

# 第八章 直流电源

# 第八章 直流电源

§ 8.1 直流电源的组成

§ 8.2 单相整流电路

§ 8.3 滤波电路

§ 8.4 稳压管稳压电路

§ 8.5 串联型稳压电路

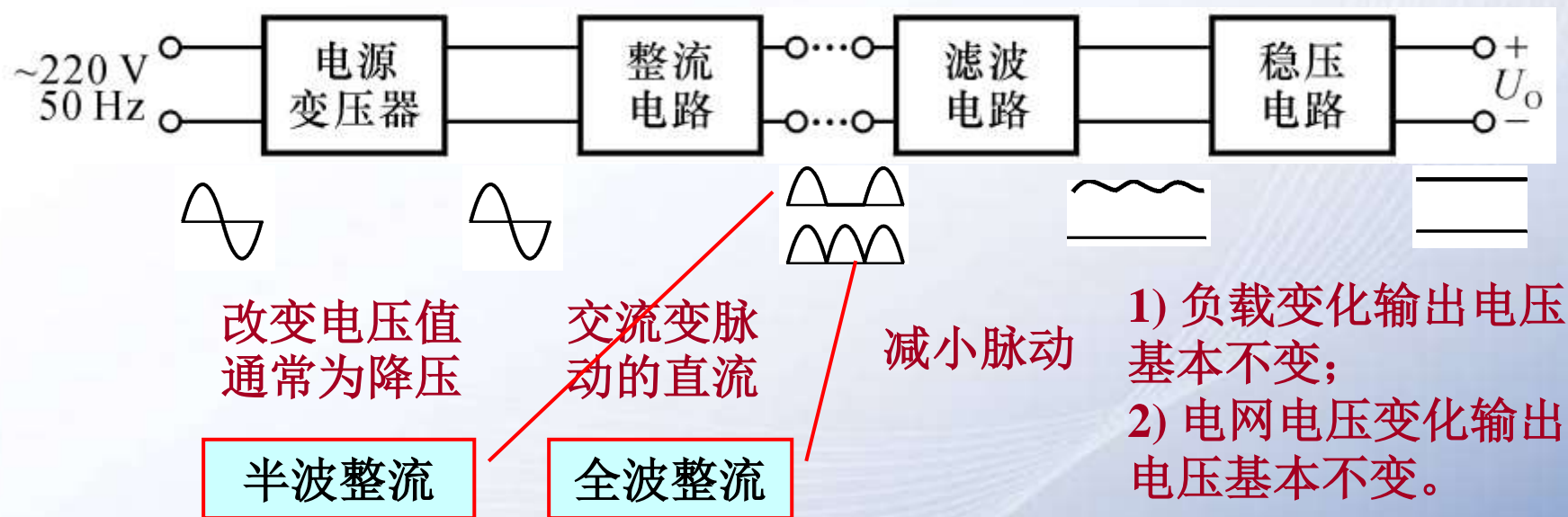
§ 8.6 开关型稳压电路

## § 8.1 直流电源的组成

直流电源的组成及各部分的作用

# 直流电源的组成及各部分的作用

直流电源是能量转换电路，将220V（或380V）50Hz的交流电转换为直流电。



在分析电源电路时要特别考虑的两个问题：允许电网电压波动 $\pm 10\%$ ，且负载有一定的变化范围。

## § 8.2 单相整流电路

一、对整流电路要研究的问题

二、单相半波整流电路

三、单相桥式整流电路

## 一、对整流电路要研究的问题

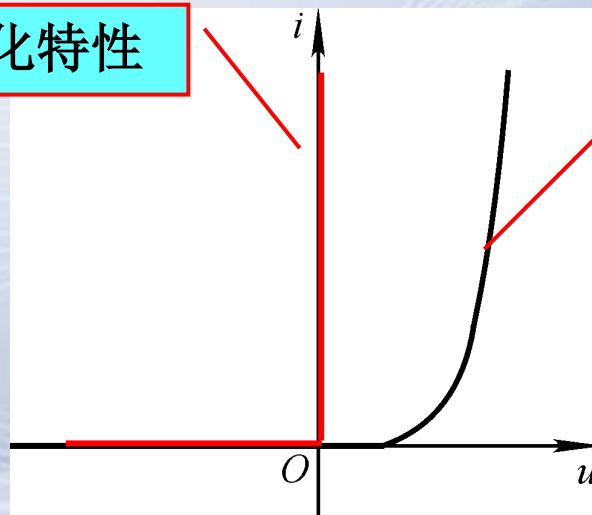
1. 电路的工作原理：即二极管工作状态、电路波形的分析
2. 输出电压和输出电流平均值：即输出脉动直流电压和电流平均值的求解方法
3. 整流二极管的选择：即二极管承受的最大整流平均电流和最高反向工作电压的分析

为分析问题简单起见，设二极管为理想二极管，变压器内阻为0。

整流二极管的伏安特性：

理想化特性

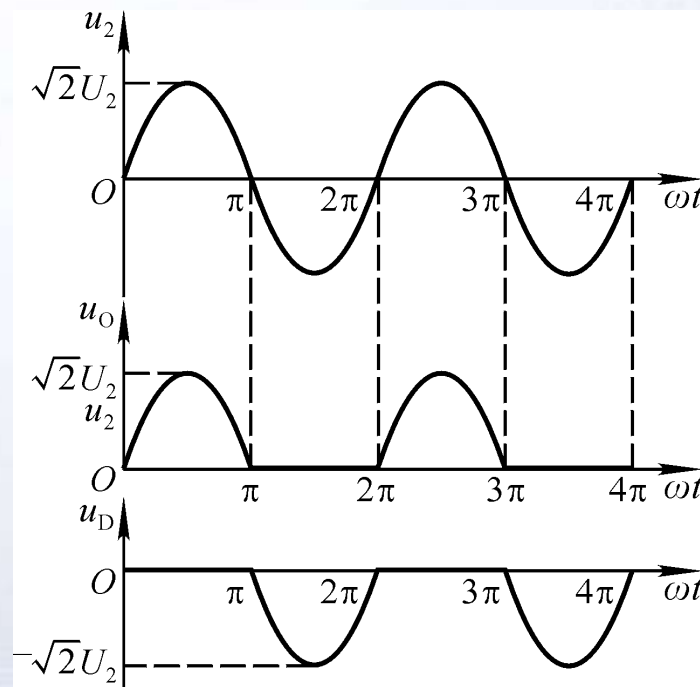
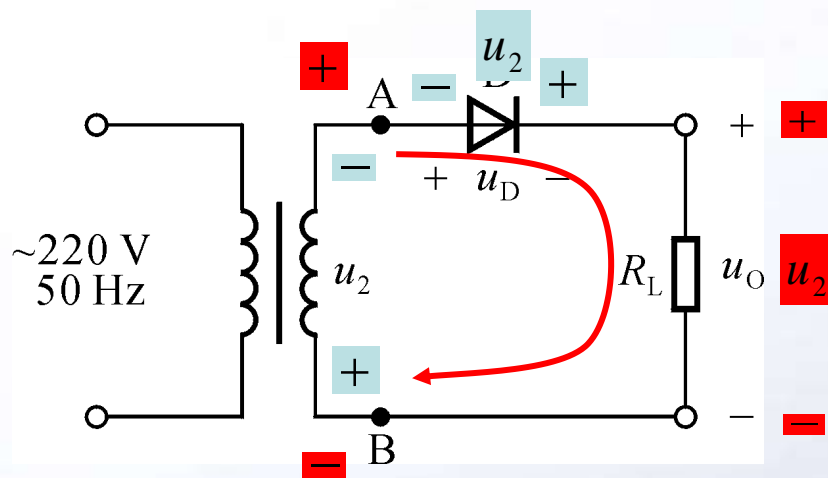
理想二极管的正向导通电压为0，即正向电阻为0；反向电流为0，即反向电阻为无穷大。



