

# 第4章 交流调压和交交变频

- 4.1 交流调压
- 4.2 交交变频器

# 概述

交流调压:交流电压幅值的变换（频率不变）

➤台灯的灯光控制

交-交变交流电路: 一种形式的交流变成另一种形式交流的电路，可改变电压、电流、频率和相数等。

交流电力控制电路: 只改变电压、电流或控制电路的通断，不改变频率。

- 交流调压电路
- 交流调功电路
- 交流开关（无触点开关，固态继电器，9.3.1）

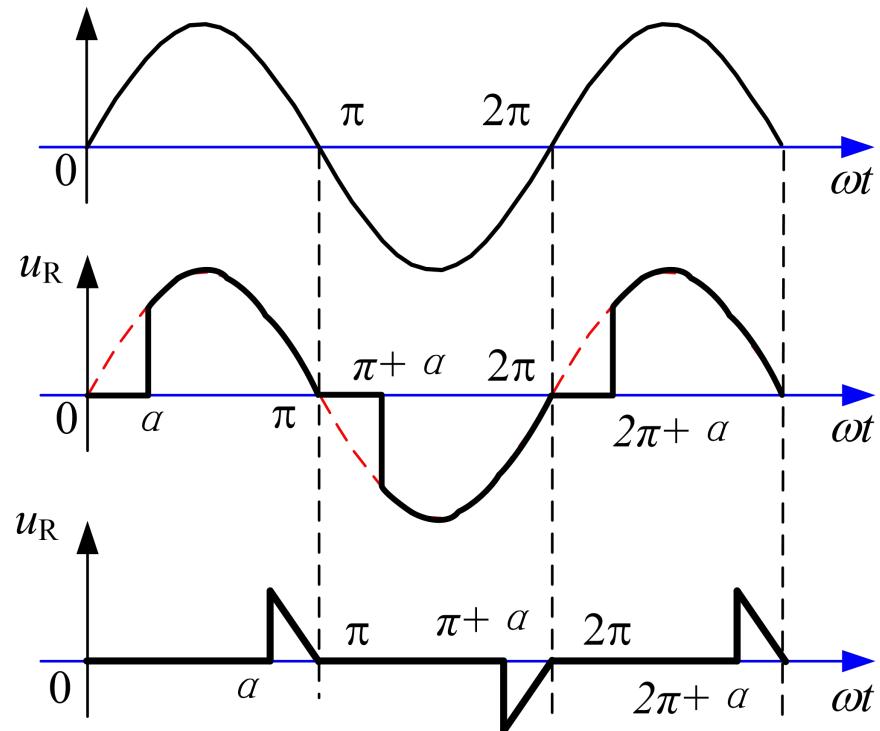
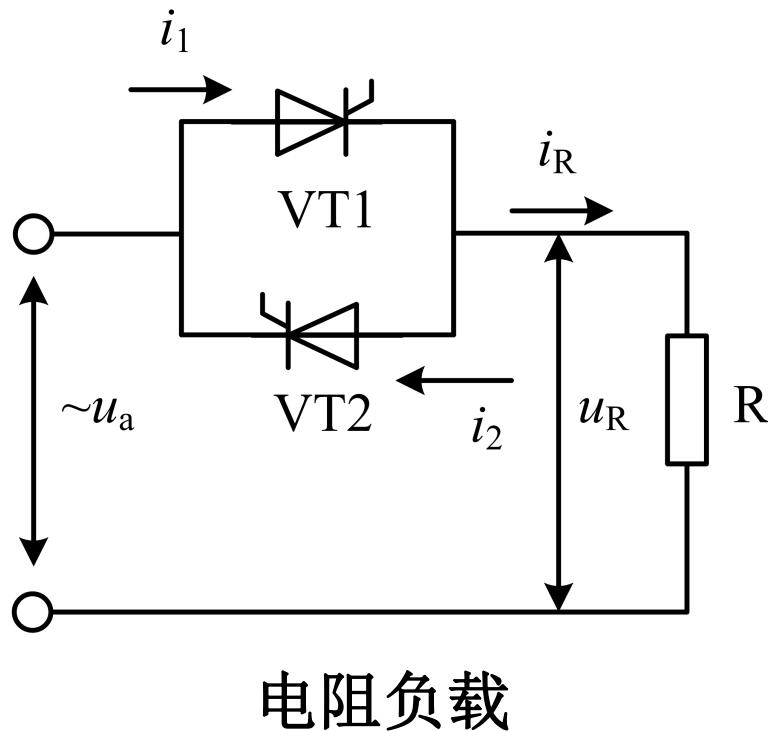
交交变频电路: 直接把一种频率的交流变成另一种频率或可变频率的交流。（4.2）

## 4.1 交流调压

- 4.1.1 单相交流调压
- 4.1.2 三相交流调压和软起动器
- 4.1.3 异步电动机的软起动
- 4.1.4 晶闸管交流调功器
- 4.1.5 双向晶闸管

### 4.1.1 单相交流调压

电路：两只反并联的晶闸管组成。



改变控制角  $\alpha$  就可将电源电压“削去”  $0 \sim \alpha$ 、 $\pi \sim \pi + \alpha$  区间一块，从而在负载上得到不同大小的交流电压

## 4.1.1 单相交流调压

### 有关数量关系

负载电压有效值:

$$U_R = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (\sqrt{2} U_a \sin \omega t)^2 d\omega t} = U_a \sqrt{1 - \frac{2\alpha - \sin 2\alpha}{2\pi}}$$

负载电流有效值:

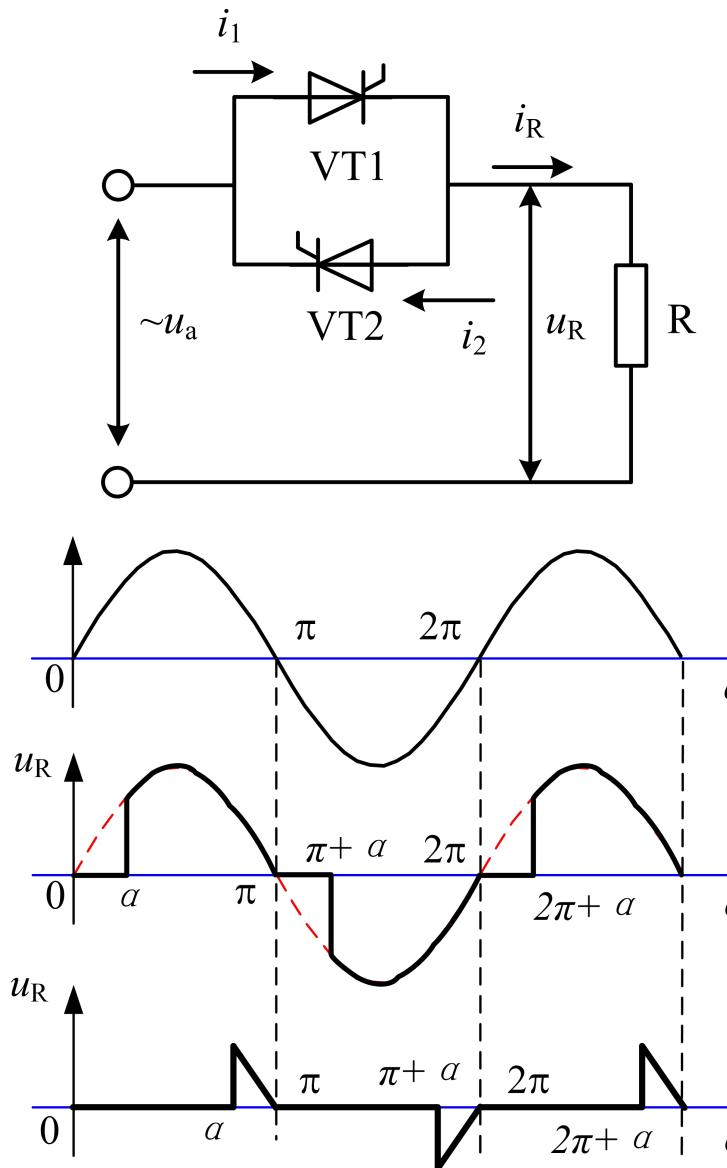
$$I_R = \frac{U_R}{R} = \frac{U_a}{R} \sqrt{1 - \frac{2\alpha - \sin 2\alpha}{2\pi}}$$

输出有功功率:

$$P_R = U_R I_R = \frac{U_a^2}{R} \left(1 - \frac{2\alpha - \sin 2\alpha}{2\pi}\right)$$

有功功率与视在功率 ( $S = U_a I_R$ ) 之比, 输入功率因数  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{U_R I_R}{U_a I_R} = \frac{U_R}{U_a} = \sqrt{1 - \frac{2\alpha - \sin 2\alpha}{2\pi}}$$



### 4.1.1 单相交流调压

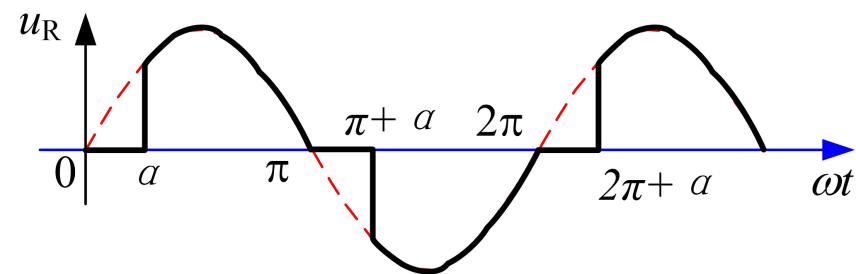
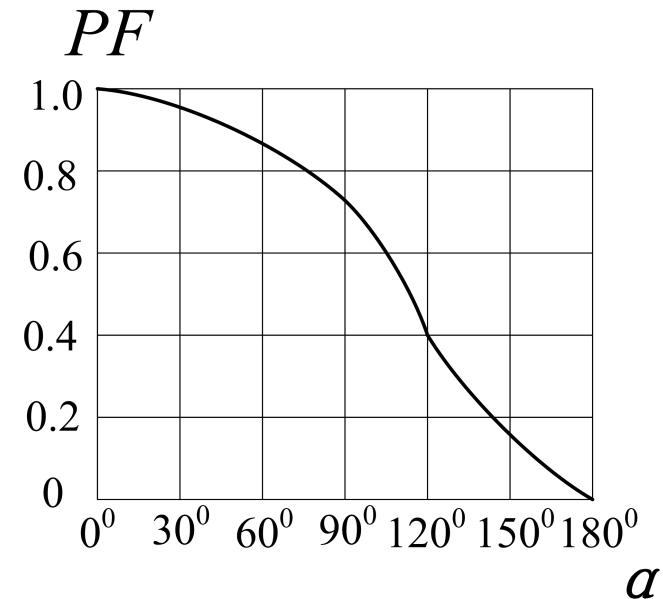
输入功率因数 $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{U_R I_R}{U_a I_R} = \frac{U_R}{U_a} = \sqrt{1 - \frac{2\alpha - \sin 2\alpha}{2\pi}}$$

