

# 第十章 直流电源

- 10.1 直流电源的组成
- 10.2 单相整流电路
- 10.3 滤波电路
- 10.4 倍压整流电路
- 10.5 硅稳压管稳压电路
- 10.6 串联型直流稳压电路
- 10.7 集成稳压器
- 10.8 开关型稳压电路
- 10.9 可控整流电路

## 10.1 直流电源的组成

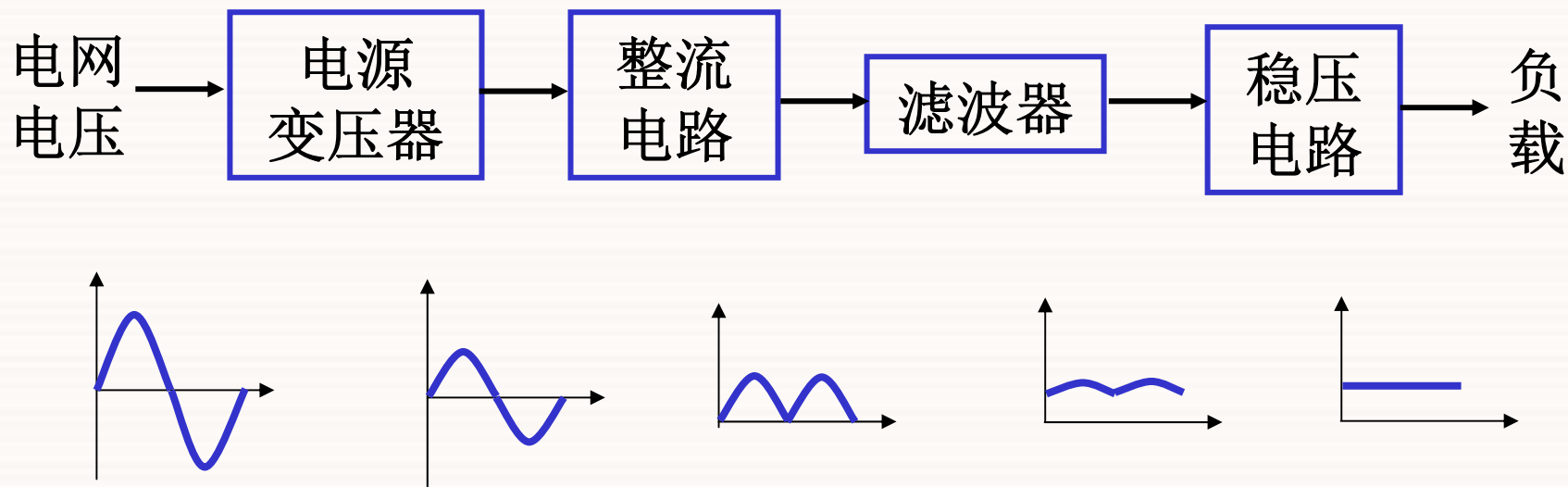
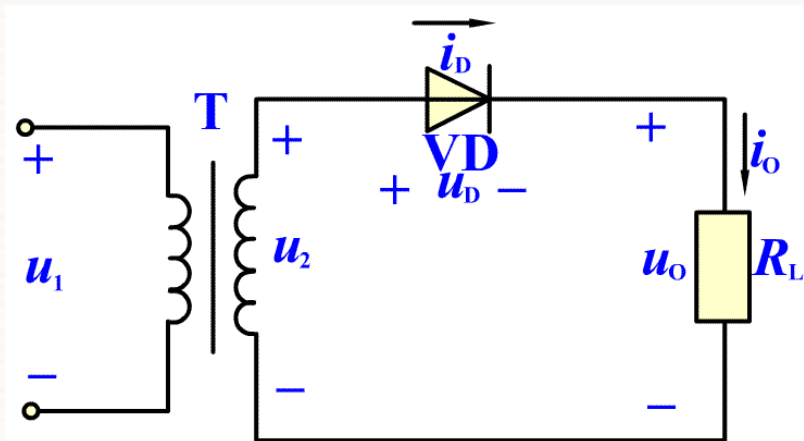


图 10.1.1 直流电源的组成

## 10.2 单相整流电路

### 10.2.1 单相半波整流电路



优点：使用元件少。

缺点：输出波形脉动大；直流成分小；变压器利用率低。

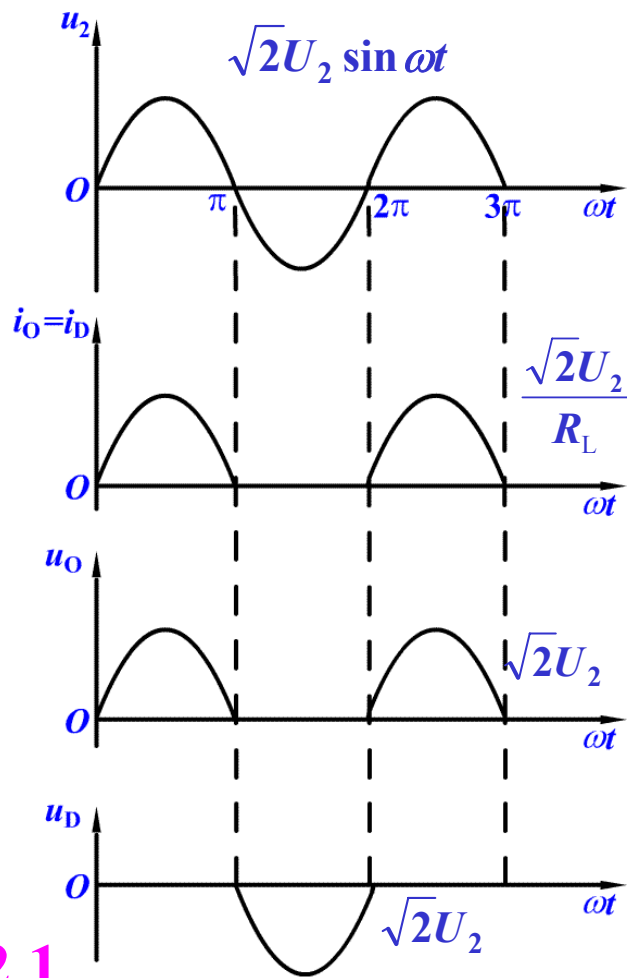


图 10.2.1

## 10.2.2 单相全波整流电路

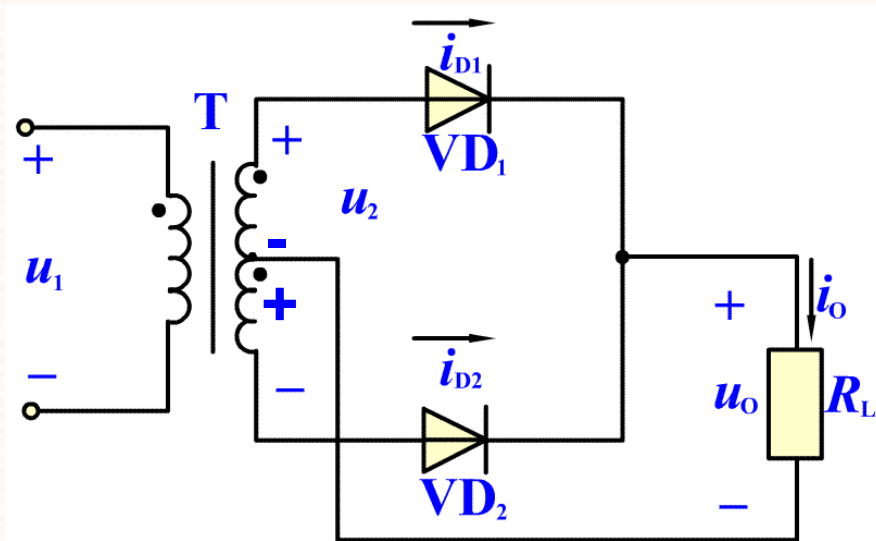
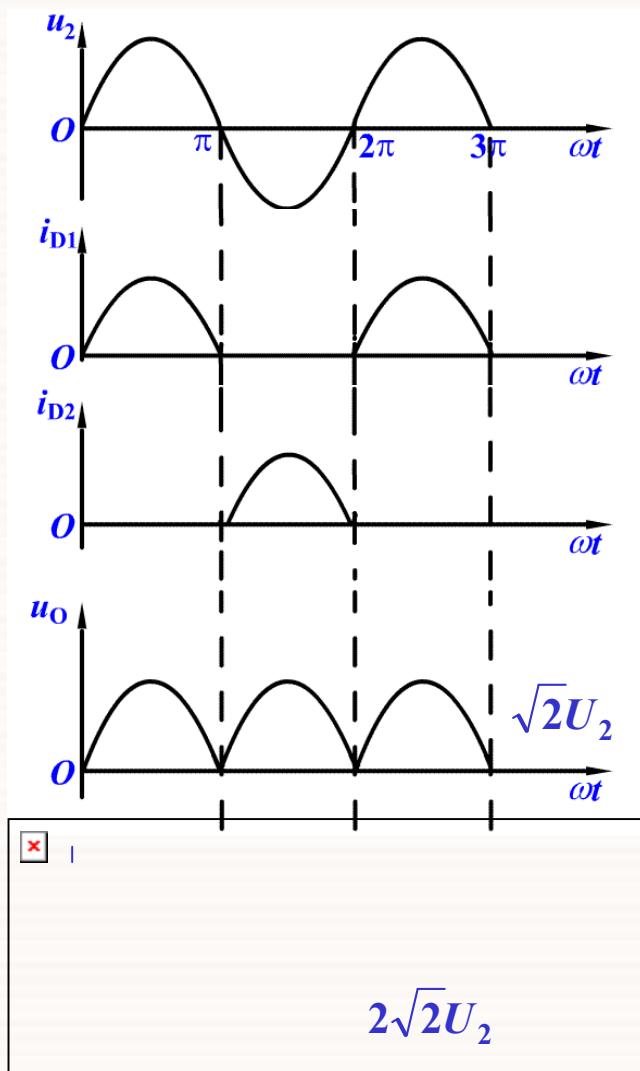


图 10.2.2 全波整流电路

图 10.2.3 全波整流电路波形图



# 10.2.3 单相桥式整流电路

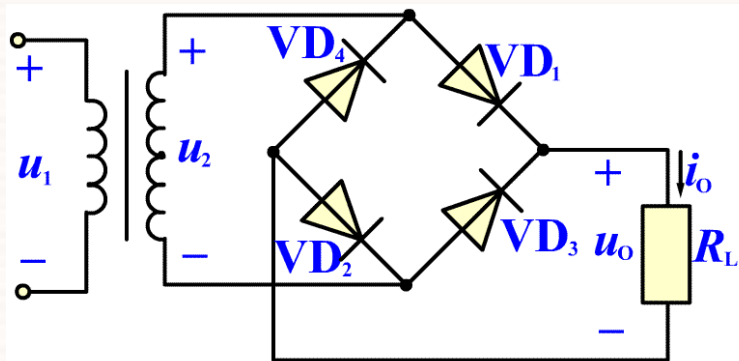


图 10.2.4

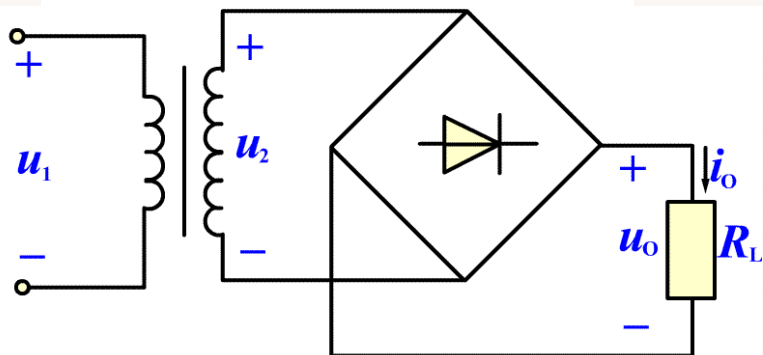
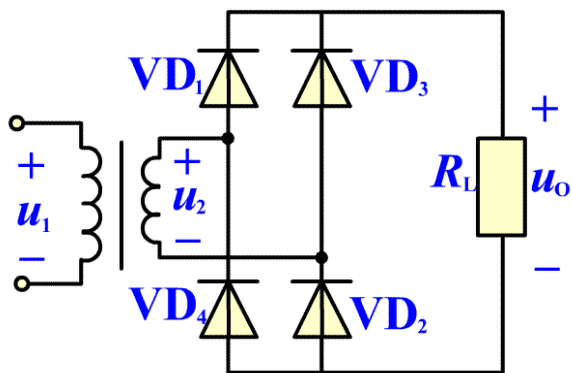


图 10.2.5

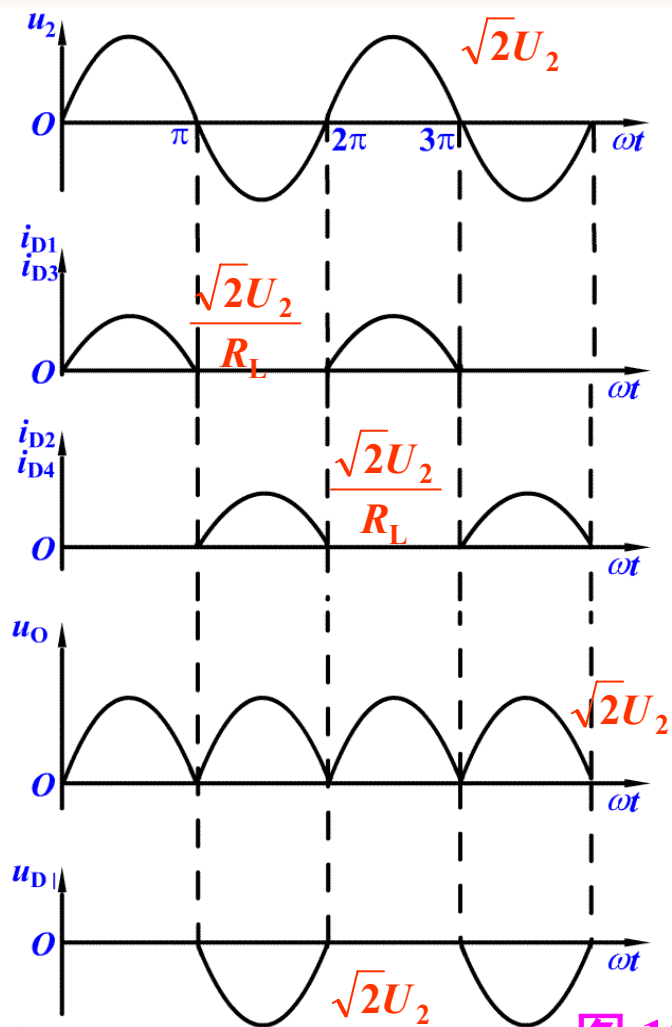


图 10.2.6

## 10.2.4 整流电路的主要参数

一、输出直流电压  $U_{O(AV)}$

$$U_{O(AV)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_o d(\omega t)$$

二、脉动系数  $S$

$$S = \frac{U_{O1m}}{U_{O(AV)}} \quad (U_{O1m} \text{是输出电压的基波最大值})$$

三、二极管正向平均电流  $I_{D(AV)}$

四、二极管最大反向峰值电压  $U_{RM}$

## 第十章 直流电源

在桥式整流电路中，  
输出直流电压：

$$U_{O(AV)} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0.9U_2$$

脉动系数：

$$\ominus u_O = \sqrt{2}U_2 \left( \frac{2}{\pi} - \frac{4}{3\pi} \cos 2\omega t - \frac{4}{15\pi} \cos 4\omega t \Lambda \right)$$

$$\therefore S = \frac{U_{O1m}}{U_{O(AV)}} = \frac{\frac{4\sqrt{2}}{3\pi} U_2}{\frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2} = 0.67$$