实际特性

## 二、单相半波整流电路

### 1. 工作原理

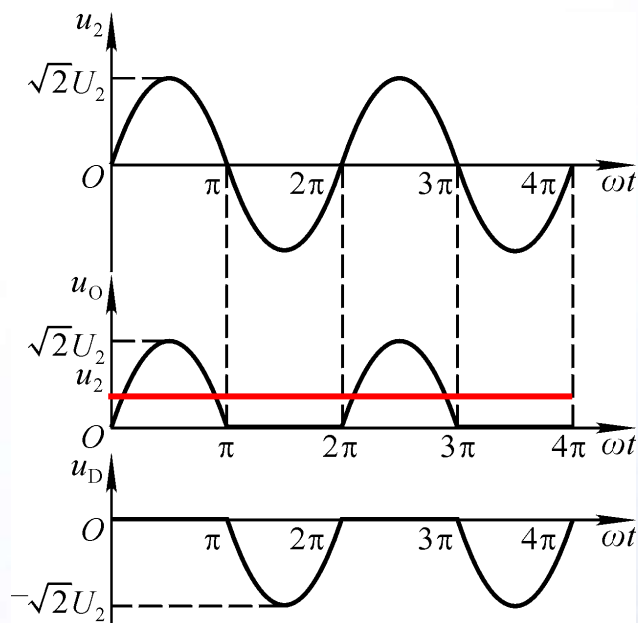


$u_2$ 的正半周，D导通， $A \rightarrow D \rightarrow R_L \rightarrow B$ ， $u_O = u_2$ 。

$u_2$ 的负半周，D截止，承受反向电压，为 $u_2$ ， $u_O = 0$ 。

## 2. $U_{O(AV)}$ 和 $I_{L(AV)}$ 的估算

已知变压器副边电压有效值为  $U_2$



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

$$U_{O(AV)} = \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} \approx 0.45U_2$$

$$I_{L(AV)} = \frac{U_{O(AV)}}{R_L} \approx \frac{0.45U_2}{R_L}$$

### (3) 二极管的选择

$$U_{R \max} = \sqrt{2}U_2$$

$$I_{D(AV)} = I_{L(AV)} \approx \frac{0.45U_2}{R_L}$$

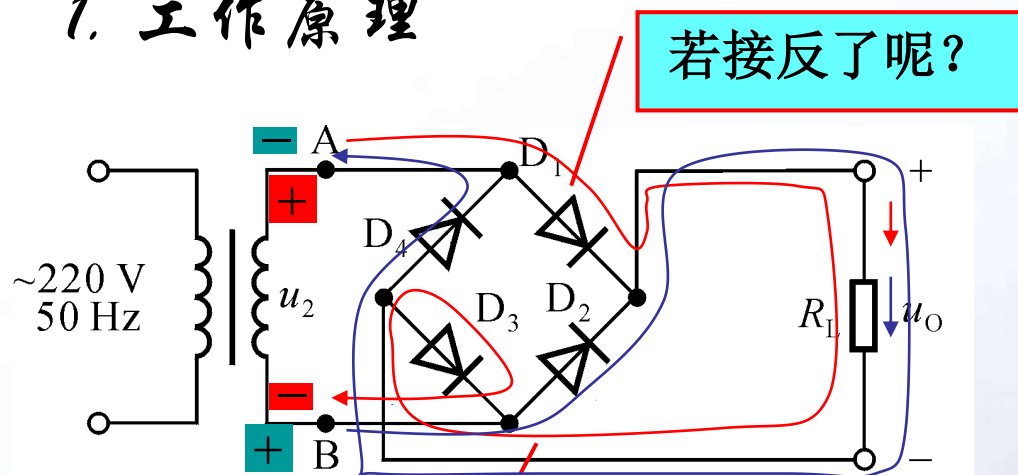
考虑到电网电压波动范围为  $\pm 10\%$ ，二极管的极限参数应满足：

$$\begin{cases} I_F > 1.1 \times \frac{0.45U_2}{R_L} \\ U_R > 1.1\sqrt{2}U_2 \end{cases}$$



### 三、单相桥式整流电路

#### 1. 工作原理



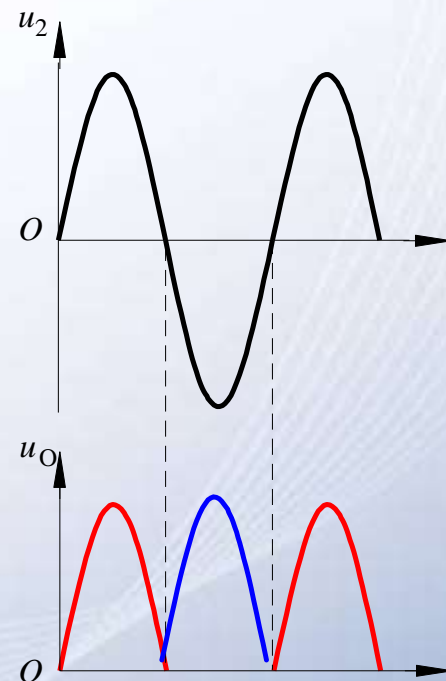
四只管子如何接?

$u_2$  的正半周

$A \rightarrow D_1 \rightarrow R_L \rightarrow D_3 \rightarrow B, u_O = u_2$

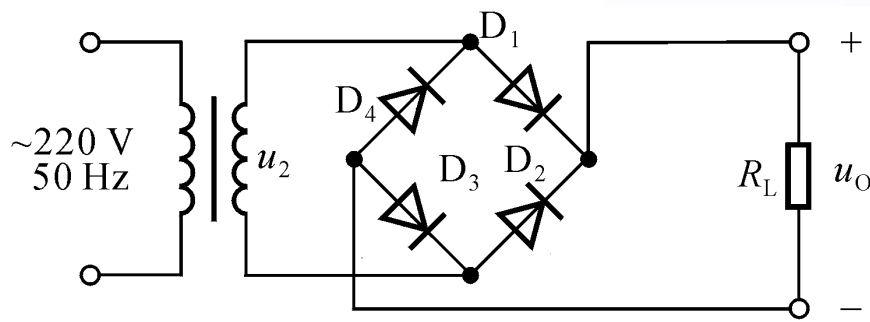
$u_2$  的负半周

$B \rightarrow D_2 \rightarrow R_L \rightarrow D_4 \rightarrow A, u_O = -u_2$



集成的桥式整流电路称为整流堆。

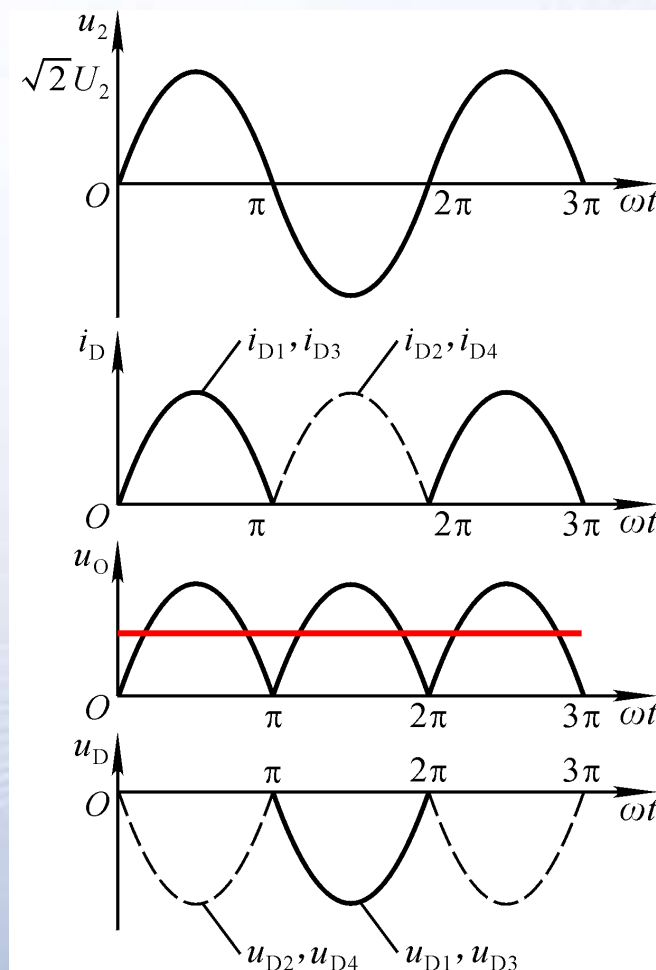
## 2. 输出电压和电流平均值的估算



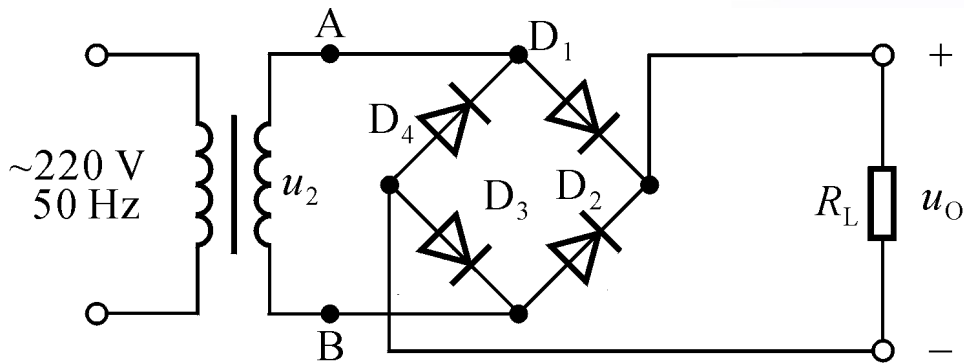
$$U_{O(AV)} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d(\omega t)$$

