- (3)  $\alpha$ 相同时，全波的功率因数比半波的提高了 $\sqrt{2}$ 倍。

三、整流电路波形分析

1、单相半波可控整流

(1) 电阻性负载（见图 1）

- 1) 电阻性负载， $i_d$  波形与  $u_d$  波形相似，因为可控硅 T 与负载电阻  $R_d$  串联，所以  $i_d=i_d$ 。
- 2) 可控硅 T 承受的正向电压随控制角 $\alpha$ 而变化，但它承受的反向电压总是负半波电压，负半波电压的最大值为 $\sqrt{2}U_2$ 。
- 3) 线路简单，多用在要求不高的电阻负载的场合。

(2) 感性负载（不带续流二极管，见图 5）：

- 1) 电机电器的电磁线圈、带电感滤波的电阻负载等均属于电感性负载。
- 2) 电感具有阻碍电流变化的作用可控硅 T 导通时，其压降  $u_T=0$ ，但电流  $i_d$  只能从零开始上升。 $i_d$  增加和减少时线圈  $L_d$  两端的感应电动势  $e_L$  的极性变化如图示。

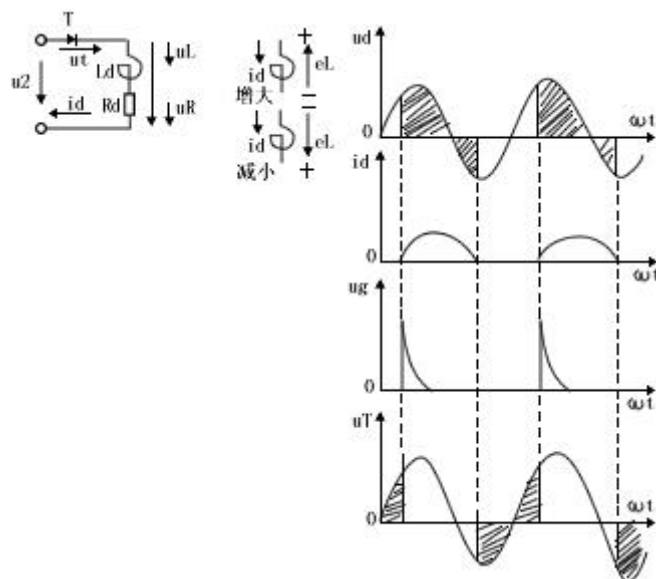


图 5、电感性负载无续流二极管

3) 当电源电压  $u_2$  下降及  $u_2 \geq 0$  时，只要释放磁场能量可以维持  $i_d$  继续流通，可控硅 T 仍然导通状态，此时  $u_d = u_2$ 。当  $u_2 < 0$  时，虽然  $u_d$  出现负值，但电流  $i_d$  的方向不变。

4) 当电流  $i_d$  减小到小于维持电流  $I_H$  时，可控硅 T 自行关断， $i_d = 0$ ,  $u_T = u_2$ ，可控硅承受反压。

5) 负载电压平均值：

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_a^{a+\theta} u_{2d}(\omega t) d\omega t = \frac{1}{2\pi} \int_a^{a+\theta} u_{Rd}(\omega t) d\omega t$$

其中电感  $L_d$  两端电压的平均值为零。

6) 电感  $L_d$  的存在使负载电压  $u_d$  出现负值， $L_d$  越大， $u_d$  负值越大，负载上直流电压  $U_d$  就越小， $I_d = U_d/R_d$  也越小，所以如果不采取措施，可控硅的输出就达不到应有的电压和电流。

(3) 感性负载（带续流二极管，见图 6）：

1) 在负载上并联一只续流二极管 D，可使  $U_d$  提高到和电阻性负载时一样，

2) 在电源电压  $u_2 \leq 0$  时，D 的作用有点：①把电源负电压  $u_2$  引到可控硅 T 两端，使 T 关断， $u_T = u_2$ ；②给电感电流续流，形成  $i_D$ ；③把负载短路， $u_d = 0$ ，避免  $u_d$  出现负值，使负载上直流输出电压  $u_d$  提高。

3) 负载电流为何可控硅电流  $i_T$  和二极管的续流  $i_D$  之和，即  $i_d = i_T + i_D$ 。当  $\omega L_d \geq R$  时， $i_D$  下降很慢使  $i_d$  近似为一条水平线，所以流过 T 和 D 的电流平均值与有效值分别为：

平均值： $I_{dT} = (\theta/360^\circ) I_d$

$$I_d D = [(360^\circ - \theta) / 360^\circ] I_d$$

有效值：  $I_T = \sqrt{\theta / 360^\circ} I_d$

$$I_D = \sqrt{[(360^\circ - \theta) / 360^\circ]} I_d$$

4) 可控硅 T 开始导通后，如果电感  $L_d$  很大， $i_T$  的上升很慢，这就有可能导致触发脉冲消失时可控硅的电流还上升不到维持导通状态的维持电流，就是说，可控硅触发不了，为了使可控硅可靠触发，触发脉冲应该足够宽，或者在负载两端并联一只电阻，以利于加快  $i_T$  的上升。

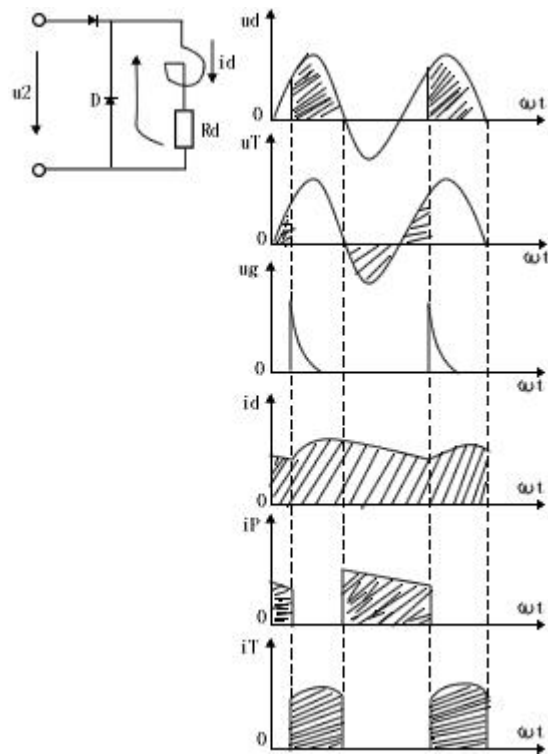


图 6、电感性负载有续流二极管