$\alpha$ 越大，输出电压越低，输入功率因数越低。

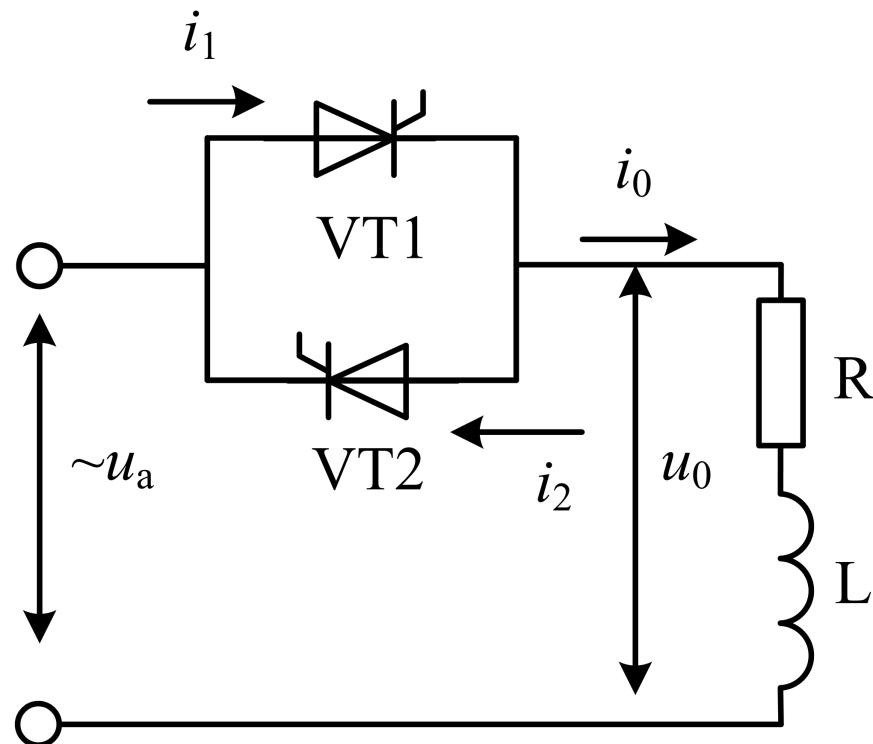
输出电压非标准正弦波，  
有奇次谐波。

适用于对波形没有要求  
的场合，例如温度和灯  
光调节。



### 4.1.1 单相交流调压

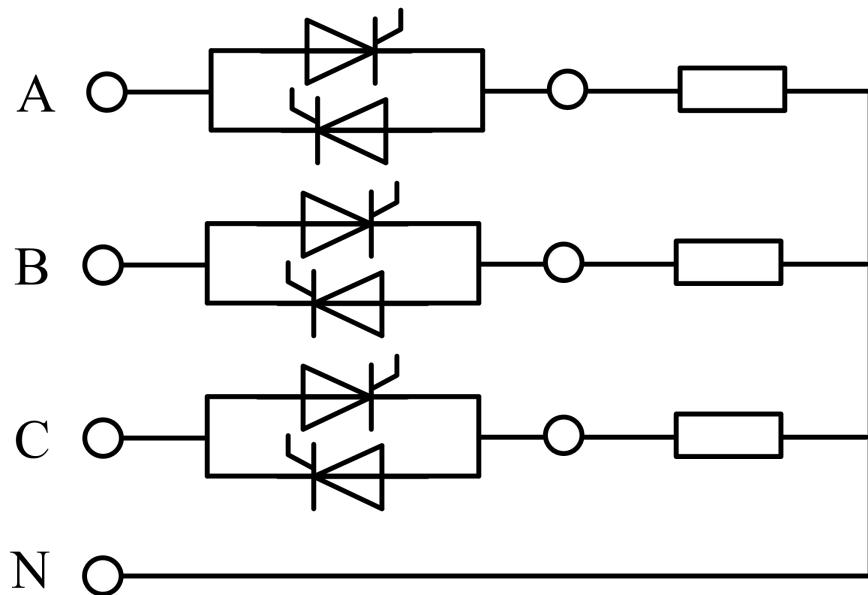
阻感负载



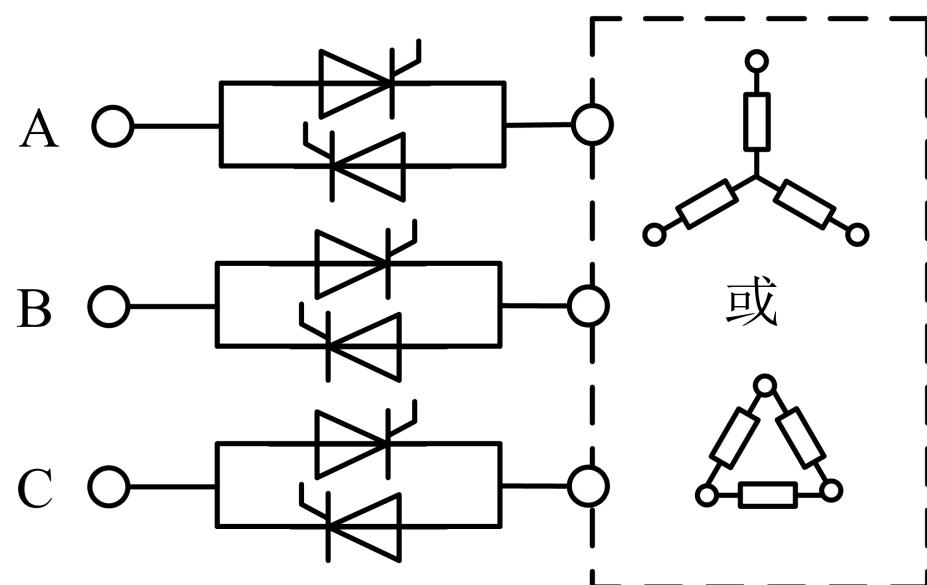
自行分析

## 4.1.2 三相交流调压

### 1) 主电路的几种接线方式



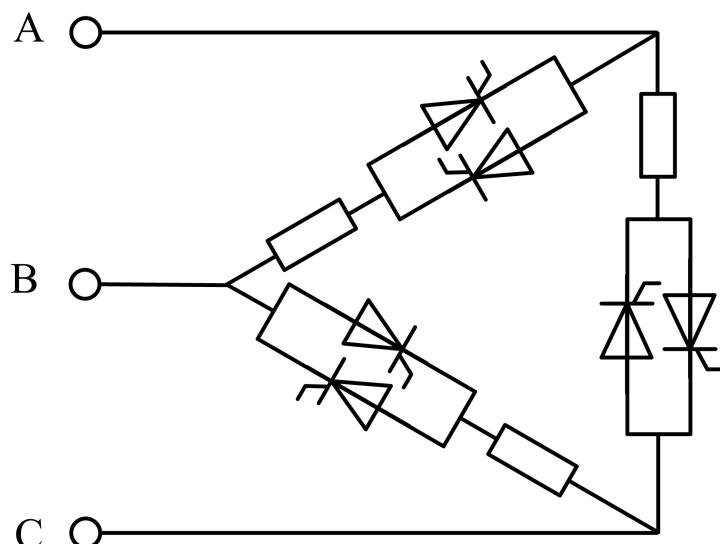
带中线星形



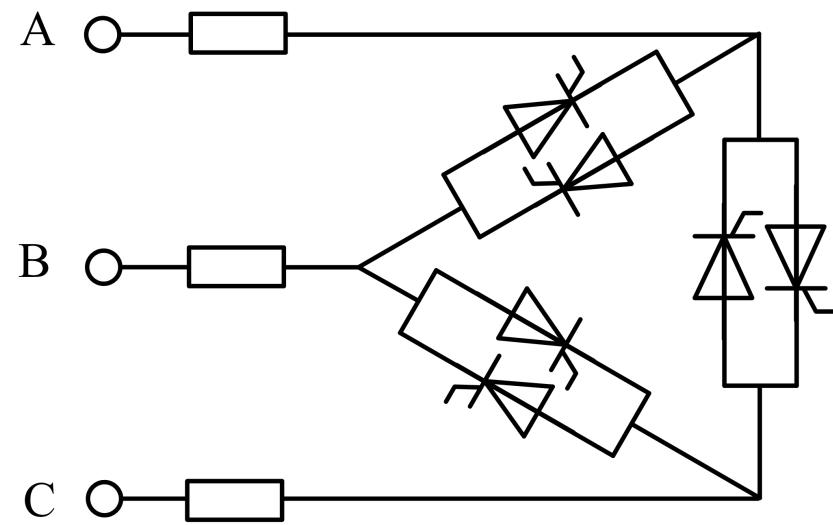
无中线星形

## 4.1.2 三相交流调压

### 1) 主电路的几种接线方式



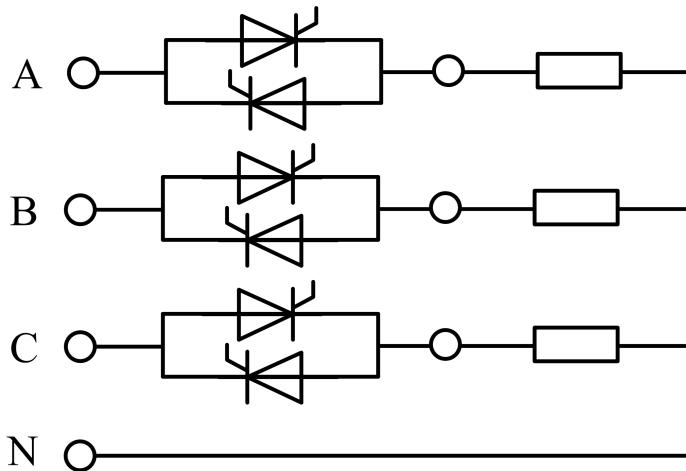