$$U_{O(AV)} = \frac{2\sqrt{2}U_2}{\pi} \approx 0.9U_2$$

$$I_{L(AV)} = \frac{U_{O(AV)}}{R_L} \approx \frac{0.9U_2}{R_L}$$



### 3. 二极管的选择



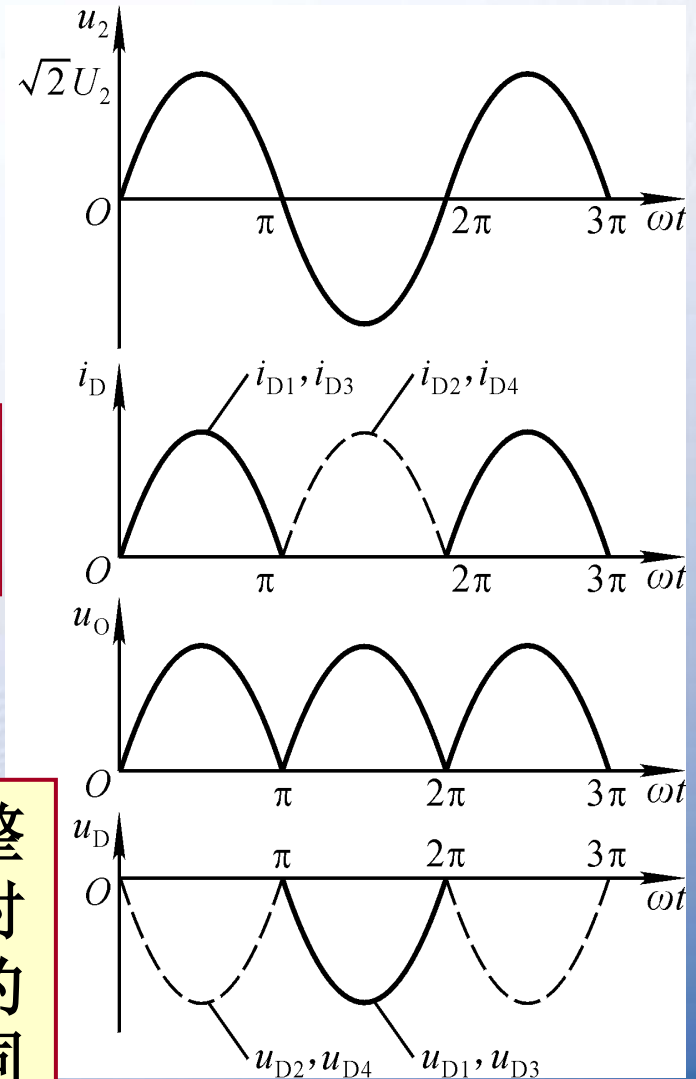
$$U_{R\max} = \sqrt{2}U_2$$

$$I_{D(AV)} = \frac{I_{L(AV)}}{2} \approx \frac{0.45U_2}{R_L}$$

考虑到电网电压波动范围为  
±10%，二极管的极限参数应满足：

$$\begin{cases} I_F > 1.1 \times \frac{0.45U_2}{R_L} \\ U_R > 1.1\sqrt{2}U_2 \end{cases}$$

与半波整  
流电路对  
二极管的  
要求相同



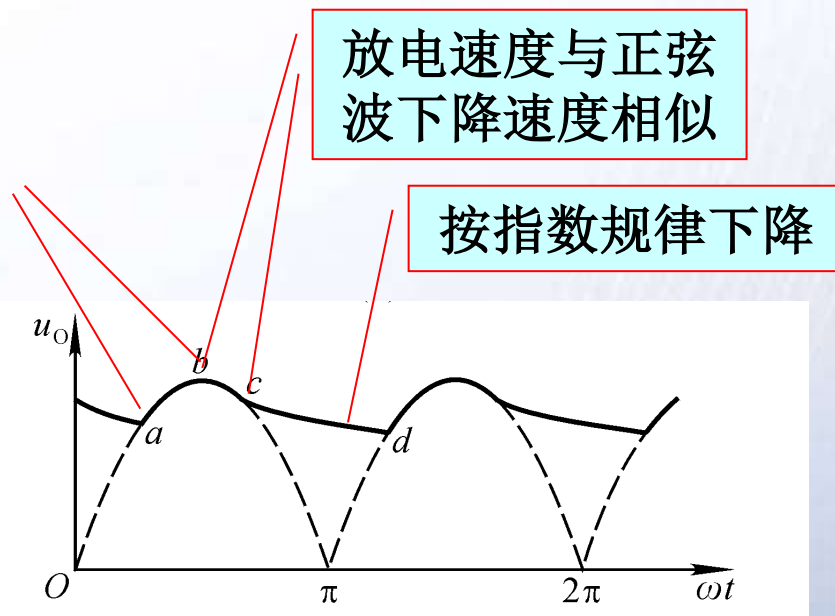
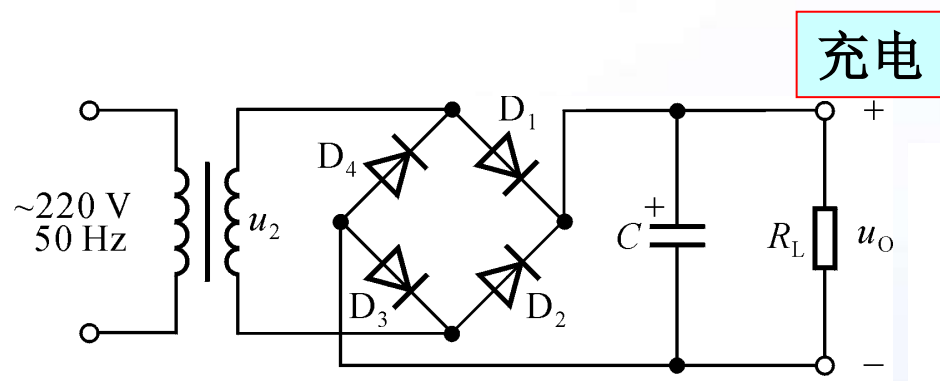
## § 10.3 滤波电路

一、电容滤波电路

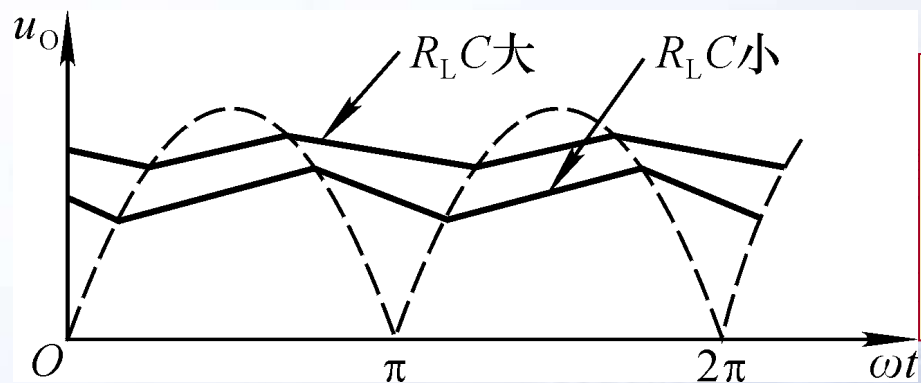
二、电感滤波电路

三、倍压整流电路

# 一、电容滤波电路



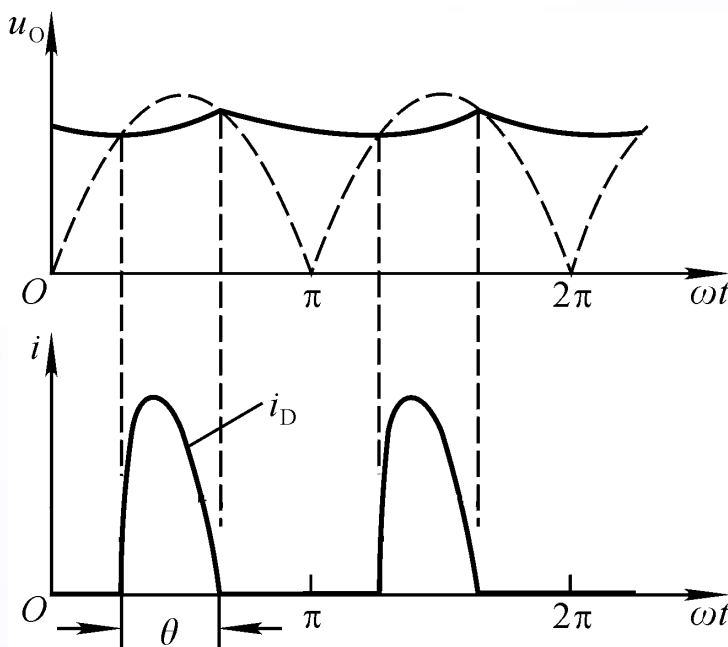
考虑整流电路的内阻



$C$  越大,  $R_L$  越大,  $\tau$  越大, 放电越慢, 曲线越平滑, 脉动越小。

滤波后, 输出电压平均值增大, 脉动变小。

## 2. 二极管的导通角



导通角

$$\begin{cases} C \uparrow \\ R_L \uparrow \end{cases} \rightarrow \tau_{\text{放电}} \uparrow \rightarrow \begin{cases} \text{脉动} \downarrow \\ U_{O(AV)} \uparrow \\ \theta \downarrow \rightarrow i_D \text{的峰值} \uparrow \end{cases}$$