二极管正向平均电流：

$$I_{D(AV)} = \frac{1}{2} I_{O(AV)}$$

二极管最大反向峰值电压：

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_2$$

## ❖ 第十章 直流电源 ❖

表 10 - 1 单相整流电路的主要参数

主要参数 电路形式	$U_{O(AV)} / U_2$	$S$	$I_{D(AV)} / I_{O(AV)}$	$U_{RM} / U_2$
半波整流	<b>0.45</b>	<b>157%</b>	<b>100%</b>	<b>1.41</b>
全波整流	<b>0.90</b>	<b>67%</b>	<b>50%</b>	<b>2.83</b>
桥式整流	<b>0.90</b>	<b>67%</b>	<b>50%</b>	<b>1.41</b>



## 10.3 滤波电路

### 10.3.1 电容滤波电路

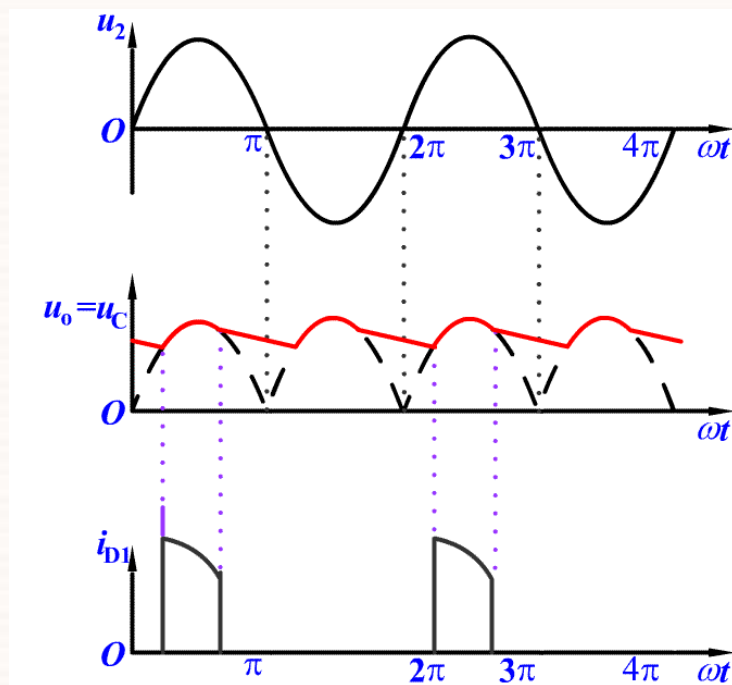
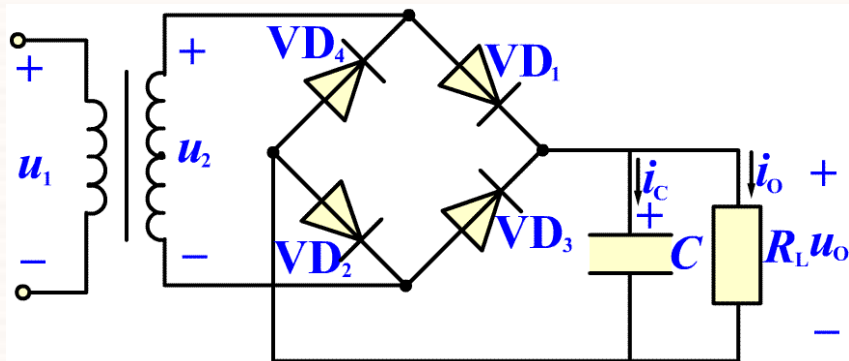


图 10.3.1

滤波电容大，效果好。

适用于负载电流较小的场合。

当  $R_L C \geq (3 \sim 5) \frac{T}{2}$  ( $T$ 是电网的)

输出直流电压为:  $U_{O(AV)} \approx 1.2U_2$

脉动系数  $S$  约为 10% ~ 20%。

见P398 图 10.3.2

## 10.3.2 RC-Π型滤波电路

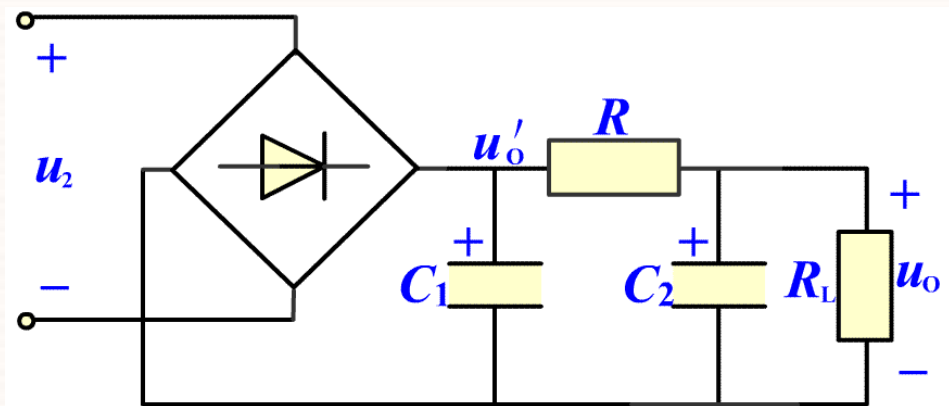


图 10.3.4

输出直流电压为: 
$$U_{O(AV)} = \frac{R_L}{R + R_L} U'_{O(AV)}$$

脉动系数  $S$  约为: 
$$S \approx \frac{1}{\omega C_2 (R // R_L)} S'$$

适用于负载电流较小的场合。

## 10.3.3 电感滤波电路和 LC 滤波电路

### 一、电感滤波器

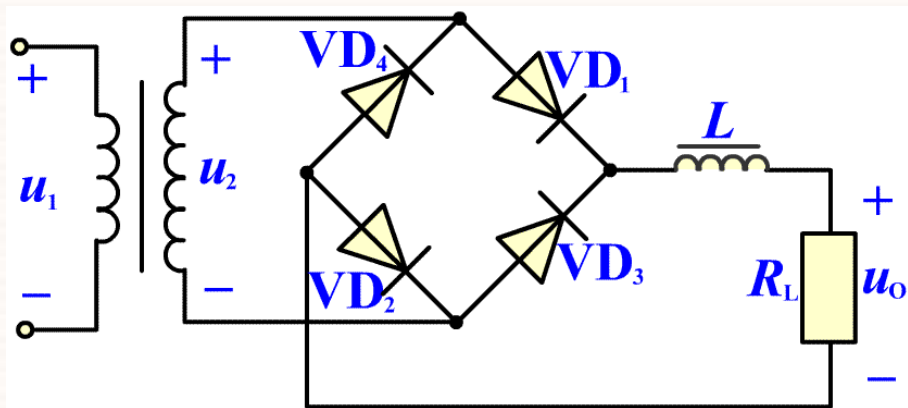


图 10.3.5

适用于负载电流比较大的场合。

### 二、LC 滤波器

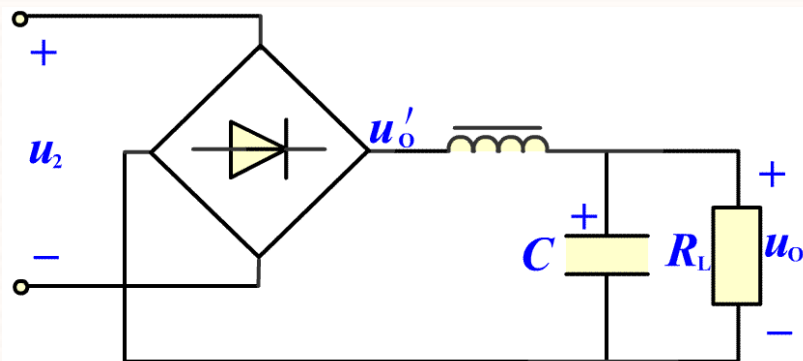


图 10.3.6

输出直流电压为：

$$U_{O(AV)} \approx U'_{O(AV)} = 0.9U_2$$

脉动系数  $S$ ：

$$S \approx \frac{1}{\omega^2 LC} S'$$

适用于各种场合。

## 10.3.4 LC-Π型滤波电路

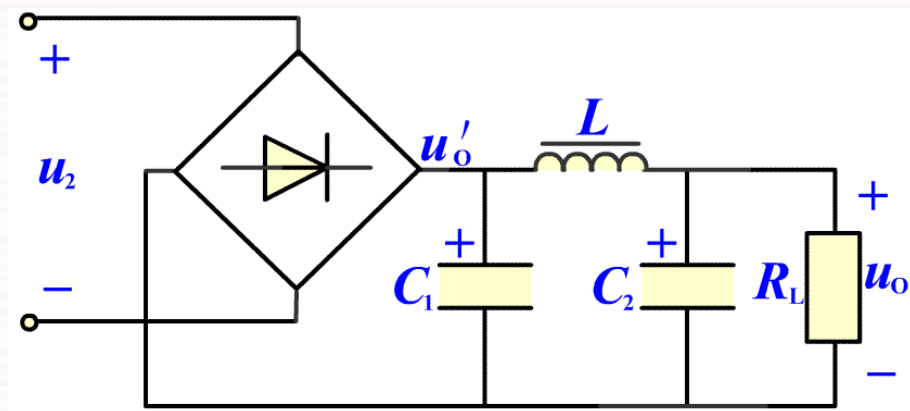


图 10.3.7

图 10-2 各种滤波电路的性能比较

序号	性能 类型	$U'_{O(AV)} / U_2$	适用场合	整流管的 冲击电流	外特性
1	电容滤波	$\approx 1.2$	小电流	大	软
2	RC-Π型滤波	$\approx 1.2$	小电流	大	更软
3	LC-Π型滤波	$\approx 1.2$	小电流	大	软
4	电感滤波	0.9	大电流	小	硬
5	LC滤波	0.9	适应性较强	小	硬

