



## 3.1.2 单相桥式全控整流电路

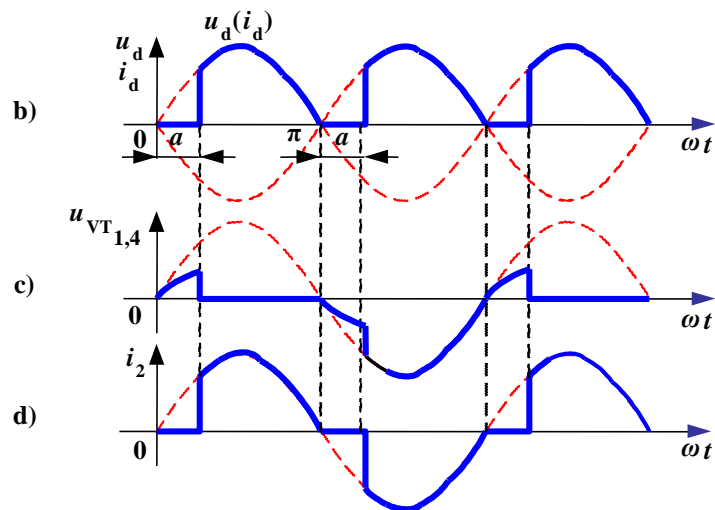
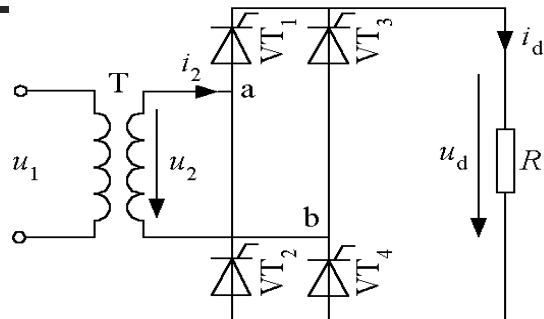
### ■ 引言：桥式电路的提出

- 单相半波整流电路的不足
- 提高整流电压波形质量——改善波动
- 提高网侧电压利用率——正负半周都能变换
- 改善整流变压器工作条件——消除直流磁势
- 与“半波不可控→桥式不可控”的发展相类似：“半波可控”→“桥式可控”。



## 3.1.2 单相桥式全控整流电路

■ 负载性质为电阻的工作情况



单相全控桥式带电阻负载时的电路及波形

**结构：**

- $VT_1$ 和 $VT_4$ 组成一对桥臂
- $VT_2$ 和 $VT_3$ 组成另一对桥臂
- $VT_1$ 和 $VT_3$ ：共阴极→直流侧 (+)
- $VT_2$ 和 $VT_4$ ：共阳极→直流侧 (-)

**开关控制：**

- 在 $u_2$ 正半周 $\omega t=\alpha$ 时刻触发 $VT_1$ 和 $VT_4$ ， $u_d=u_2$
- 当 $u_2$ 过零变负后， $VT_1$ 和 $VT_4$ 受反向阳极电压关断， $u_d=0$
- 在 $u_2$ 负半周 $\omega t=\pi+\alpha$ 时刻触发 $VT_2$ 和 $VT_3$ ， $u_d=-u_2$
- 当 $u_2$ 过零变正后， $VT_2$ 和 $VT_3$ 受反向阳极电压关断， $u_d=0$
- $u_2$ 开始下一个周期，循环工作

**直流侧输出：**

- 整流电压 $u_d$ 波形周期 $T=10\text{ms}$ ，改善波动
- 交流侧正负半周都工作，电压利用率提高1倍，消除了直流磁势

**思考：单相全控桥电路与单相半波电路的内在联系？**



## 3.1.2 单相桥式全控整流电路

控制特性（整流电压平均值与相位控制角之间的关系）：

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2\sqrt{2} U_2}{\pi} \frac{1 + \cos \alpha}{2} = 0.9 U_2 \frac{1 + \cos \alpha}{2} \quad \alpha \text{ 的移相范围为 } 180^\circ。$$