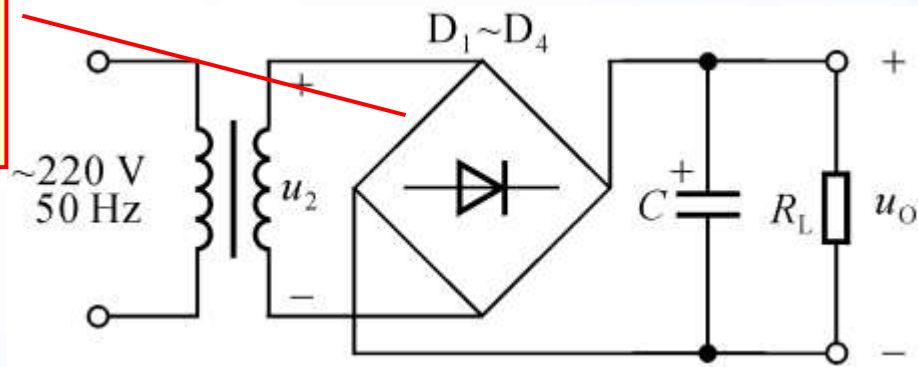
无滤波电容时  $\theta = \pi$ 。

有滤波电容时  $\theta < \pi$ ，且二极管平均电流增大，故其峰值很大！

**$\theta$  小到一定程度，难于选择二极管！**

### 3. 电容的选择及 $U_{O(AV)}$ 的估算

整流桥的  
简化画法



当  $R_L C = (3 \sim 5) \frac{T}{2}$  时,  $U_{O(AV)} \approx 1.2U_{2\circ}$

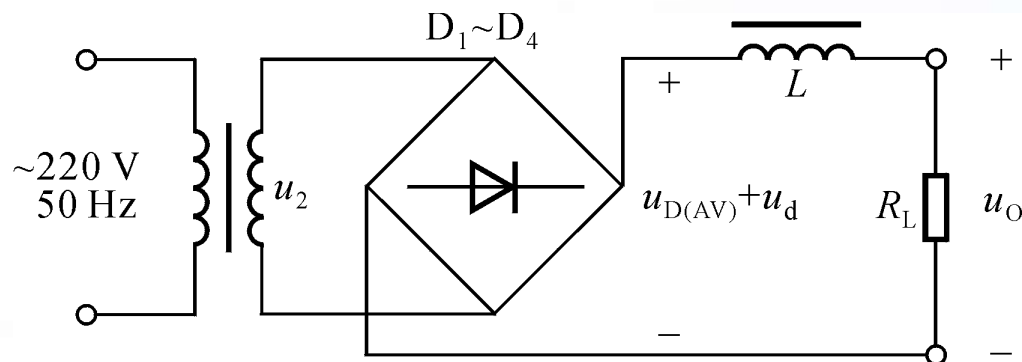
$C$  的耐压值应大于  $1.1\sqrt{2}U_{2\circ}$

### 4. 优缺点

简单易行,  $U_{O(AV)}$  高,  $C$  足够大时交流分量较小;  
不适于大电流负载。

## 二、电感滤波电路

适于大电流负载！



$$\begin{cases} R_L \downarrow \\ L \uparrow \end{cases} \rightarrow \begin{cases} U_{O(AV)} \downarrow \\ \text{交流分量} \downarrow \end{cases}$$

当回路电流减小时，感生电动势的方向阻止电流的减小，从而增大二极管的导通角。

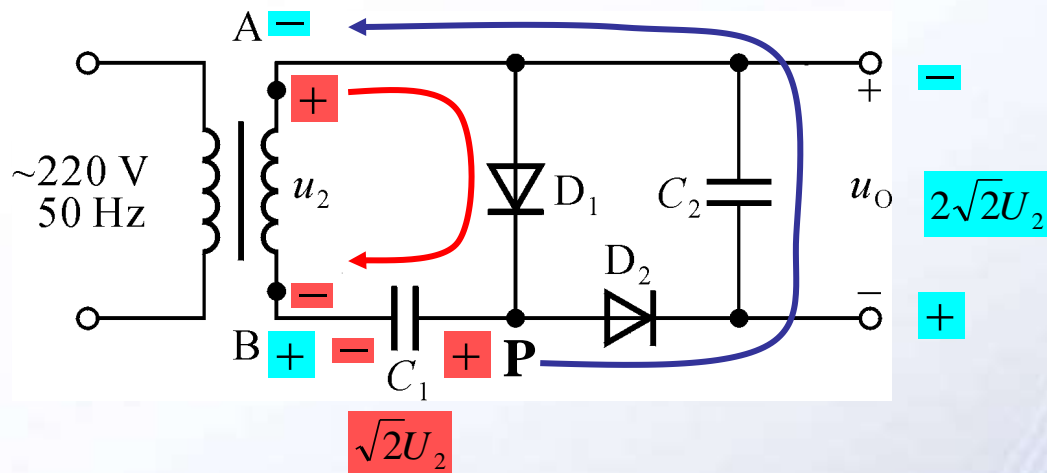
电感对直流分量的电抗为线圈电阻，对交流分量的感抗为 $\omega L$ 。

$$\text{直流分量: } U_{O(AV)} = \frac{R_L}{R + R_L} \cdot U_{D(AV)} \approx \frac{R_L}{R + R_L} \times 0.9U_2$$

$$\text{交流分量: } u_{O(AC)} = \frac{R_L}{\sqrt{R_L^2 + (\omega L)^2}} \cdot u_d \approx \frac{R_L}{\omega L} \cdot u_d$$



### 三、倍压整流电路



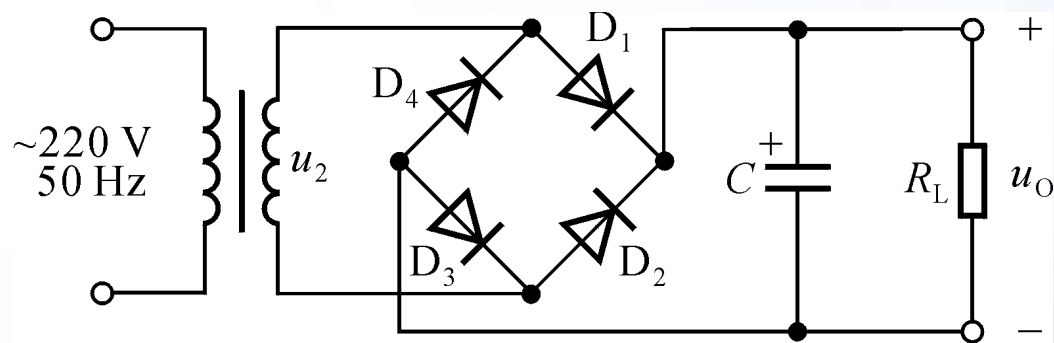
分析时的两个要点：设①负载开路，②电路进入稳态。  
 $u_2$ 正半周 $C_1$ 充电： $A \rightarrow D_1 \rightarrow C_1 \rightarrow B$ ，最终

$$U_{C1} = \sqrt{2}U_2$$

$u_2$ 负半周， $u_2$ 加 $C_1$ 上电压对 $C_2$ 充电： $P \rightarrow D_2 \rightarrow C_2 \rightarrow A$ ，最终

$$U_{C2} = 2\sqrt{2}U_2$$

## 讨论



已知变压器副边电压有效值为 $10\text{V}$ ，电容足够大，判断下列情况下输出电压平均值 $U_O(\text{AV}) \approx ?$

1. 正常工作；
2.  $C$ 开路；
3.  $R_L$ 开路；
4.  $D_1$ 和 $C$ 同时开路；
5.  $D_1$ 开路。

## § 10.2 稳压管稳压电路

一、稳压电路的性能指标

二、稳压管稳压电路

# 一、稳压电路的性能指标

1. 输出电压

2. 输出电流

3. 稳压系数 表明电网电压波动时电路的稳压性能。

在负载电流不变时，输出电压相对变化量与输入电压变化量之比。

$$S_r = \frac{\Delta U_o / U_o}{\Delta U_i / U_i} \Big|_{R_L} = \frac{\Delta U_o}{\Delta U_i} \cdot \frac{U_i}{U_o} \Big|_{R_L}$$

4. 输出电阻 表明负载电流变化时电路的稳压性能。

在电网电压不变时，负载变化引起的输出电压的变化量与输出电流的变化量之比。

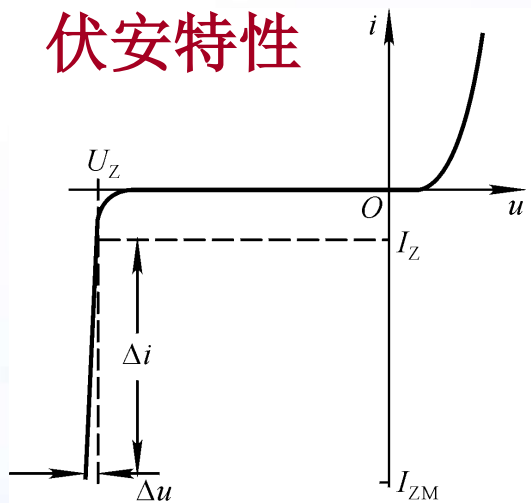
$$R_o = \left| \frac{\Delta U_o}{\Delta I_o} \right|_{U_i}$$

