

第 6 章 直流稳压电源

6.1 单相桥式整流电路

6.2 电容滤波电路

6.3 稳压电路

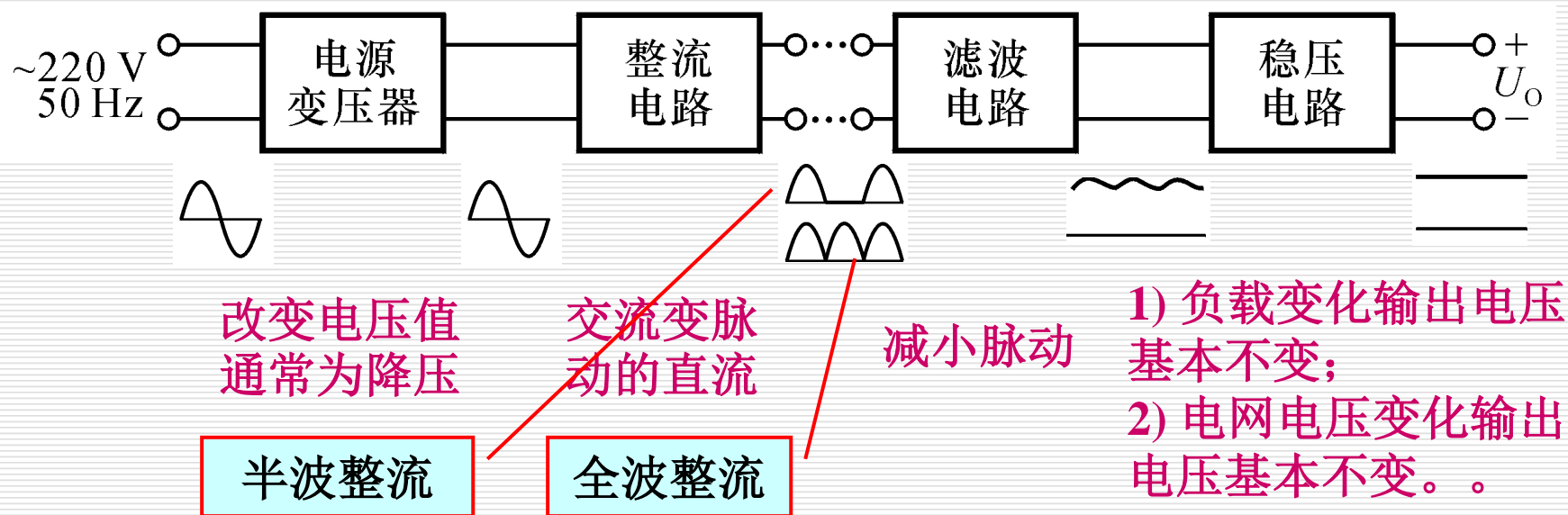
学习的必要性

- ❑ 电子电路都需要电压稳定的直流电源供电，
5V 6V 9V 12V 15V 18V 24V等。