支路控制内三角



中点控制内三角

各有特点， 分别适应不同的场合

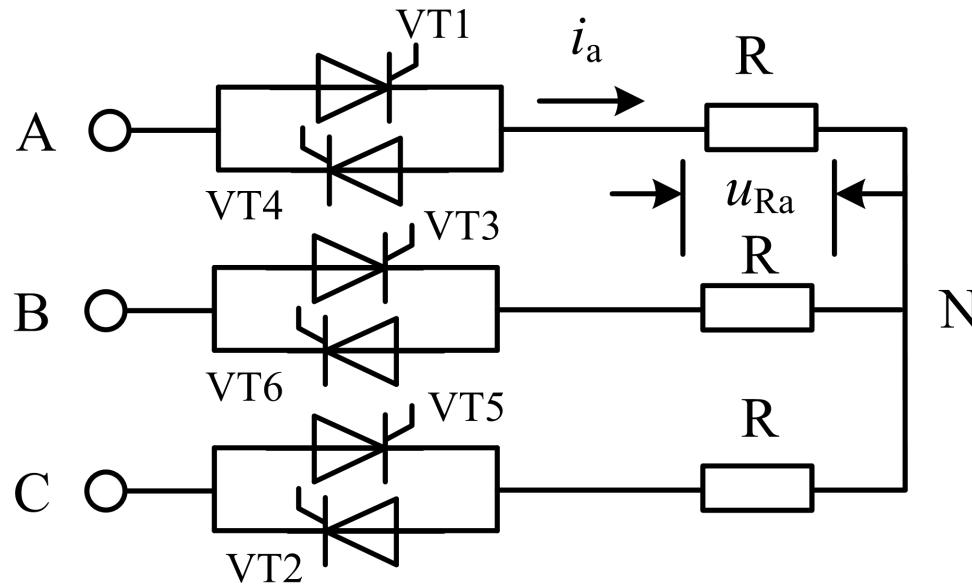
## 4.1.2 三相交流调压



带中线星形

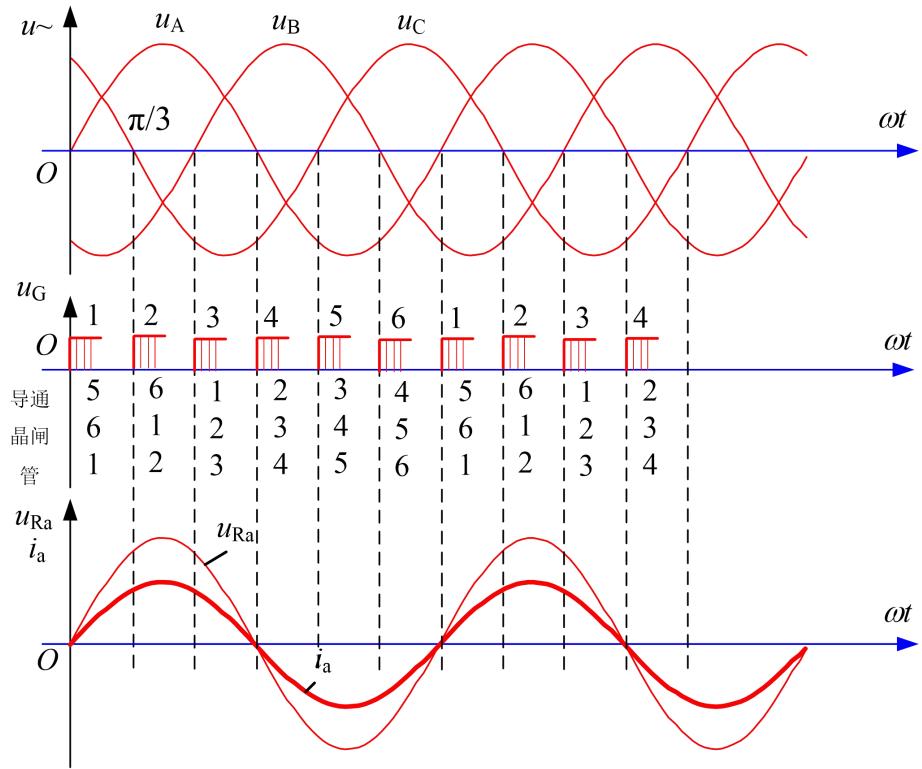
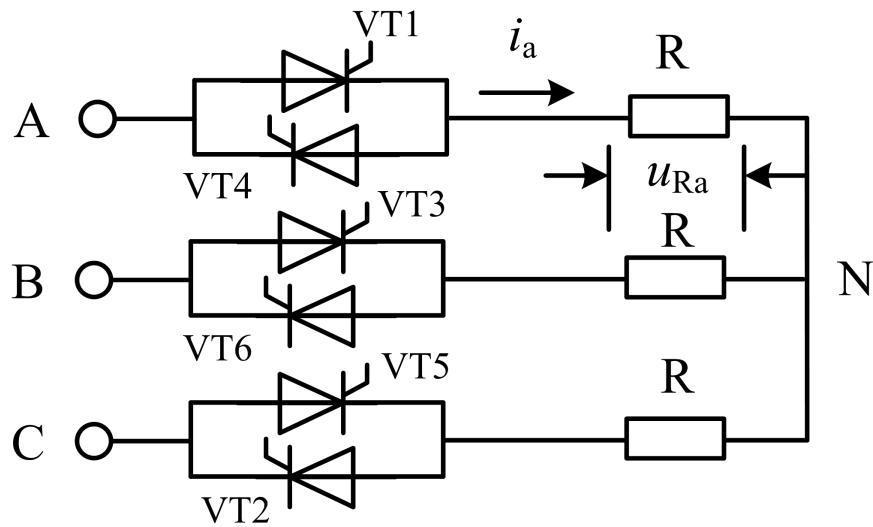
- ❖ 相当于三个单相调压电路分别接于相电路上
- ❖ 零线中会流过**有害的**三次谐波电流
- ❖ 较少使用

## 2) 波形分析（三相全波Y形）



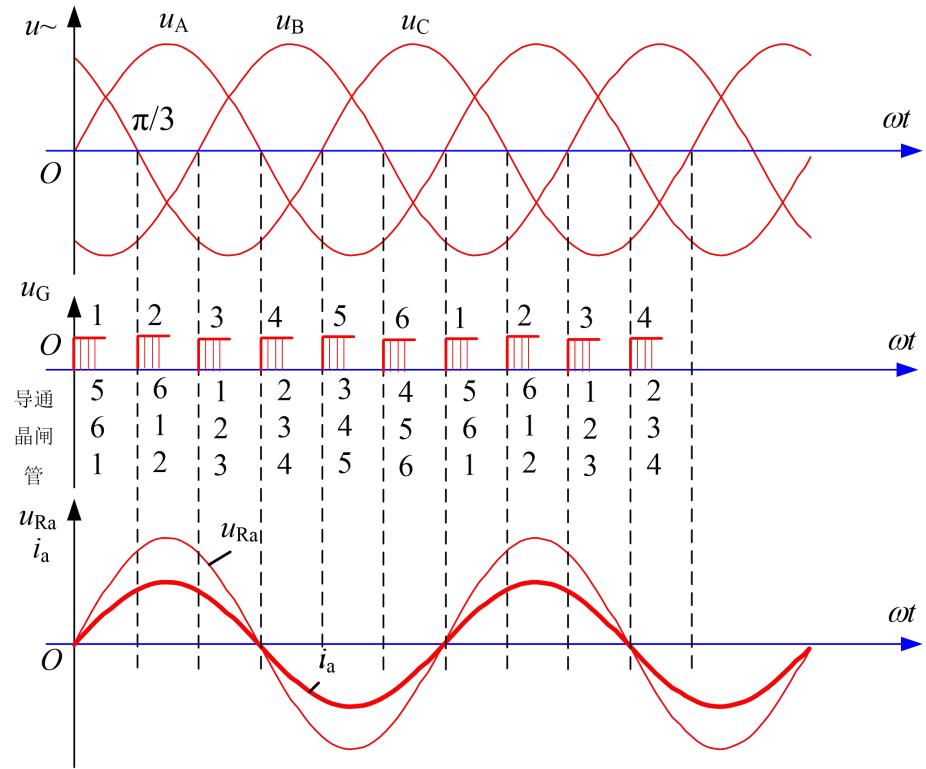
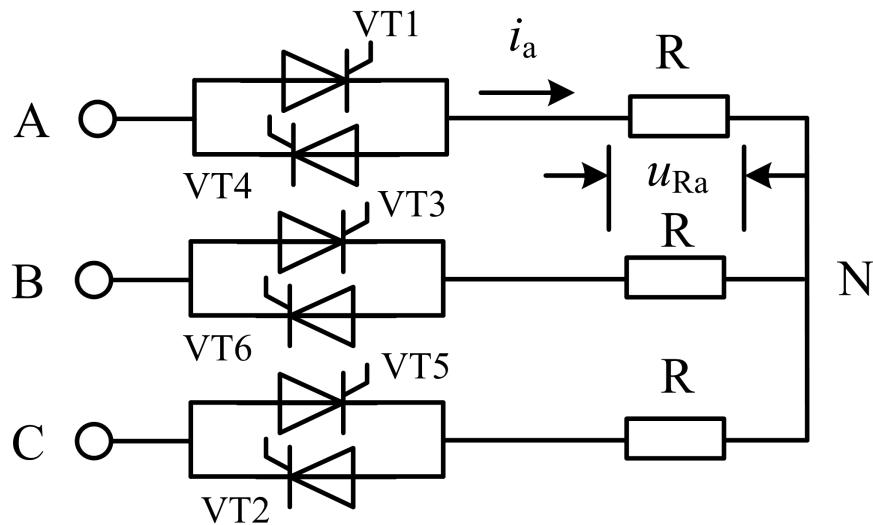
- ❖ 三相全波Y形连接
- ❖ 没有中线
- ❖ 若要负载流过电流，**至少**要有两相构成通路  
(至少要有一相晶闸管阳极正电压与另一相晶闸管阴极负电压同时导通)

