



模拟电子技术基础

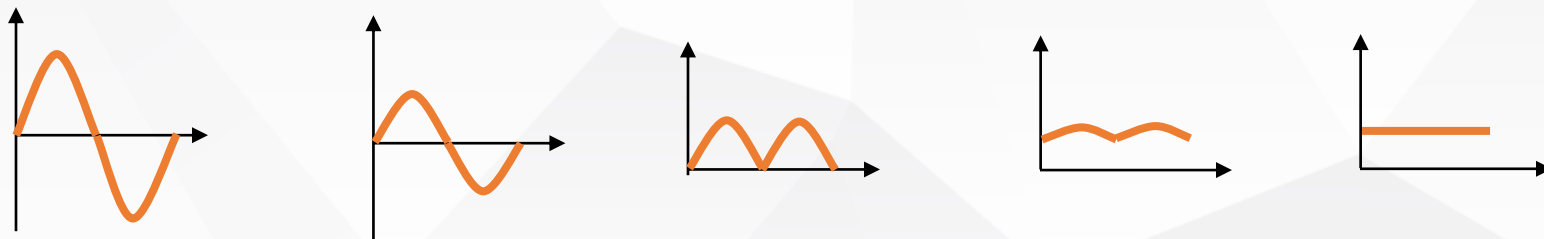
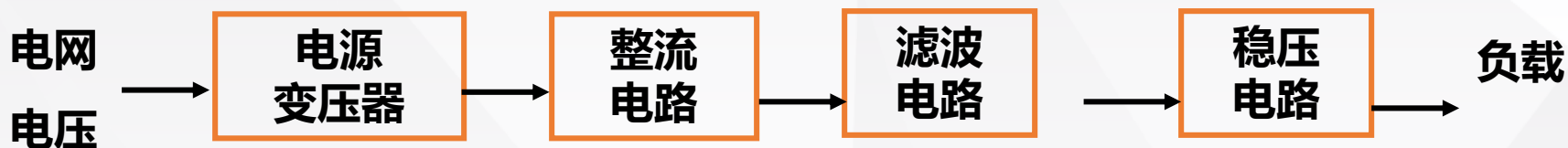
# 直流电源

雷 飞

010-67392914

leifei@bjut.edu.cn

### 8.1 直流电源的组成及各部分的作用



直流稳压电源构成

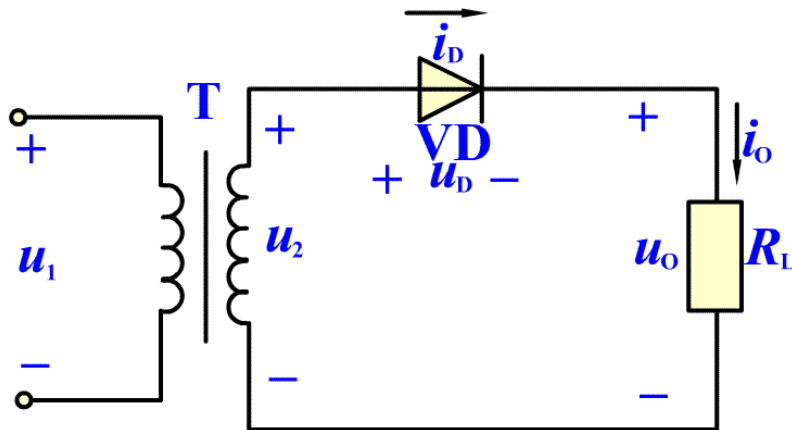
**整流：**将交流变为直流的过程。

**滤波：**将脉动的直流电压变为平滑的直流电压。

### 8.2 整流电路

#### 一、整流电路的分析方法及其基本参数

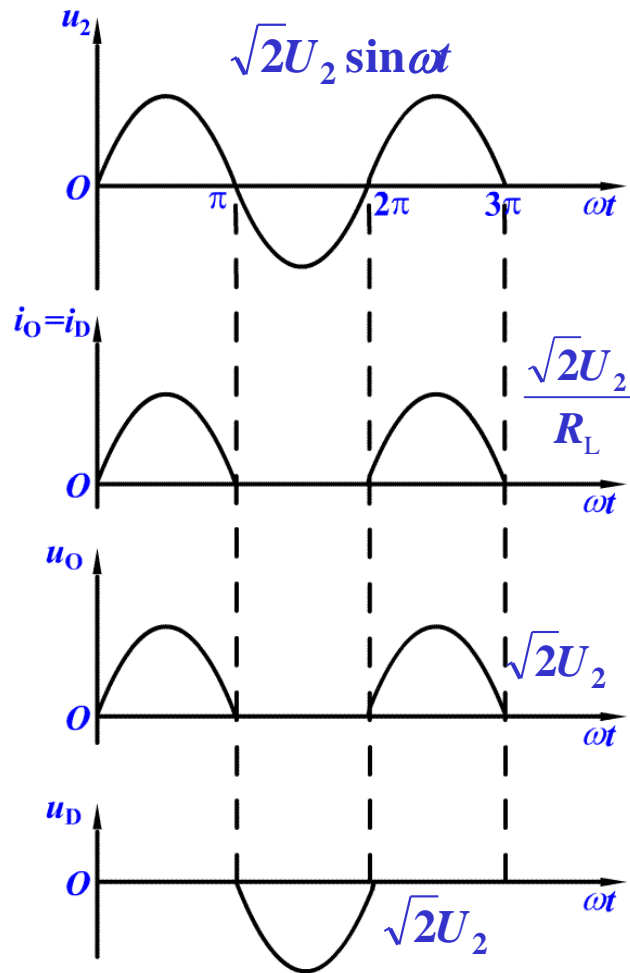
##### 1. 工作原理



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。



## 2. 主要参数

### 1) 输出电压平均值 $U_{O(AV)}$

输出电压平均值就是负载电阻上电压的平均值

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

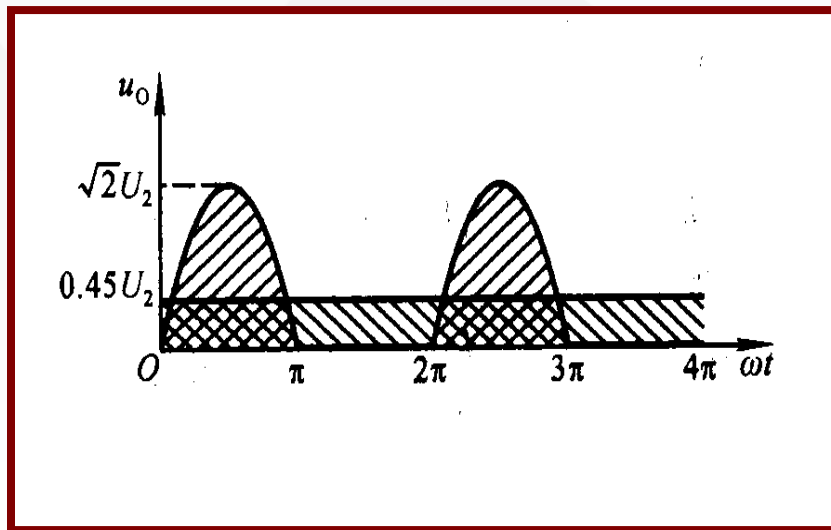
$$U_{O(AV)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0.45U_2$$

### 2) 负载电流的平均值

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

### 3) 脉动系数

$$S = \frac{U_{O1m}}{U_{O(AV)}}$$



### 3. 二极管的选择

根据流过二极管电流的平均值和它所承受的最大反向电压来选择二极管的型号。

**二极管的正向电流等于负载电流平均值**

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

**二极管承受的最大反向电压等于变压器副边的峰值电压**

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

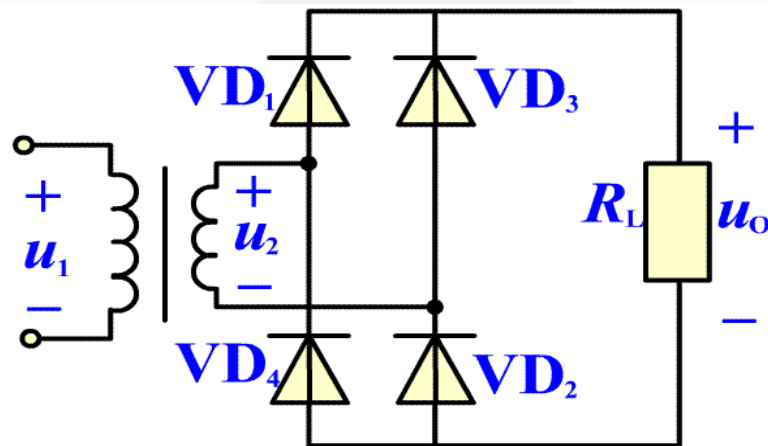
对于二极管**最大整流平均电流** $I_F$ 和**最高反向工作电压** $U_R$ 均应留10%的余地，以保证二极管安全工作。

$$\left\{ \begin{array}{l} I_F > 1.1I_{O(AV)} = 1.1 \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi R_L} \\ U_R > 1.1\sqrt{2}U_2 \end{array} \right.$$

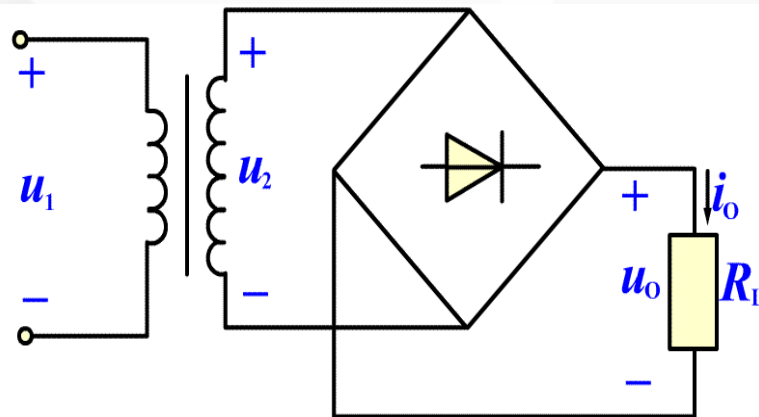
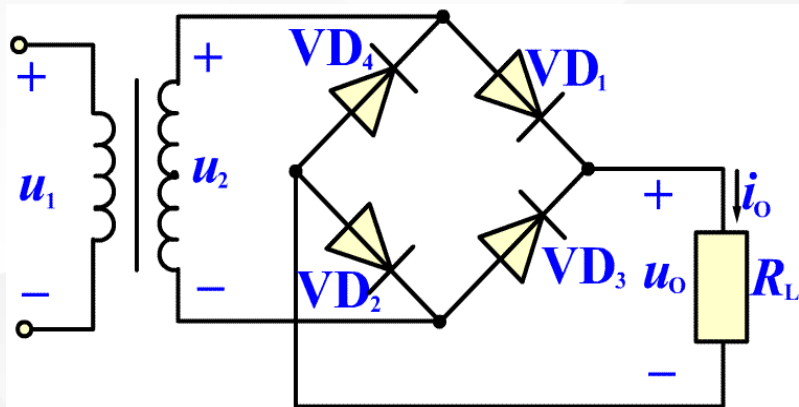
# 二、单相桥式整流电路

