



# 三相可控整流电路

**问题的提出：** 整流变换性能提升——提高  $u_d$  波形的质量：减小脉动与纹波

**解决方案之一：** “单相” → “三相”

**学习内容：**

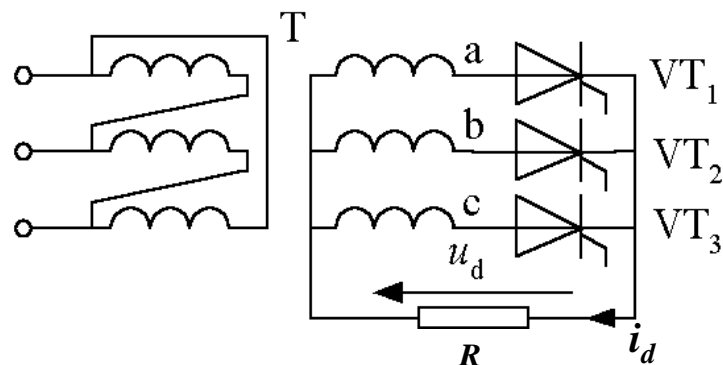
3.1.5 三相半波可控整流电路

3.1.6 三相桥式全控整流电路



### 3.1.5 三相半波可控整流电路

#### ■ 电路结构

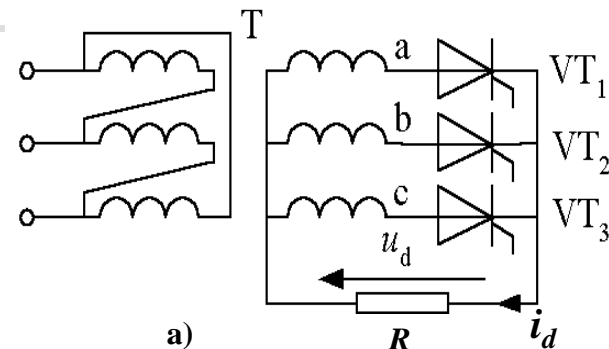
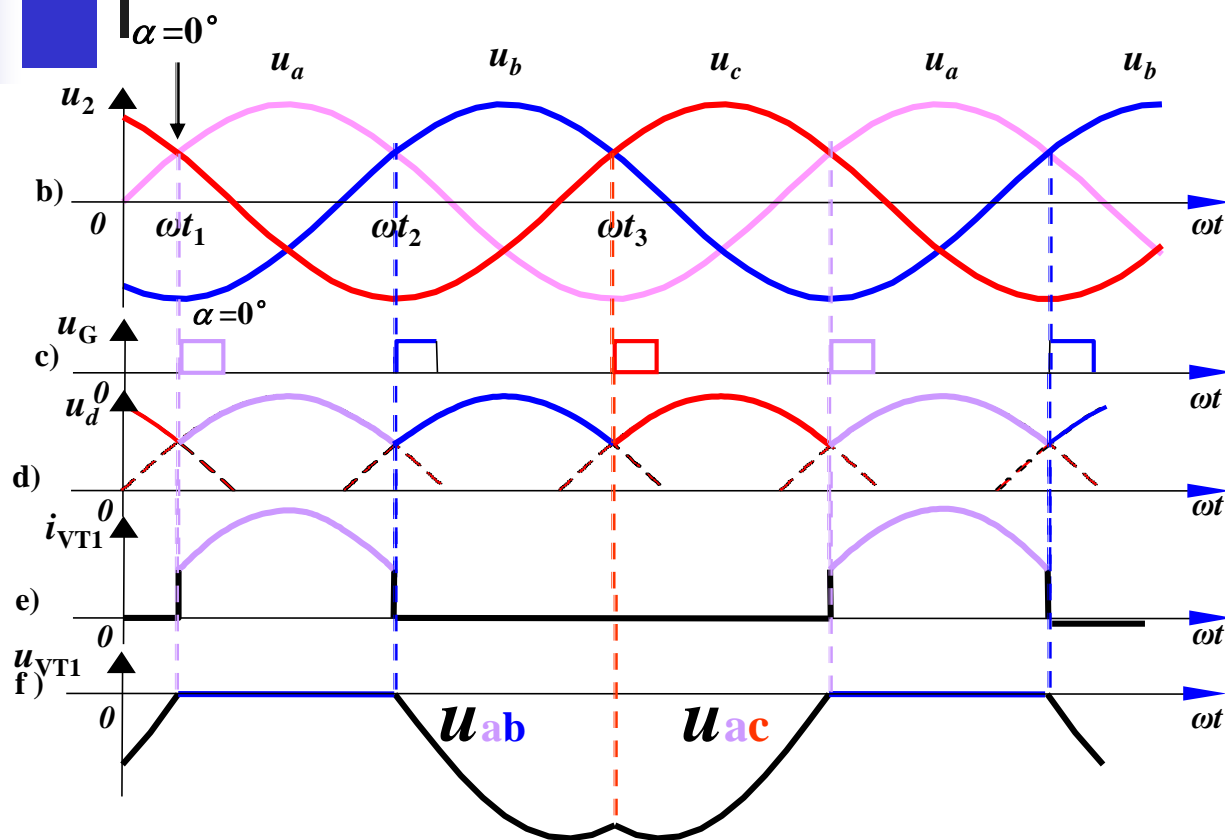