## 2) 波形分析 (三相全波Y形)



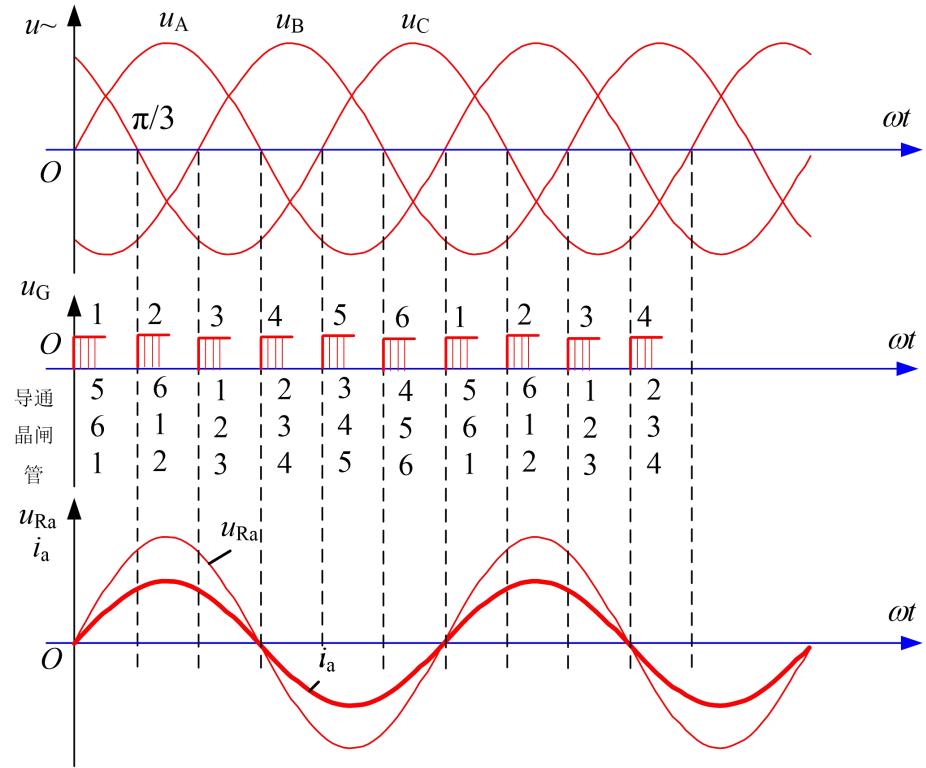
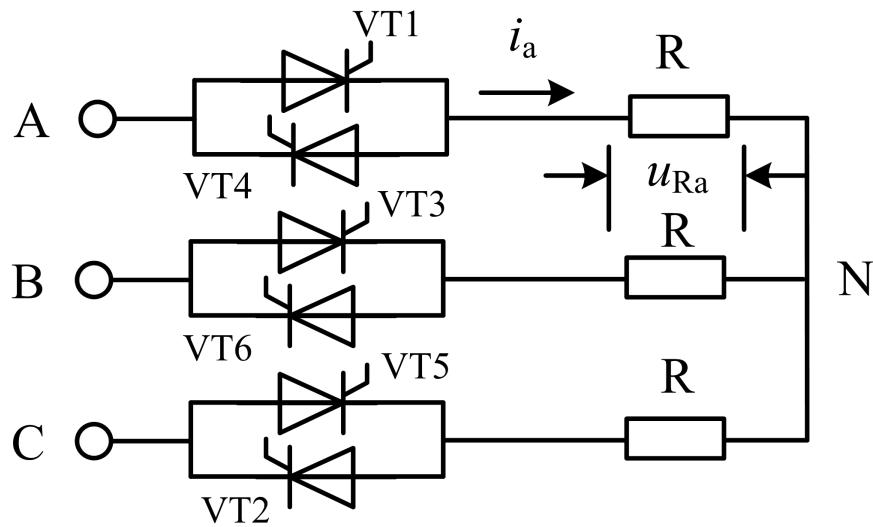
- 为了保证两个晶闸管同时导通，采用大于 $60^\circ$ 的宽脉冲或双脉冲。
- 为保证输出电压三相对称并有一定的调节范围，各触发信号间需严格保持一定的相位关系。

## 2) 波形分析 (三相全波Y形)



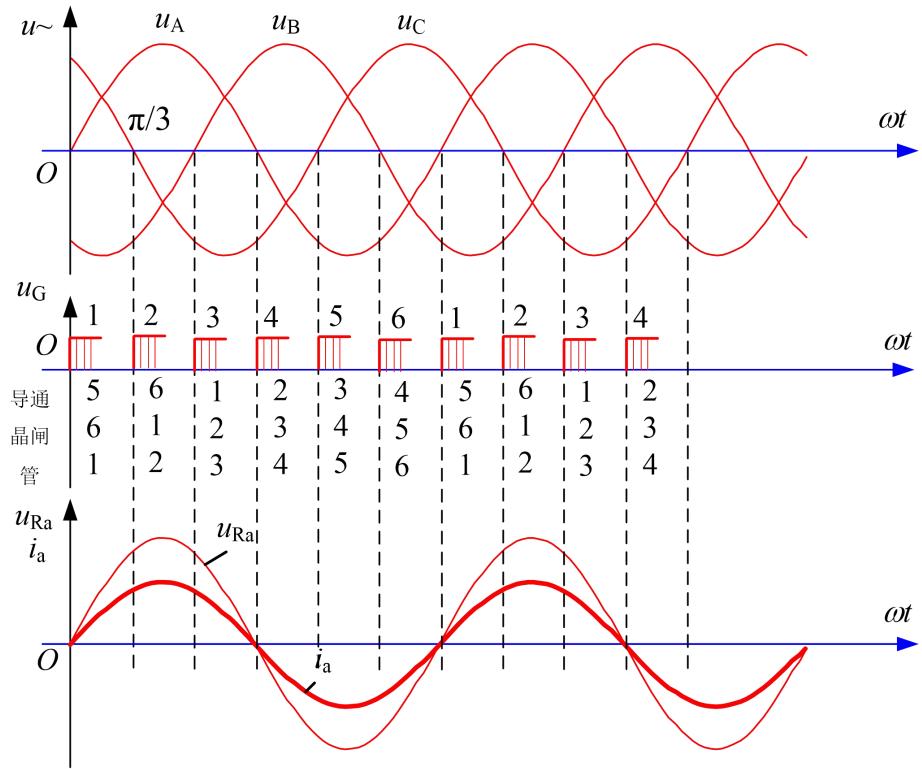
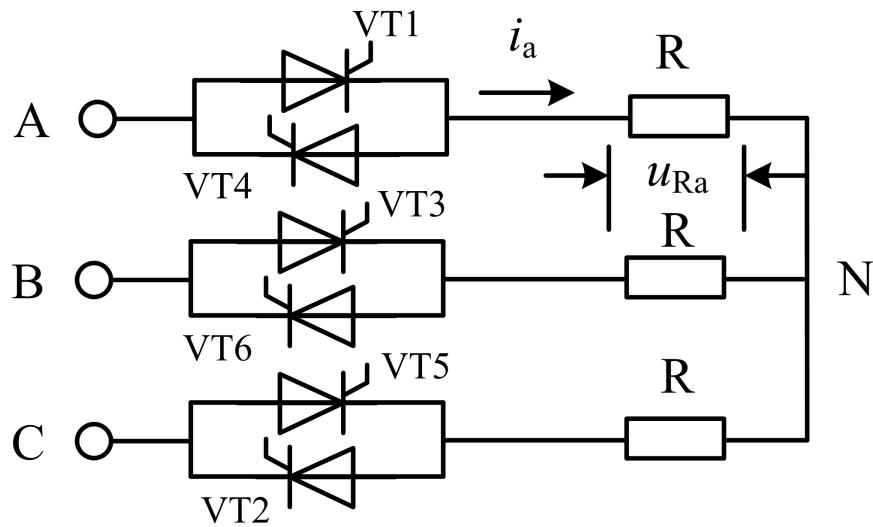
- ❖ VT1、VT3、VT5的触发信号相位互差 $120^\circ$
- ❖ VT4、VT6、VT2的触发信号相位也互差 $120^\circ$
- ❖ 同一相两个晶闸管的触发信号相位互差 $180^\circ$
- ❖ 序列： VT1、VT2、VT3、VT4、VT5、VT6