## 10.4 倍压整流电路

### 10.4.1 二倍压整流电路

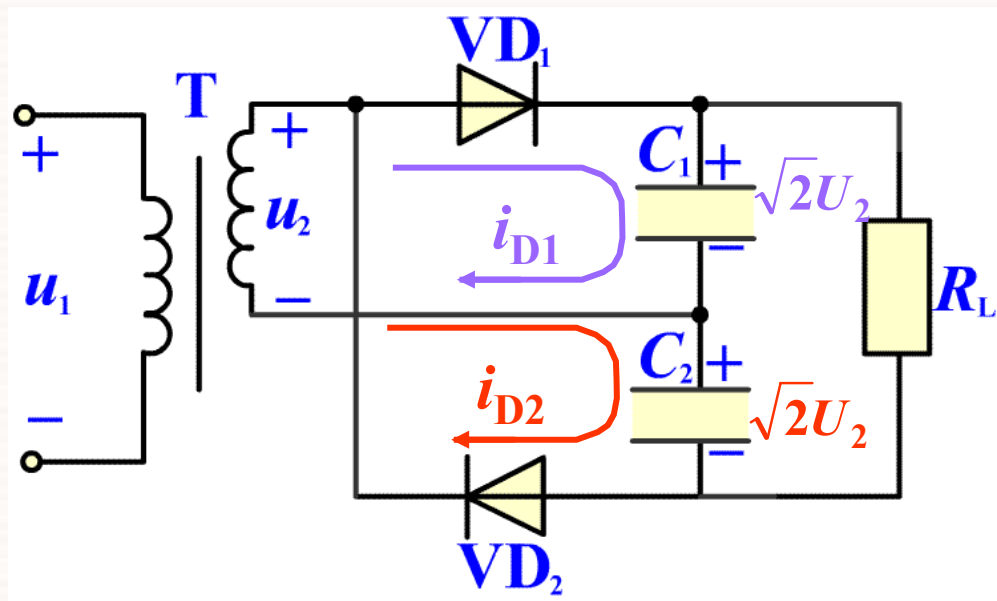


图 10.4.1 二倍压整流电路

## 10.4.2 多倍压整流电路

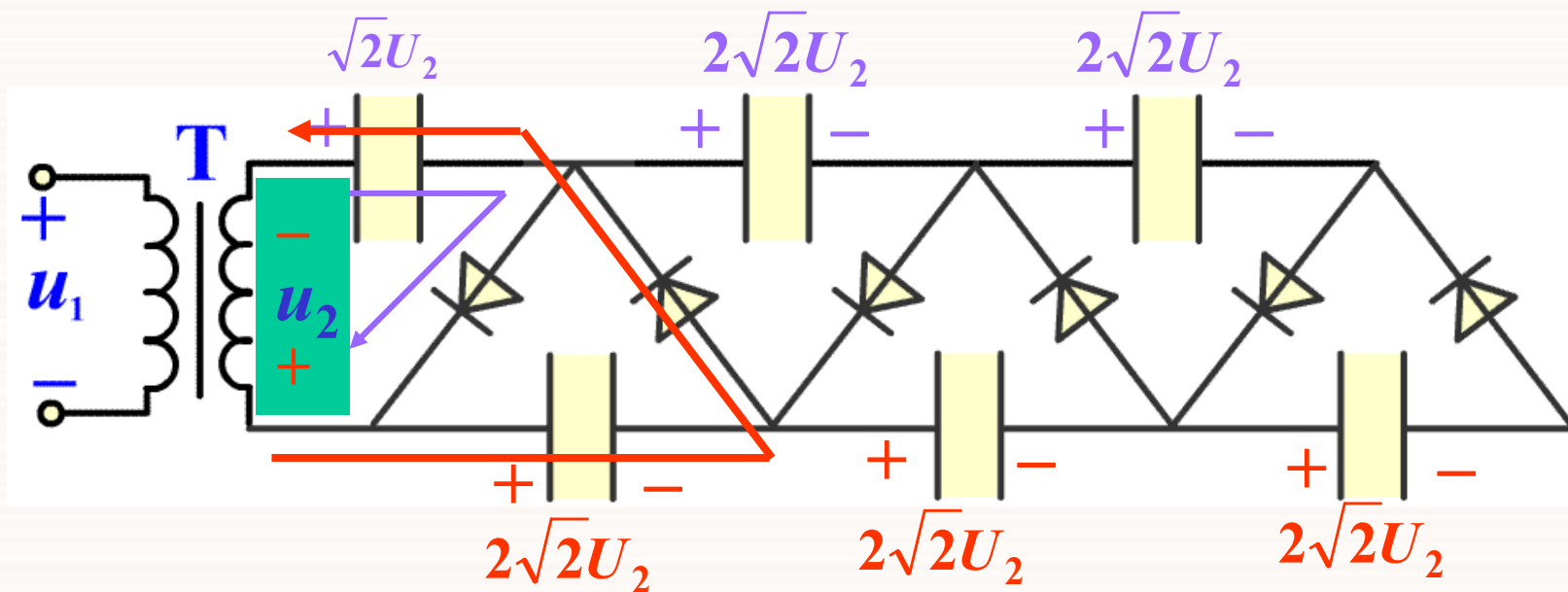


图 10.4.2 多倍压整流电路

适用于要求输出电压较高、负载电流较小的场合。

## 10.5 硅稳压管稳压电路

整流滤波电路输出电压不稳定的主要原因：

- 负载变化；
- 电网电压波动。

### 10.5.1 稳压电路的主要指标

一、内阻  $R_0$

$$R_0 = \left. \frac{\Delta U_O}{\Delta I_O} \right|_{U_I = \text{常数}}$$

二、稳压系数  $S_r$

$$S_r = \left. \frac{\Delta U_O / U_O}{\Delta U_I / U_I} \right|_{R_L = \text{常数}} = \left. \frac{\Delta U_O}{\Delta U_I} \cdot \frac{U_I}{U_O} \right|_{R_L = \text{常数}}$$

## 10.5.2 硅稳压管的伏安特性

在反向击穿区，流过稳压管的电流发生很大变化，两端电压基本不变。

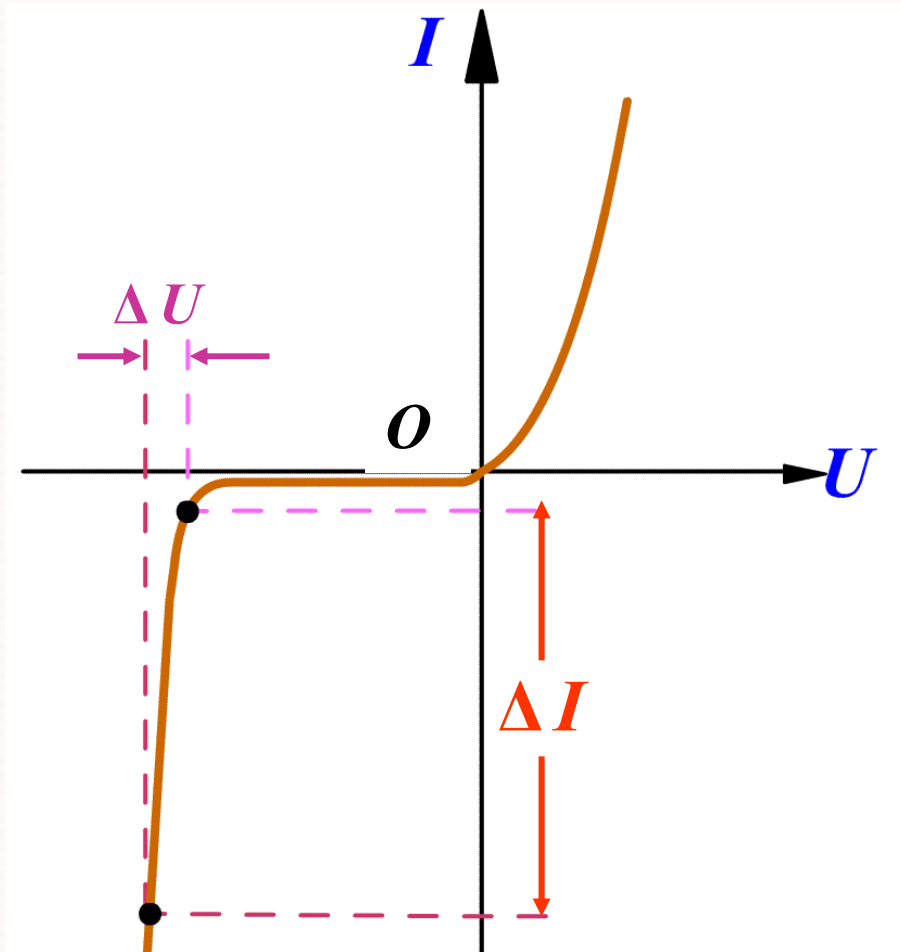


图 10.5.1 硅稳压管的伏安特性



## 10.5.3 硅稳压管稳压电路

### 一、电路组成和工作原理

稳压原理(稳压管两端电压变化小电流变化大):

1.  $U_I$  不变,  $R_L$  减小

$R_L \downarrow \rightarrow I_L \uparrow \rightarrow U_R \uparrow \rightarrow U_O \downarrow \rightarrow I_Z \uparrow \uparrow \xrightarrow{I_R = I_L + I_Z} U_O \text{ 基本不变}$

2.  $R_L$  不变,  $U_I$  升高

$U_I \uparrow \rightarrow U_O \uparrow \rightarrow I_Z \uparrow \uparrow \rightarrow U_R \uparrow \xrightarrow{U_O = U_I - U_R} U_O \text{ 基本不变}$

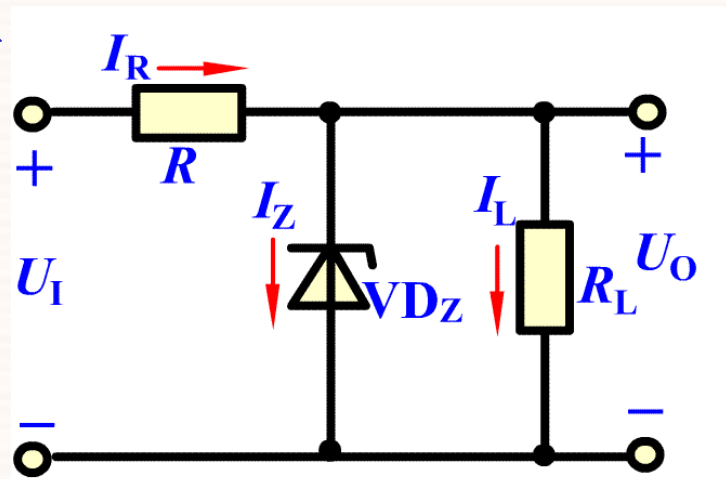


图 10.5.2

## 二、内阻和稳压系数的估算

### 1. 内阻 $R_0$

$$R_0 = \frac{\Delta U_0}{\Delta I_0} = r_z // R \approx r_z$$

### 2. 稳压系数 $S_r$

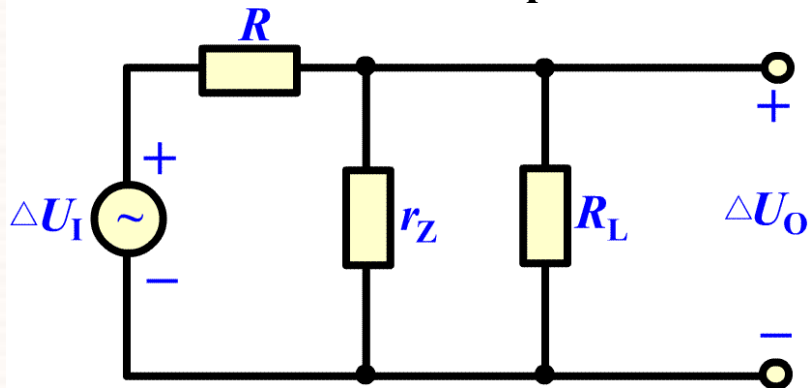


图 10.5.4

当  $r_z \ll R_L$ ,  $r_z \ll R$  时,

$$\Delta U_0 \approx \frac{r_z}{R} \Delta U_I$$

所以

$$S_r = \frac{\Delta U_0 / U_0}{\Delta U_I / U_I} \approx \frac{r_z}{R} \cdot \frac{U_I}{U_0}$$

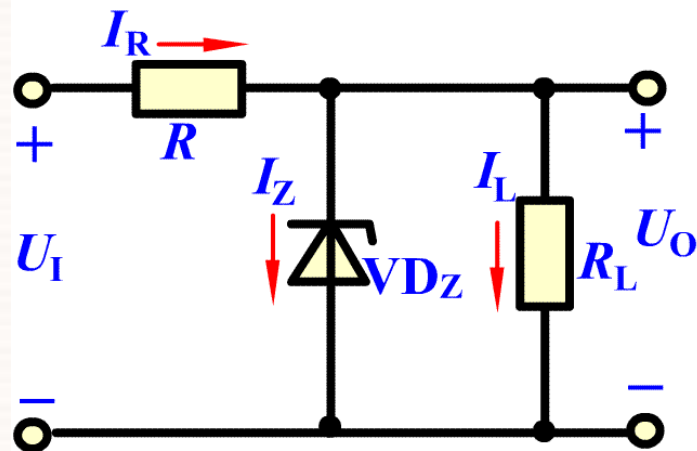
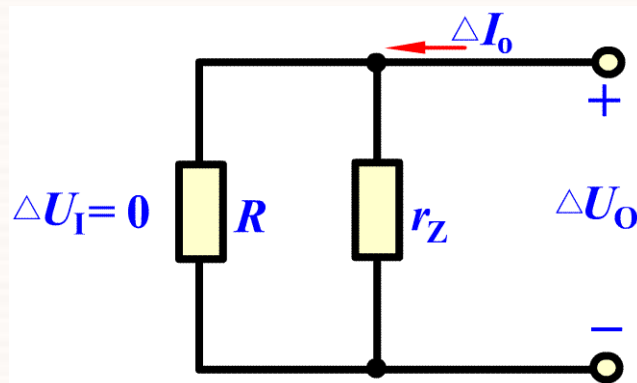


图 10.5.2



### 三、限流电阻的选择

1. 当电网电压最高和负载电流最小时,  $I_Z$  的值最大, 此时  $I_Z$  不应超过允许的最大值, 即

$$\frac{U_{I\max} - U_Z}{R} - I_{L\min} < I_{Z\max} \quad \text{或:} \quad R > \frac{U_{I\max} - U_Z}{I_{Z\max} + I_{L\min}}$$

2. 当电网电压最低和负载电流最大时,  $I_Z$  的值最小, 此时  $I_Z$  不应低于其允许的最小值, 即

$$\frac{U_{I\min} - U_Z}{R} - I_{L\max} > I_{Z\min} \quad \text{或:} \quad R < \frac{U_{I\min} - U_Z}{I_{Z\min} + I_{L\max}}$$

# 10.6 串联型直流稳压电路

## 10.6.1 电路组成和工作原理

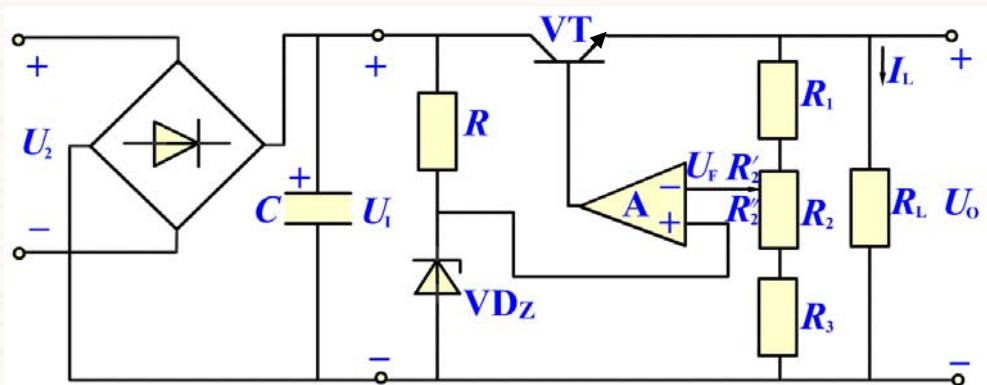


图 10.6.1

采样电路： $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ ； 放大电路： $A$ ；

基准电压：由  $VD_Z$  提供； 调整管： $VT$ ；

稳压过程：

$$U_I \uparrow \text{ 或 } I_L \downarrow \rightarrow U_O \uparrow \rightarrow U_F \uparrow \rightarrow U_{Id} \downarrow \rightarrow U_{BE} \downarrow \rightarrow I_C \downarrow$$

$$U_O \downarrow \leftarrow U_{CE} \uparrow$$

## 10.6.2 输出电压的调节范围

由于  $U_+ = U_-$  ,  $U_F = U_Z$  , 所以

$$U_Z = U_F = \frac{R_2'' + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U_O$$

则: 
$$U_O = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_2'' + R_3} U_Z$$