- 整流变压器一次侧采用三角形接法：消除3次谐波以避免3次谐波流入电网。
- 整流变压器二次侧采用星形接法：获得中性点得到零线、构成直流侧的一端
- 三只晶闸管采用共阴极接法：
  - 构成直流侧另一端
  - 触发电路简化：三个触发电路仅需一个公共端（共阴极点）；触发电路接线：6→4
- “中性点”与“共阴极点”构成“直流母线”，形成直流侧并接直流负载
- 讨论：三只晶闸管接法——可否“共阳极”？



### 3.1.5 三相半波可控整流电路

#### ■ 电阻负载情况下的工作原理 ( $\alpha = 0^\circ$ )



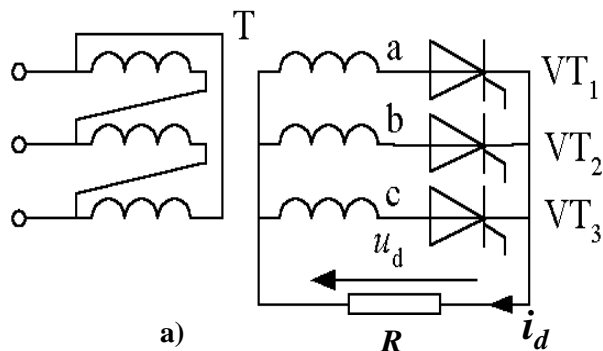
- $\omega t_1$  (相邻相电压正半周交点, 位于 $\omega t = \pi/6$ )
  - 晶闸管换成二极管?
  - 自然换相点 ( $\omega t = \pi/6$ ): 定义为 $\alpha = 0^\circ$  !
  - $\alpha = 0^\circ$  的晶闸管触发脉冲的安排
  - 三个晶闸管轮流导通, 导通角度 $120^\circ$
  - $u_d$ 波形: 相电压正半周期最高部分的包络线
  - 晶闸管 ( $VT_1$ ) 的电流与电压波形分析
- 讨论: 在 $\omega t = \pi/6$  ( $\alpha = 0^\circ$ ) 时刻之前触发晶闸管, 可以吗?