## 2) 波形分析 (三相全波Y形)



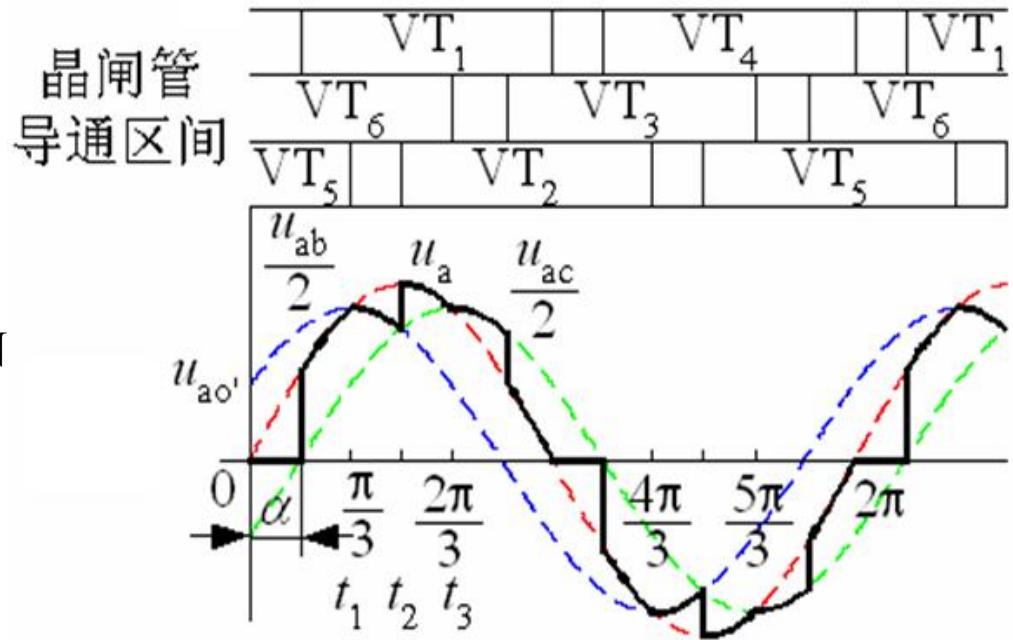
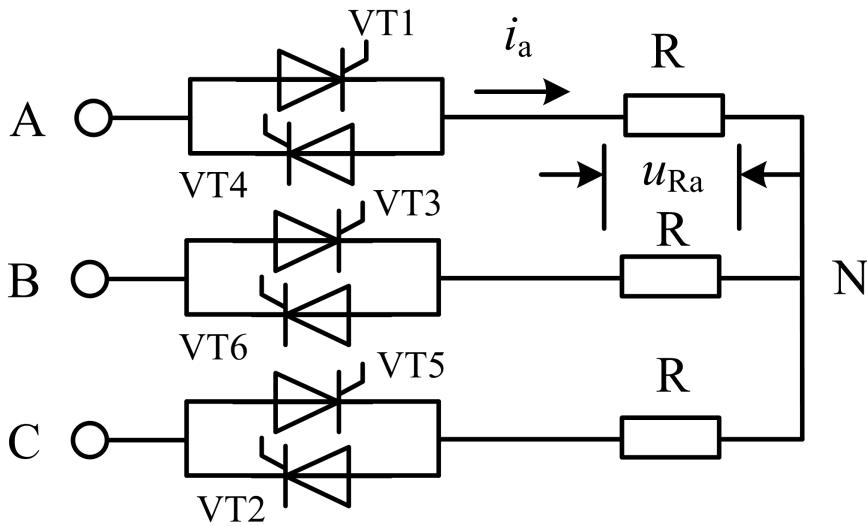
- ❖ 序列： VT1、 VT2、 VT3、 VT4、 VT5、 VT6
- ❖ 相邻两个差 $60^\circ$
- ❖ 原则上，**三相全控桥式整流电路的触发电路均可用于三相全波交流调压。**

## 2) 波形分析 (三相全波Y形)



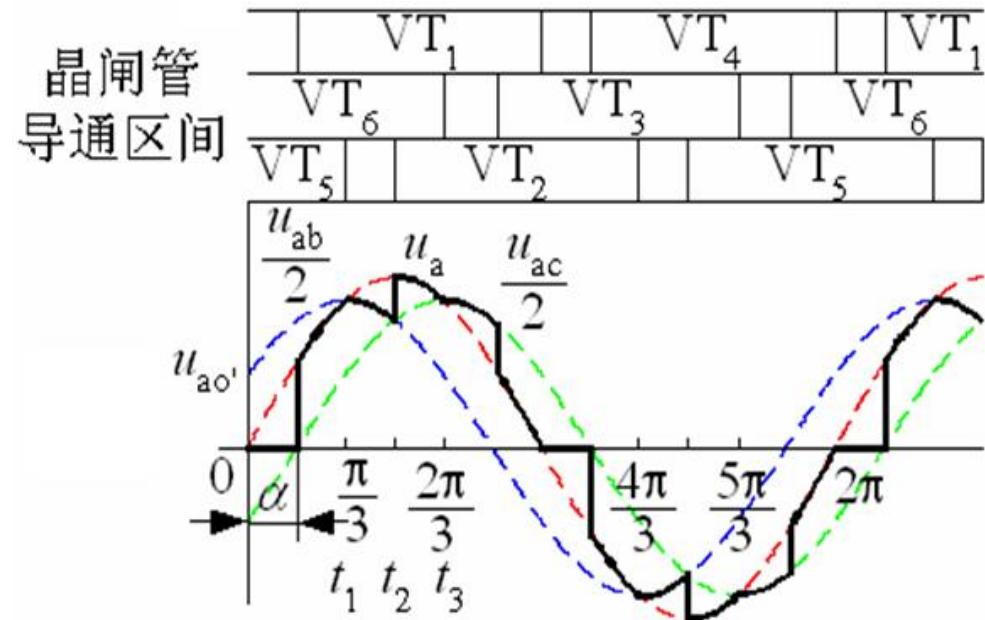
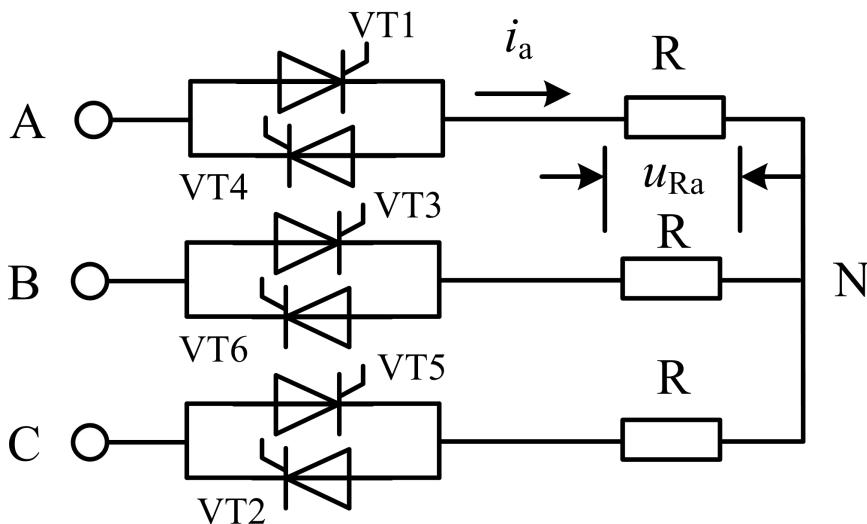
- ❖ 应选用电源相应波形的起点作为控制角 $\alpha=0^\circ$ 的时刻（**三相全控桥以相电压的交点为 $\alpha=0^\circ$** ）
- ❖  $0^\circ \sim 60^\circ$ 区间， $0^\circ$ 时刻给VT1施加触发信号，期间，VT5、6、1都导电

## 2) 波形分析 (三相全波Y形)

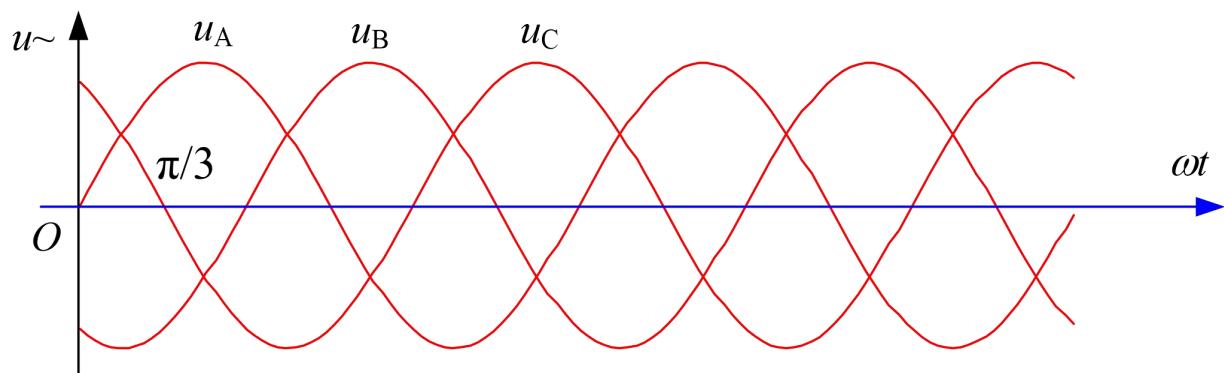


- ❖  $\alpha$ 为其他角度时，有时会出现**三相均有晶闸管导通**，有时只有**两相**晶闸管导通
- ❖ 三相全有时，负载中点N与三相电源中点O等电位
- ❖ 只有两相时，导通的两相每相负载上的电压为其**线电压**的一半，不导通相的负载电压为零