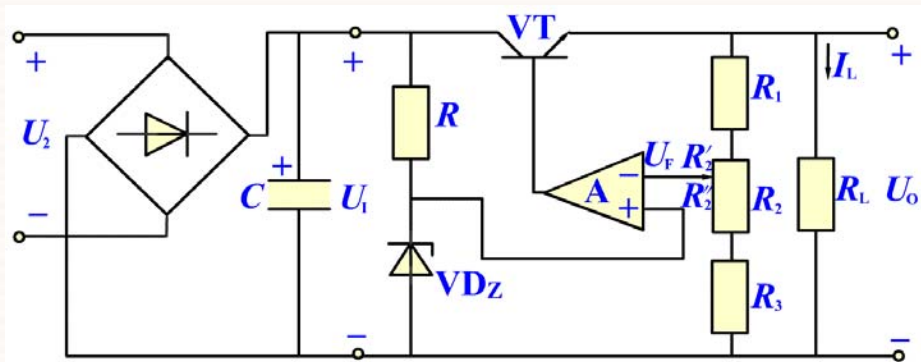


图 10.6.1 串联型直流稳压电路

当  $R_2$  的滑动端调至最上端时,  $U_O$  为最小值

$$U_{Omin} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_2 + R_3} U_Z$$

当  $R_2$  的滑动端调至最下端时,  $U_O$  为最大值,

$$U_{Omax} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_3} U_Z$$

### 10.6.3 调整管的选择

一、集电极最大允许电流  $I_{CM}$

$$I_{CM} \geq I_{Lmax} + I_R$$

二、集电极和发射极之间的最大允许电压  $U_{(BR)CEO}$

$$U_{(BR)CEO} \geq U'_{Imax} = 1.1 \times \sqrt{2}U_2$$

三、集电极最大允许耗散功率  $P_{CM}$

$$P_C = U_{CE}I_C = (U_I - U_O)I_C$$

$$P_{CM} \geq (U_{Imax} - U_{Omin}) \times I_{Cmax} \approx (1.1 \times 1.2U_2 - U_{Omin}) \times I_{Emax}$$

稳压电路的输入直流电压为：

$$U_{\text{I}} = U_{\text{Omax}} + (3 \sim 8)\text{V}$$

变压器副边电压为：

$$U_2 \approx 1.1 \times \frac{U_{\text{I}}}{1.2}$$

## 10.6.4 稳压电路的过载保护

### 一、限流型保护电路

$R_4$  很小，约为  $1\ \Omega$ 。

负载电流超过某一值后， $VT_2$  导通，限制  $VT_1$  中的电流，保护调整管。

保护电路的输出特性：

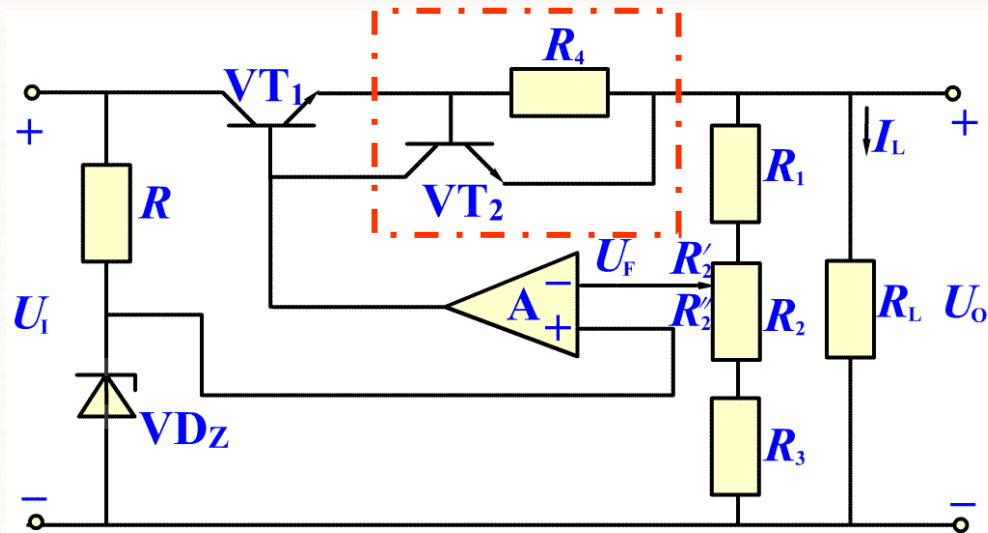


图 10.6.2

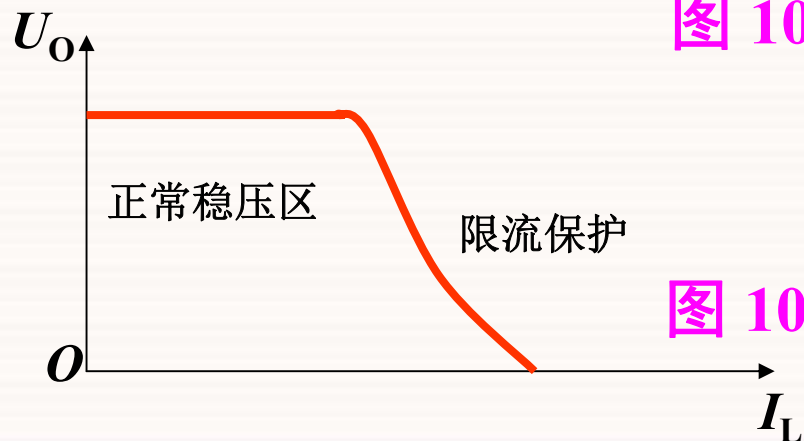


图 10.6.3



## 二、截流型保护电路

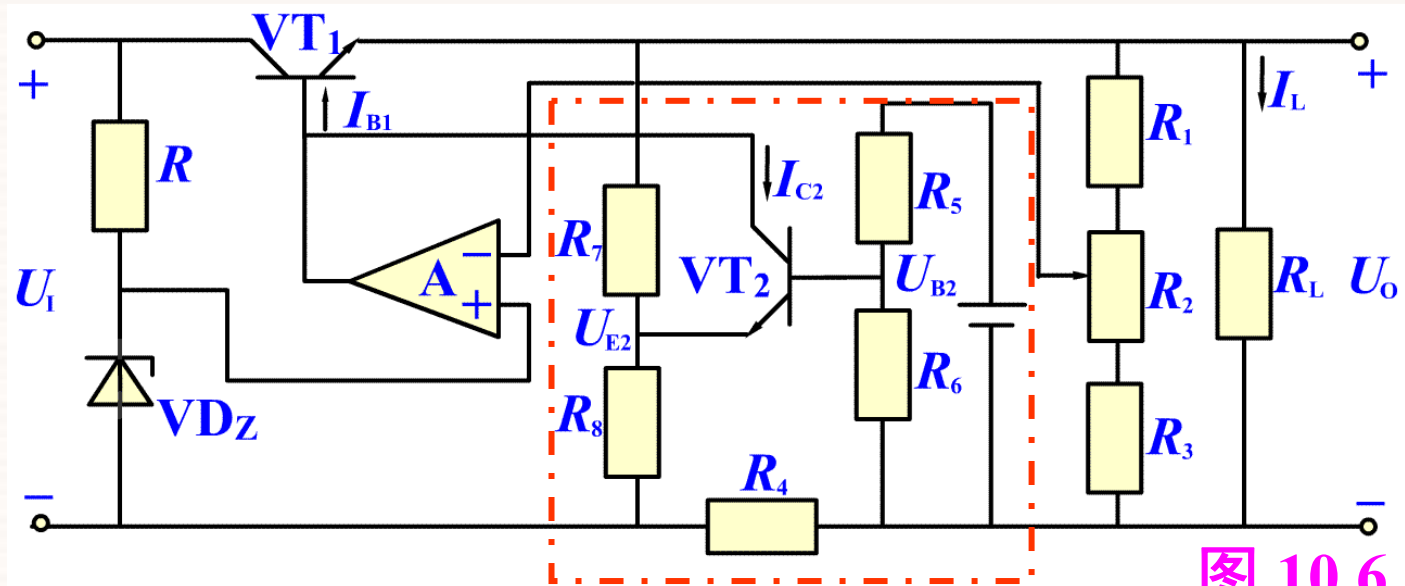


图 10.6.5

过载时， $T_2$  导通，引起正反馈过程：

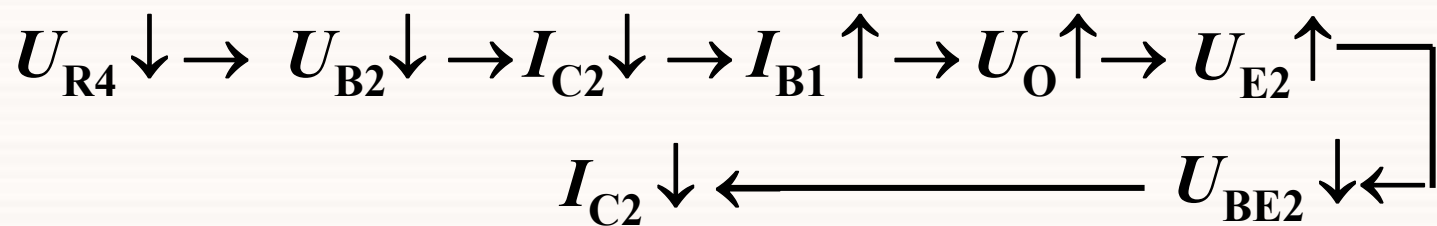
$$I_{C2} \uparrow \rightarrow I_{B1} \downarrow \rightarrow U_O \downarrow \rightarrow U_{E2} \downarrow \rightarrow U_{BE2} \uparrow$$

$$I_{C2} \uparrow \leftarrow$$

使  $VT_2$  饱和，输出电压下降到 1 V 左右。

## 第十章 直流电源

负载故障排除后， $I_L$  减小，引起正反馈过程：



使稳压电路的输出恢复到原来的数值。

## 10.7 集成稳压器

### 10.7.1 三端集成稳压器的组成

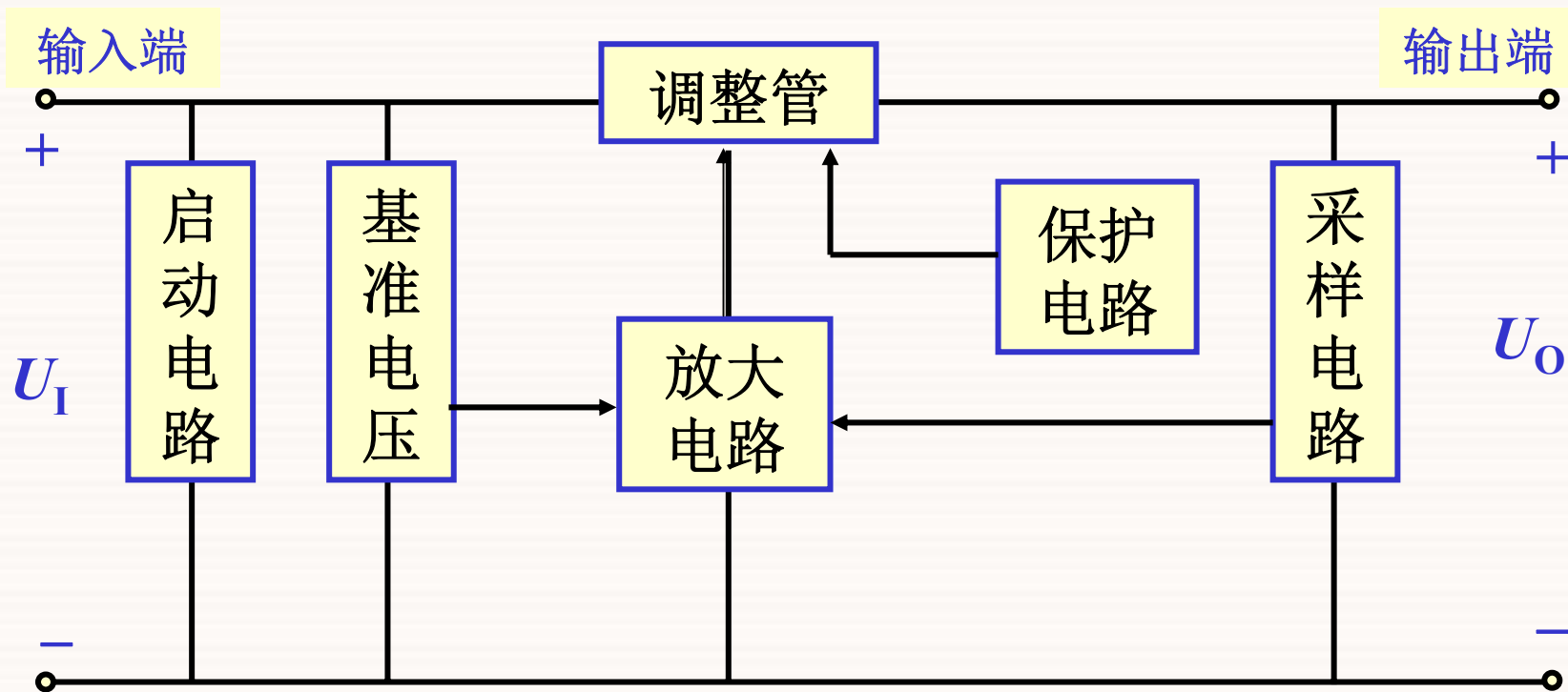


图 10.7.1 三端集成稳压器的组成

## 10.7.2 三端集成稳压器的主要参数

参数名称	符号 单位	参 数 值 型号	7805	7806	7808	7812	7815	7818	7824
输入电压	$U_I$	V	10	11	14	19	23	27	33
输出电压	$U_O$	V	5	6	8	12	15	18	24
电压调整率	$S_U$	%/V	0.0076	0.0086	0.01	0.008	0.0066	0.01	0.011
电流调整率	$S_I$	mV	40	43	45	52	52	55	60
最小压差	$U_I - U_O$	V	2	2	2	2	2	2	2
输出噪声	$U_N$	$\mu V$	10	10	10	10	10	10	10
输出电阻	$R_o$	m $\Omega$	17	17	18	18	19	19	20
峰值电流	$I_{OM}$	A	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
输出温漂	$S_T$	mV/ $^{\circ}C$	1.0	1.0		1.2	1.5	1.8	2.4