向负载输出的直流电流平均值为：

$$I_d = \frac{U_d}{R} = \frac{2\sqrt{2} U_2}{\pi R} \frac{1 + \cos \alpha}{2} = 0.9 \frac{U_2}{R} \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

整流变压器二次侧电流有效值  $I_2$  与输出直流电流有效值  $I$  相等：

$$I = I_2 = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \left( \frac{\sqrt{2} U_2}{R} \sin \omega t \right)^2 d(\omega t)} = \frac{U_2}{R} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \sin 2\alpha + \frac{\pi - \alpha}{\pi}}$$

$$I_T = \frac{1}{\sqrt{2}} I$$

整流变压器二次侧电流平均值为零。



## 3.1.2 单相桥式全控整流电路

### 晶闸管的工作情况

流过晶闸管的电流平均值：

$$I_{dT} = \frac{1}{2} I_d = 0.45 \frac{U_2}{R} \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

流过晶闸管的电流有效值为：

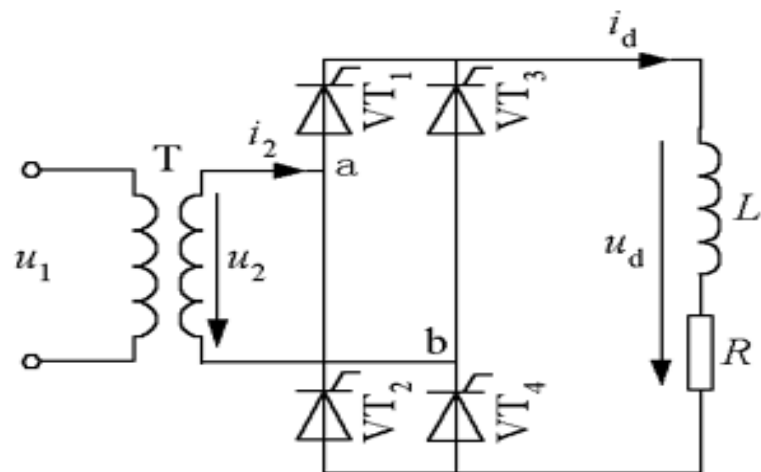
$$I_T = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \left( \frac{\sqrt{2}U_2}{R} \sin \omega t \right)^2 d(\omega t)} = \frac{U_2}{\sqrt{2}R} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \sin 2\alpha + \frac{\pi - \alpha}{\pi}}$$