在实用电路中，多采用全波整流电路，最常用的是单向桥式整流电路

## 1. 单向桥式整流电路的组成

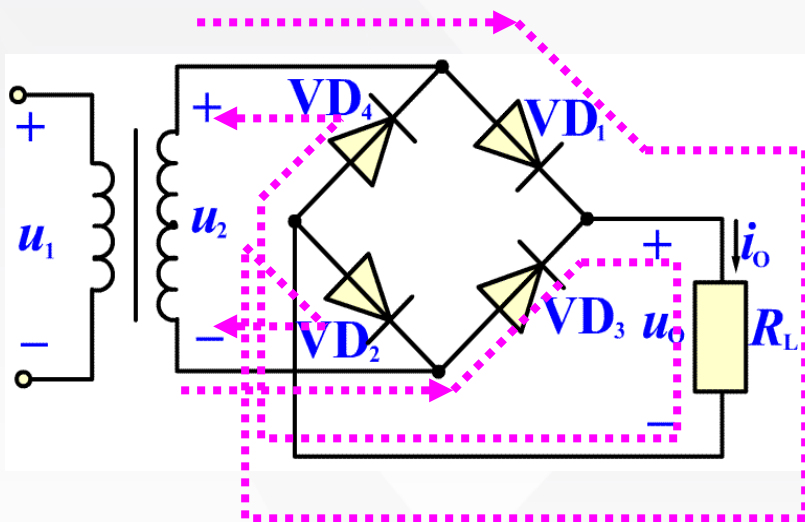


单向桥式整流电路



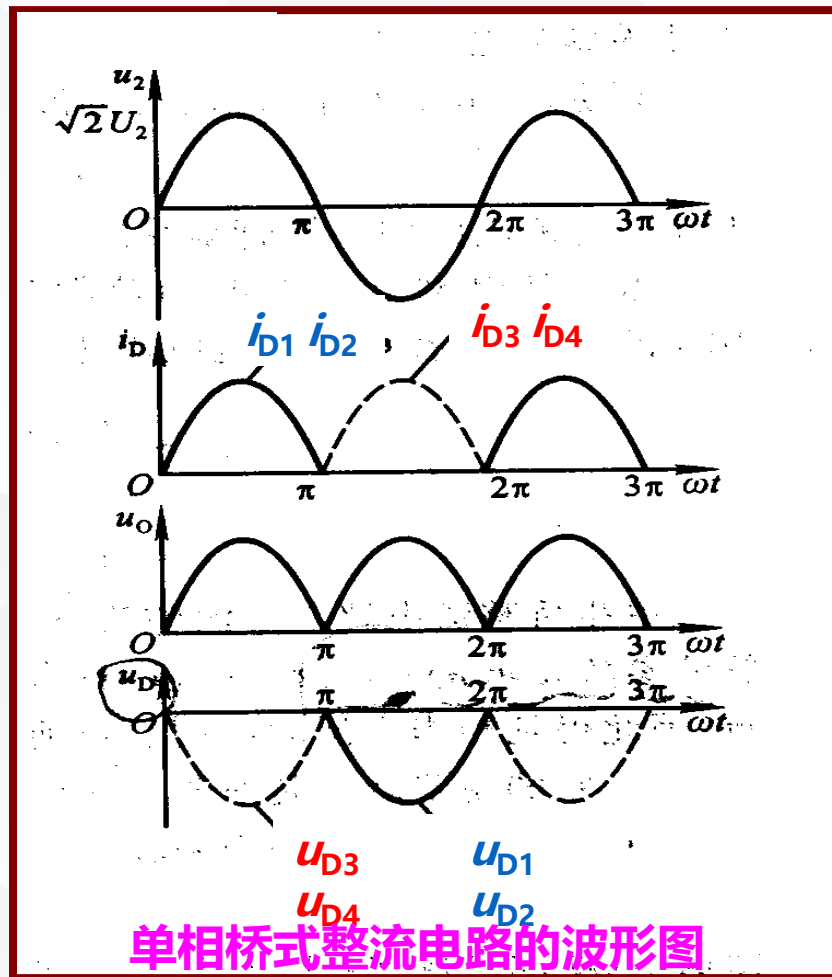
单向桥式整流电路的习惯画法

## 2.工作原理



1.  $u_2 > 0$ 时, 电流由+流出, 经  $D_1$ 、 $R_L$ 、 $D_2$ 流入-。

2.  $u_2 < 0$ 时, 电流由-流出, 经  $D_3$ 、 $R_L$ 、 $D_4$ 流入+。



单相桥式整流电路的波形图

### 3. 输出电压平均值 $U_{O(AV)}$ 和输出电流的平均值 $I_{O(AV)}$

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

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

脉动系数:

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

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



### 4. 二极管的选择

每只二极管只在变压器副边电压的半个周期通过电流，所以每只**二极管的平均电流**只有负载电阻上电流平均值的一半。

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

二极管承受的最大反向电压等于变压器副边的峰值电压

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

对于二极管**最大整流平均电流** $I_F$ 和**最高反向工作电压** $U_R$ 均应留10%的余地，以保证二极管安全工作。

$$\left\{ \begin{array}{l} I_F > \frac{1.1I_{O(AV)}}{2} = 1.1 \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi R_L} \\ U_R > 1.1\sqrt{2}U_2 \end{array} \right.$$