- ❑ 在日常生活、生产中也要用到直流稳压电源。

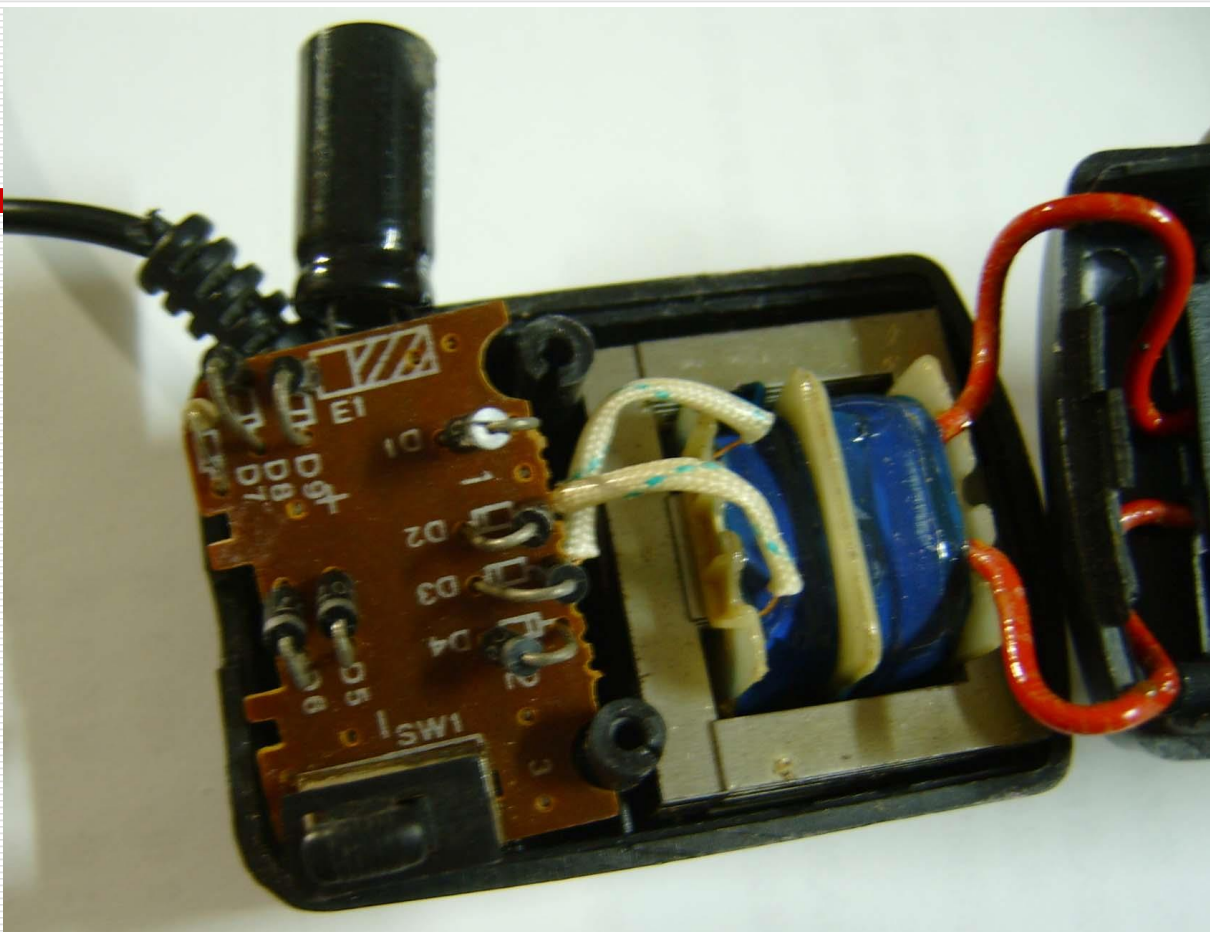
虽然在有些情况下（如便携设备）可用化学电池、太阳能电池作为直流电源，但大多数情况是利用电网提供的交流电源经过转换而得到直流电源的。