三相半波可控整流电路电阻负载时的电路及 $\alpha = 0^\circ$ 时的波形

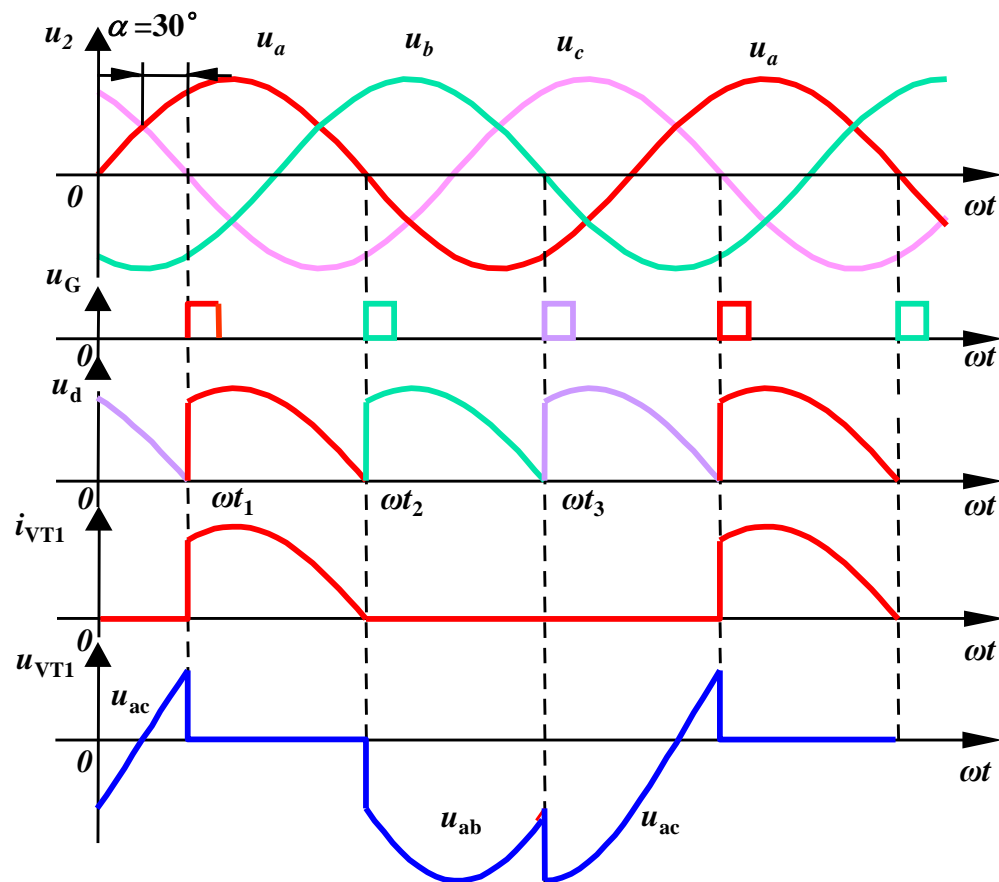


## 3.1.5 三相半波可控整流电路

### 电阻负载情况下的工作原理 ( $\alpha=30^\circ$ )



- $\alpha=30^\circ$  时，晶闸管触发脉冲的安排
- 三个晶闸管（三相）轮流导通，导通角度为 $120^\circ$
- $u_d$ 波形组成：三个相电压正半周期中的部分包络线
- $\alpha=30^\circ$  时负载电压/电流处于**临界连续状态**
- $VT_1$ 的电流与电压波形分析（承受电压：线电压）。

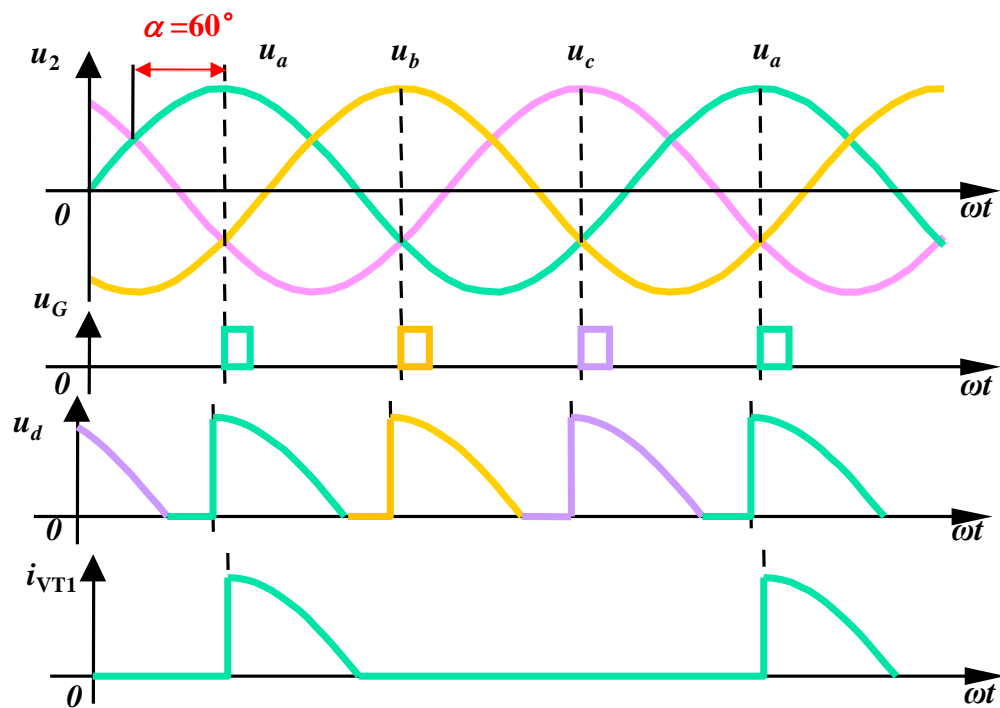
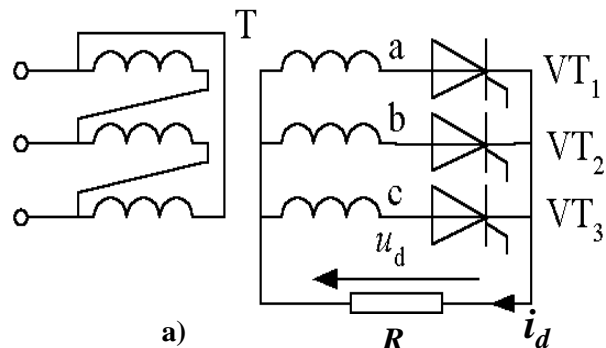