晶闸管承受的最大正向电压和反向电压分别为： $\frac{\sqrt{2}}{2}U_2$  和  $\sqrt{2}U_2$  。



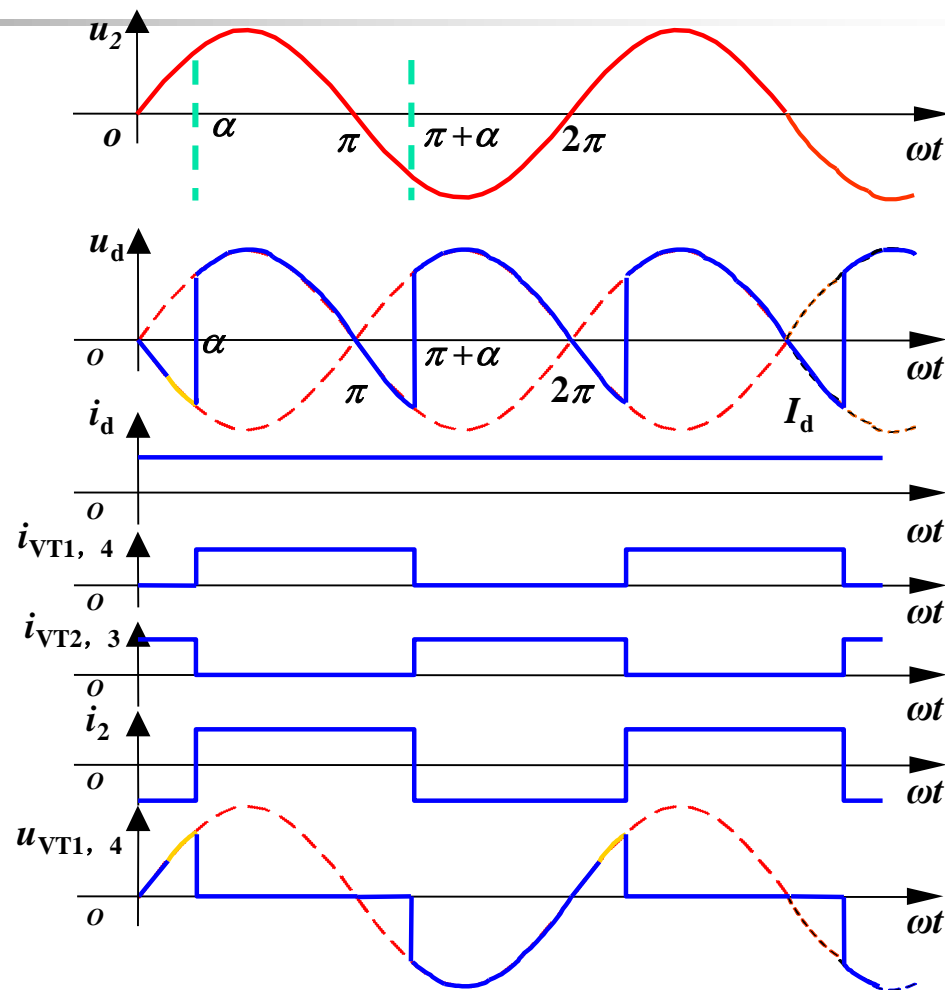
## 3.1.2 单相桥式全控整流电路

### ■ 带阻感负载 ( $\omega L \gg R$ ) 的工作原理分析



在  $u_2$  正半周  $\omega t = \alpha$  时刻，触发  $VT_1$  和  $VT_4$

在  $u_2$  负半周  $\omega t = \pi + \alpha$  时刻，触发  $VT_2$  和  $VT_3$

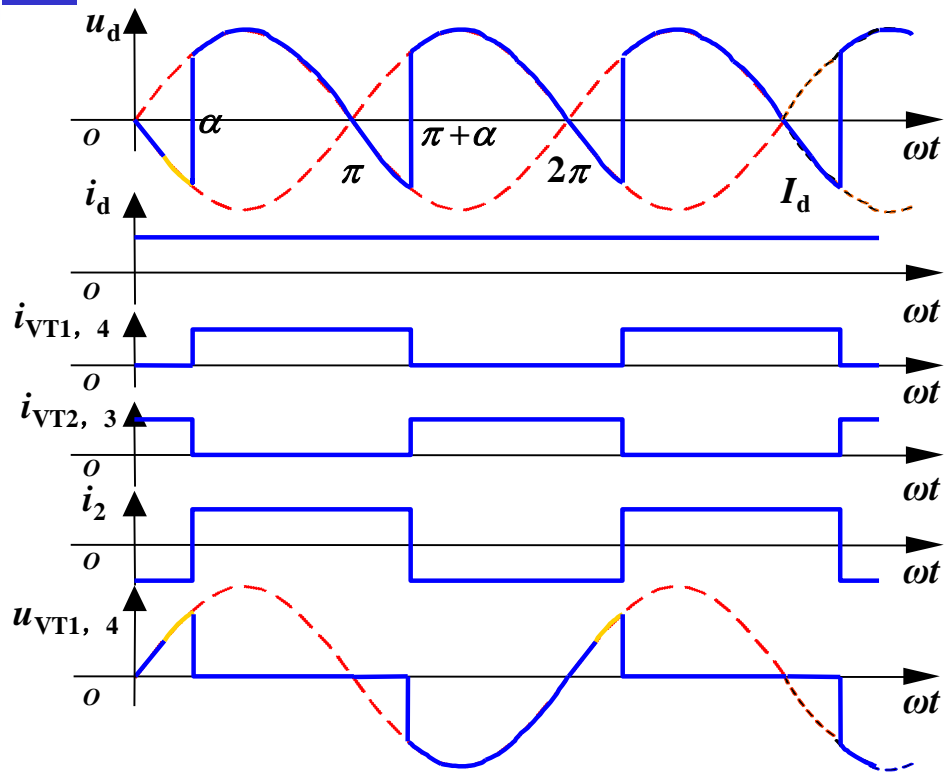


单相桥式全控整流电路  
带阻感负载时的电路及波形



## 3.1.2 单相桥式全控整流电路

### 基本数量关系



#### 控制特性

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \cos \alpha = 0.9 U_2 \cos \alpha$$

可见，移相范围为  $90^\circ$