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。

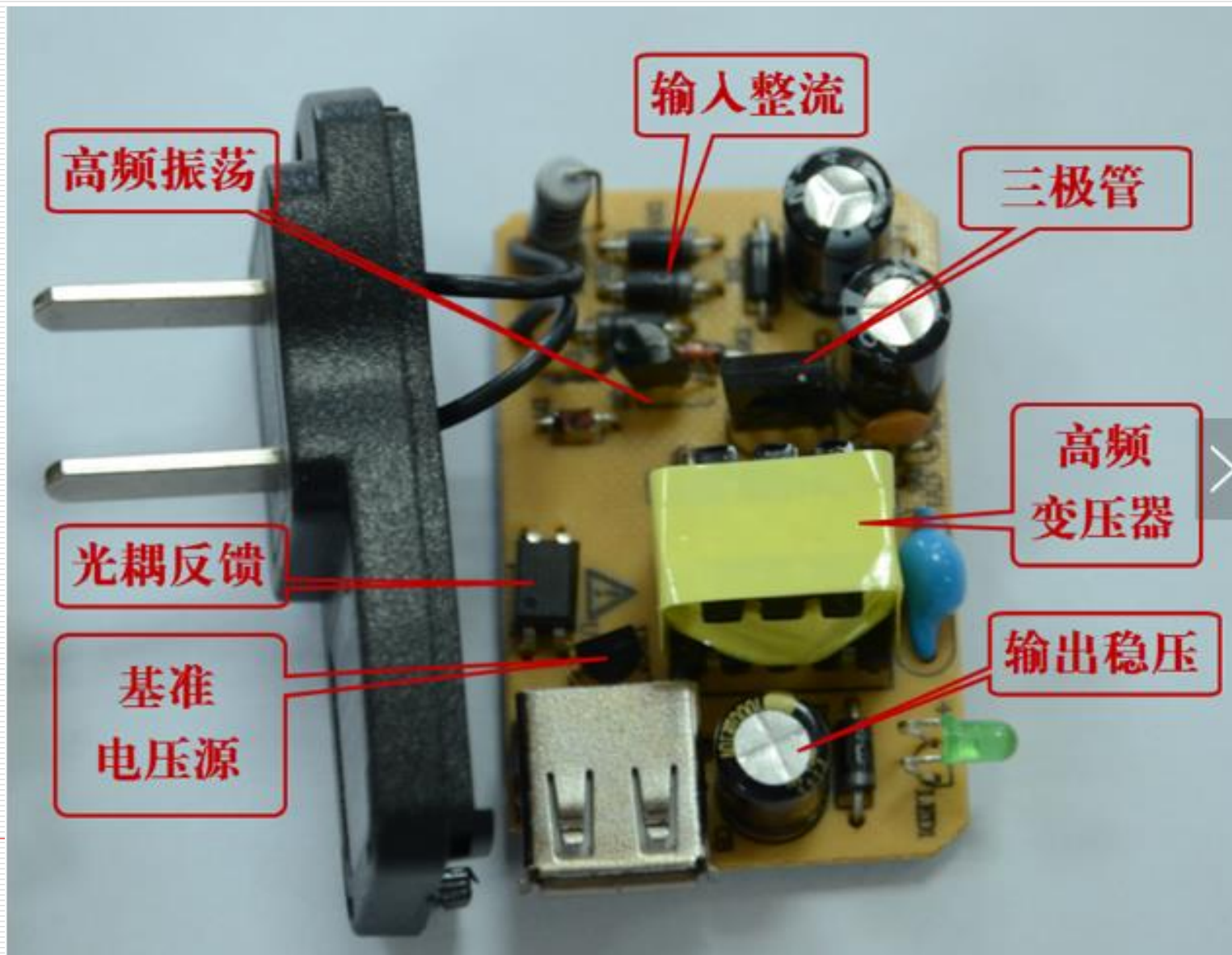


在分析电源电路时要特别考虑的两个问题：允许电网电压波动 $\pm 10\%$ ，且负载有一定的变化范围。



传统变压器由于市电50Hz的固定频率，为了传递更大的功率，只能来改变匝数，所以功率越大，变压器个头越大。而开关电源通过提高变压器上交流电的频率可以使得变压器在满足功率要求的情况下保持较小的体积