## 2) 波形分析 (三相全波Y形)

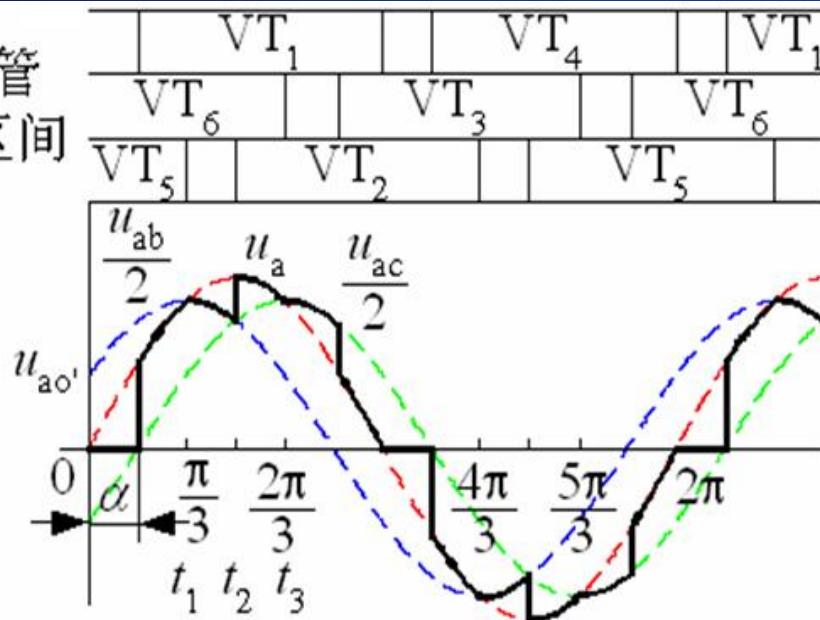


### ◆ 具体分析

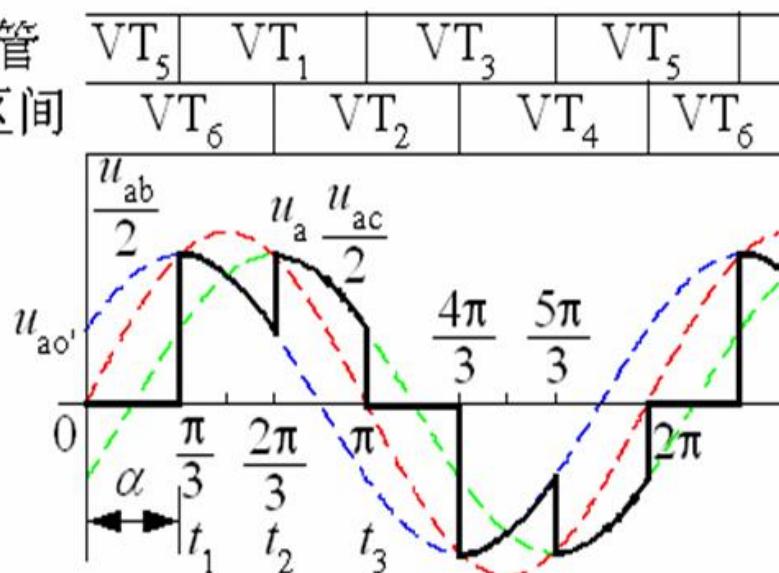


## 2) 波形分析（三相全波Y形）

晶闸管  
导通区间

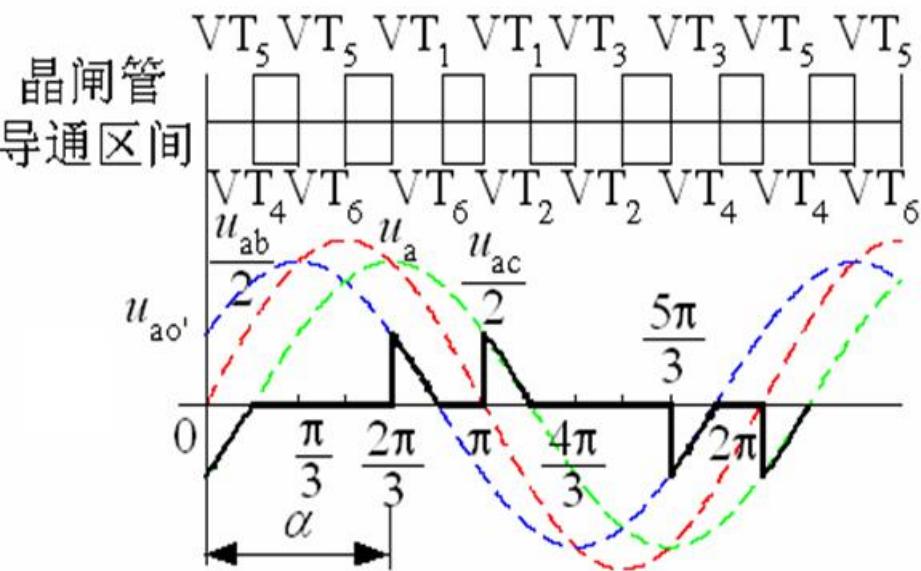


晶闸管  
导通区间



- ◆ 交流调压得到的负载电压和电流波形都不是正弦波
- ◆ 随着 $\alpha$ 角增大，负载电压相应变小，负载电流开始出现断续

## 2) 波形分析（三相全波Y形）



- ◆ 交流调压得到的负载电压和电流波形都不是正弦波
- ◆ 随着 $\alpha$ 角增大，负载电压相应变小，负载电流开始出现断续

### 4.1.3 异步电动机的软起动

交流调压电路很少用于异步电动机调速

- 调速范围很小
- 电压波形不是正弦波，对电机和电网均有害

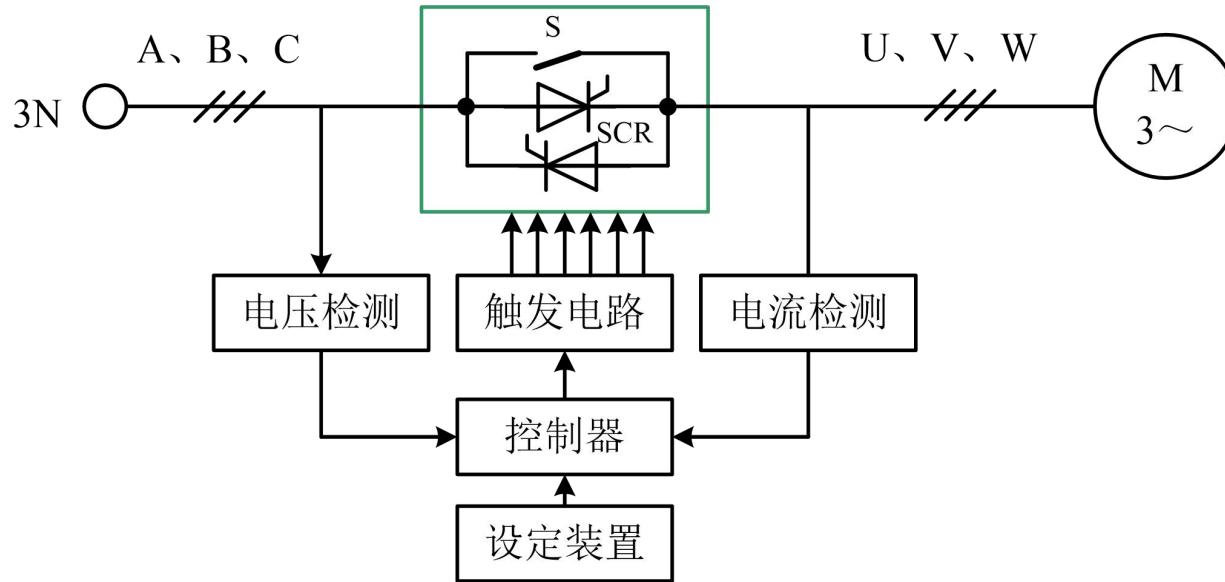
三相调压电路用于异步电动机的起动越来越普遍

- 突加全压起动，**电流大**（额定的4~7倍），对电网、机械的冲击大
- 电动机的负载有轻有重

软起动

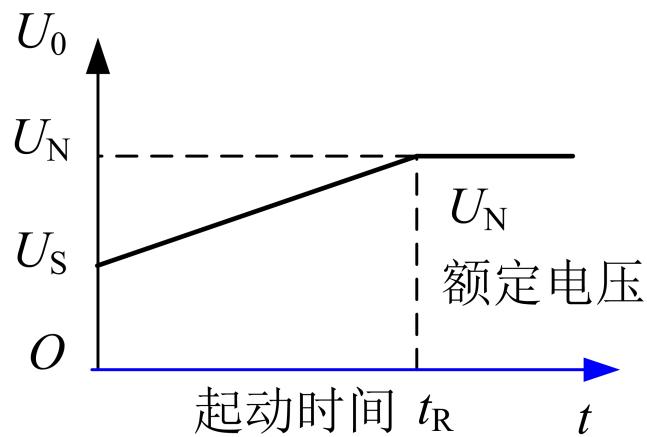
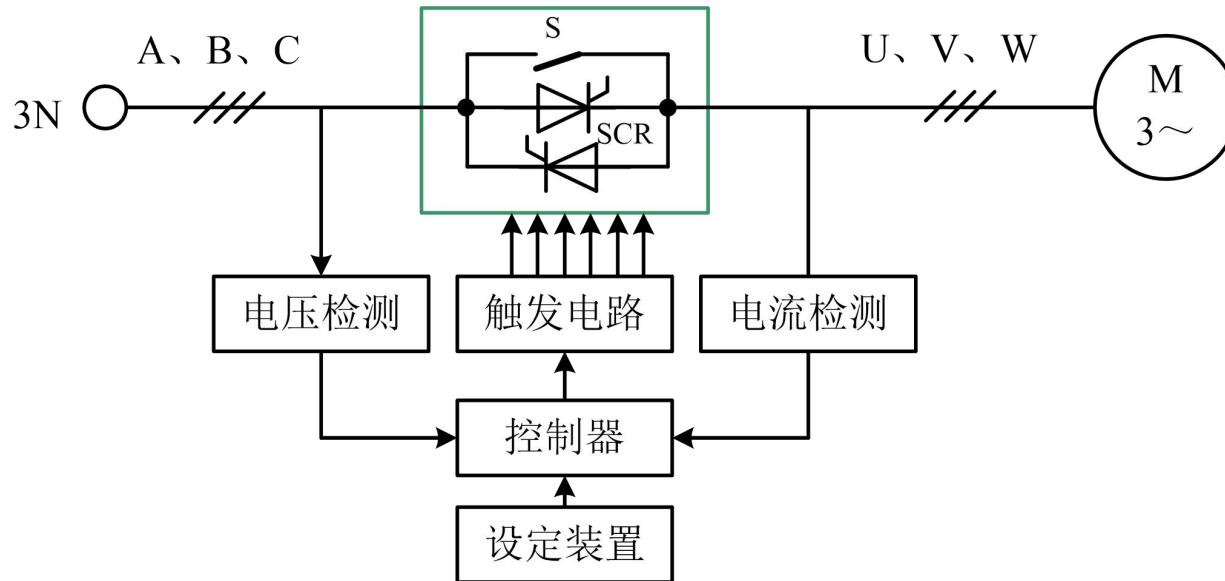
- 采用**交流调压电路**对电动机供电（可变电压）