晶闸管承受的最大正反向电压： $\sqrt{2} U_2$

晶闸管导通角  $\theta$  与  $\alpha$  无关，均为  $180^\circ$

晶闸管电流平均值： $I_{dT} = \frac{1}{2} I_d$

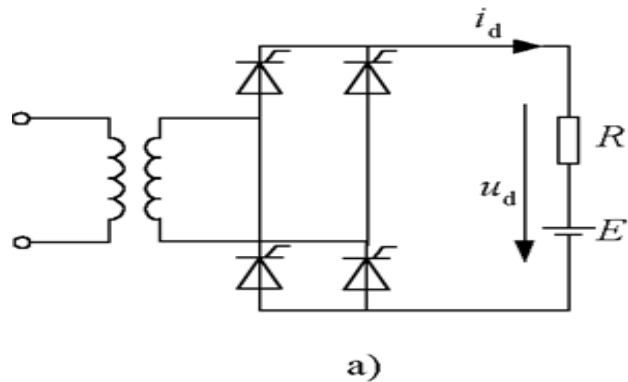
晶闸管电流有效值： $I_T = \frac{1}{\sqrt{2}} I_d = 0.707 I_d$

变压器二次侧电流  $i_2$  的波形为正负各  $180^\circ$  的矩形波，其相位由  $\alpha$  角决定，有效值  $I_2 = I_d$ 。



## 3.1.2 单相桥式全控整流电路

### ■ 带“反电动势-电阻”负载时的工作情况



单相桥式全控整流电路接“反电动势—电阻”负载时的电路

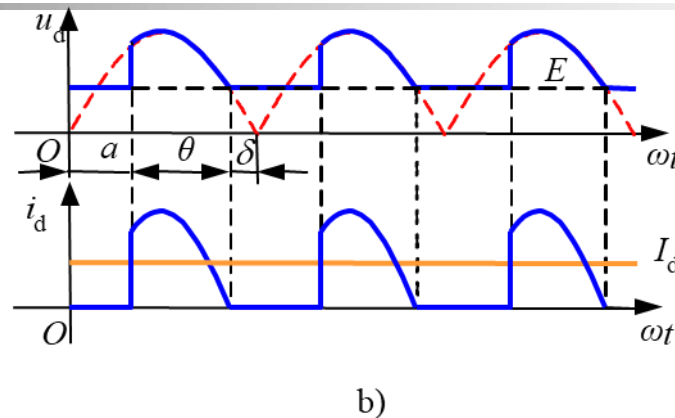
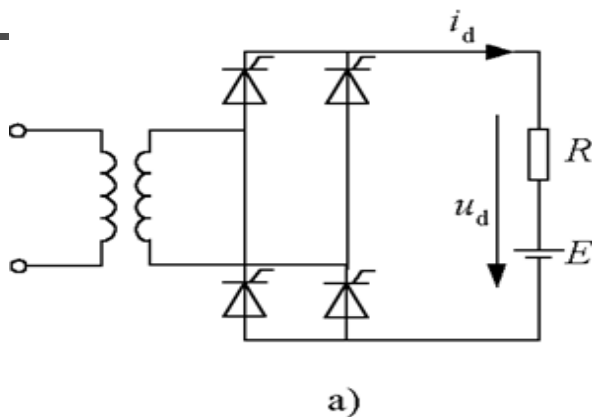
□ 当蓄电池、直流电动机的电枢（忽略其中的电感）等为负载时，负载可看成一个直流电压源，对于整流电路，此类负载属于反电动势负载