5. 纹波电压 测试出输出电压的交流分量。

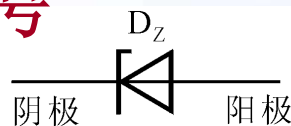
## 二、稳压管稳压电路

### 1. 稳压管的伏安特性和主要参数

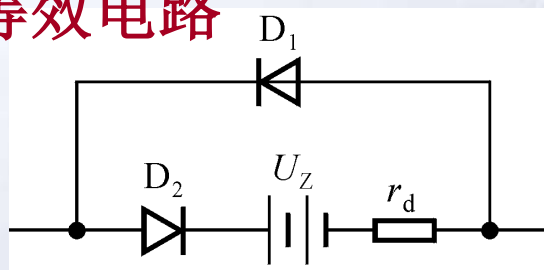
伏安特性



符号



等效电路



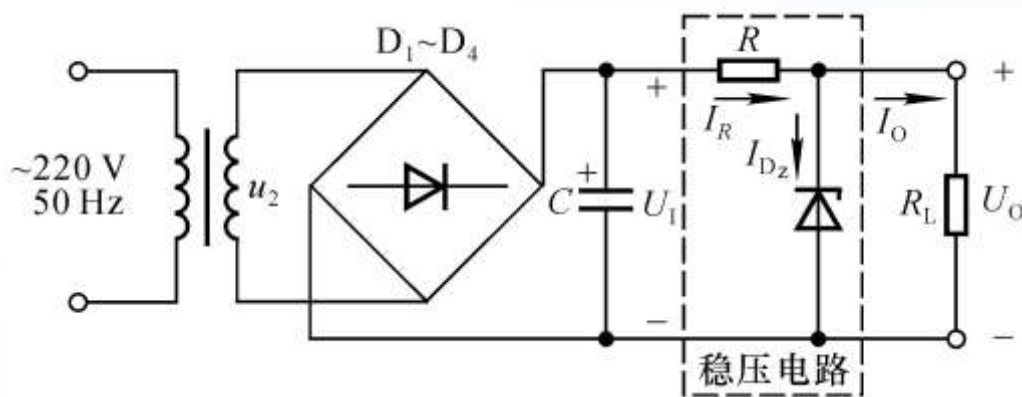
稳定电压  $U_Z$ ：稳压管的击穿电压

稳定电流  $I_Z$ ：使稳压管工作在稳压状态的最小电流

最大耗散功率  $P_{ZM}$ ：允许的最大功率， $P_{ZM} = I_{ZM} U_Z$

动态电阻  $r_z$ ：工作在稳压状态时， $r_z = \Delta U / \Delta I$

## 2. 稳压管稳压电路的工作原理



$$U_I = U_R + U_O$$
$$I_R = I_{DZ} + I_L$$

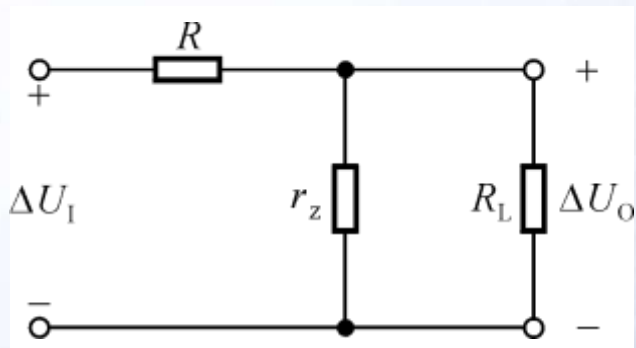
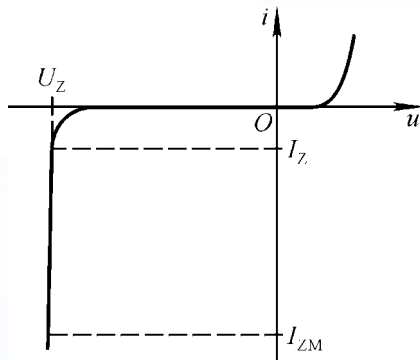
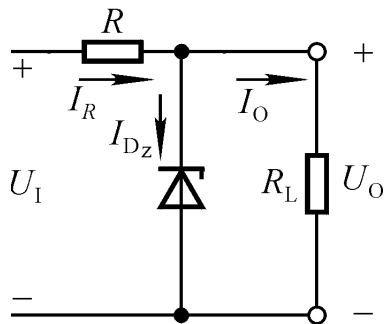
电网电压  $\uparrow \rightarrow U_I \uparrow \rightarrow U_O \uparrow (U_Z) \uparrow \rightarrow I_{DZ} \uparrow \rightarrow I_R \uparrow \rightarrow U_R \uparrow \rightarrow U_O \downarrow$

若  $\Delta U_I \approx \Delta U_R$ ，则  $U_O$  基本不变。利用  $R$  上的电压变化补偿  $U_I$  的波动。

$$\begin{cases} R_L \downarrow \rightarrow U_O \downarrow (U_Z \downarrow) \rightarrow I_{DZ} \downarrow \rightarrow I_R \downarrow \\ R_L \downarrow \rightarrow I_L \uparrow \rightarrow I_R \uparrow \end{cases}$$

若  $\Delta I_{DZ} \approx -\Delta I_L$ ，则  $U_R$  基本不变， $U_O$  也就基本不变。  
利用  $I_{DZ}$  的变化来补偿  $I_L$  的变化。

### 3. 稳压管稳压电路的主要指标



(1) 输出电压

$$U_O = U_Z$$

(2) 输出电流

$$I_{Z\max} - I_{Z\min} \leq I_{ZM} - I_Z$$

(3) 稳压系数

$$S_r = \frac{\Delta U_O}{\Delta U_I} \cdot \frac{U_I}{U_O} \bigg|_{R_L} = \frac{r_z // R_L}{R + r_z // R_L} \cdot \frac{U_I}{U_O} \approx \frac{r_z}{R} \cdot \frac{U_I}{U_O}$$

(4) 输出电阻

$$R_o = r_z // R \approx r_z$$

### 4. 特点

简单易行，稳压性能好。适用于输出电压固定、输出电流变化范围较小的场合。



## 5. 稳压管稳压电路的设计

为减小 $S_r$ ,取值矛盾!

$$S_r \approx \frac{r_z}{R} \cdot \frac{U_I}{U_O}$$

(1)  $U_I$ 的选择  $U_I = (2 \sim 3) U_Z$

(2) 稳压管的选择  $U_Z = U_O$   $I_{ZM} - I_Z > I_{Lmax} - I_{Lmin}$

(3) 限流电阻的选择 保证稳压管既稳压又不损坏。

$$I_{Dzmin} > I_Z \text{ 且 } I_{Dzmax} < I_{ZM}$$

电网电压最低且负载电流最大时，稳压管的电流最小。

$$I_{Dzmin} = \frac{U_{Imin} - U_Z}{R} - I_{Lmax} > I_Z$$

$$R < \frac{U_{Imin} - U_Z}{I_Z + I_{Lmax}}$$

电网电压最高且负载电流最小时，稳压管的电流最大。

$$I_{Dzmax} = \frac{U_{Imax} - U_Z}{R} - I_{Lmin} < I_{ZM}$$

$$R > \frac{U_{Imax} - U_Z}{I_{ZM} + I_{Lmin}}$$

若求得 $R=200 \sim 300 \Omega$ ，则该取接近 $200 \Omega$ 还是接近 $300 \Omega$ ？为什么？

若求得 $R_{min} > R_{max}$ ，怎么办？

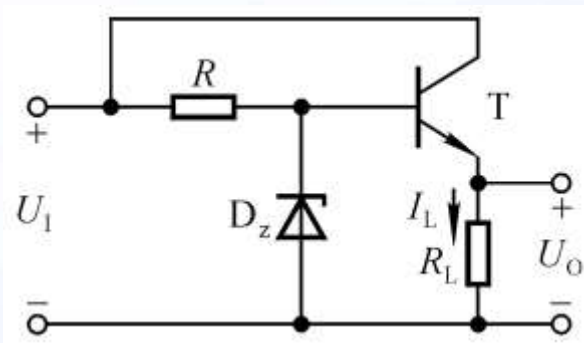
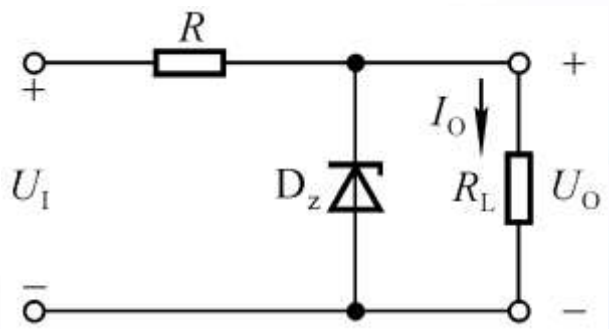