## 08 直流电源

### 如何实现正、负电源？

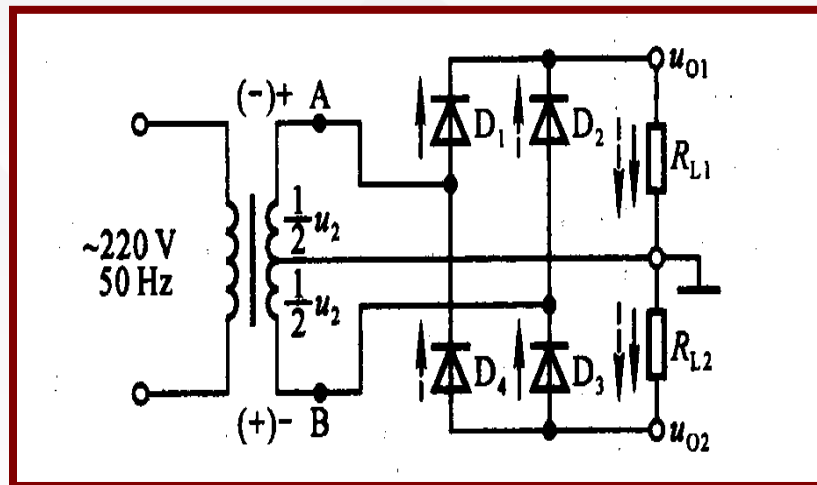
将桥式整流电路变压器副边中点接地，并将二个负载电阻相连接，且连接点接地。

$u_{O1}$  为正；  $u_{O2}$  为负

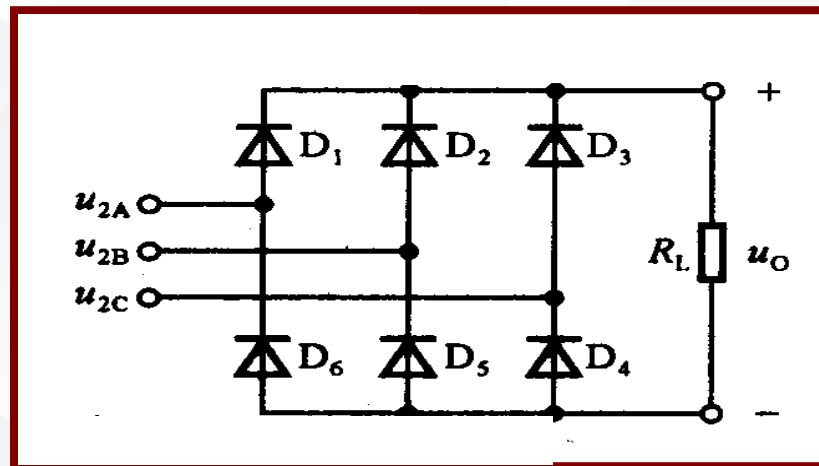
### 三相整流电路

变压器副边的三个端均应接二只二极管，一只接阳极，另一只接阴极。

$D_1 D_2 D_3$  轮流导通，阳极电位高的D先导通；  
 $D_4 D_5 D_6$  轮流导通，阴极电位低的D先导通。

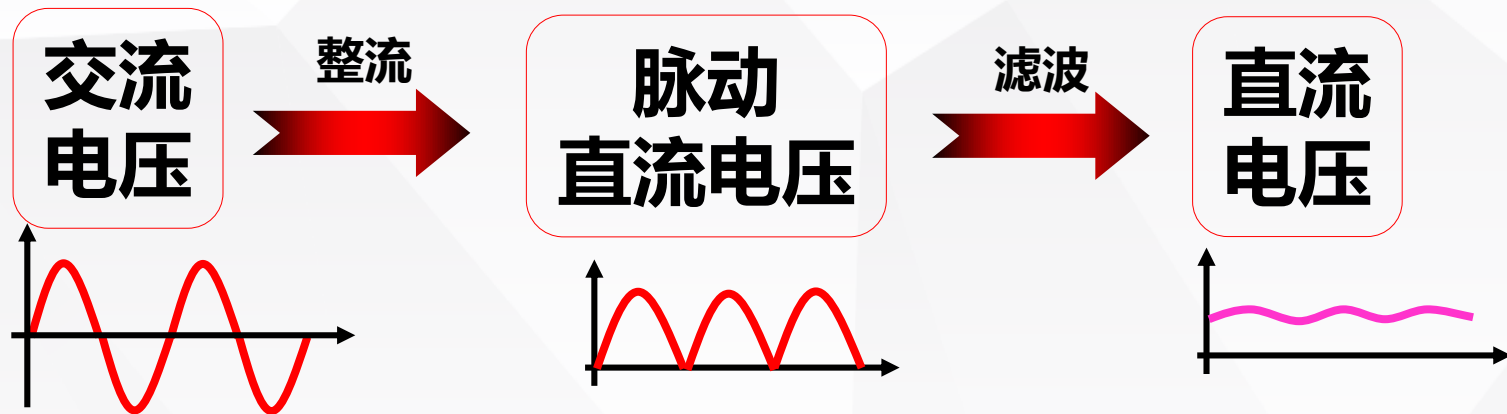


利用桥式整流电路实现正、负电源



三相整流电路

### 8.3 滤波电路



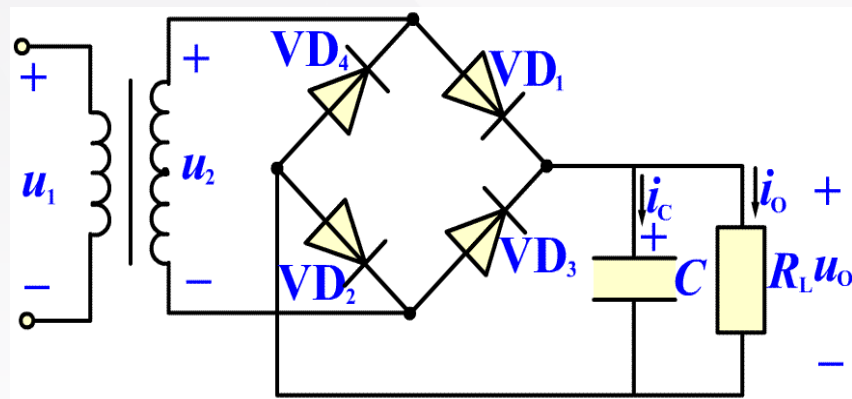
**滤波：**将脉动的直流电压变为平滑的直流电压。

**滤波电路的结构特点：**电容与负载  $R_L$  并联，  
或电感与负载  $R_L$  串联。



## 一、电容滤波电路

滤波电路

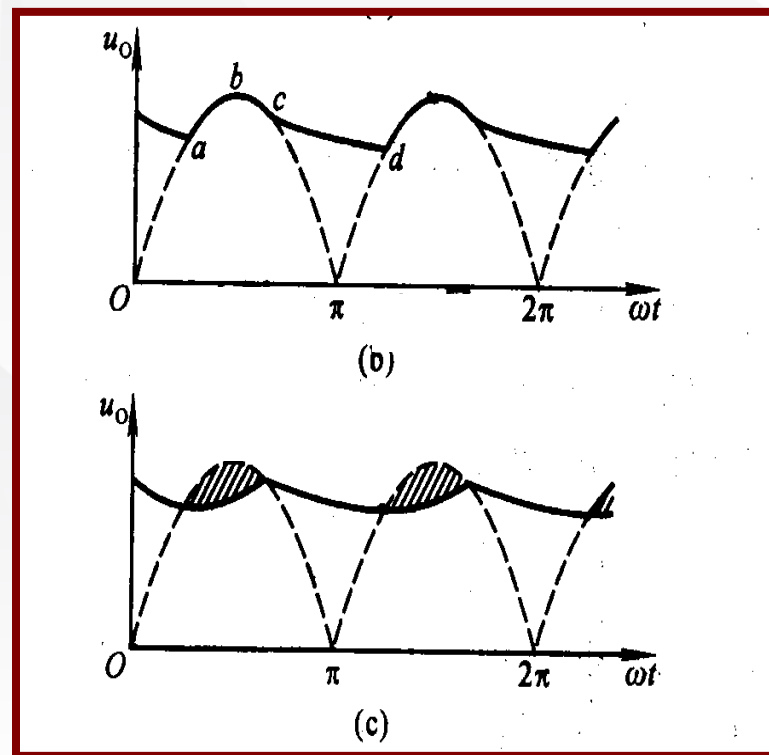


滤波电路

滤波电容容量较大，一般采用电解电容器。

电容滤波电路利用电容的充放电作用，使输出电压趋于平滑。

滤波电路输出电压波形

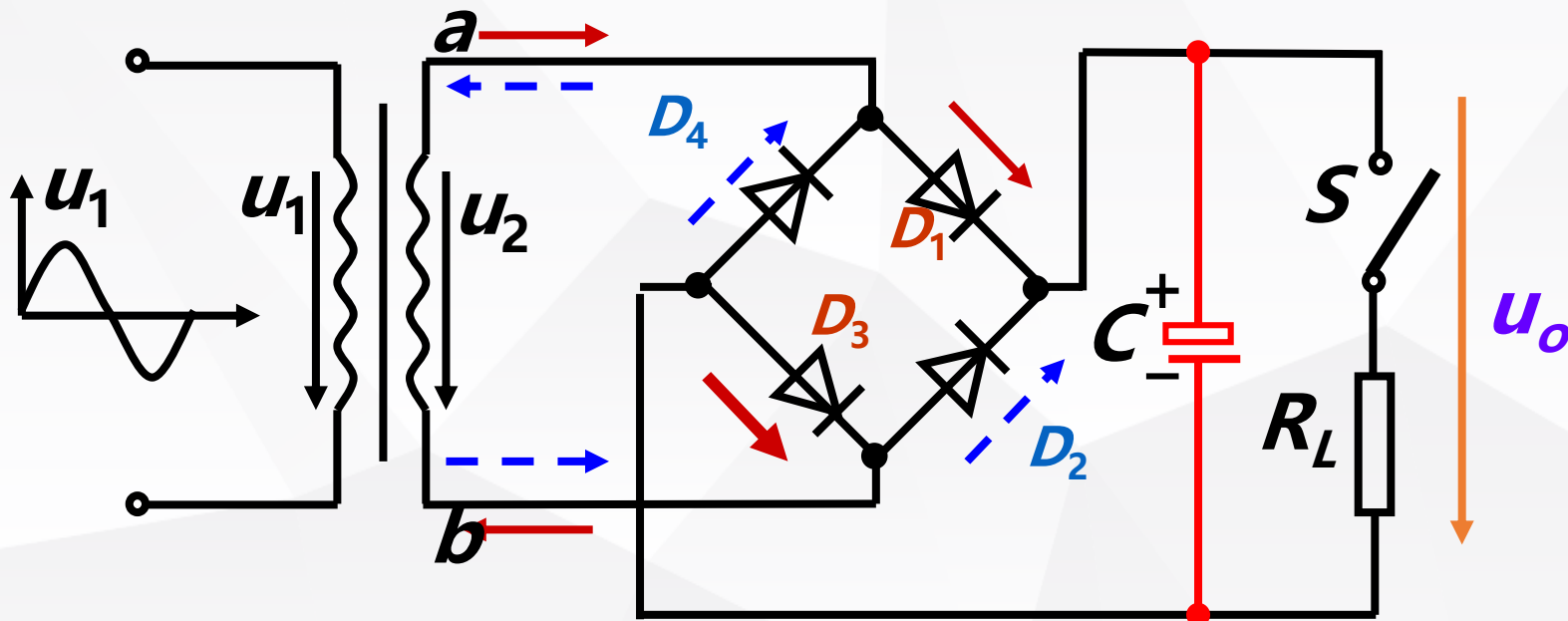


(b)理想情况下的波形

(c)考虑整流电路内阻时的波形

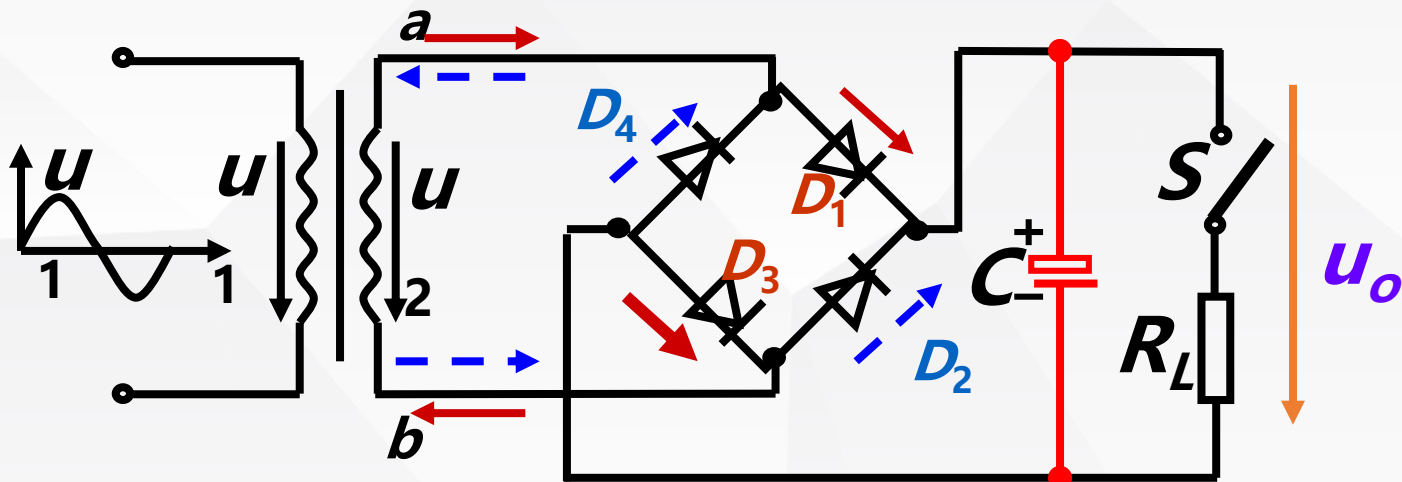
### 1. 滤波原理 (电容器的充、放电)