思考：反电动势对晶闸管工作状态有什么影响？



## 3.1.2 单相桥式全控整流电路

### 原理分析



单相桥式全控整流电路接反电动势—电阻负载时的电路及波形

- 当  $|u_2| > E$  时，晶闸管具备导通条件之一：阳极电压为正
- 晶闸管导通之后， $u_d = \pm u_2$ ，直至  $|u_2| = E$ ，晶闸管关断， $i_d$  即降至0，此后  $u_d = E$
- 在一个正弦半波内，晶闸管导通角度最大为： $\pi - 2\delta$
- 如果触发脉冲出现在  $\pi > \alpha > \pi - \delta$  的区间内，晶闸管承受反向阳极电压，不可能被触发导通。
- 与电阻负载时相比，晶闸管提前了角度  $\delta$  关断， $\delta$  称为停止导电角： $\sin \delta = E \sqrt{2} U_2$

■ 思考：图 b) 中整流电流波形是断续的，如何使其连续？



### 3.1.2 单相桥式全控整流电路

例题：单相桥式全控整流电路， $U_2=100\text{V}$ ，负载中 $R=2\Omega$ ， $L$ 值极大，反电势 $E=60\text{V}$ 。当 $\alpha=30^\circ$ 时：  
(1) 作出主电路原理图和  $u_d$ 、 $i_d$ 、 $i_2$  的波形图；(2) 求整流电路的  $U_d$ 、 $I_d$  和  $I_2$ ；(3) 晶闸管的最大反向电压和电流有效值  $I_{VT}$ ；(4) 选择晶闸管的电压额定值  $U_N$  和电流额定值  $I_N$ 。

解：(1) 主电路原理图； $u_d$ 、 $i_d$  和  $i_2$  的波形如图 → 加大电感可使整流电流连续！

(2)  $U_d = 0.9 U_2 \cos \alpha = 78.0 \text{ (A)}$ ,  $I_d = (U_d - E)/R = 9.0 \text{ (A)}$ ,  $I_2 = I_d = 9.0 \text{ (A)}$

(3) 求晶闸管承受的最大反向电压  $U_{VTm}$ ：

由  $U_2=100$ ，有  $U_{VTm} = \sqrt{2} U_2 = 141.4 \text{ (V)}$

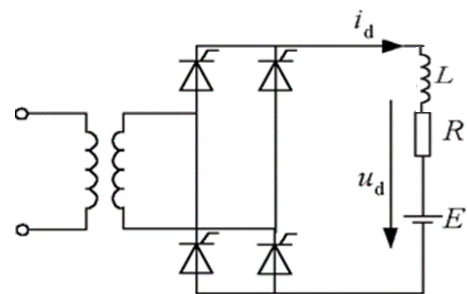
流过每个晶闸管的电流的有效值为  $I_{VT}$ ：

$$I_{VT} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} I_d^2 d(\omega t)} = I_d / \sqrt{2} = 6.4 \text{ (A)}$$