## § 10.3 串联型稳压电路

- 一、基本调整管稳压电路
- 二、具有放大环节的串联型稳压电路
- 三、集成稳压器（三端稳压器）

# 一、基本调整管稳压电路

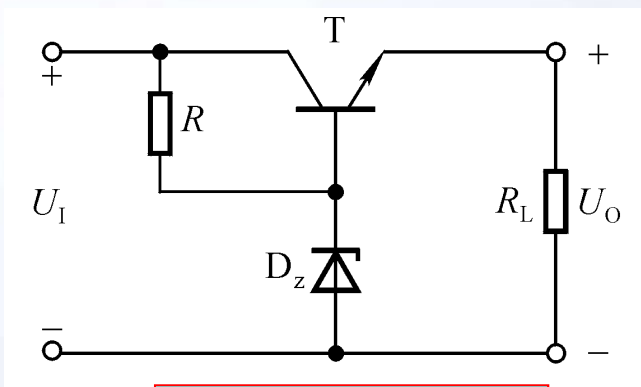
为了使稳压管稳压电路输出大电流，需要加晶体管放大。



$$I_L = (1 + \beta)I_O$$

$$U_O = U_Z - U_{BE}$$

稳压原理：电路引入电压负反馈，稳定输出电压。

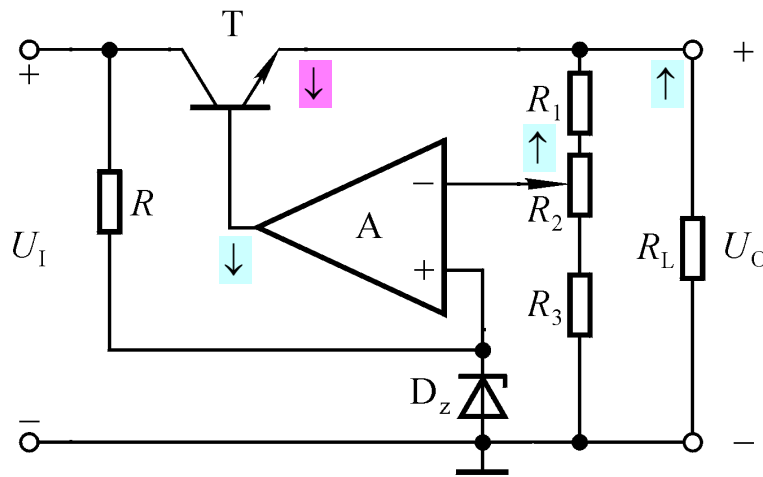


$$U_O = U_I - U_{CE}$$

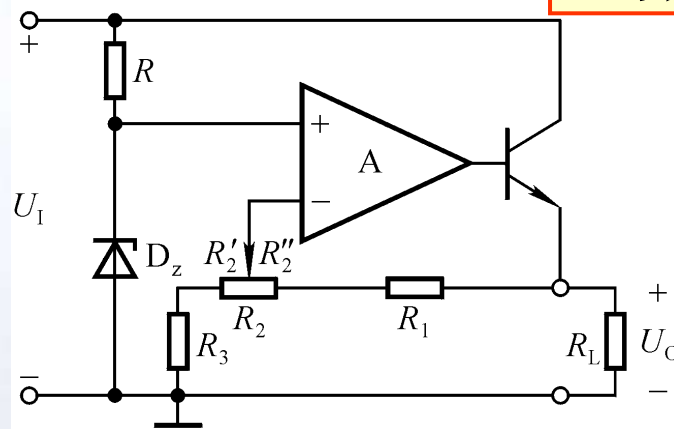
不管什么原因引起 $U_O$ 变化，都将通过 $U_{CE}$ 的调节使 $U_O$ 稳定，故称晶体管为调整管。

若要提高电路的稳压性能，则应加深电路的负反馈，即提高放大电路的放大倍数。

## 二、具有放大环节的串联型稳压电路



同相比例  
运算电路



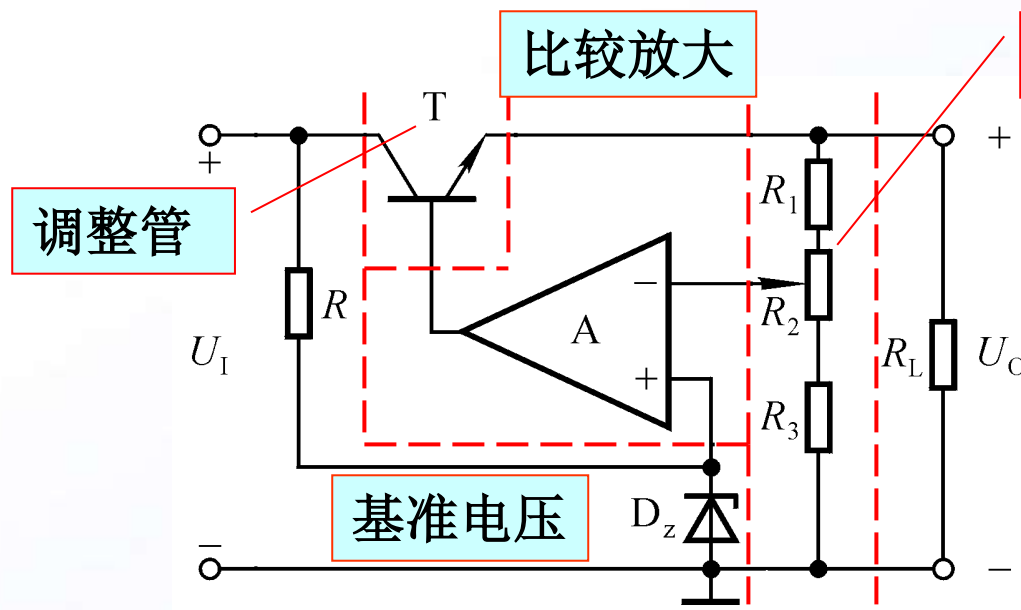
1. 稳压原理：若由于某种原因使 $U_O$ 增大

则  $U_O \uparrow \rightarrow U_N \uparrow \rightarrow U_B \downarrow \rightarrow U_O \downarrow$

2. 输出电压的调节范围

$$\frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_2 + R_3} \cdot U_Z \leq U_O \leq \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_3} \cdot U_Z$$