### 10.7.3 三端集成稳压器的应用

#### 一、三端集成稳压器的外形及电路符号

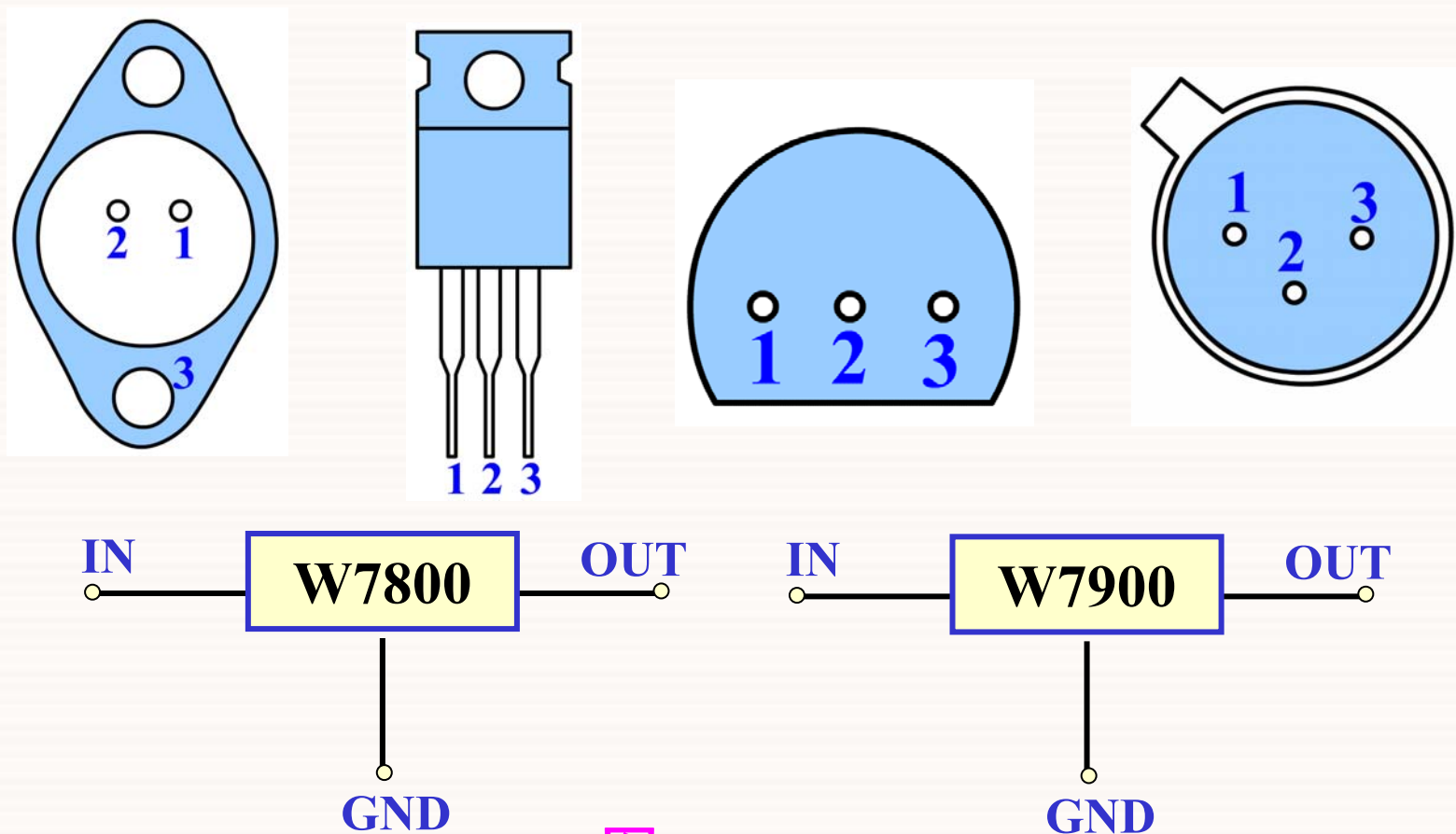


图 10.7.2

## 二、三端集成稳压器应用电路

### 1. 基本电路

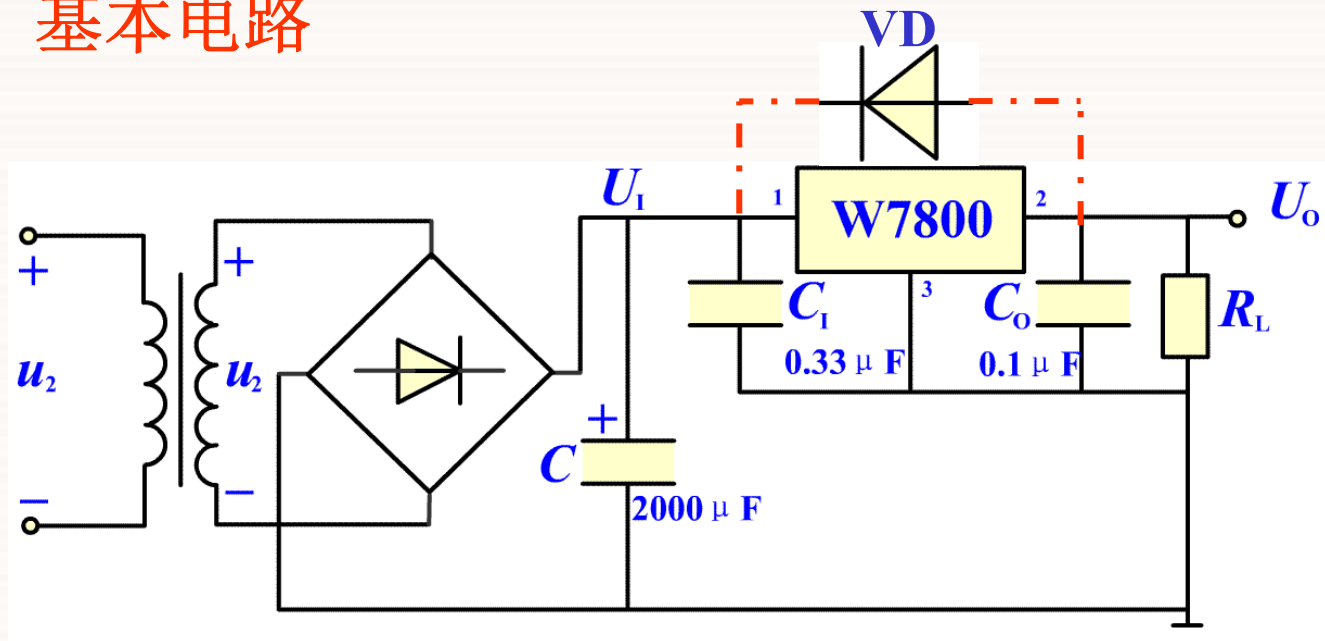


图 10.7.4 三端集成稳压器基本应用电路

若输出电压较高，接一保护二极管  $VD$ ，以保护集成稳压器内部的调整管。

## 2. 扩大输出电流

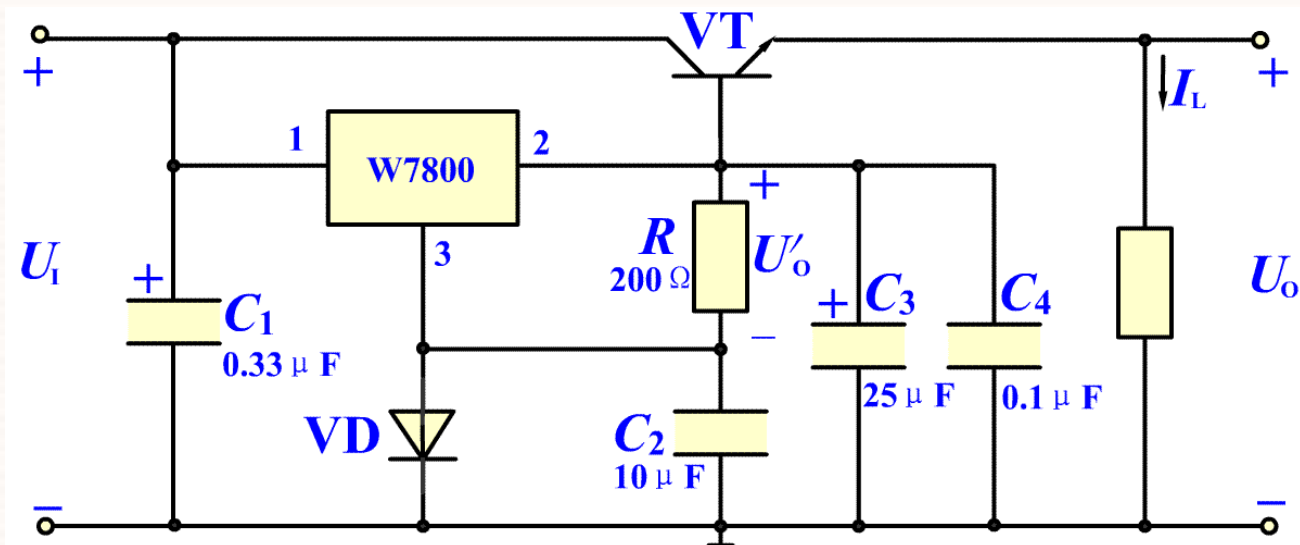
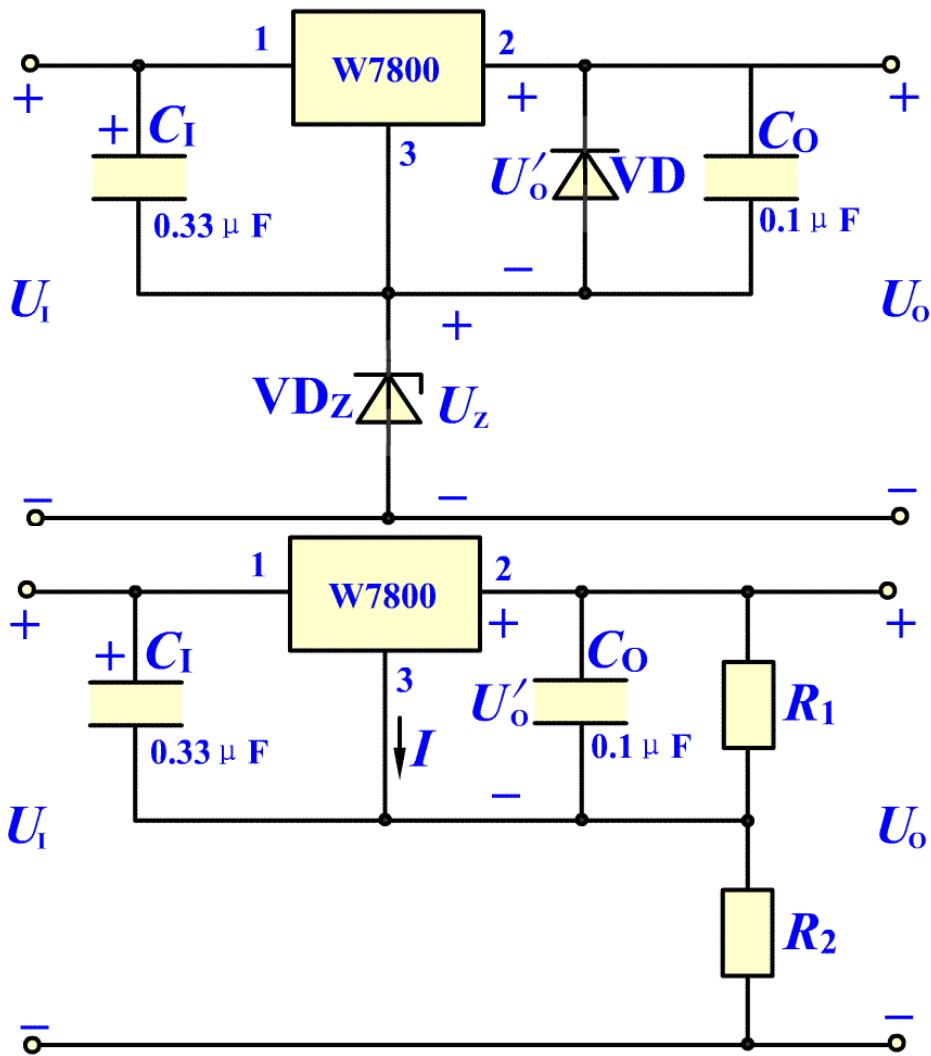


图 10.7.5 扩大三端集成稳压器的输出电流

**VD** 的作用：补偿三极管的发射结电压，使电路输出电压等于三端集成稳压器的输出电压。

### 3. 提高输出电压



$$U_o = U'_0 + U_Z$$

$$U_o \approx \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)U'_0$$

图 10.7.6



### 4. 使输出电压可调

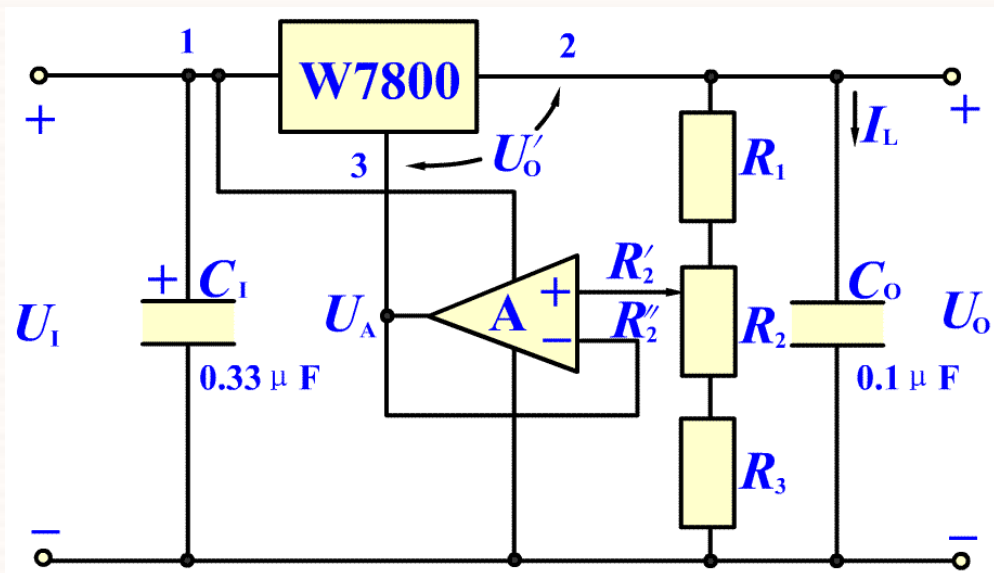


图 10.7.7

因为

$$U_A = \frac{R_2'' + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U_O \quad U'_O + U_A = U_O$$

所以

$$U_O = U'_O / \left(1 - \frac{R_2'' + R_3}{R_1 + R_2 + R_3}\right) = \left(1 + \frac{R_2'' + R_3}{R_1 + R_2}\right) U'_O$$

正输出可调三端稳压器。  
(117/217/317系列)

负输出可调三端稳压器。  
(137/237/337系列)

1.25~37V

## 10.8 开关型稳压电路

### 10.8.1 开关型稳压电路的特点和分类

#### 特点:

效率高、体积小重量轻、对电网电压要求不高、调整管的控制电路比较复杂、输出电压中纹波和噪声成分较大。

#### 分类:

有脉冲宽度调制型(PWM)、脉冲频率调制型(PFM)和混合调制型;