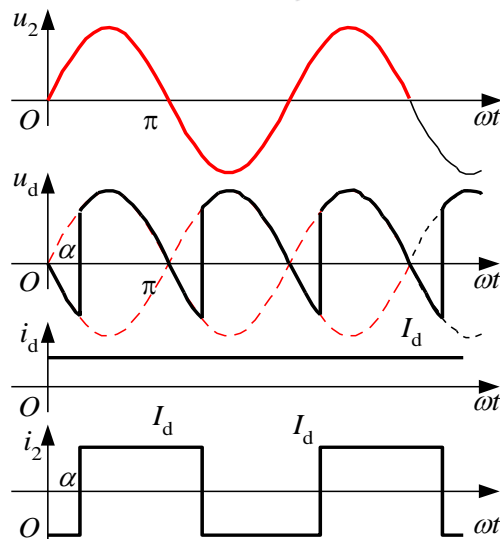
(4) 考虑安全裕量，额定值选择

电压：(2-3)  $U_{VTm} = 283-424$ ，选  $U_N = 400\text{V}$ ；

电流：(1.5-2)  $I_{VT}/1.57 = 6-8$ ，选  $I_N = 10\text{A}$  (见下页表)。



a)



电路图和  $u_d$ 、 $i_d$  和  $i_2$  的波形图

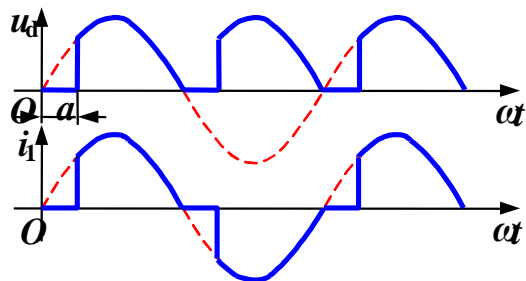
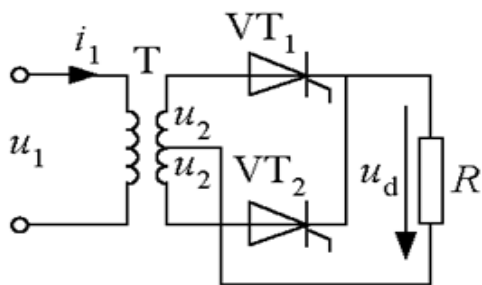


参数 型号	$I_T$ (A)	$V_{TM}$ (V)	$I_R$ (mA)	$I_{GT}$ (mA)	$V_{GT}$ (V)	$I_H$ (mA)	$dV/dt$ V/RIS	温度范围 (°C)	$V_{RRM}$ (V)	结构形式	冷却方式	引线性质
KP1 (3CT101)	1	$\leq 2.0$	$\leq 3$	$\leq 20$	$\leq 2.5$	$\leq 10$	$\geq 25$	-40 ~ +100	50 ~ 1600	螺栓型	自冷	硬引线
KP3 (3CT102)	3	$\leq 2.2$	$\leq 8$	$\leq 30$	$\leq 3$	$\leq 30$	$\geq 25$		100 ~ 2000	螺栓型	自冷	硬引线
KP5 (3CT103)	5	$\leq 2.2$	$\leq 8$	$\leq 60$	$\leq 3$	$\leq 60$	$\geq 25$		100 ~ 2000	螺栓型	自冷	硬引线
KP10 (3CT104)	10	$\leq 2.2$	$\leq 10$	$\leq 100$	$\leq 3$	$\leq 100$	$\geq 25$		100 ~ 2000	螺栓型	自冷	硬引线
KP20 (3CT105)	20	$\leq 2.2$	$\leq 20$	$\leq 100$	$\leq 3$	$\leq 100$	$\geq 25$		100 ~ 2000	螺栓型	自冷	硬引线
KP30 (3CT106)	30	$\leq 2.4$	$\leq 20$	$\leq 150$	$\leq 3$	$\leq 150$	$\geq 50$		100 ~ 2400	螺栓型	风冷	软引线
KP50 (3CT107)	50	$\leq 2.4$	$\leq 20$	$\leq 200$	$\leq 3$	$\leq 200$	$\geq 50$		100 ~ 2400	螺栓型	风冷	软引线
KP100	100	$\leq 2.6$	$\leq 40$	$\leq 250$	$\leq 3.5$	$\leq 200$	$\geq 100$	-40 ~ +125	100 ~ 3000	螺栓型	风冷	软引线
KP200	200	$\leq 2.6$	$\leq 40$	$\leq 250$	$\leq 3.5$	$\leq 200$	$\geq 100$		100 ~ 3000	平板型	风冷	—
									100 ~ 3000	螺栓型	风冷	软引线
									100 ~ 3000	平板型	风冷	—
									100 ~ 3000	平板型	水冷	—
									100 ~ 3000	平板型	风冷	—
KP300	300	$\leq 2.6$	$\leq 50$	$\leq 350$	$\leq 3.5$	$\leq 300$	$\geq 100$		100 ~ 3000	平板型	风冷	—
KP400	400	$\leq 2.6$	$\leq 50$	$\leq 350$	$\leq 4$	$\leq 300$	$\geq 100$		100 ~ 3000	平板型	风冷	—
KP500	500	$\leq 2.6$	$\leq 60$	$\leq 350$	$\leq 4$	$\leq 400$	$\geq 100$		100 ~ 3000	平板型	风冷	—
									100 ~ 3000	平板型	风冷	—
KP600	600	$\leq 2.6$	$\leq 60$	$\leq 350$	$\leq 4$	$\leq 400$	$\geq 100$		100 ~ 3000	平板型	风冷	—
KP800	800	$\leq 2.6$	$\leq 80$	$\leq 450$	$\leq 4$	$\leq 500$	$\geq 100$	100 ~ 3000	平板型	水冷	—	
								100 ~ 3000	平板型	水冷	—	