三相半波可控整流电路，电阻负载， $\alpha=30^\circ$ 时的波形



### 3.1.5 三相半波可控整流电路

#### □ 电阻负载情况下的工作原理 ( $\alpha=60^\circ$ )



三相半波可控整流电路，电阻负载， $\alpha=60^\circ$ 时的波形

- $\alpha=60^\circ$ 时，触发脉冲的安排
- 整流输出电压 $u_d$ 的波形
- 晶闸管 $VT_1$ 电压波形
- 讨论：  $\alpha>30^\circ$ 电路工作特点
- 在导通相的相电压过零变负之后的一段时间里，该相晶闸管关断，但下一相晶闸管尚未被触发而处于断态，这段时间里整流输出电压为0。
- 负载电压/电流波形断续，各晶闸管导通角小于 $120^\circ$ 。



## 3.1.5 三相半波可控整流电路

### 定量分析：整流电压平均值（控制特性）

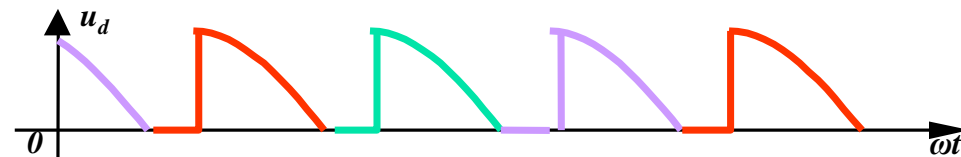
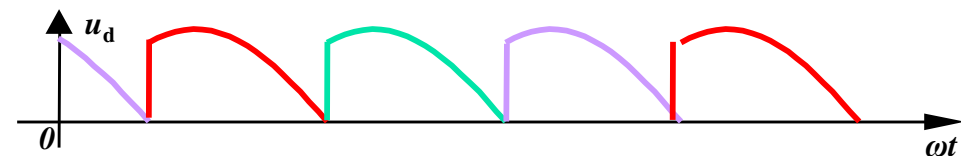
$\alpha \leq 30^\circ$ 时：

□  $u_d$  波形连续，输出相电压包络线宽度为  $120^\circ$  ( $2\pi/3$ )

□ 电阻负载时  $\alpha$  角的移相范围为  $150^\circ$

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U_2 \cos \alpha = \underline{1.17U_2 \cos \alpha}$$