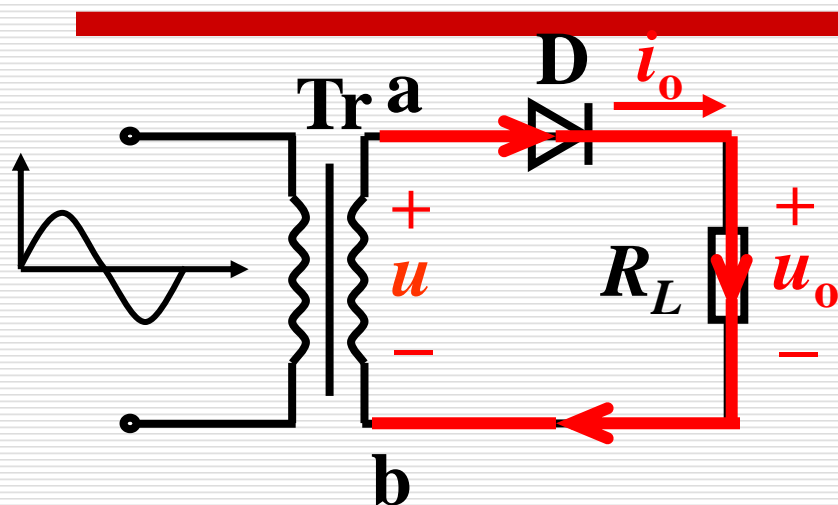
手机充电器（开关电源）



6.1 单相桥式整流电路

6.1.1 单相半波整流电路

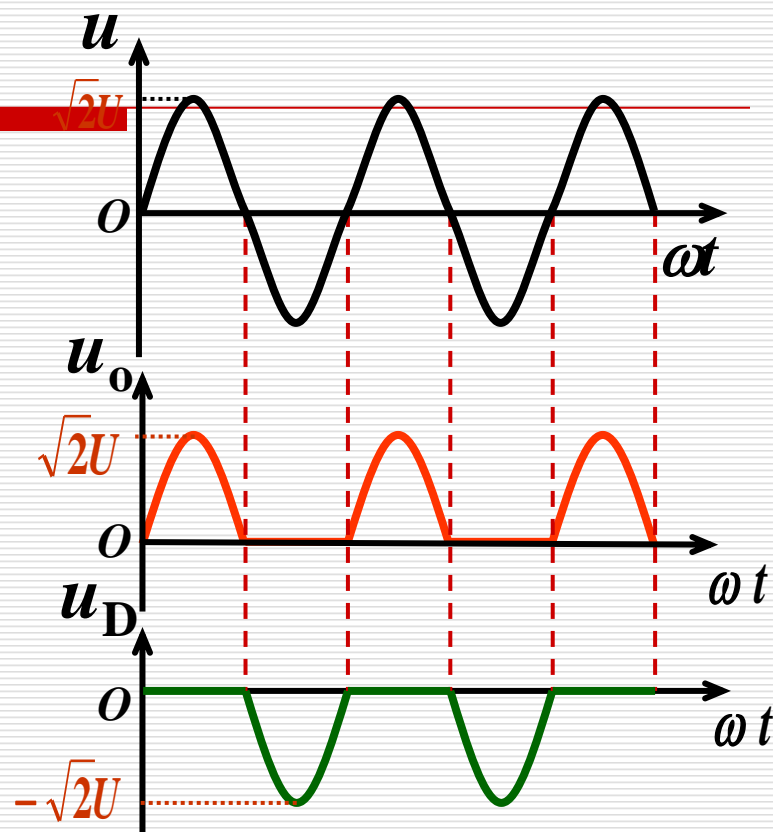
1. 电路结构



2. 工作原理

缺点：输出波形脉动大；
直流成分小；变压器利用率
低。

3. 工作波形



主要参数计算:

输出直流电压: $U_{O(AV)} = \frac{1}{T} \int_0^T u_o dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t)$

$$= \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0.45 U_2$$

二极管上承受的
最高电压:

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

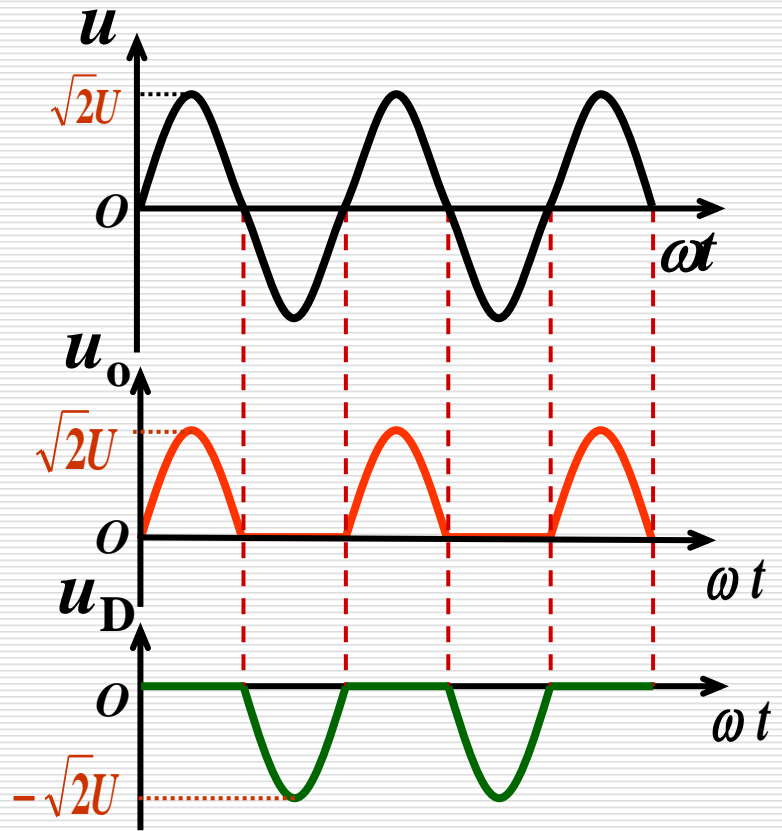
二极管上的平均电流:

$$I_D = I_O$$

如何选择二极管?