以单向桥式整流电容滤波为例进行分析，其电路如图所示。

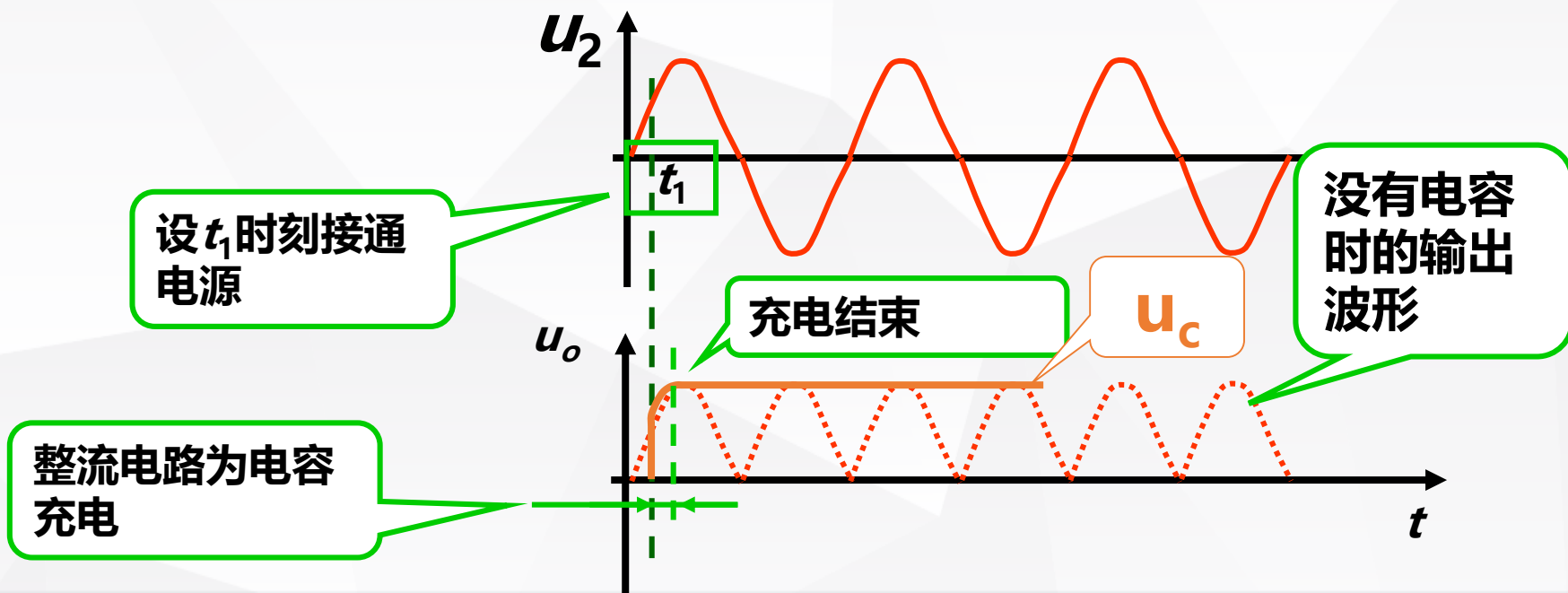


桥式整流电容滤波电路

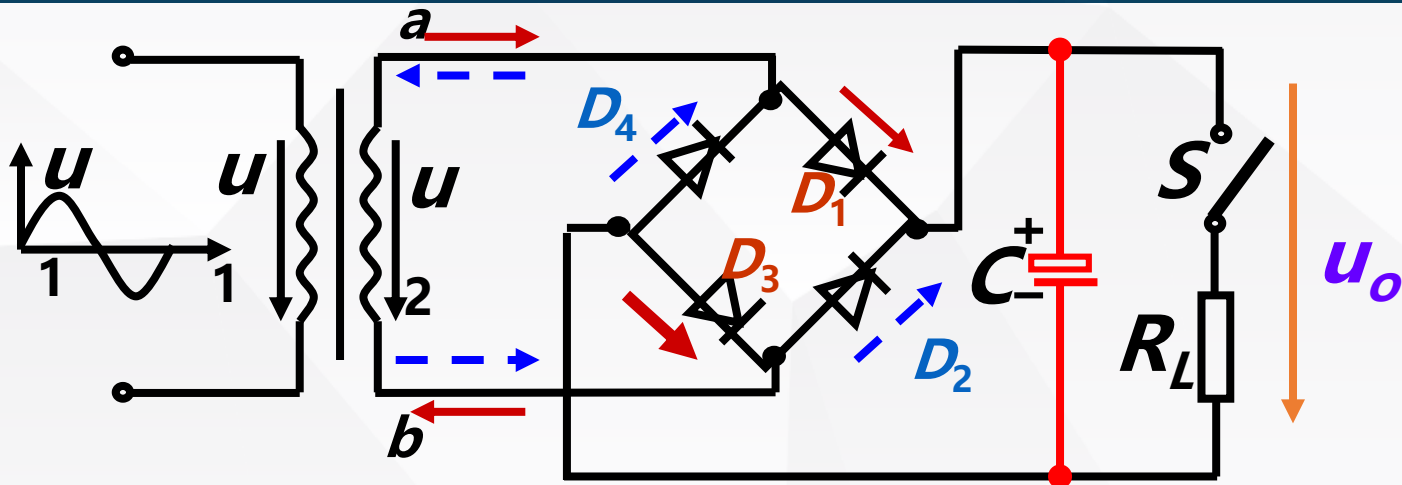
## 08 直流电源



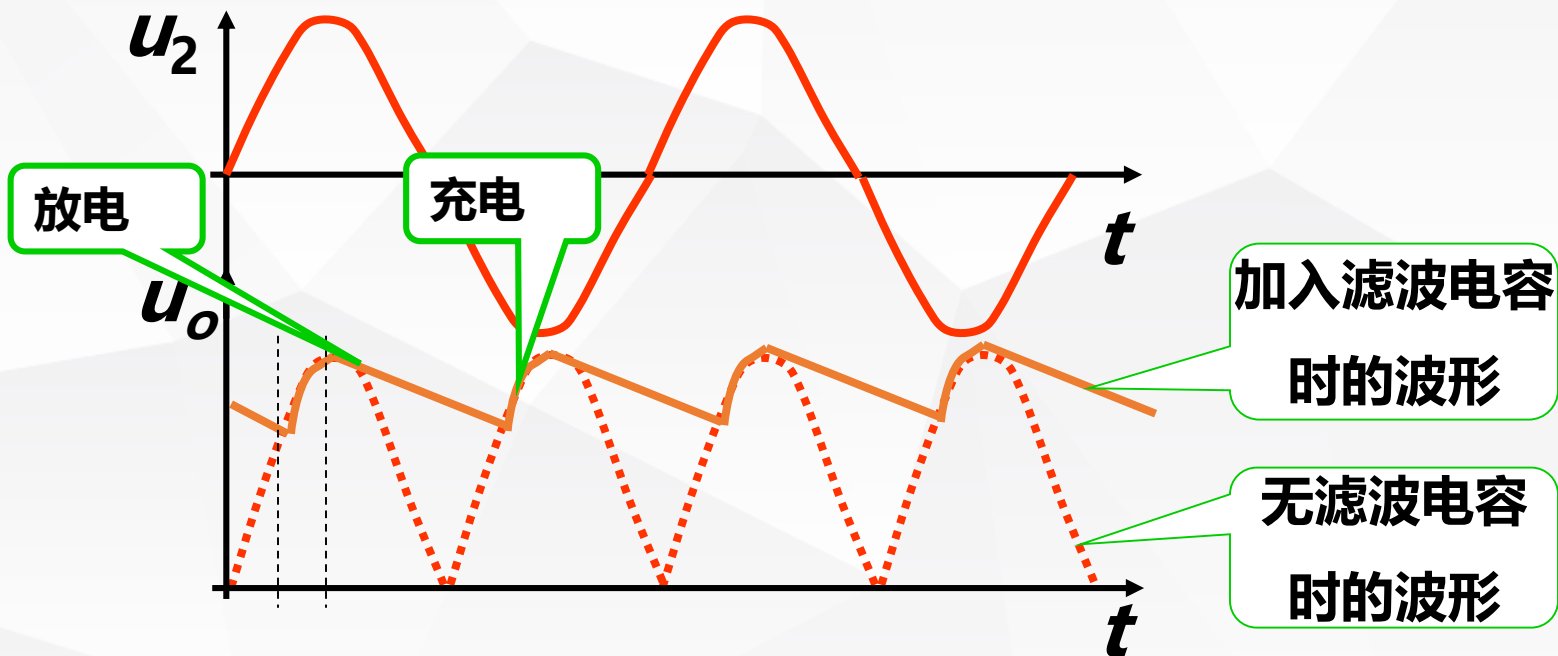
$R_L$ 未接入时(忽略整流电路内阻)



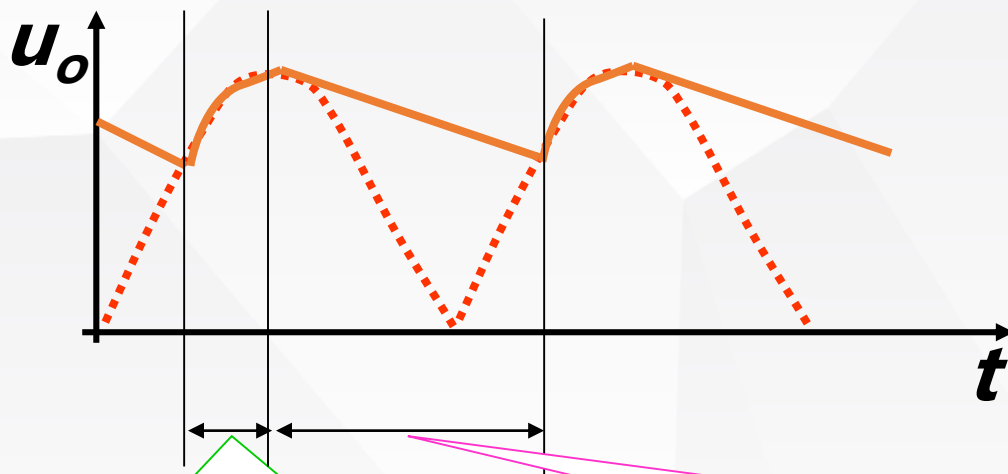
## 08 直流电源



$R_L$ 接入 (且 $R_L C$ 较大) 时 (忽略整流电路内阻)



## 08 直流电源



$u_2$  上升,  $u_2$  大于电容上的电压  $u_c$ ,  $u_2$  对电容充电,  
 $u_o = u_c \approx u_2$   
时间常数  $\tau = (R_L // R_{int}) C$

$u_2$  下降,  $u_2$  小于电容上的电压。  
二极管承受反向电压而截止。  
电容  $C$  通过  $R_L$  放电,  $u_c$  按指数规律下降, 时间常数  $\tau = R_L C$