有低压开关稳压电路、高压开关稳压电路;

有自激式、他激式; 双极型三极管、MOS 场效应管和可控硅开关电路等。

## 10.8.2 开关型稳压电路的组成和工作原理

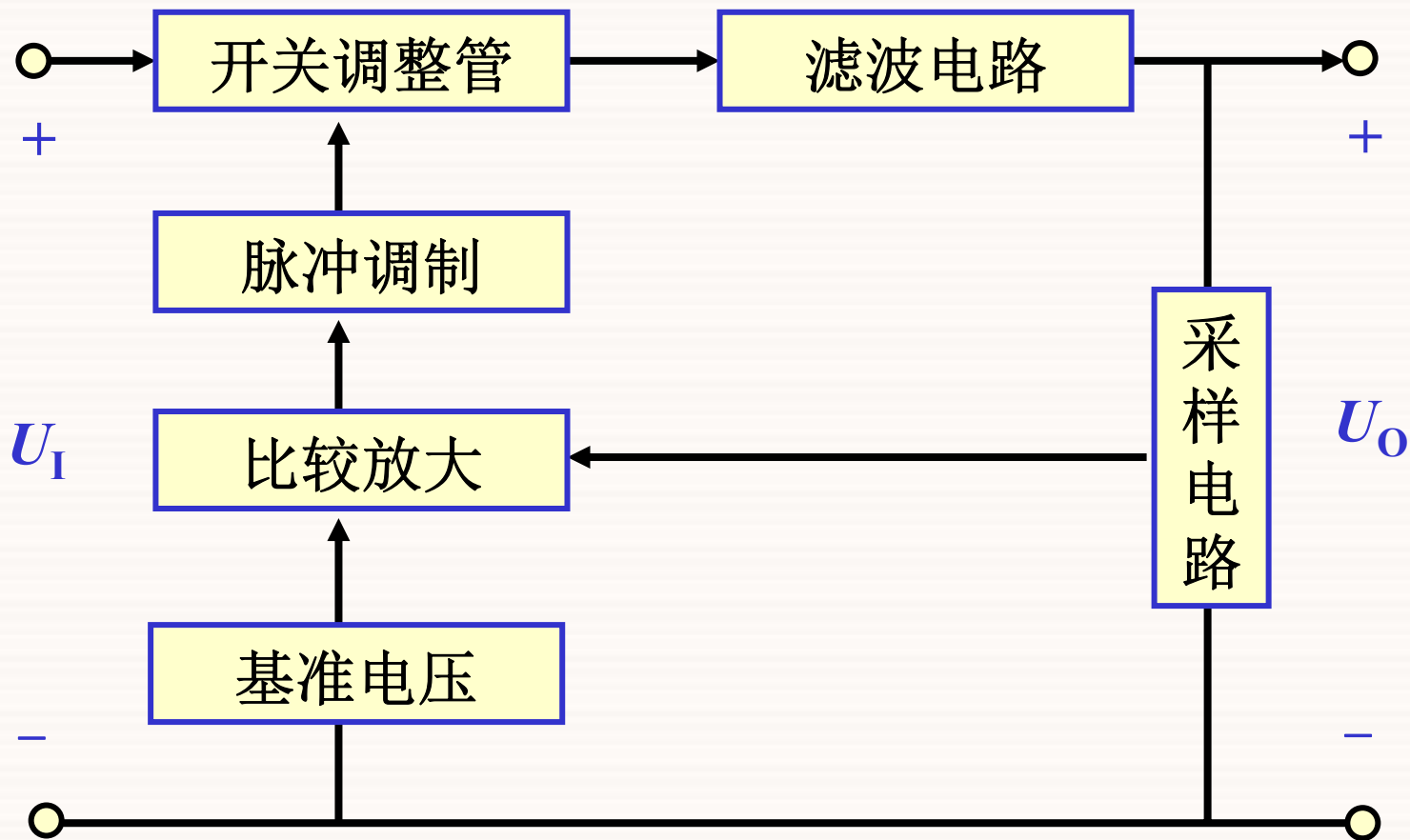


图 10.8.1 开关型稳压电路示意图

## 一、脉冲宽度调制式开关型稳压电路

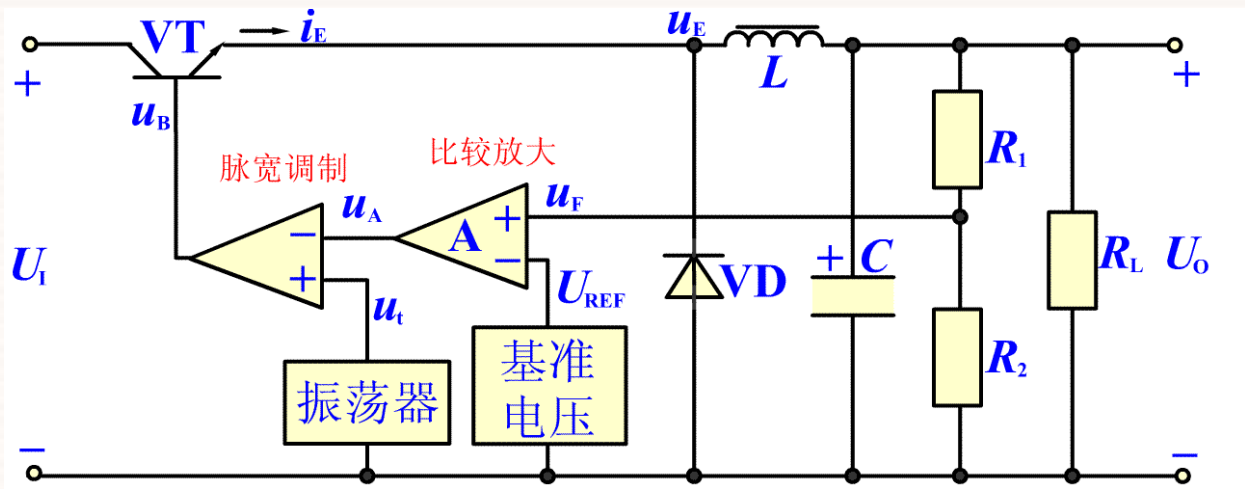


图 10.8.2

## 二、工作原理

当  $u_t > u_A$  时， $u_B = +U_{OPP}$ ，调整管饱和导通， $i_E$  向负载提供电流，并将能量储存在电感的磁场中；

当  $u_t < u_A$  时， $u_B = -U_{OPP}$ ，调整管截止， $i_E = 0$ ，电感释放能量，产生的电流流过负载和二极管。

## 第十章 直流电源

**结论：**调整管处于开关状态，发射极电位是高低交替的脉冲波形，经  $LC$  滤波电路后，负载上得到较平滑的输出电压互感器  $u_O$ 。

$$U_O = \frac{1}{T} \int_0^T u_E dt$$

$$= \frac{1}{T} \left[ \int_0^{T_1} (U_I - U_{CES}) dt + \int_{T_1}^T (-U_D) dt \right]$$

$$U_O \approx \frac{1}{T} \int_0^{T_1} U_I dt = \frac{T_1}{T} U_I = D U_I$$

$$D = \frac{T_1}{T}$$

——脉冲波形的占空比。

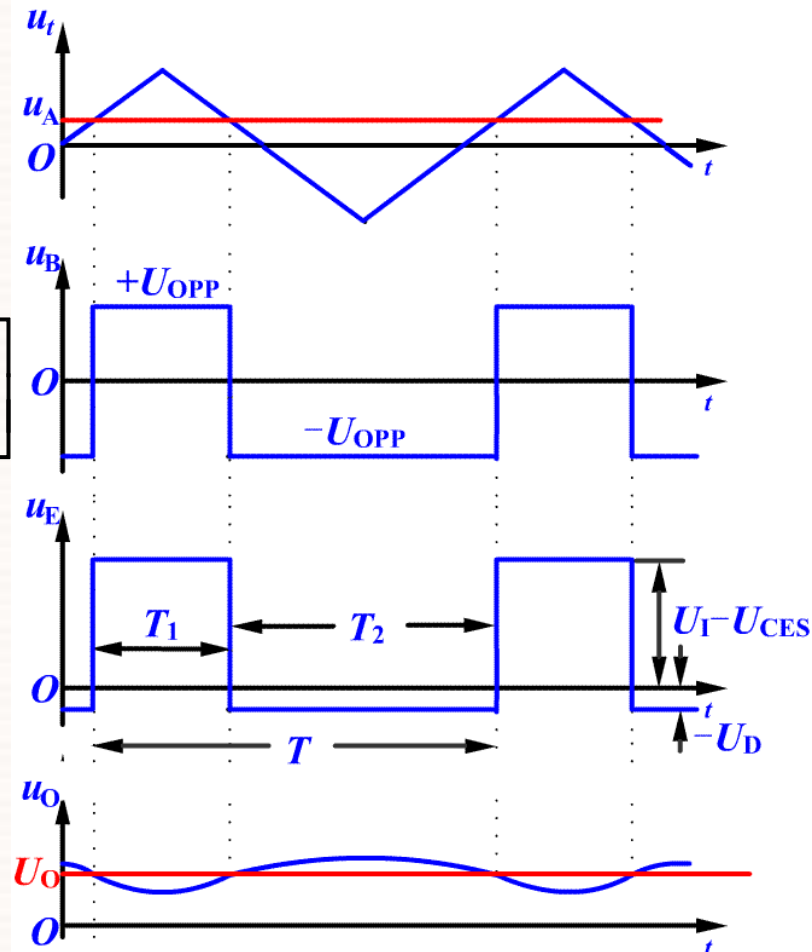


图 10.8.3 图 10.8.2 电路的波形图

# 10.9 可控整流电路

## 10.9.1 晶闸管的基本特性

### 一、结构与符号

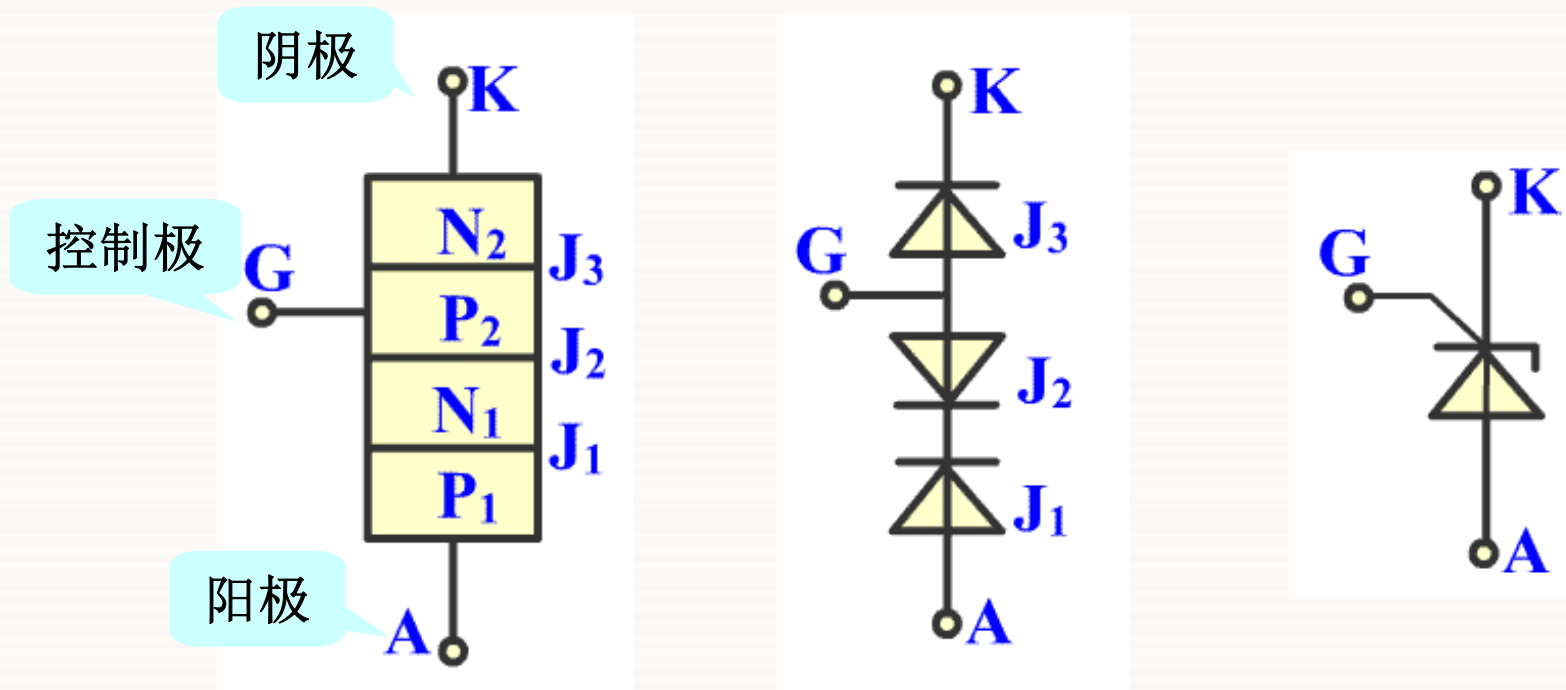


图 10.9.2 晶闸管的结构和符号

## 二、工作原理

1. 控制极不加电压，无论在阳极与阴极之间加正向或反向电压，晶闸管都不导通。  
——称为**阻断**

2. 控制极与阴极间加正向电压，阳极与阴极之间加正向电压，晶闸管**导通**。

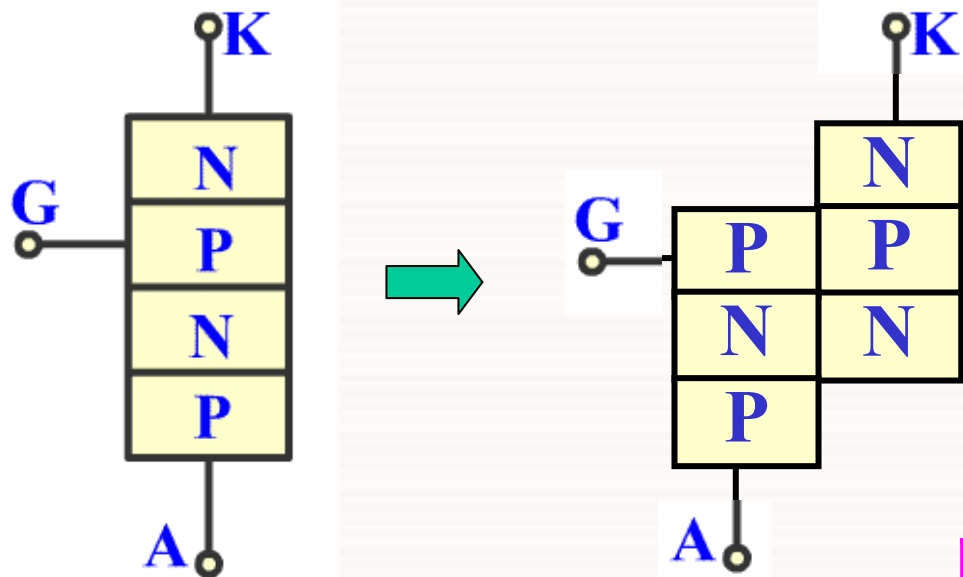
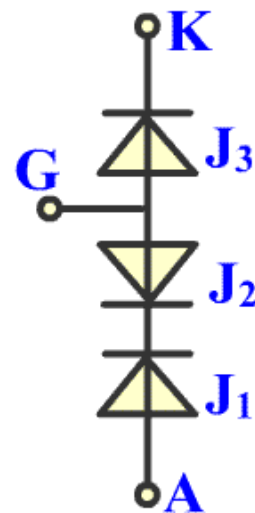