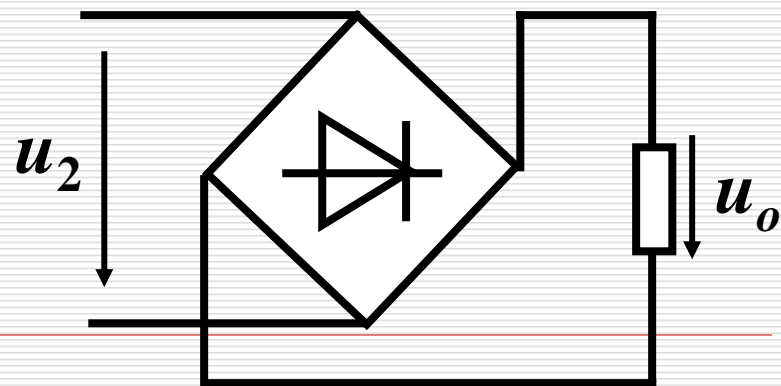
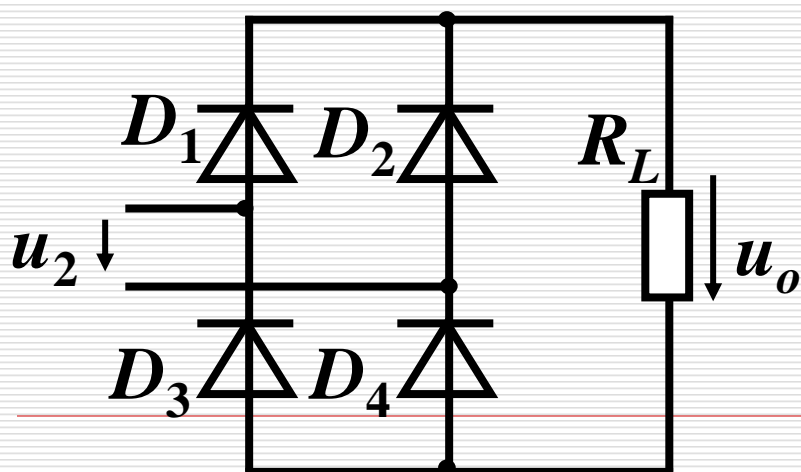
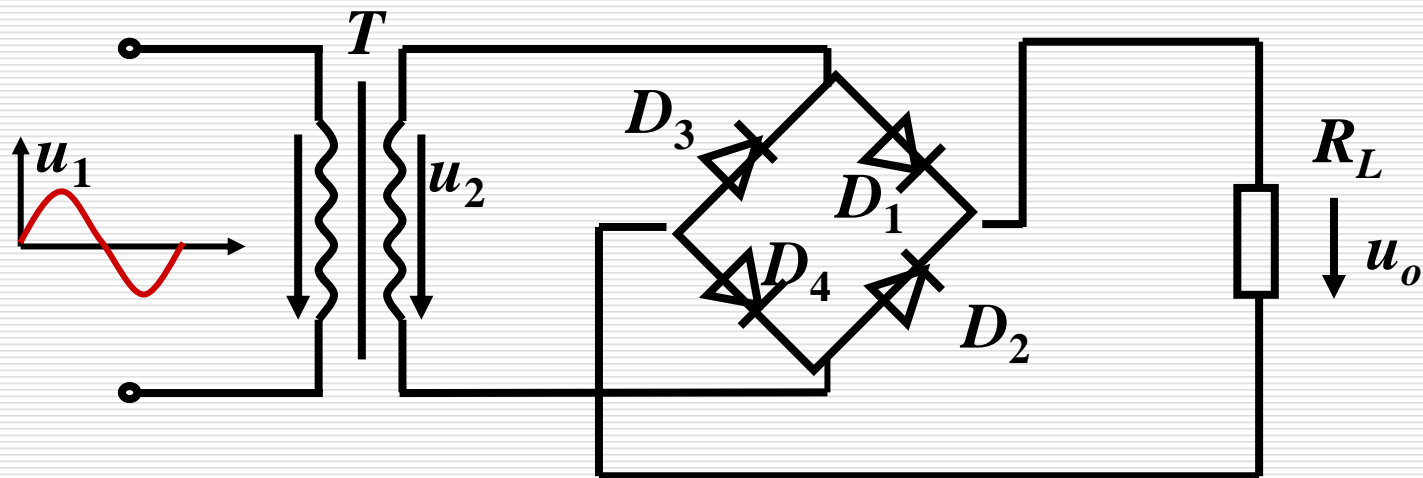
$$I_F \geq I_D$$