放电时间常数  $\tau$  远远大于充电时间常数  $\tau$ ,  
滤波效果取决于放电  $\tau$ , 其值愈大, 滤波效果愈好。

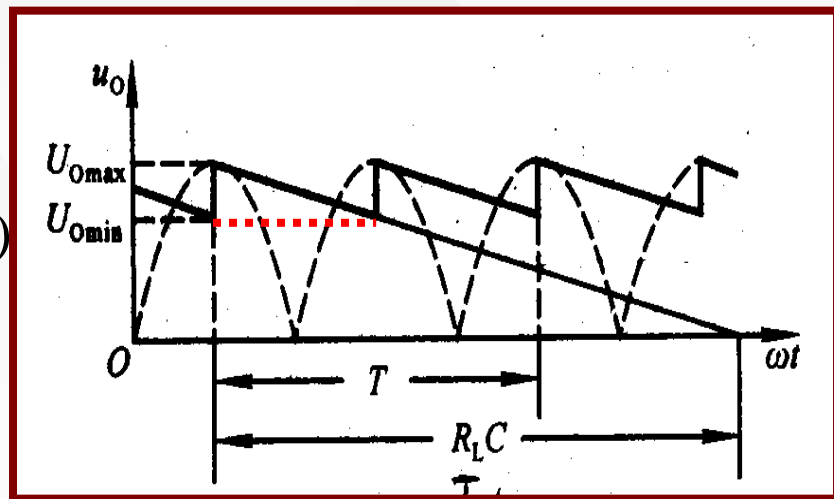


### 二、输出电压平均值

$$U_{O(AV)} = \frac{U_{Omax} + U_{Omin}}{2} = \sqrt{2}U_2 \left(1 - \frac{T}{4R_L C}\right)$$

当负载开路时

$$U_{O(AV)} = \sqrt{2}U_2$$



当  $R_L C = (3 \sim 5)T/2$  时  $U_{O(AV)} \approx 1.2U_2$

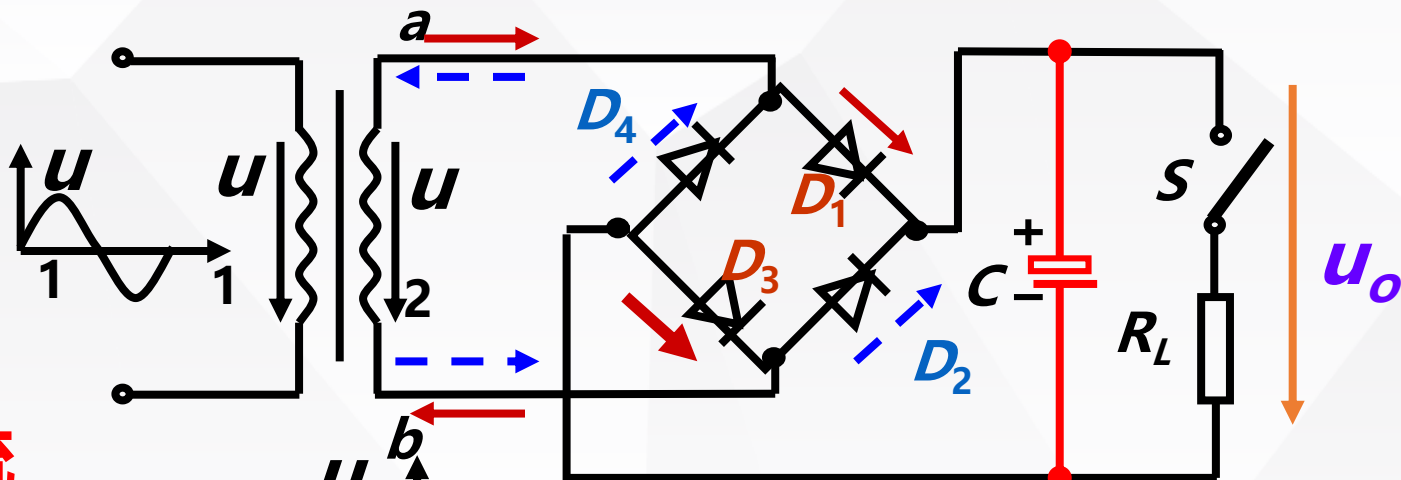
考虑电网电压波动，电容的耐压值应大于  $1.1\sqrt{2}U_2$

### 三、脉动系数 $S$

约为 10% ~ 20%

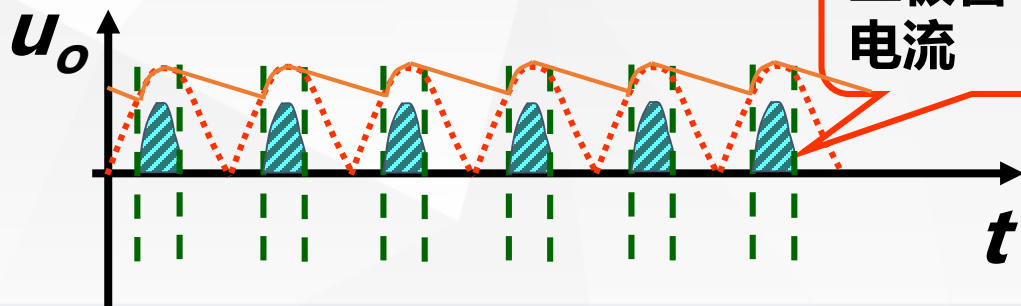
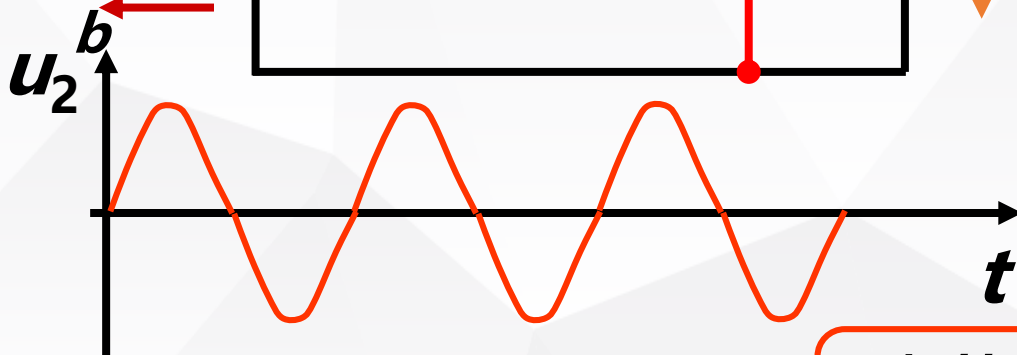
$$S = \frac{U_{O1m}}{U_{O(AV)}} = \frac{1}{\frac{4R_L C}{T} - 1}$$

### 4. 整流二极管的导通角



#### 充电电流

只有整流电路输出电压大于  $u_c$  时，才有充电电流。因此二极管中的电流是脉冲波。



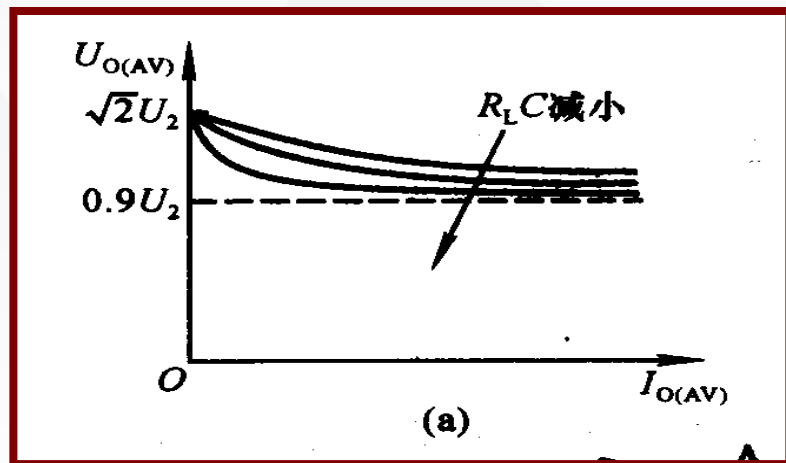
二极管中的  
电流

二极管的导通角  $\theta < \pi$

### 5. 电容滤波电路的输出特性和滤波特性

#### 1. 输出特性

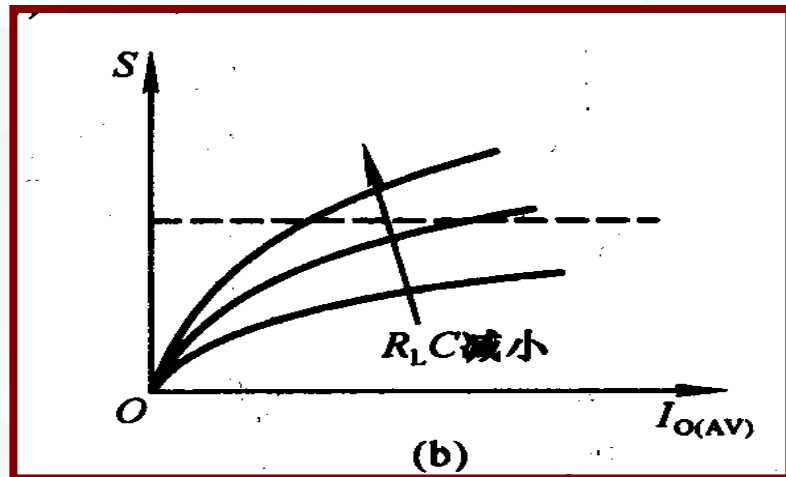
当滤波电容选定后，输出电压平均值  $U_{O(AV)}$  和输出电流平均值  $I_{O(AV)}$  的关系。