### 4.1.3 异步电动机的软起动



- 电流、电压反馈闭环
- 开关S旁路

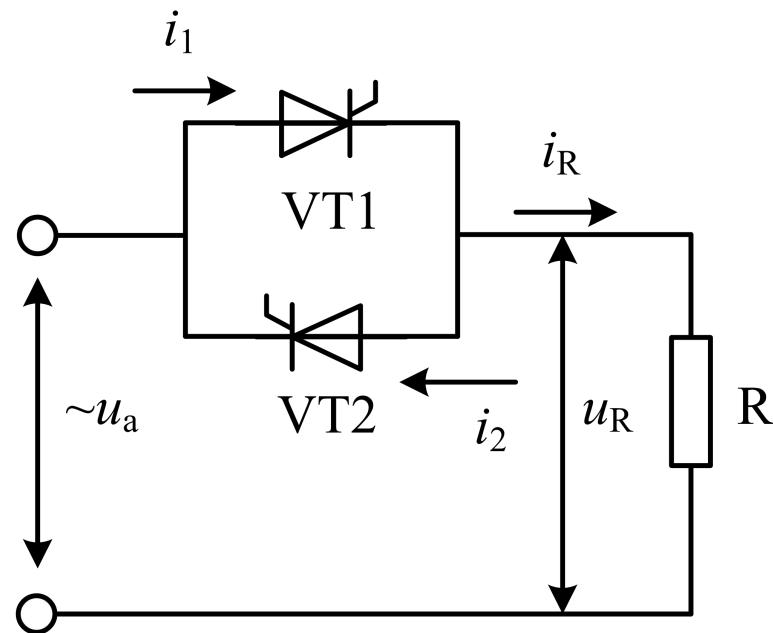
### 4.1.3 异步电动机的软起动



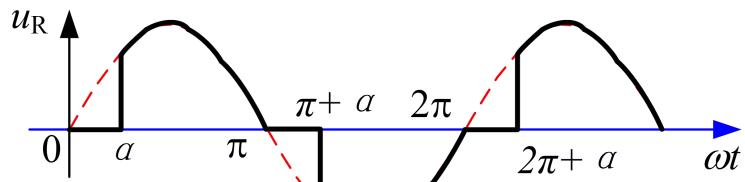
- 电压上升曲线
- $U_S$ 为起动需要的最小转矩对应的电压值
- 无级调节
- $U_N$ 为额定电压

#### 4.1.4 晶闸管交流调功器

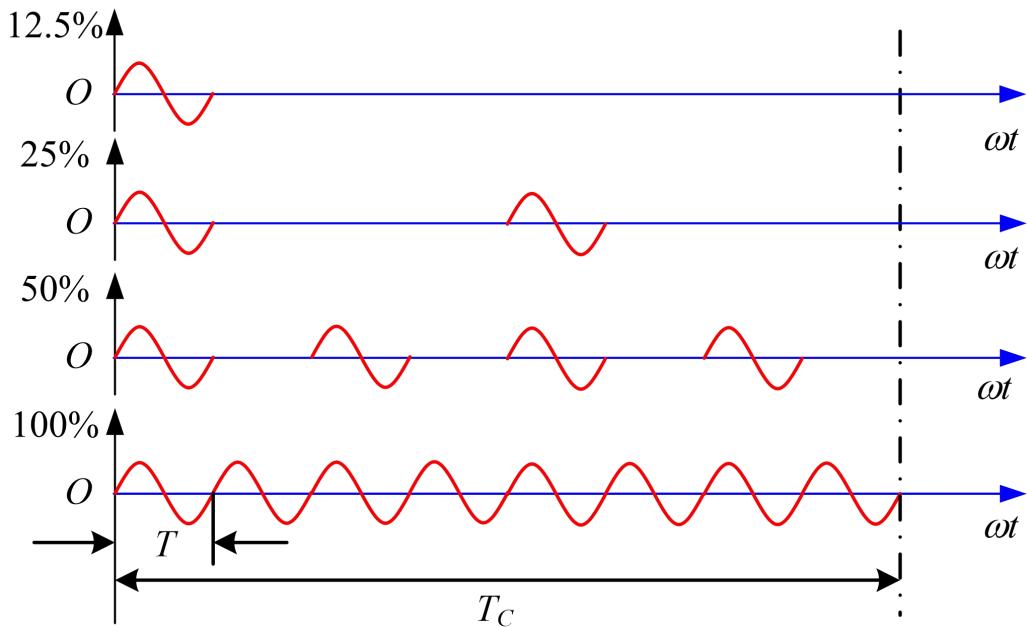
主电路与交流调压一样，但采用通断控制。



# 相位控制与通断控制



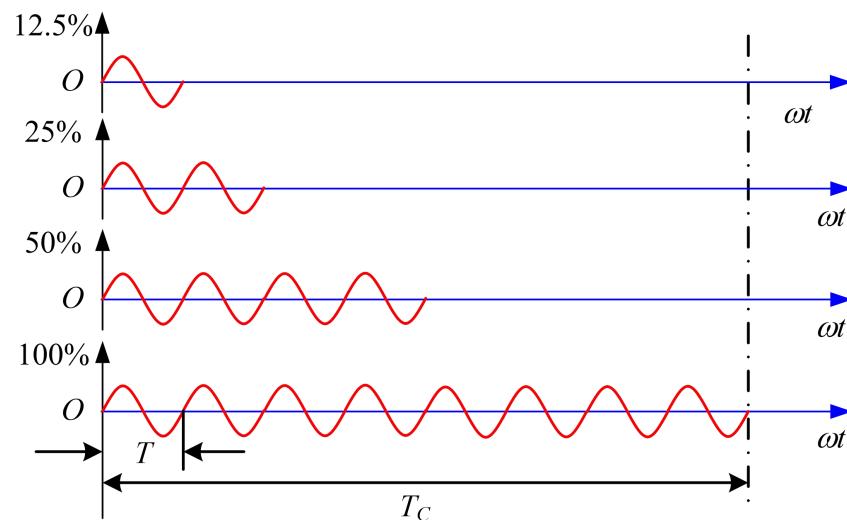
相位控制



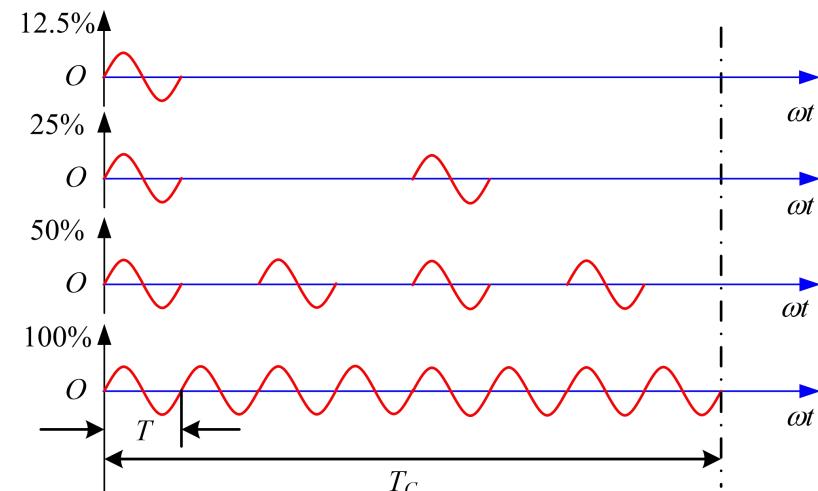
通断控制

#### 4.1.4 晶闸管交流调功器

- ❖ 在设定的周期范围内，将电路接通几个周波，来调节负载两端的功率。
- ❖ 一般是在 $\alpha=0^\circ$ 时触发，故而也称“零触发”。



连续式



间隔式

## 4.1.4 晶闸管交流调功器

输出电压有效值：

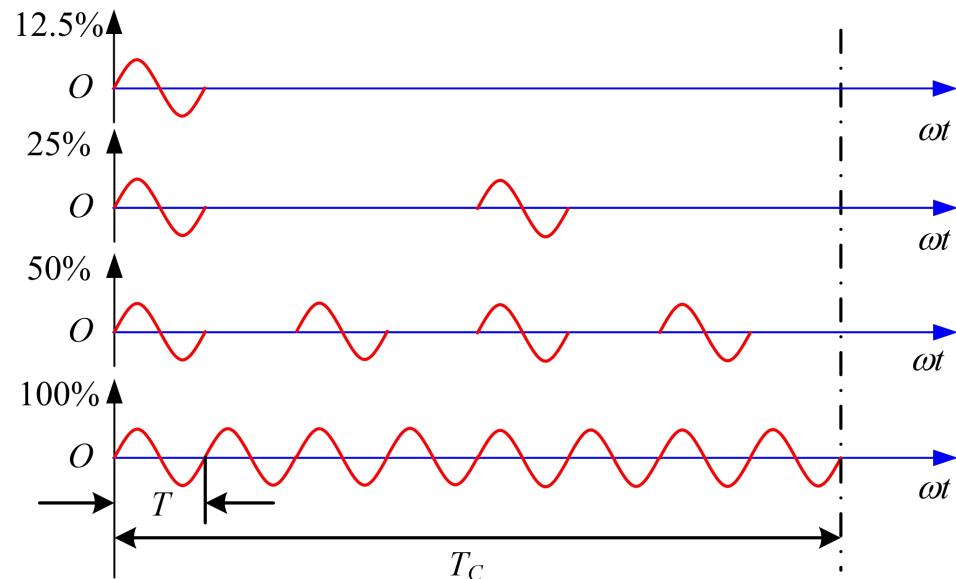
$$U_0 = \sqrt{\frac{1}{T_c} \int_0^{NT} u_n^2 dt} = \sqrt{\frac{NT}{T_c}} U_n$$