图 10.9.3

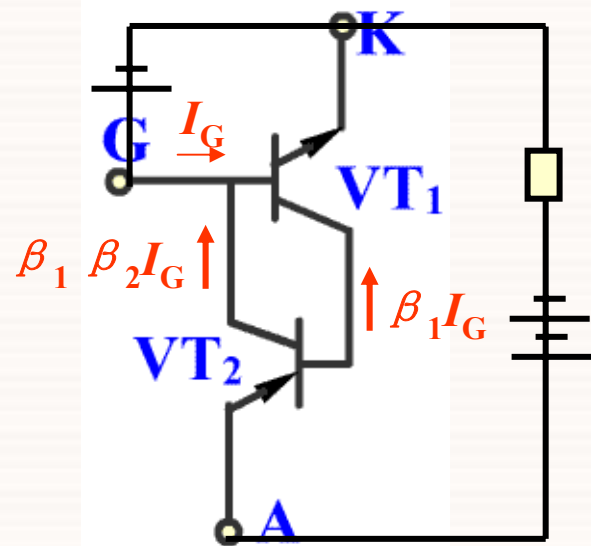


图 10.9.4



结论:

晶闸管由阻断变为导通的条件是在阳极和阴极之间加正向电压时，再在控制极加一个正的触发脉冲；

晶闸管由导通变为阻断的条件是减小阳极电流  $I_A$ 。

晶闸管导通后，管压降很小，约为 1 V 左右。

### 三、伏安特性和主要参数

#### 1. 伏安特性

**正向阻断特性：**当  $I_G = 0$ ，而阳极电压不超过一定值时，管子处于阻断状态。

$U_{BO}$  —— 正向转折电压

**正向导通特性：**管子导通后，伏安特性与二极管的正向特性相似。

$I_H$  —— 维持电流

当控制极电流  $I_G \neq 0$  时，使晶闸管由阻断变为导通所需的阳极电压减小。

**反向特性：**与二极管的反向特性相似。

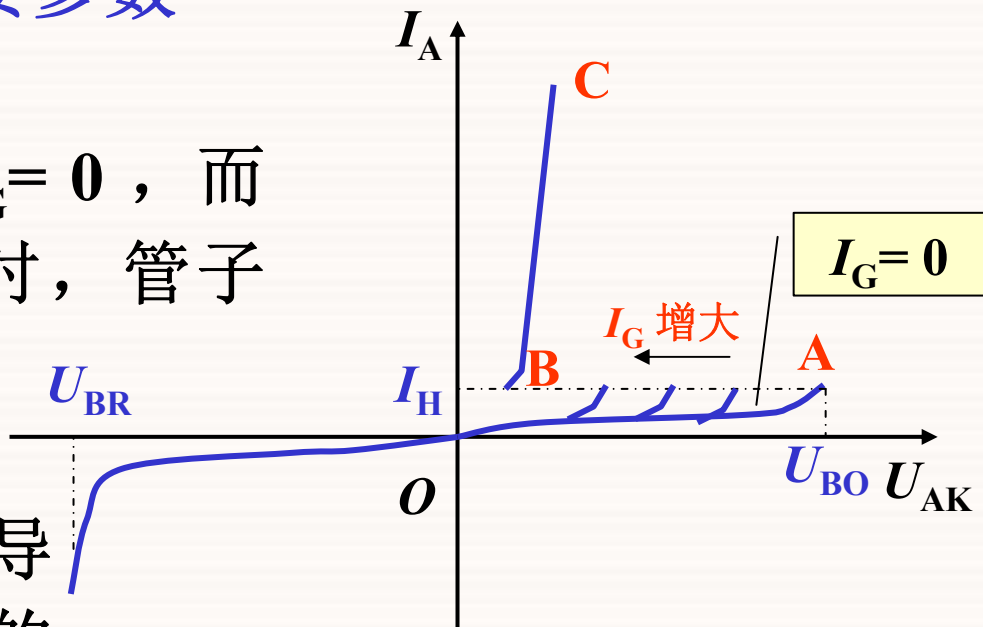


图 10.9.6 晶闸管的伏安特性

## 2. 主要参数

- 断态重复峰值电压  $U_{\text{DRM}}$
- 反向重复峰值电压  $U_{\text{RRM}}$
- 额定通态平均电流  $I_{\text{T}}$
- 额定通态平均电压  $U_{\text{T}}$
- 维持电流  $I_{\text{H}}$  :
- 控制极触发电压  $U_{\text{GT}}$
- 控制极触发电流  $I_{\text{GT}}$

## 10.9.2 单相桥式可控整流电路

### 一、电路组成及工作原理

在  $u_2$  正半周，当控制极加触发脉冲， $VT_1$  和  $VD_2$  导通；

在  $u_2$  负半周，当控制极加触发脉冲， $VT_2$  和  $VD_1$  导通；

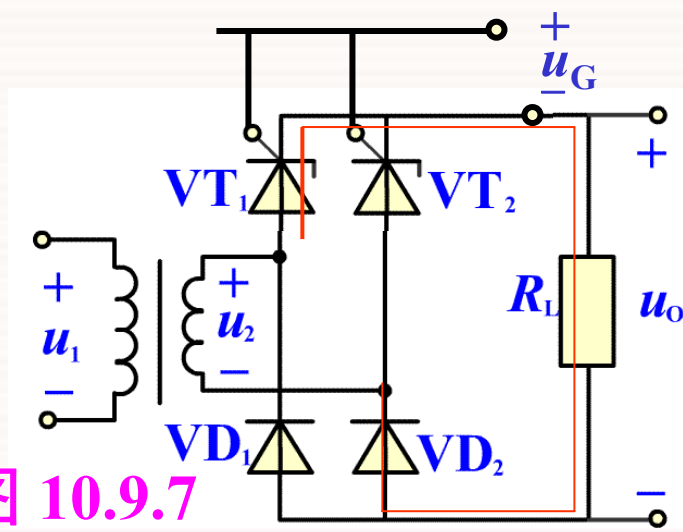
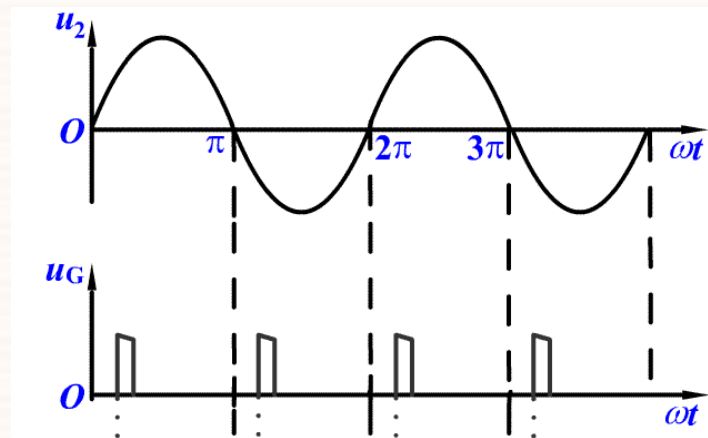


图 10.9.7

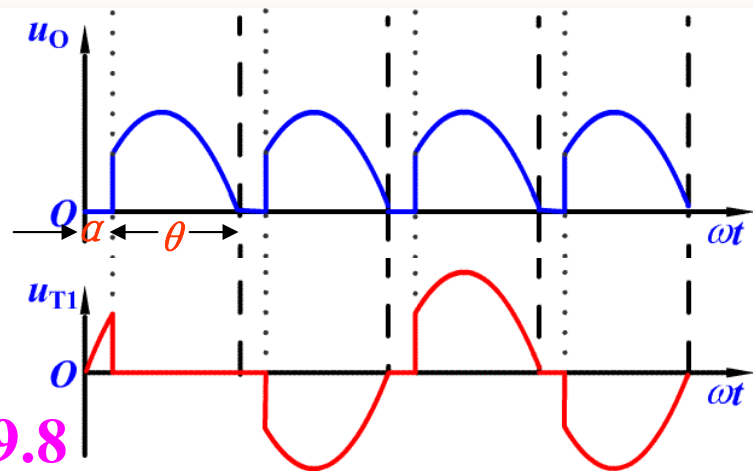


图 10.9.8

$\alpha$ : 控制角;  $\theta$ : 导电角

## 二、电路参数的估算

- 输出电压平均值:

$$U_{O(AV)} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t)$$

$$= \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

即:  $U_{O(AV)} = 0.9U_2 \frac{1 + \cos \alpha}{2}$

- 输出电流平均值:

$$I_{O(AV)} = \frac{U_{O(AV)}}{R_L} = 0.9 \frac{U_2}{R_L} \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

- 晶闸管承受的最大反向电压:

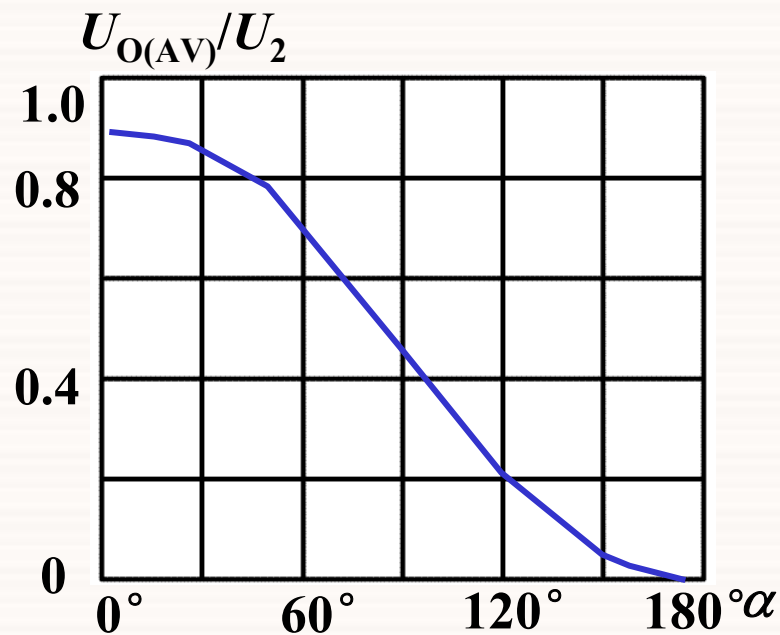
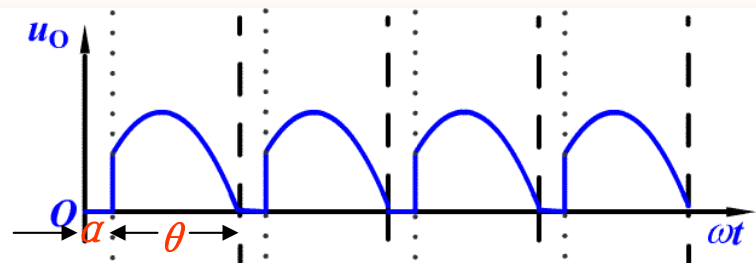


图 10.9.9

$$U_{TM} = \sqrt{2}U_2$$

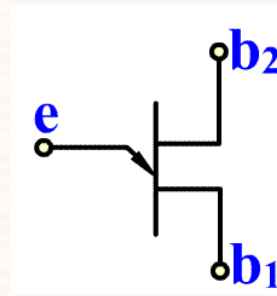
### 10.9.3 单结管触发电路

对触发电路的要求：

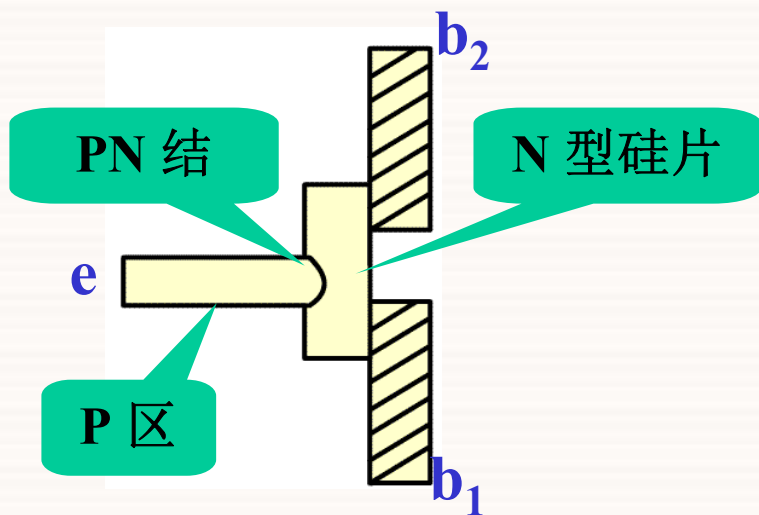
- (1) 触发时，能提供足够的触发脉冲电压和电流。
- (2) 触发电路的漏电压不超过  $0.25\text{ V}$ 。
- (3) 触发脉冲的前沿时间小于  $10\ \mu\text{s}$ 。
- (4) 触发脉冲要有足够的宽度。一般要求大于  $20\ \mu\text{s}$ 。
- (5) 控制角的范围接近或大于  $150^\circ$ 。
- (6) 触发电路必须与主电路同步。