### 3. 串联型稳压电路的基本组成及其作用



取样电阻

**调整管**：是电路的核心， $U_{CE}$ 随 $U_I$ 和负载产生变化以稳定 $U_O$ 。

**基准电压**：是 $U_O$ 的参考电压。

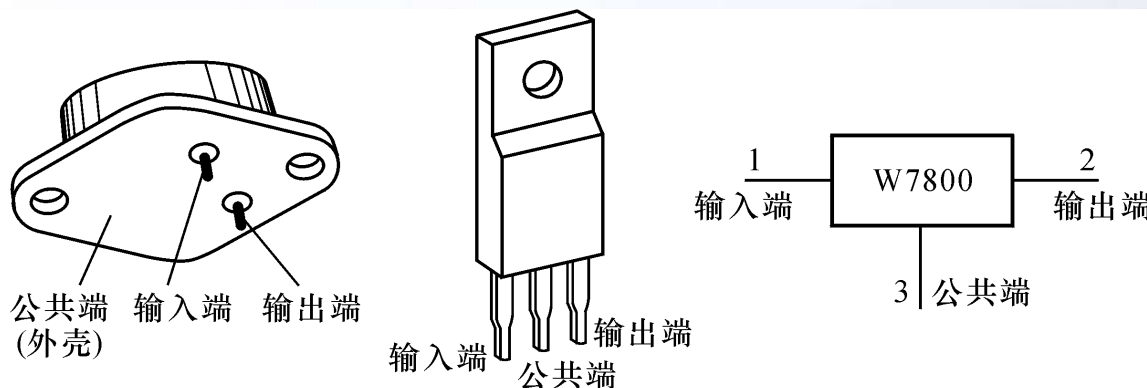
**取样电阻**：对 $U_O$ 的取样，与基准电压共同决定 $U_O$ 。

**比较放大**：将 $U_O$ 的取样电压与基准电压比较后放大，决定电路的稳压性能。

## 三、集成稳压器（三端稳压器）

### 1. W7800系列

#### （1）简介

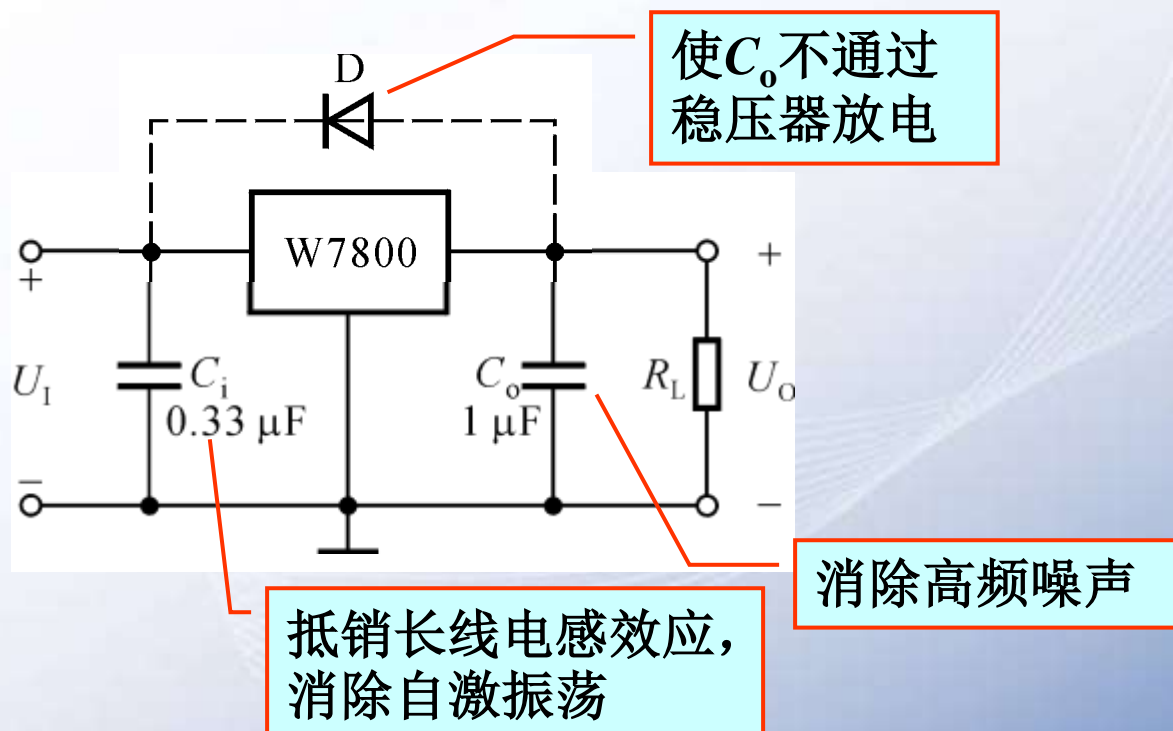


输出电压：5V、6V、9V、12V、15V、18V、24V

输出电流：1.5A（W7800）、0.5A（W78M00）、0.1A（W78L00）

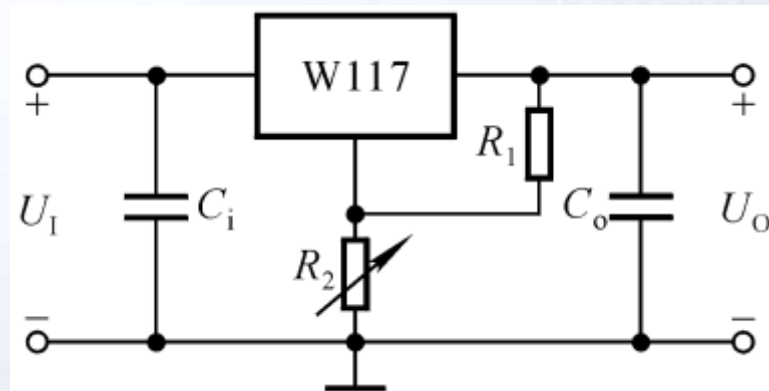
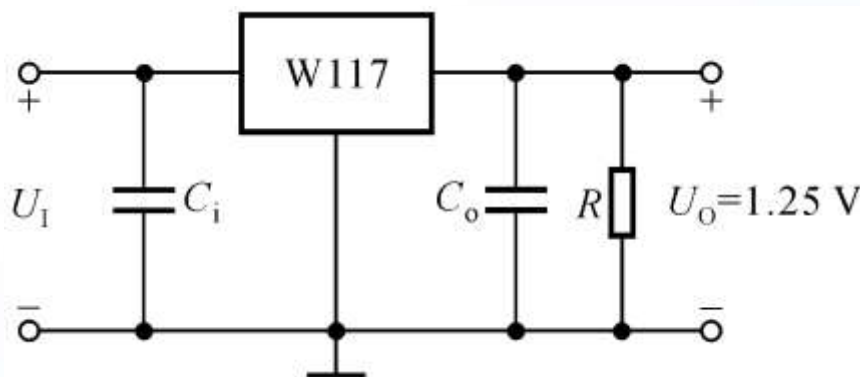
## (2) 基本应用