$U_n$  —— 设定周期  $T_c$  内全部周波都导通时的输出有效值电压。

输出功率

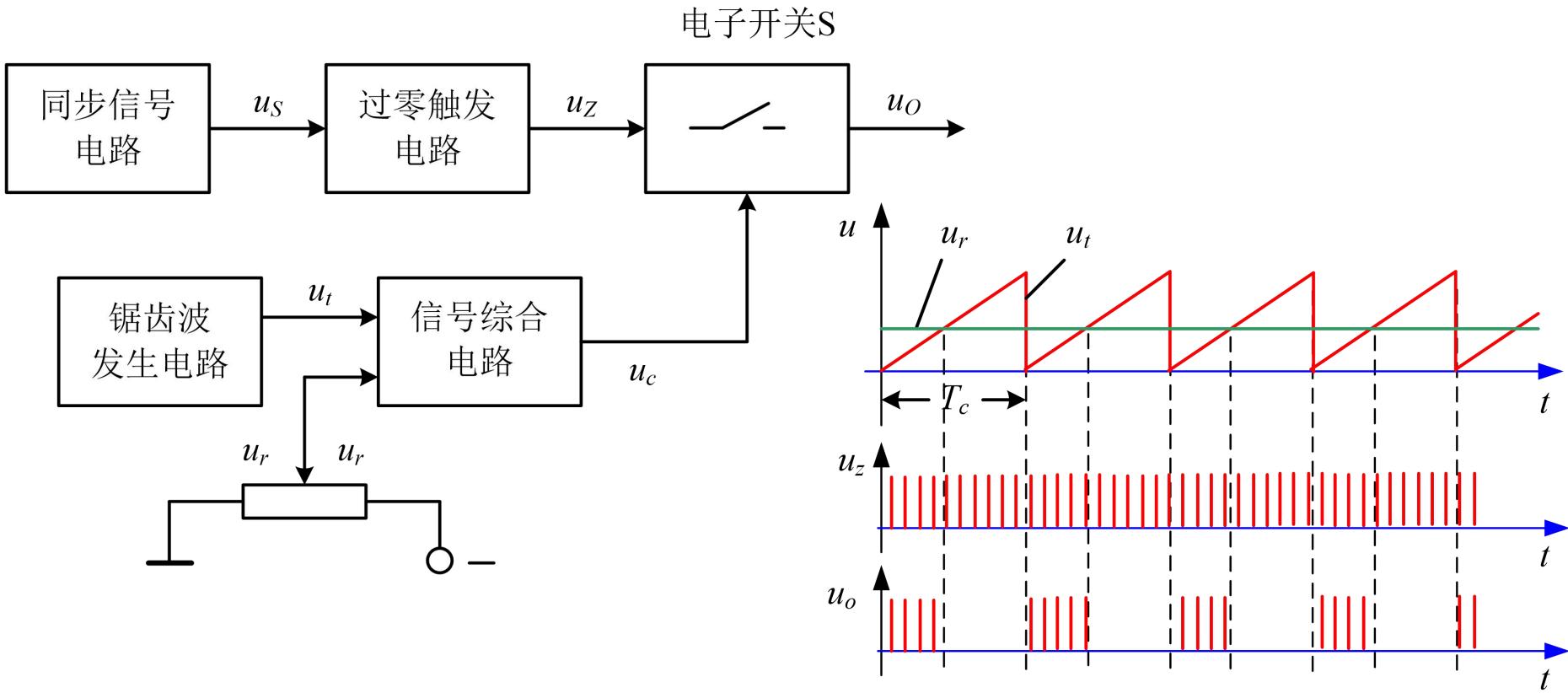
$$P_0 = \frac{U_o^2}{R} = \frac{NT}{T_c} \frac{U_n^2}{R} = \frac{NT}{T_c} P_n$$

$P_n$  —— 设定周期  $T_c$  内全部周波都导通时的输出有效值功率。



只要改变导通周波数N，就可改变输出电压和功率

# 调功器触发电路及波形



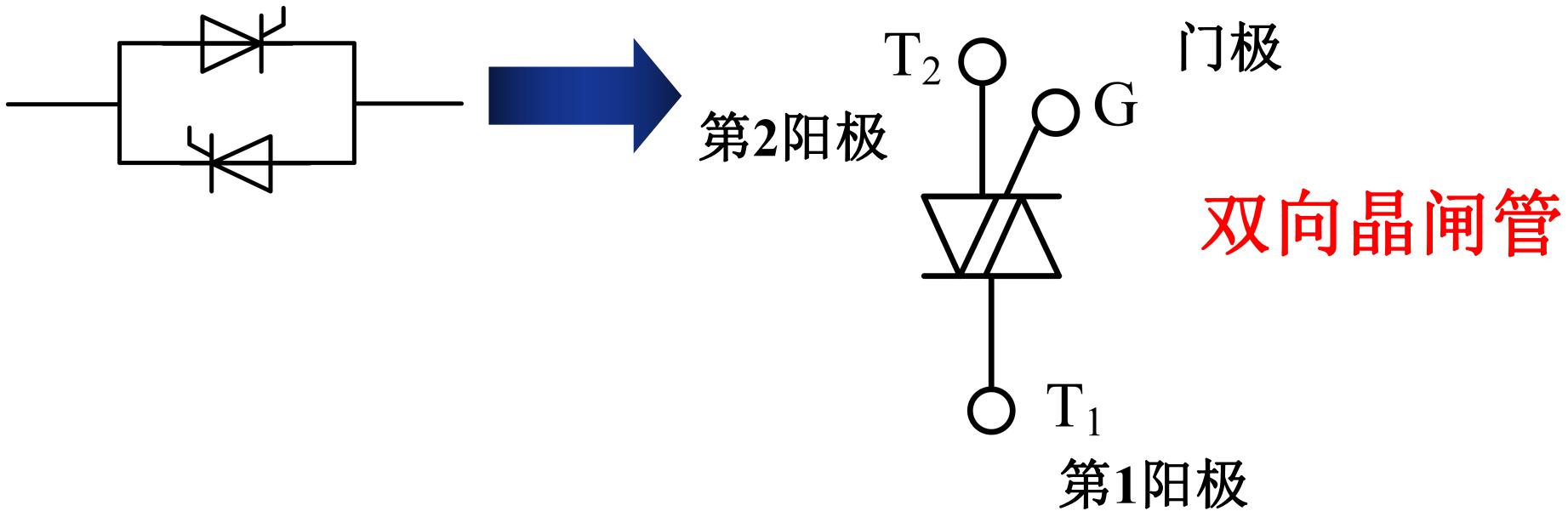
- 交流电源电压过零时，过零触发电路输出一个脉冲
- 电子开关S受通断比调节信号 $u_c$ 控制
- $u_c$ 由锯齿波 $u_t$ 和给定电压 $u_r$ 经信号综合电路比较后给出

# 通断控制方式的优缺点

- 在电压（电流）过零的瞬间开通，波形为正弦波，克服了相位控制时会产生谐波干扰的缺点
- 输出电压为断续波，只适用于有较大时间常数的负载

一个设定周期中包含的正弦波个数越多，调功稳态精度越高

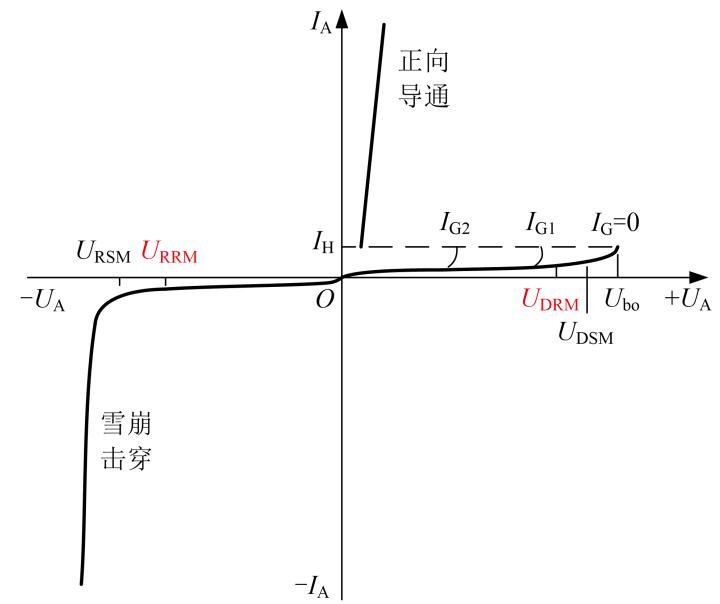
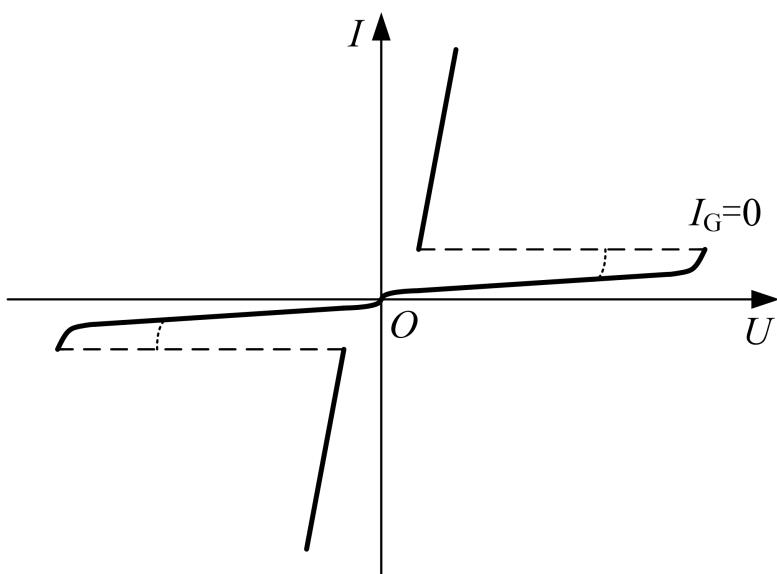
## 4.1.5 双向晶闸管



- ❖ 一种派生的晶闸管器件
- ❖ 三端器件
- ❖ 在主电极正、反两个方向，门极加正、负脉冲都能触发导通。

## 4.1.5 双向晶闸管

伏安特性



普通晶闸管的  
伏安特性

#### 4.1.5 双向晶闸管

- 额定通态电流不用平均值表示，而是以交流电流有效值表示（与普通晶闸管不同）
- 使用时，会依次承受正反两个半波的电压和电流， $du/dt$ 能力差，关断时间  $t_{off}$ 长
- 最好采用强触发

## 4.2 交交变频器

两种AC→AC变换

- AC→DC→AC
- AC→AC（交流变频器、周波变换器）