电容滤波电路的输出特性

#### 2. 滤波特性

脉动系数  $S$  和输出电流平均值  $I_{O(AV)}$  的关系。



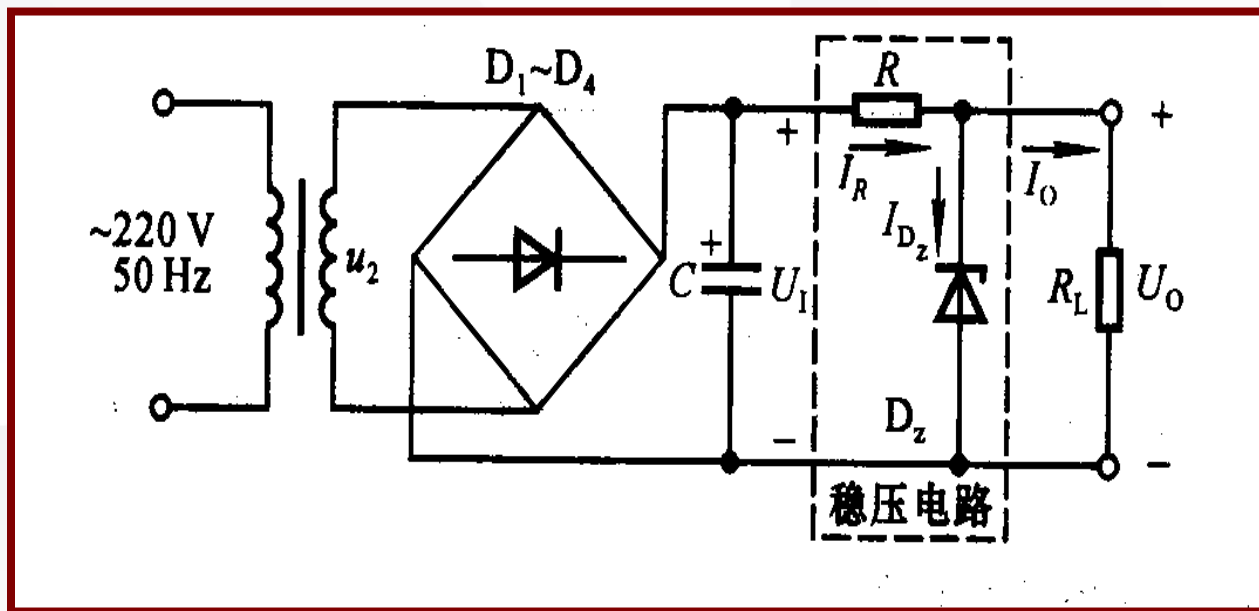
电容滤波电路滤波的特性

### 8.4 稳压二极管稳压电路

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。

#### 一、稳压管稳压电路的组成



稳压二极管组成的稳压电路

## 08 直流电源

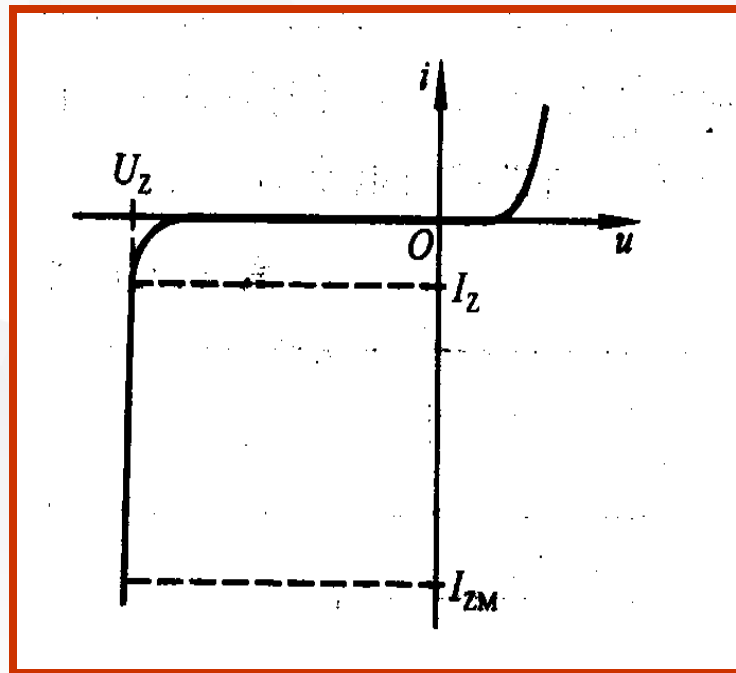
### 两个基本公式

$$\begin{cases} U_I = U_R + U_O \\ I_R = I_{DZ} + I_L \end{cases}$$

### 稳压管的伏安特性

在稳压管稳压电路中，只要使稳压管始终工作在稳压区，保证稳压管的电流： $I_Z \leq I_{DZ} \leq I_{ZM}$

输出电压 $U_O$ 就基本稳定。



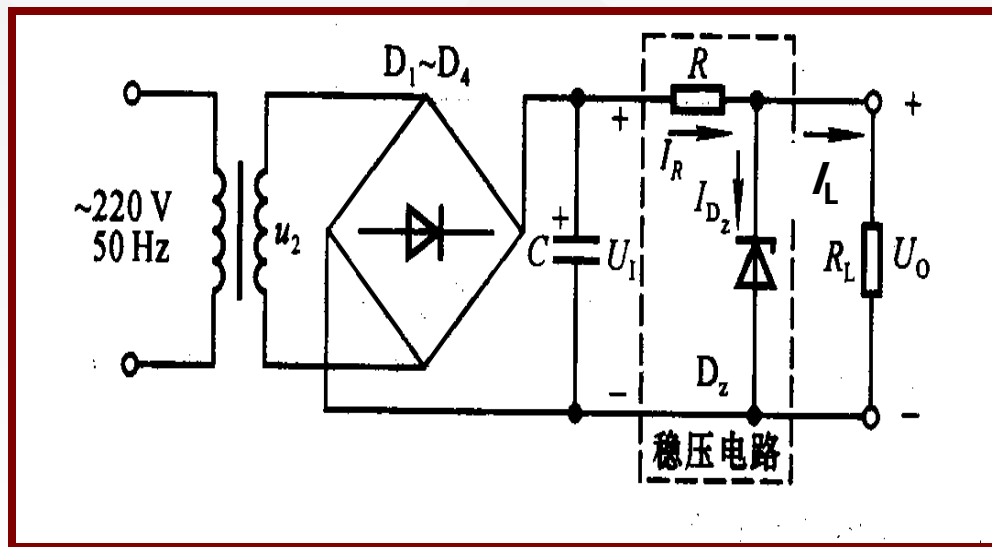
稳压管的伏安特性

### 二、稳压原理

稳压电路应从以下两个方面考察其稳压特性

- 电网电压波动;
- 负载变化。

1.  $U_1$  不变,  $R_L$  减小



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

综上所述, 在稳压二极管所组成的稳压电路中, 利用稳压管所起的电流调节作用, 通过限流电阻R上电压或电流的变化进行补偿, 来达到稳压的目的。

$$U_1 \uparrow \rightarrow U_O \uparrow \rightarrow I_Z \uparrow \uparrow \rightarrow U_R \uparrow \xrightarrow{U_O = U_1 - U_R} U_O \text{ 基本不变}$$