### 一、单结管的结构及特性

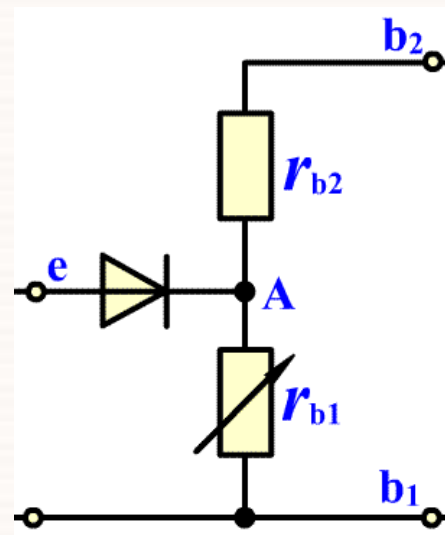
单结晶体管又称为双基极晶体管。



(b) 符号



(a) 结构



等效电路

图 10.9.10 单结管的结构及符号

特性:

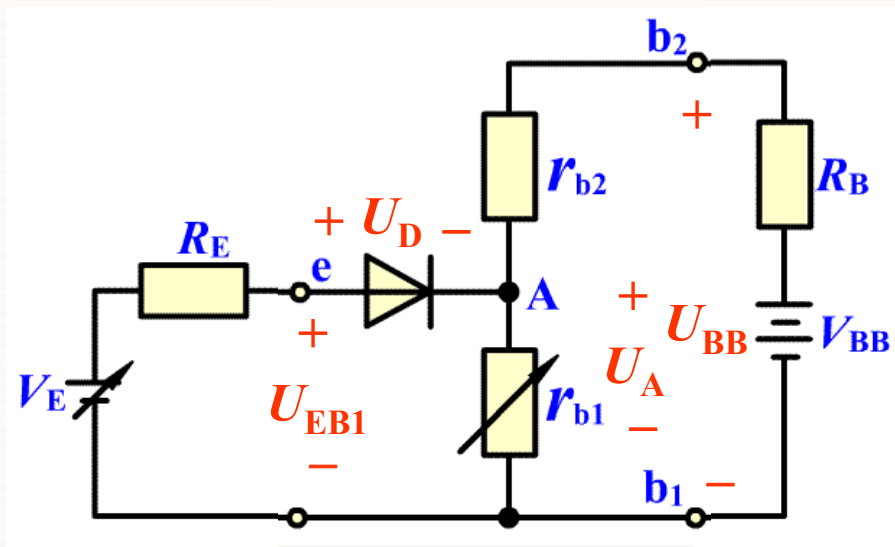


图 10.9.11 (a)

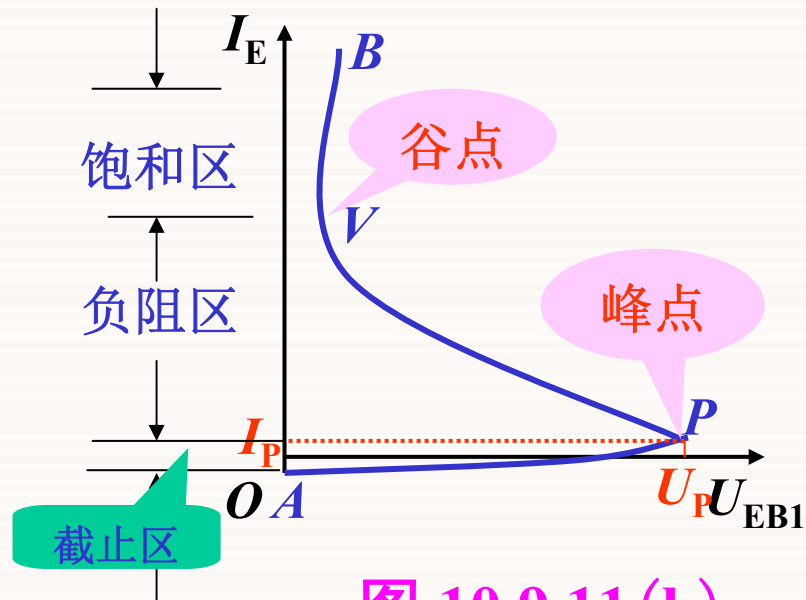


图 10.9.11 (b)

$$U_A = \frac{r_{b1}}{r_{b1} + r_{b2}} U_{BB} = \eta U_{BB}$$

$$\eta = \frac{r_{b1}}{r_{b1} + r_{b2}} \quad \text{——分压比}$$

$U_P$ : 峰点电压

$I_P$ : 峰点电流

$U_V$ : 谷点电压

$I_V$ : 谷点电流



## 二、单结管的脉冲发生电路

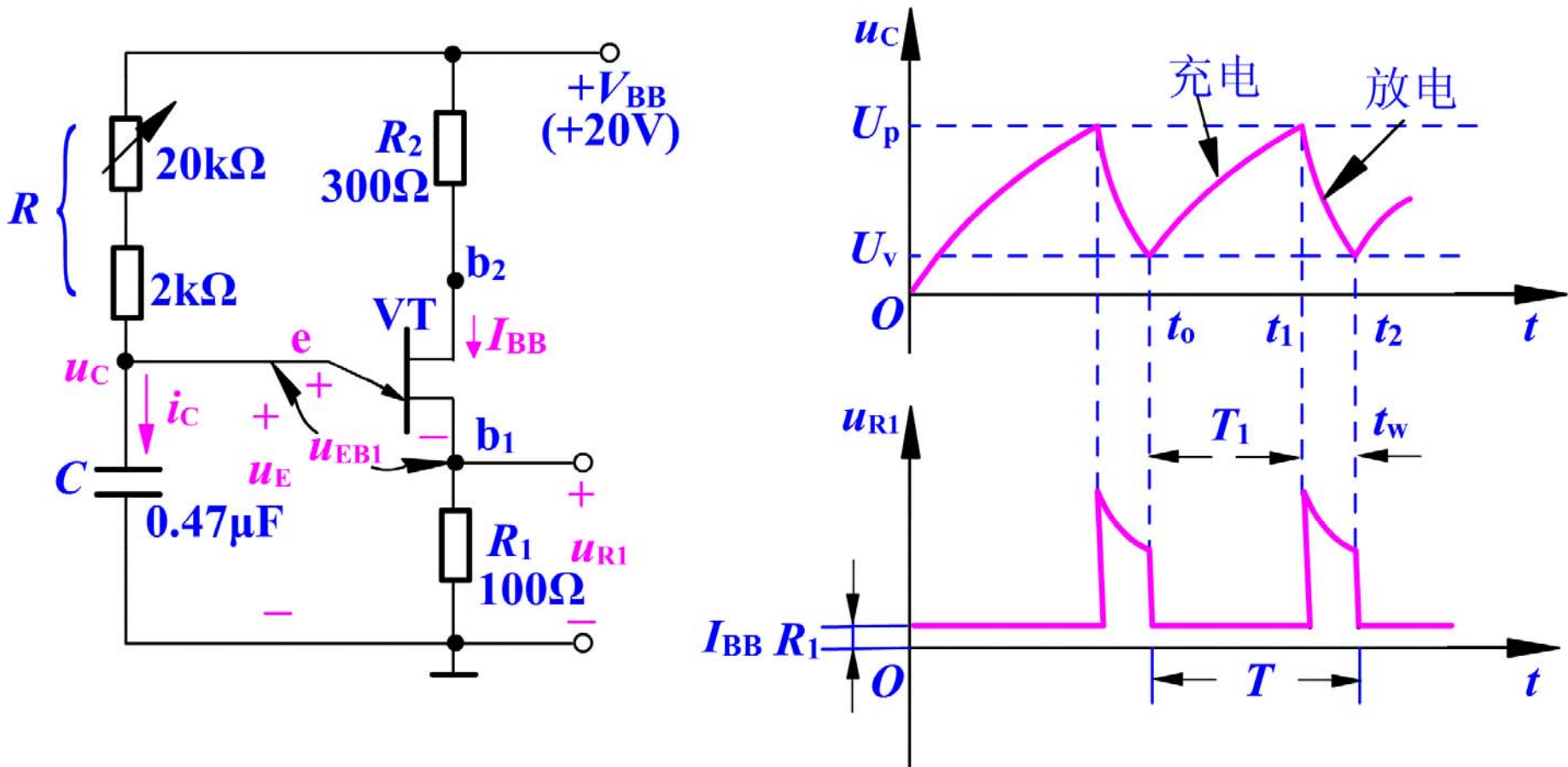


图 10.9.12 单结管的脉冲发生电路

### 三、单结管的触发电路

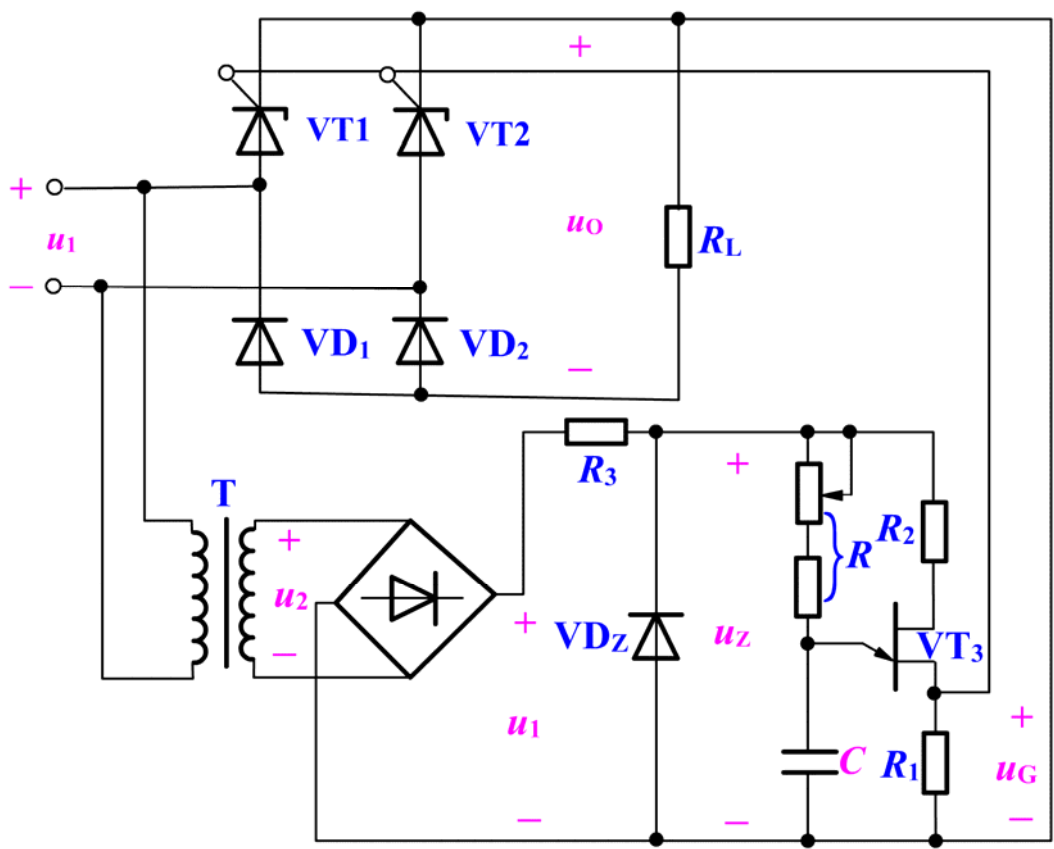


图 10.9.14

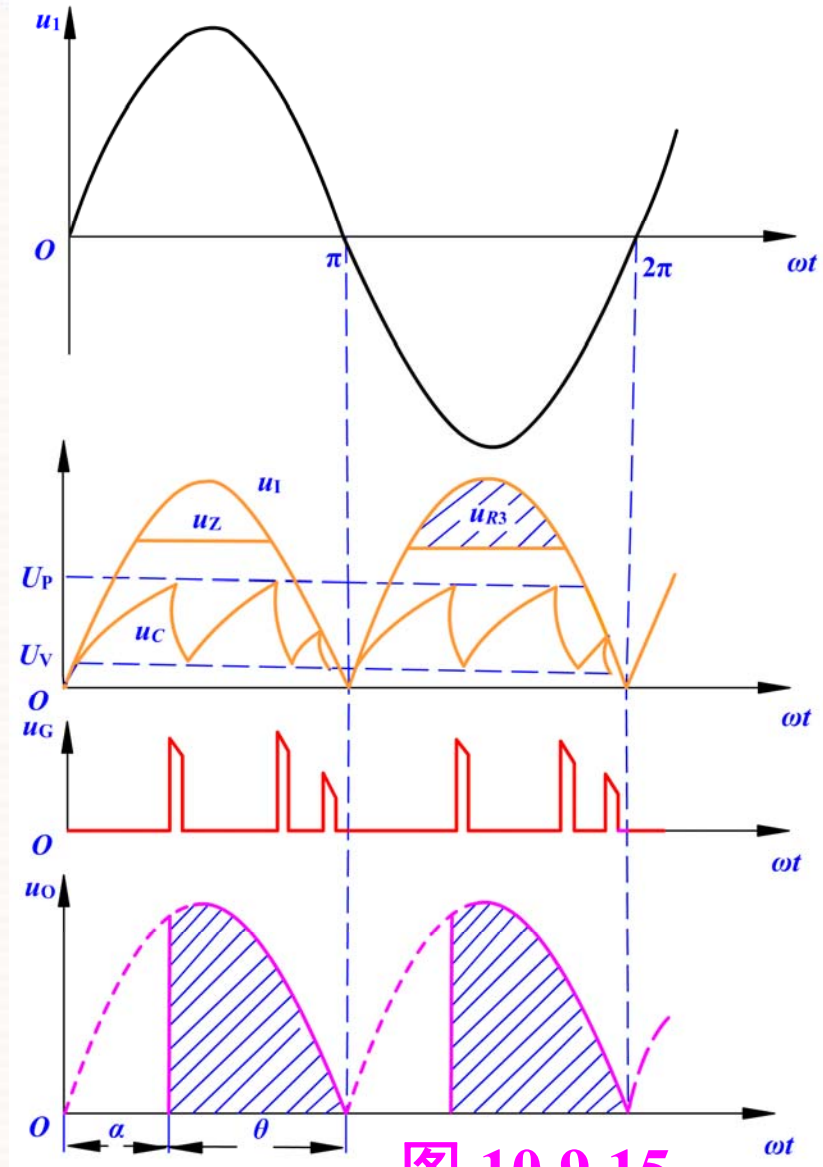


图 10.9.15