维库电子市场网  
www.dzsc.com  
全球最大IC采购网站



### 3.1.3 单相全波可控整流电路



单相全波可控整流电路及波形

■ 电路结构特点：整流变压器T带中心抽头

■ 电阻性负载时的工作原理简析

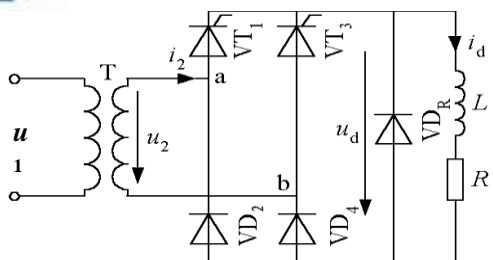
- 在 $u_2$ 正半周， $VT_1$ 工作，变压器二次绕组上半部分流过电流。
- $u_2$ 负半周， $VT_2$ 工作，变压器二次绕组下半部分流过电流。
- 相当于两个单相半波电路分时工作→故称为“全波”。
- 整流变压器不存在直流磁化的问题。

■ 单相全波与单相全控桥的区别

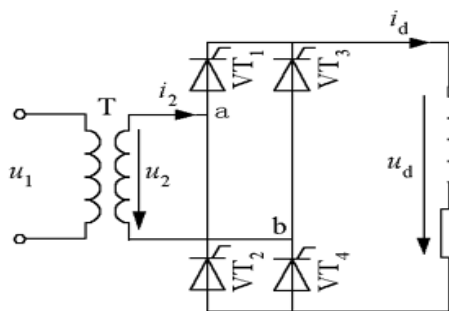
- 全波电路中变压器结构较复杂：引出中点。
- 全波电路只用2个晶闸管，比桥式少2个；门极驱动电路也少2个；但是晶闸管承受的最大电压是单相全控桥的2倍。
- 单相全波导电回路只含1个晶闸管，比单相桥少1个，因而管压降也少1半→变换器的效率有所提高。