□  $\alpha = 0^\circ$ ,  $U_d = U_{d0} = 1.17U_2$



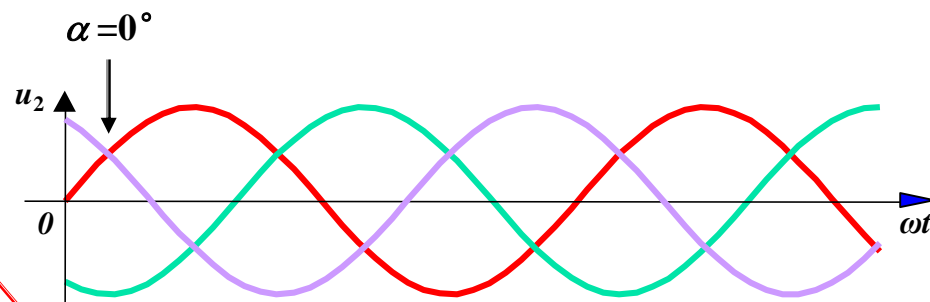
$\alpha > 30^\circ$ 时：

□  $u_d$  波形在在相电压正半周结束 ( $\omega t = \pi$ ) 后变为零，输出相电压包络线宽度小于  $120^\circ$  ( $2\pi/3$ )，波形断续。

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\pi} \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} U_2 \left[ 1 + \cos\left(\frac{\pi}{6} + \alpha\right) \right] = \underline{0.675 \left[ 1 + \cos\left(\frac{\pi}{6} + \alpha\right) \right]}$$

□ 当  $\alpha = 150^\circ$ ，即在相电压负半周起点处触发，晶闸管不会导通， $U_d = 0$

□ 电阻负载时  $\alpha$  角的移相范围为  $150^\circ$



■ 控制特性分段！ $\alpha = 30^\circ$  为分界点！



## 3.1.5 三相半波可控整流电路

### ■ 阻感负载 ( $\omega L \gg R$ ) 情况下的工作原理

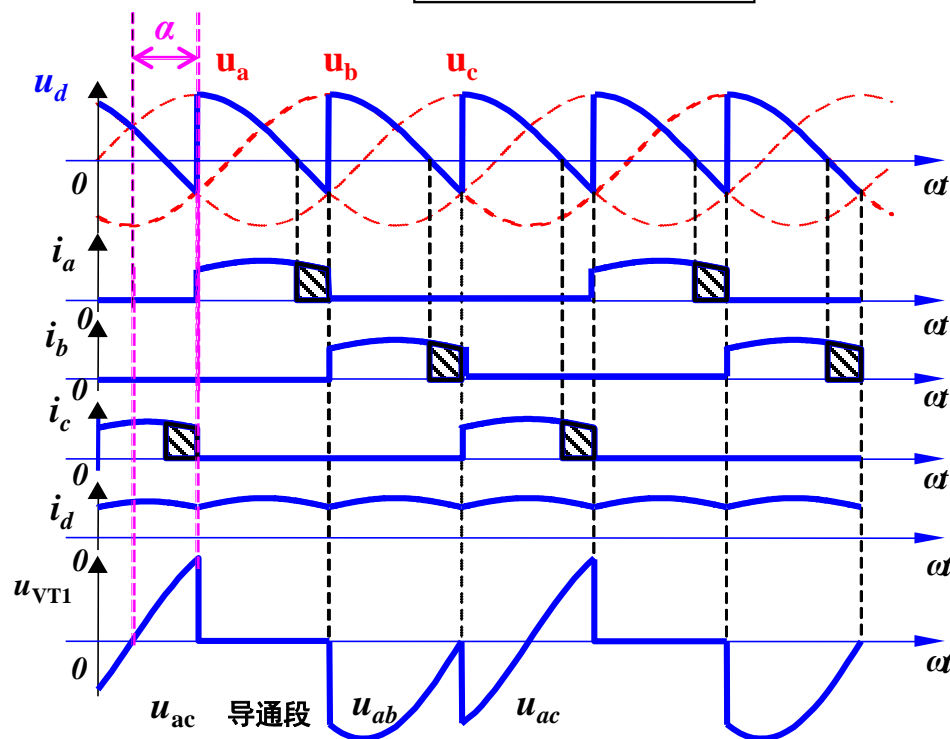
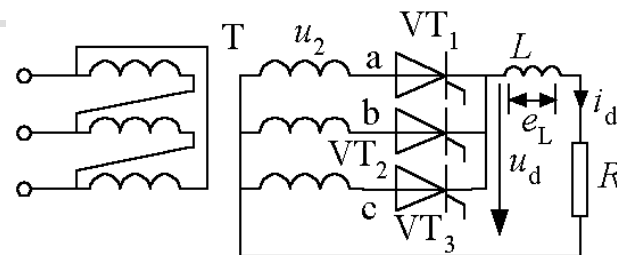
负载性质发生了变化, 关注点:

1. 与电阻负载相比, 晶闸管工作状态有什么改变?
2. 与纯电阻负载相比, 负载的电压、电流波形有什么变化?
3.  $\alpha \leq 30^\circ$ , 整流电压波形与电阻负载的相同吗?
4.  $\alpha > 30^\circ$ , 整流电压波形与电阻负载的相同吗?
5.  $\alpha$  的最大值?

#### 分析: 以a相为例

1.  $\alpha > 30^\circ$  时, 在 a 相电压  $\omega t = \pi/6 + \alpha$  处,  $VT_1$  被触发导通, a 相为负载供电:  $u_d = u_a$
2. 由于电感的存在, 当  $u_a$  过零及进入负半周后,  $VT_1$  继续导通。由于磁场储能很大, 续流时间长,  $VT_1$  一直导通
3.  $VT_1$  导通  $120^\circ$  后, 晶闸管  $VT_2$  的触发脉冲到来。VT<sub>2</sub> 能导通吗?
4.  $VT_2$  导通, 三相电源转为由 b 相为负载供电,  $VT_1$  受到  $u_{ab}$  ( $< 0$ ) 反向阳极电压作用而关断:  $u_d = u_b$
5. 结果: 换相——a 相  $\rightarrow$  b 相; 换流—— $VT_1 \rightarrow VT_2$

■ 作业: p97-7。



三相半波可控整流电路阻感负载 ( $\omega L \gg R$ )  
电路及  $\alpha = 60^\circ$  时的工作波形



## 3.1.5 三相半波可控整流电路

### □ 阻感负载 ( $\omega L \gg R$ ) 情况下的定量关系

☞ 移相范围:  $\alpha = 0-90^\circ$ 。

☞ 控制特性/整流电压平均值

$$U_d = 1.17 U_2 \cos \alpha$$

☞ 变压器二次电流 (晶闸管电流的有效值)

$$I_2 = I_T = \frac{1}{\sqrt{3}} I_d = 0.577 I_d$$

☞ 晶闸管的额定电流参考值

$$I_{T(AV)} = \frac{I_d}{1.57} = 0.368 I_d$$

☞ 晶闸管承受的最大正反向电压峰值均为变压器二次线电压峰值

$$U_{FM} = U_{RM} = 2.45 U_2$$

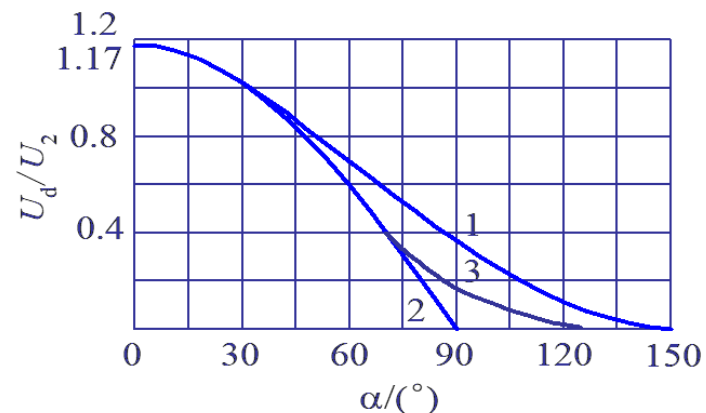
■ 作业: p98-11。





## 3.1.5 三相半波可控整流电路

### ■ 三相半波可控整流电路控制特性对比

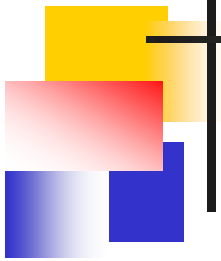


1 电阻负载    2 电感负载    3 阻感负载  
三相半波可控整流电路  $U_d/U_2$  与  $\alpha$  的关系

### ■ 三相半波可控整流电路主要缺点分析

□ 直流磁化问题：解决方案之一——作业：p97 3-8

□ 电源利用率问题：解决方案——半波→桥式。



*The End*