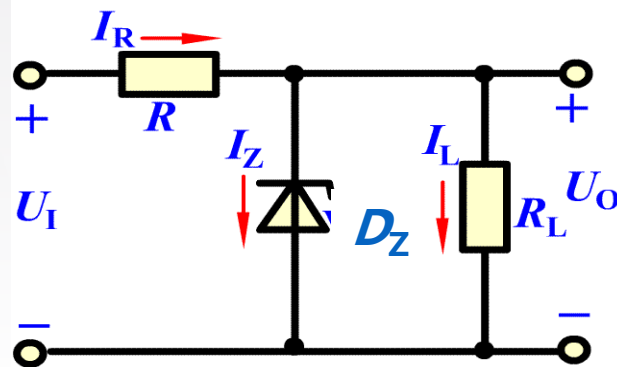
### 8.5 串联型稳压电路

稳压二极管稳压电路输出电流较小，输出电压不可调。

串联型稳压电路以稳压管稳压电路为基础，利用晶体管的电流放大作用，增大负载电流；在电路中引入电压负反馈使输出电压稳定；可通过改变反馈网络的参数使输出电压可调。

#### 一、串联型稳压电路的工作原理

##### 1. 基本调整管电路



(a) 稳压管稳压电路

## 08 直流电源

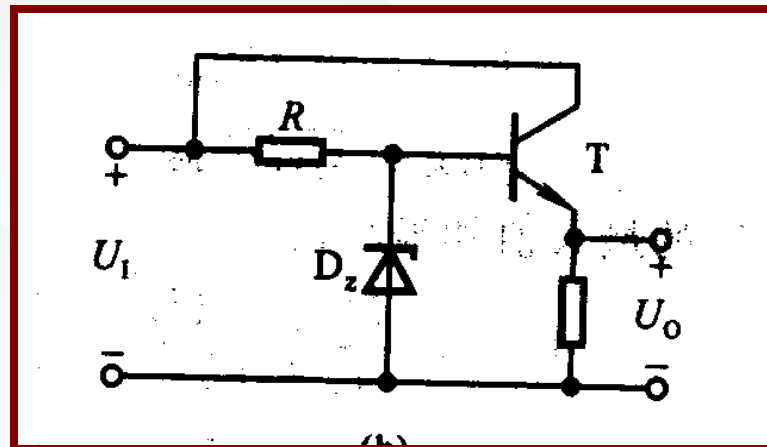
### 基本调整管电路

在  $U_i$  变化或负载电阻  $R_L$  变化时，输出电压基本不变。

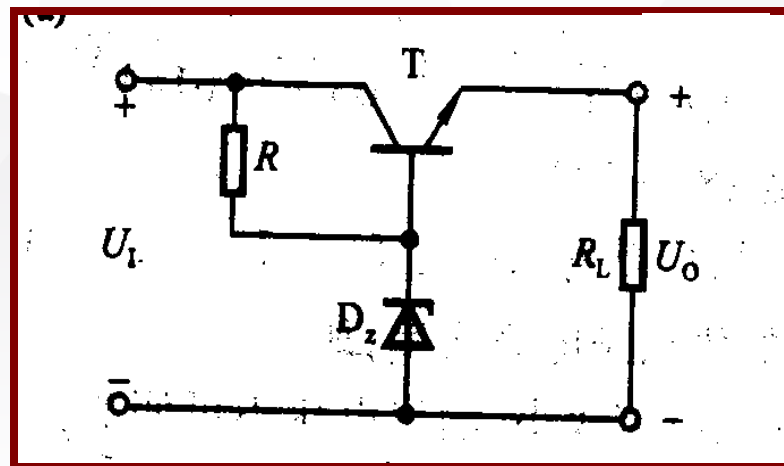
稳压原理：晶体管的调节作用， $T$  应工作在放大状态。

调整管与负载串联  
串联型稳压电源电路

调整管工作在线性区  
线性稳压电源电路



加晶体管扩大负载电流的变化范围稳压电路



常见画法的稳压电路

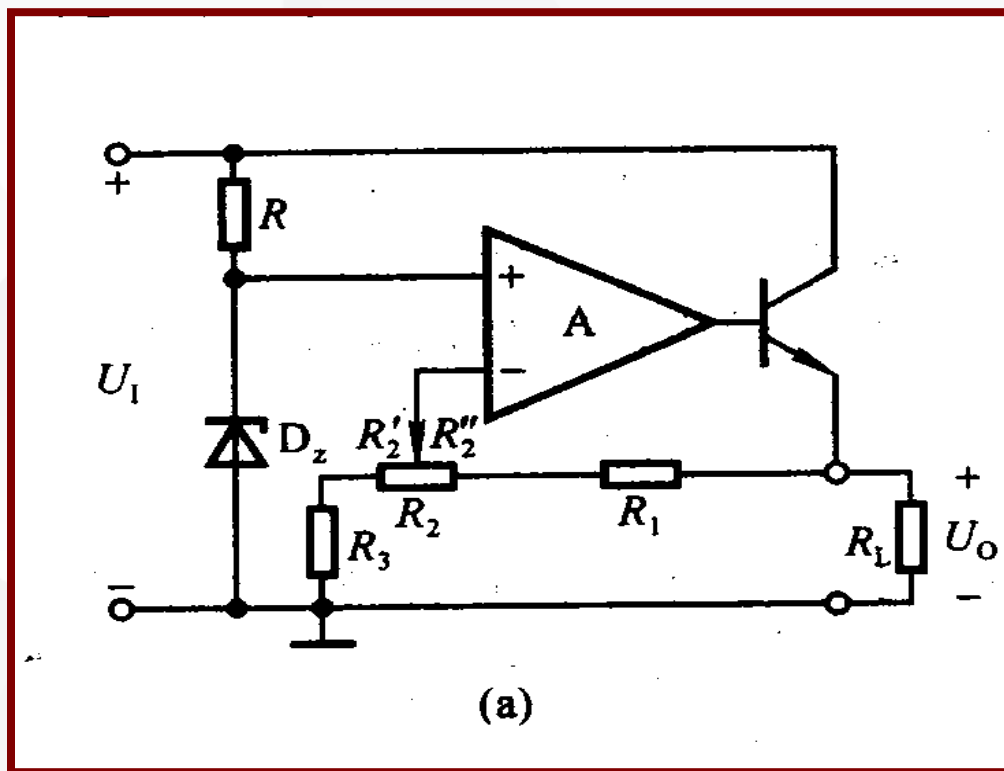


### 2. 具有放大环节的串联型稳压电路

基本调整管稳压电路输出电压仍不可调节，且输出电压将因  $U_{BE}$  的变化而变化，稳定性较差。

#### 1) 电路的构成

(a) 原理电路图



具有放大环节的串联型稳压电路

## 电路组成

(b) 常见画法

调整管：VT；

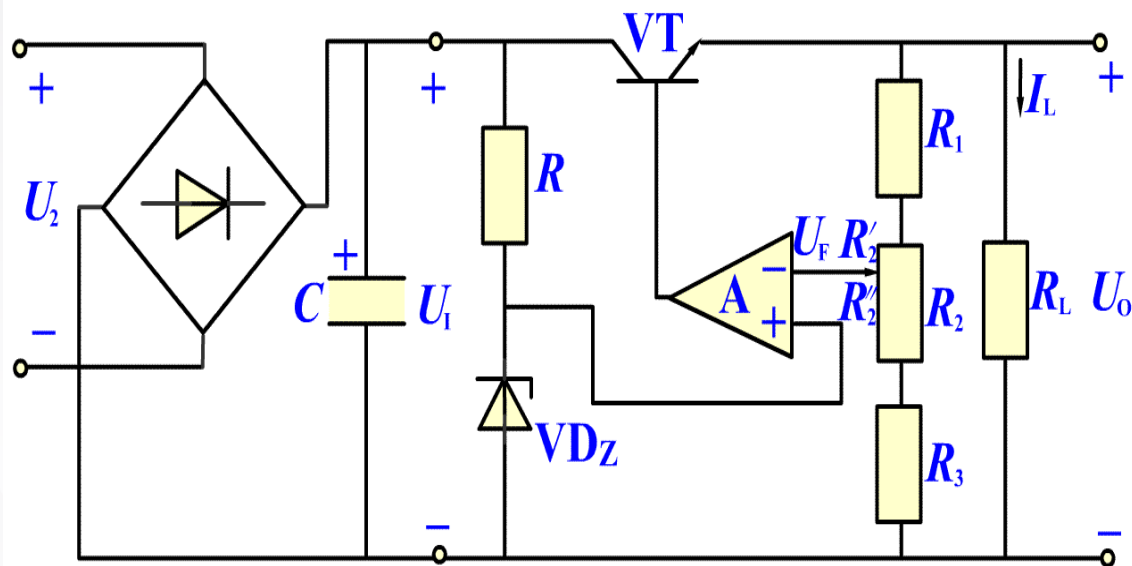
比较放大电路：A；

采样电路： $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ ；

基准电压电路：由R、 $VD_Z$ 提供。

## 2) 稳压原理

$$\begin{array}{ccccccc}
 U_i \uparrow & \rightarrow & U_o \uparrow & \rightarrow & U_F \uparrow & \rightarrow & U_{Id} \downarrow \rightarrow U_{BE} \downarrow \rightarrow I_C \downarrow \\
 & & U_o \downarrow & & & & U_{CE} \uparrow
 \end{array}$$



具有放大环节的串联型稳压电路

### 3) 输出电压的可调范围

由于  $U_+ = U_-$ ,  $U_F = U_Z$ ,  
所以

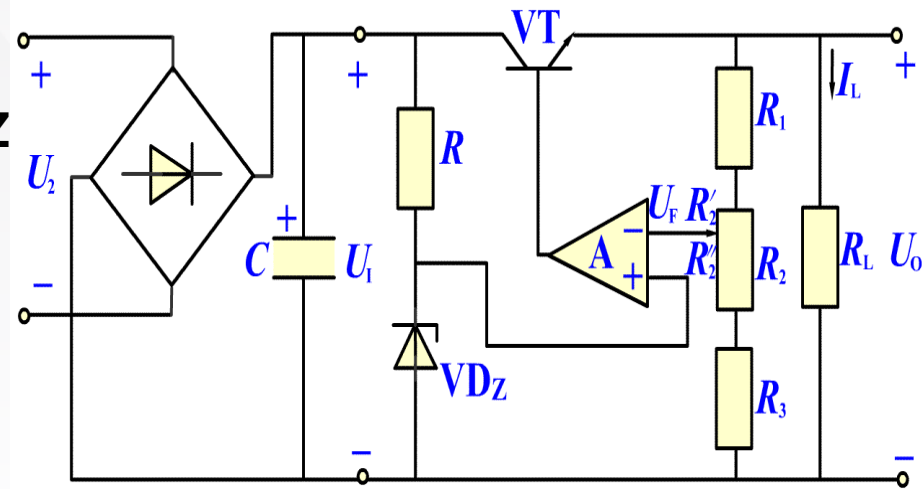
$$U_Z = U_F = \frac{R_2'' + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U_O$$