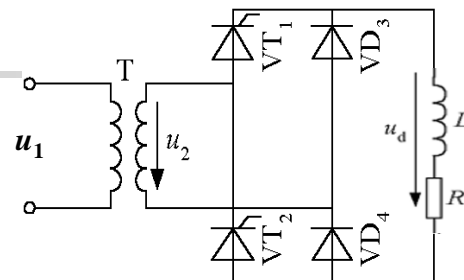
## 3.1.4 单相桥式半控整流电路



整流管共阳极连接的半控桥

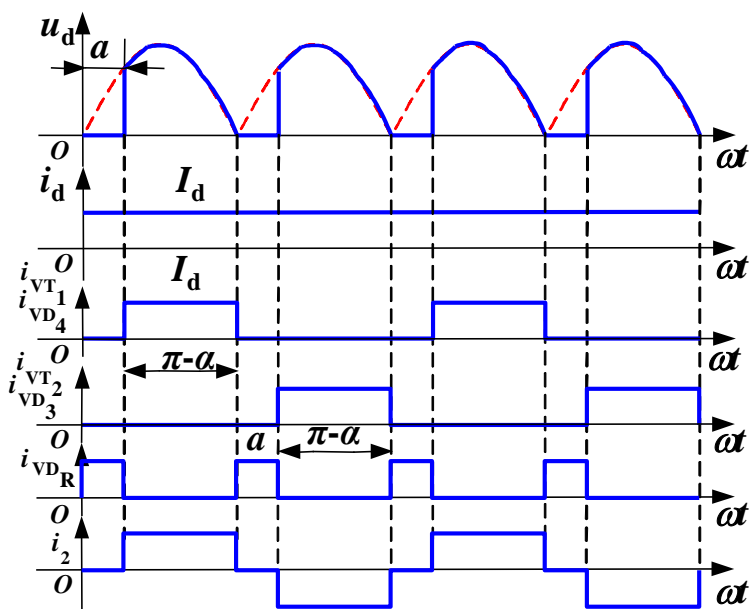


单相全控桥式



整流管串联的半控桥

■ 思路：路径不变，开关“降阶”——2只晶闸管被整流管取代（控制复杂性降低，电路经济性提高）



整流管共阳极连接半控桥的部分工作波形

### ■ 整流管共阳极连接的半控桥

#### □ 带阻感负载时工作分析（未加接续流二极管 $VD_R$ ）

在  $u_2$  正半周  $\alpha$  角触发  $VT_1$ ,  $u_2$  经  $VT_1$  和  $VD_4$  向负载供电。

$u_2$  过零变负后，因电感作用使电流连续， $VT_1$  继续导通，但因  $a$  点电位低于  $b$  点电位，续流路径为  $L-R-VT_1-VD_2-L$ ，续流期间  $u_d = 0$ 。

在  $u_2$  负半周，供电路径： $u_2-VT_3-VD_2$ ，续流路径： $L-R-VT_3-VD_4-L$ 。

#### □ 加接续流二极管 $VD_R$ 的工作情况

若无续流二极管，则当  $\alpha$  突然增大至  $180^\circ$  或触发脉冲丢失时，会发生一个晶闸管持续导通而两个二极管轮流导通、 $u_d$  波形成为正弦半波，电路进入到失控状态。

加接与负载反并联的续流二极管  $VD_R$  后，续流由  $VD_R$  完成，避免了失控现象。

### ■ 整流管串联的半控桥

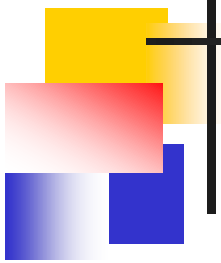
把全控桥的晶闸管  $VT_3$  和  $VT_4$  换为二极管  $VD_3$  和  $VD_4$ ，这样可以省去续流二极管  $VD_R$ ，续流路径： $L-R-VD_4-VD_3-L$ 。



**单相电路存在的问题：**

**在三相系统中引起负载不平衡，功率限制，直流电压纹波/脉动 .....**

**解决途径？**



*The End*