将输入端接整流滤波电路的输出，将输出端接负载电阻，构成串类型稳压电路。

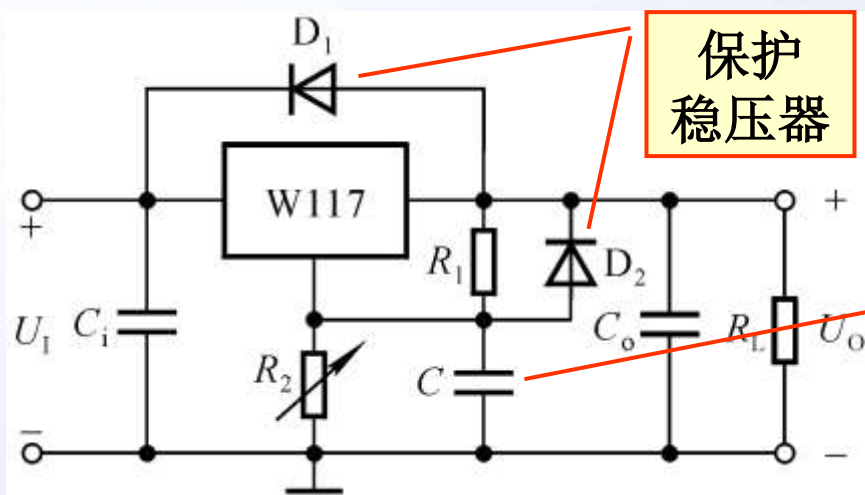


## 2. 基准电压源三端稳压器 W117

输出电压  $U_{\text{REF}} = 1.25\text{V}$ ，调整端电流只有几微安。



$$U_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_{\text{REF}}$$



减小纹波电压

## § 10.4 开关型稳压电路

- 一、开关型稳压电路的特点和基本原理
- 二、串联开关型稳压电路
- 三、并联开关型稳压电路



## 一、开关型稳压电源的特点及基本原理

**线性稳压电源：**结构简单，调节方便，输出电压稳定性强，纹波电压小。缺点是调整管工作在甲类状态，因而功耗大，效率低（20%~49%）；需加散热器，因而设备体积大，笨重，成本高。

若调整管工作在开关状态，则势必大大减小功耗，提高效率，开关型稳压电源的效率可达70%~95%。体积小，重量轻。适于固定的大负载电流、输出电压小范围调节的场合。

## 构成开关型稳压电源的基本思路:

$AC \rightarrow DC \rightarrow AC \rightarrow DC$

将交流电经变压器、整流滤波得到直流电压



控制调整管按一定频率开关，得到矩形波

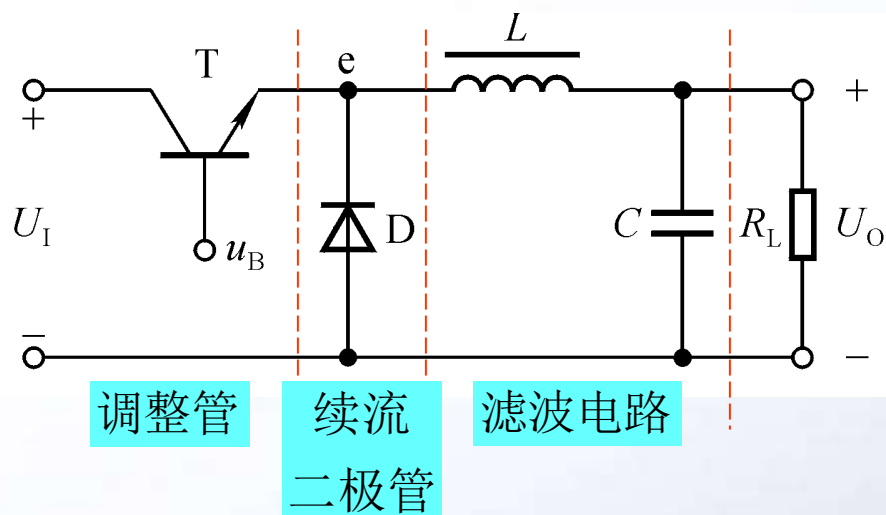


滤波，得到直流电压

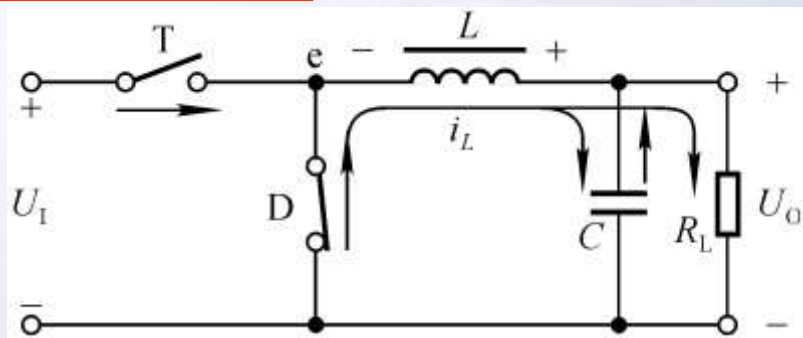
引入负反馈，控制占空比，使输出电压稳定。

## 二、串联开关型稳压电路

### 1. 电路组成及工作原理

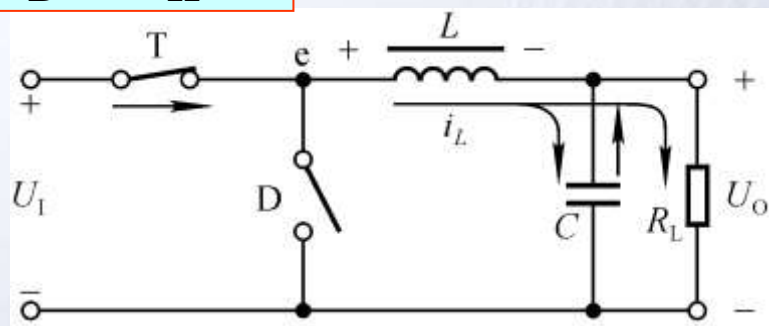


$$u_B = U_L \text{ 时}$$



T、D 均工作在开关状态。

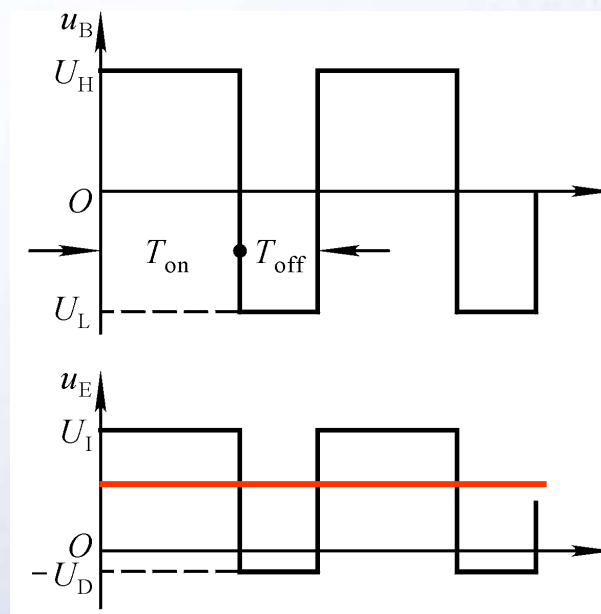
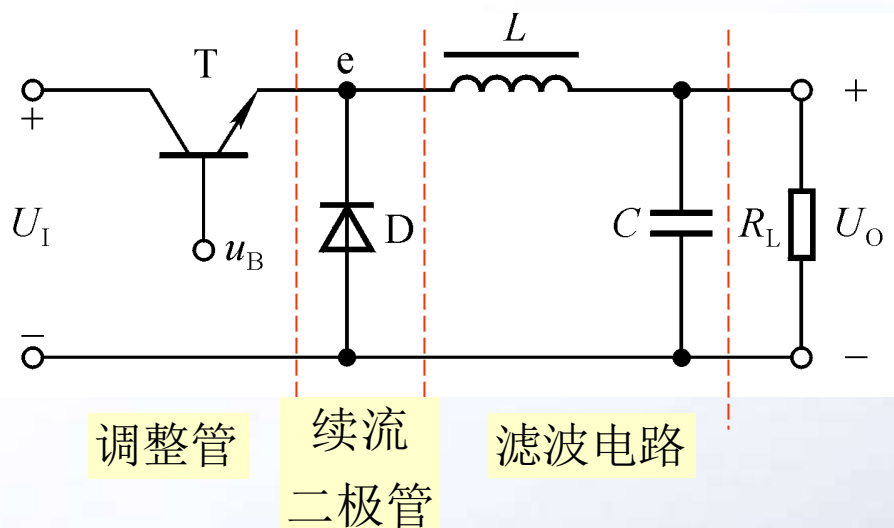
$$u_B = U_H \text{ 时}$$



T饱和导通，D截止，  
 $u_E \approx U_I$ ； $L$  储能， $C$  充电。

T截止，D导通，  
 $u_E \approx -U_D$ ； $L$  释放能量， $C$  放电。

## 2. 波形分析及输出电压平均值



$$U_O \approx \frac{T_{on}}{T} \cdot U_I + \frac{T_{off}}{T} \cdot (-U_D) \approx \delta U_I$$

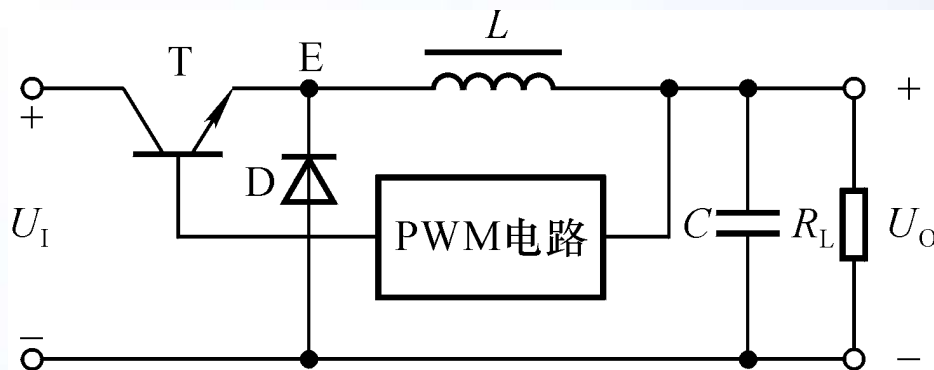
关键技术：大功率高频管，高质量磁性材料

稳压原理：若某种原因使输出电压升高，则应减小占空比。

### 3. 稳压原理

脉冲宽度调制式：PWM电路作用：

$$U_O \uparrow \rightarrow T_{on} \downarrow \rightarrow \delta \downarrow \rightarrow U_O \downarrow$$



其它控制方式：

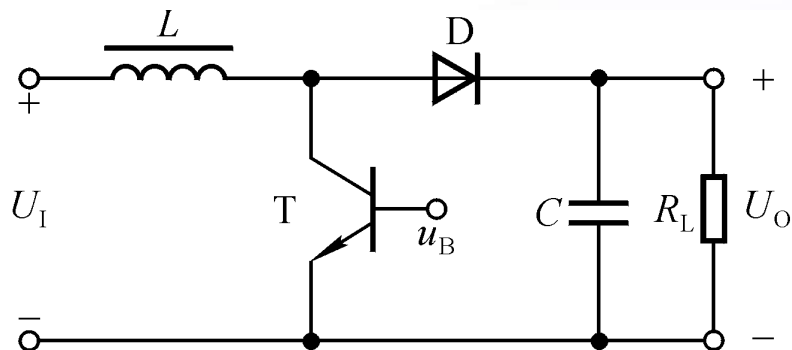
脉冲频率调制式：  $U_O \uparrow \rightarrow T \uparrow$ （脉宽不变）  $\rightarrow \delta \downarrow \rightarrow U_O \downarrow$

混合调制式：  $U_O \uparrow \rightarrow T \uparrow T_{on} \downarrow \rightarrow \delta \downarrow \rightarrow U_O \downarrow$

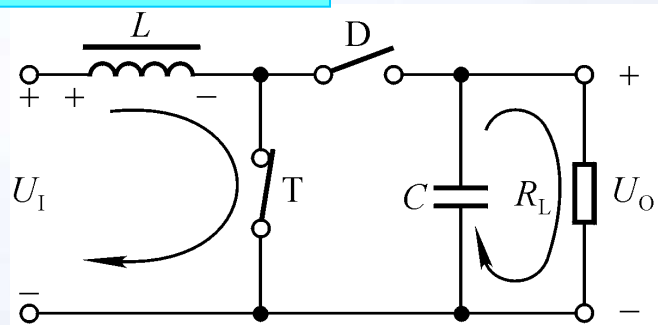
在串联开关型稳压电路中  $U_O < U_I$ ，故为降压型电路。

### 三、并联开关型稳压电路 (升压型)

#### 1. 工作原理



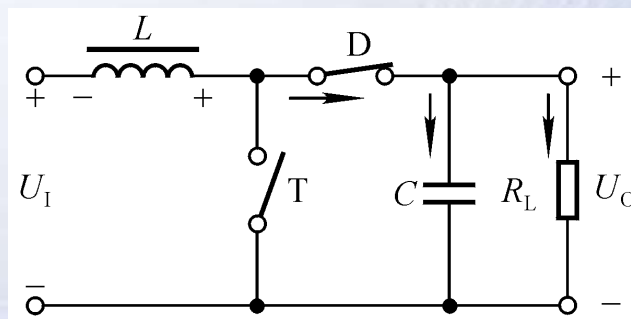
$u_B = U_H$  时



T饱和导通,  $L$  储能,  
D截止,  $C$  对负载放电。

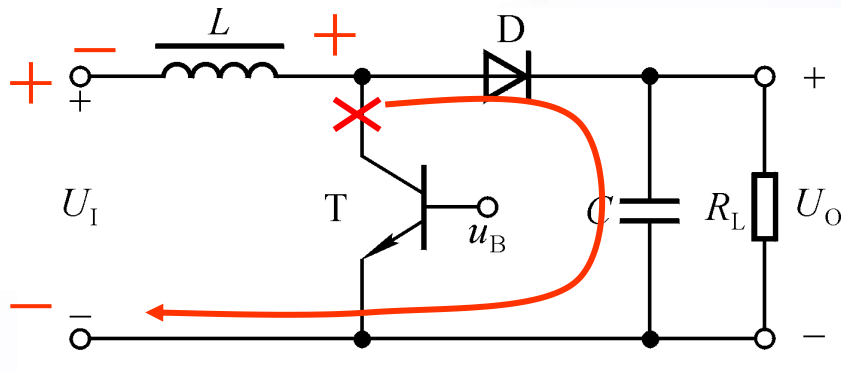
要研究调整管在饱和导通和截止状态下电路的工作情况。

$u_B = U_L$  时



T截止,  $L$  产生感生电动势, D导通;  $U_I$  与  $L$  所产生的感生电动势相加对  $C$  充电。

## 2. 输出电压



只有 $L$ 足够大，才能升压；只有 $C$ 足够大，输出电压交流分量才足够小！

在周期不变的情况下， $u_B$ 占空比越大，输出电压平均值越高。