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

当  $R_2$  的滑动端调至最上端时,

$U_O$  为最小值

当  $R_2$  的滑动端调至最下端时,  
 $U_O$  为最大值,



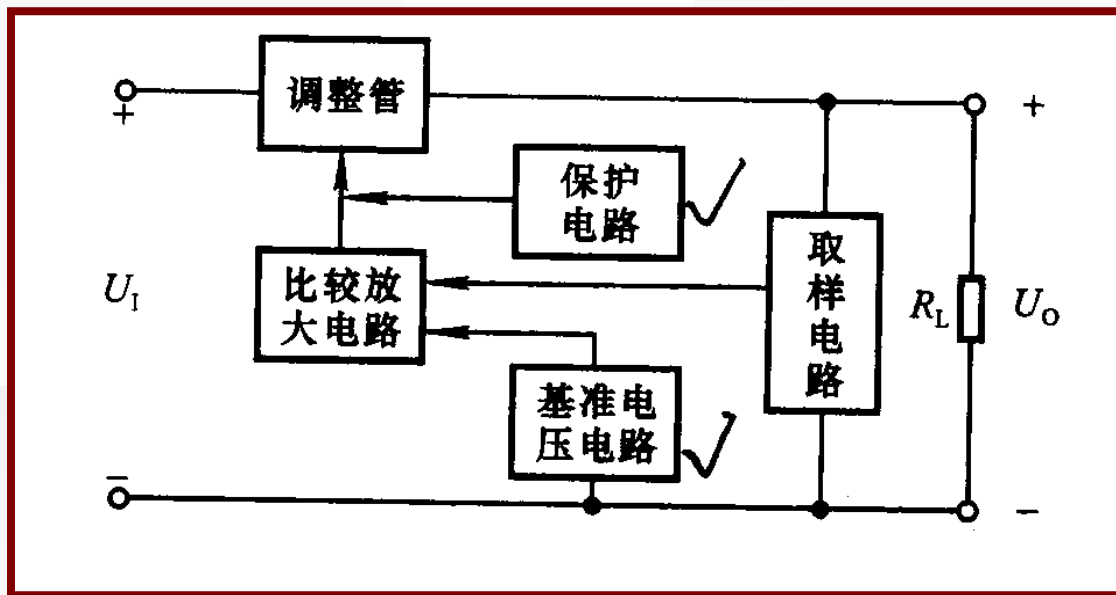
串联型直流稳压电路

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

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

### 3. 串联型稳压电路的方框图

实用的串联型稳压电路至少包括调整管、基准电压电路、取样电路、比较放大电路四个部分组成。此外为使电路安全工作，还常在电路中加入保护电路。



串联型稳压电路的方框图

### 二、集成稳压器电路

从外形上看，集成串联型稳压电路有三个引脚，分别为输入端、输出端和公共端，因而称为三端稳压器。

固定式稳压电路：W78XX、W79XX。

可调式稳压电路：W117、W217、W317。

### 1. W78XX三端稳压器——**稳定正电压**

输出电压有七个等级：5V、6V、9V、12V、15V、18V和24V。

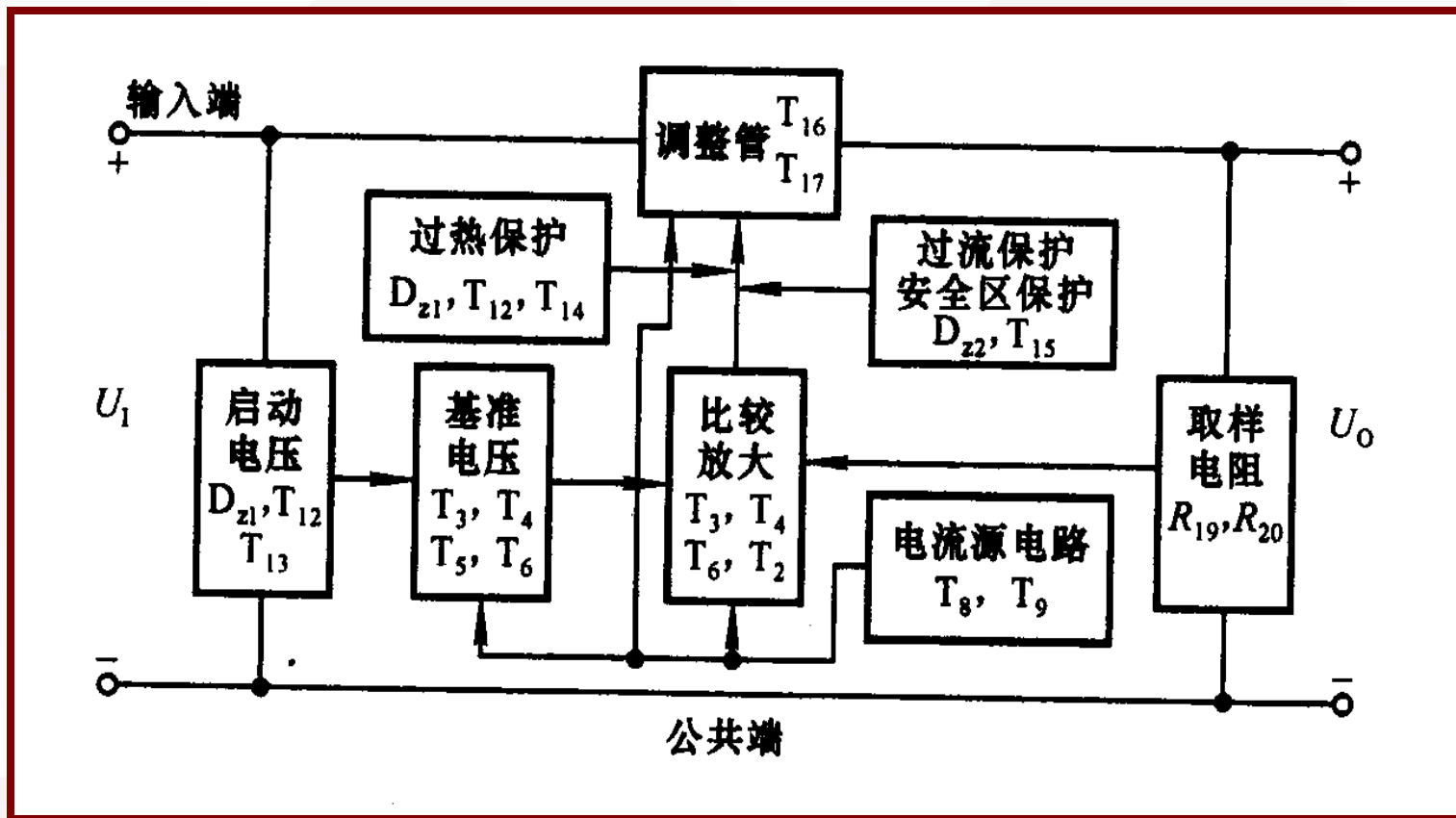
如W7805，输出+5V；W7809，输出+9V

输出电流有三个等级：1.5A、0.5A (M) 和0.1A (L)。

如W7805，输出+5V；最大输出电流为1.5A；  
W78M05，输出+5V；最大输出电流为0.5A；  
W78L05，输出+5V；最大输出电流为0.1A。

**W79XX系列 —— 稳定负电压**

### 1) 三端集成稳压器的组成



W7800的原理框图

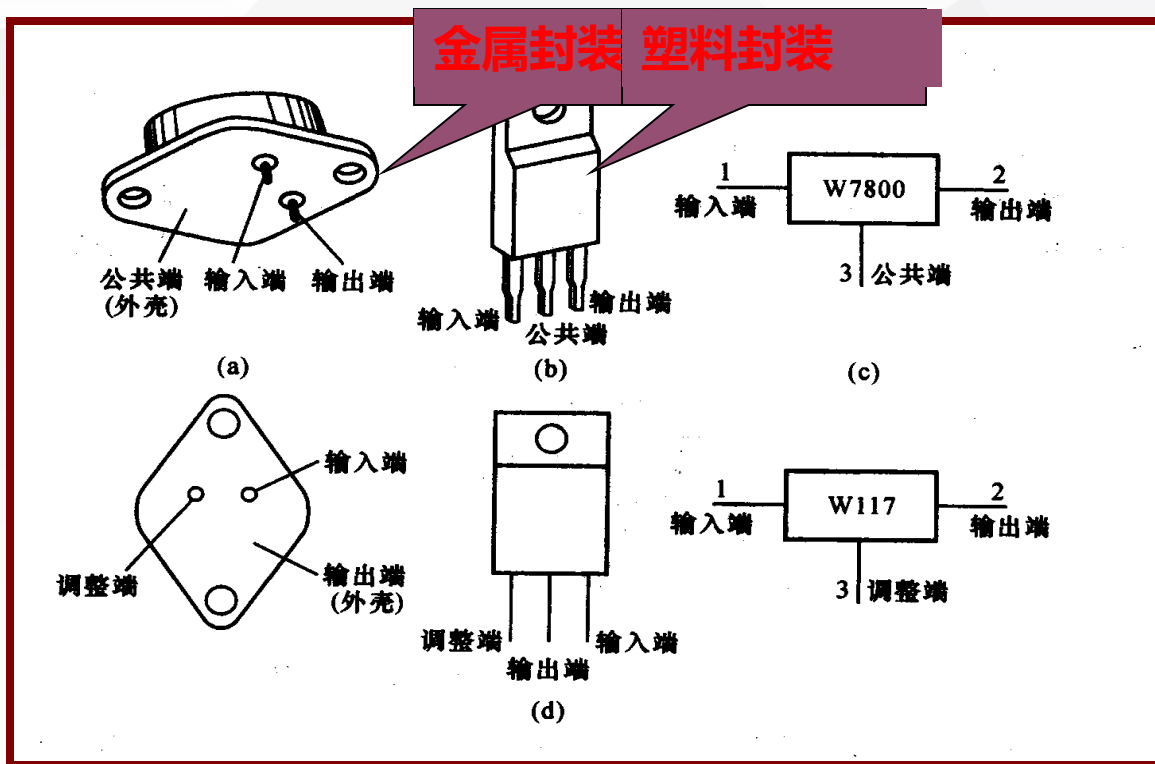
## 2) 主要参数

参数名称	符号 单位	参 数 值 型号	7805	7806	7809	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	9	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/°C	1.0	1.0		1.2	1.5	1.8	2.4

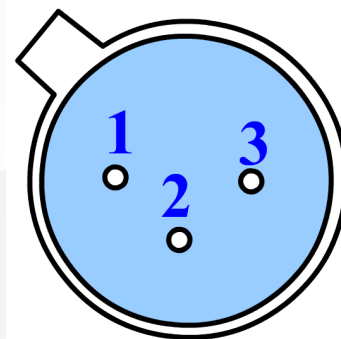
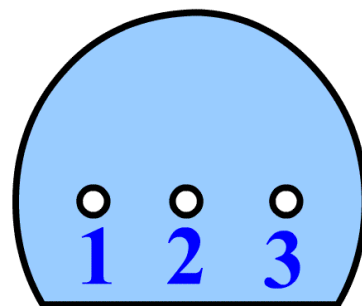
输入端和输出端之间的电压允许值为3~13V。



## 2.三端稳压器的外形及电路方框图

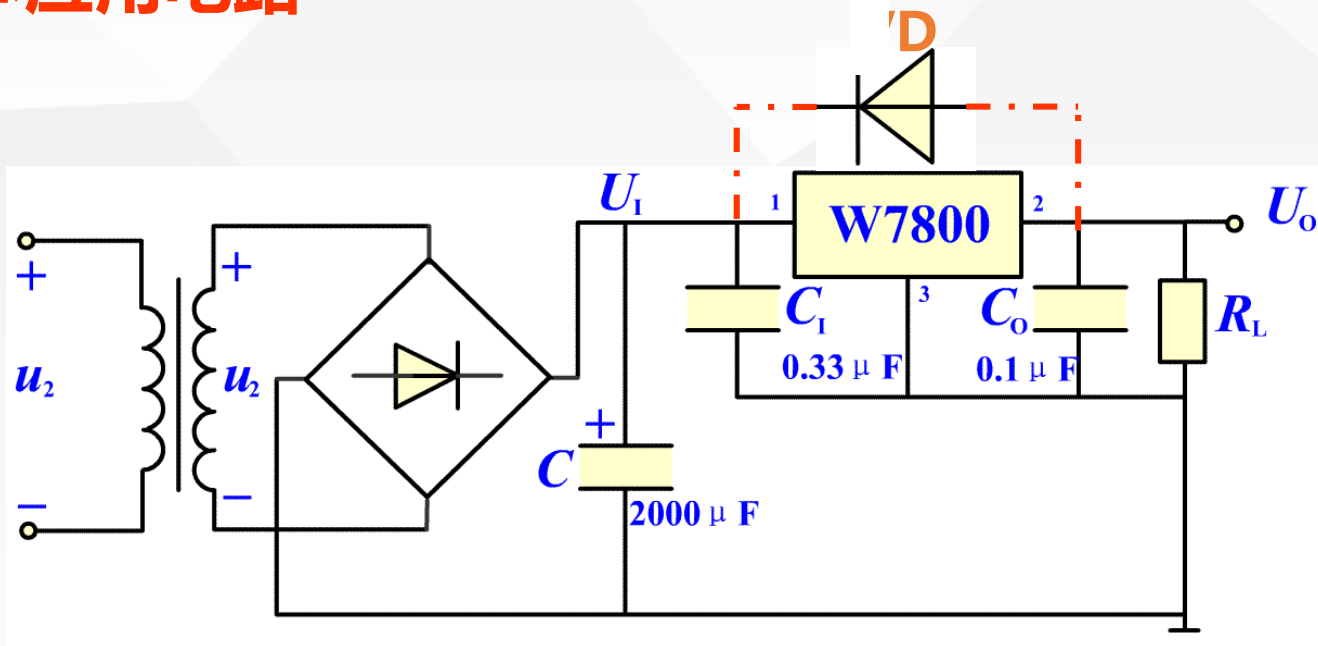


三端稳压器的外形和方框图



不同封装形式、正负电源管脚号不同。图(c)(d)为金属封装式。

### 3.基本应用电路



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  $D$ ，以保护集成稳压器内部的调整管。