$$U_{BR} \geq U_{RM}$$

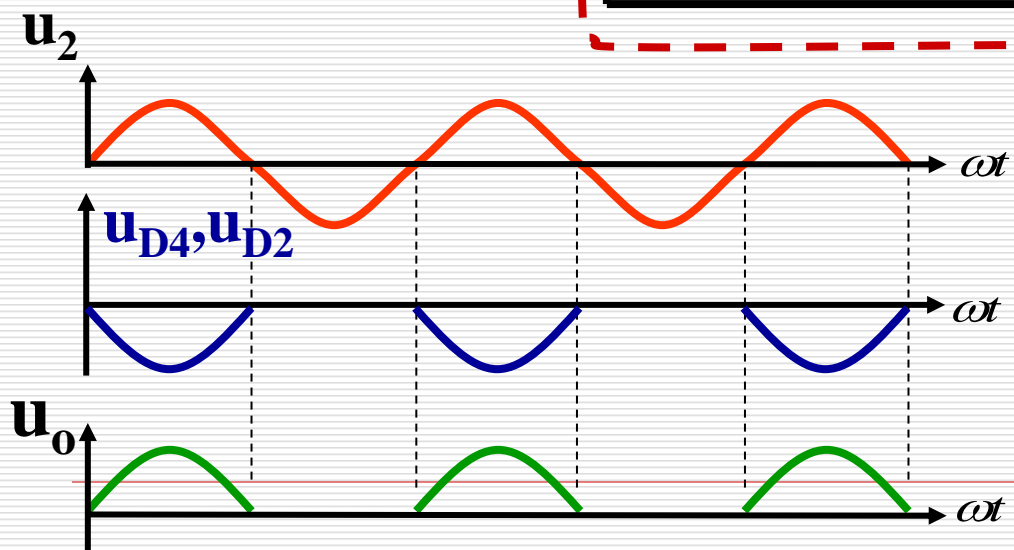
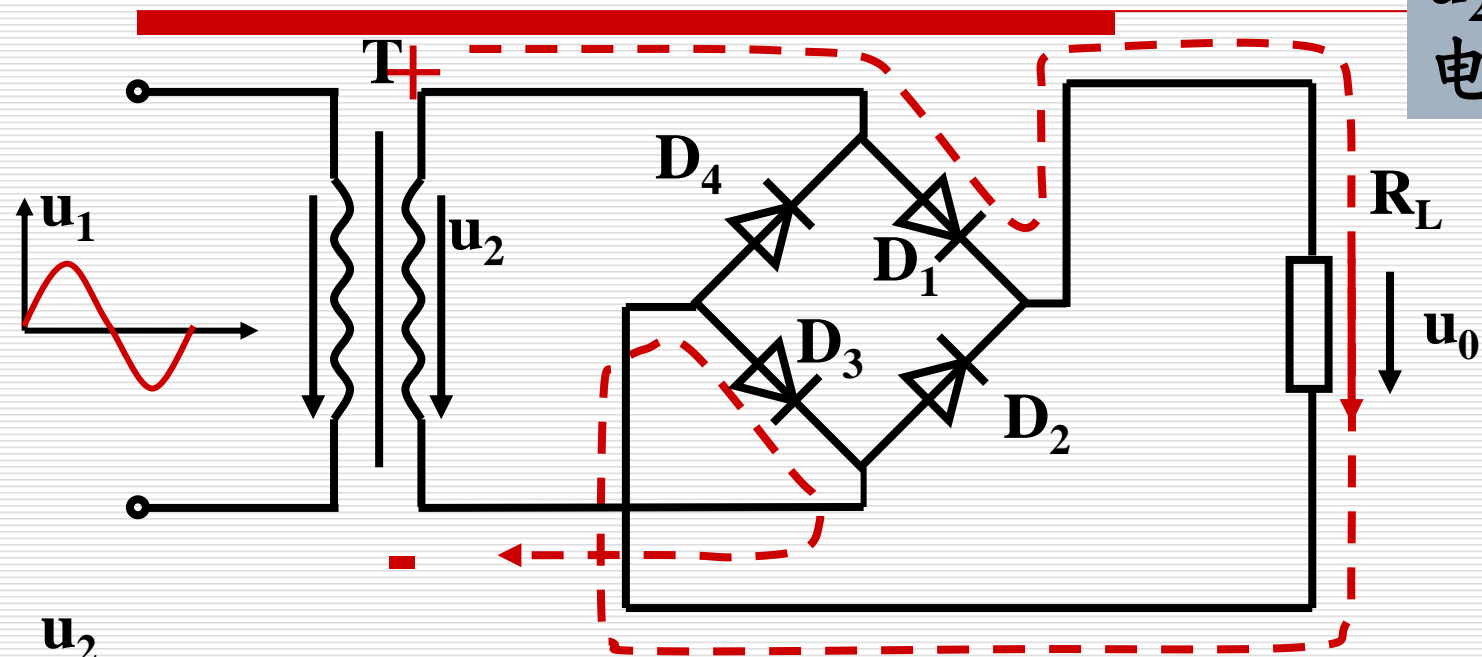


6.1.2 单相桥式整流电路

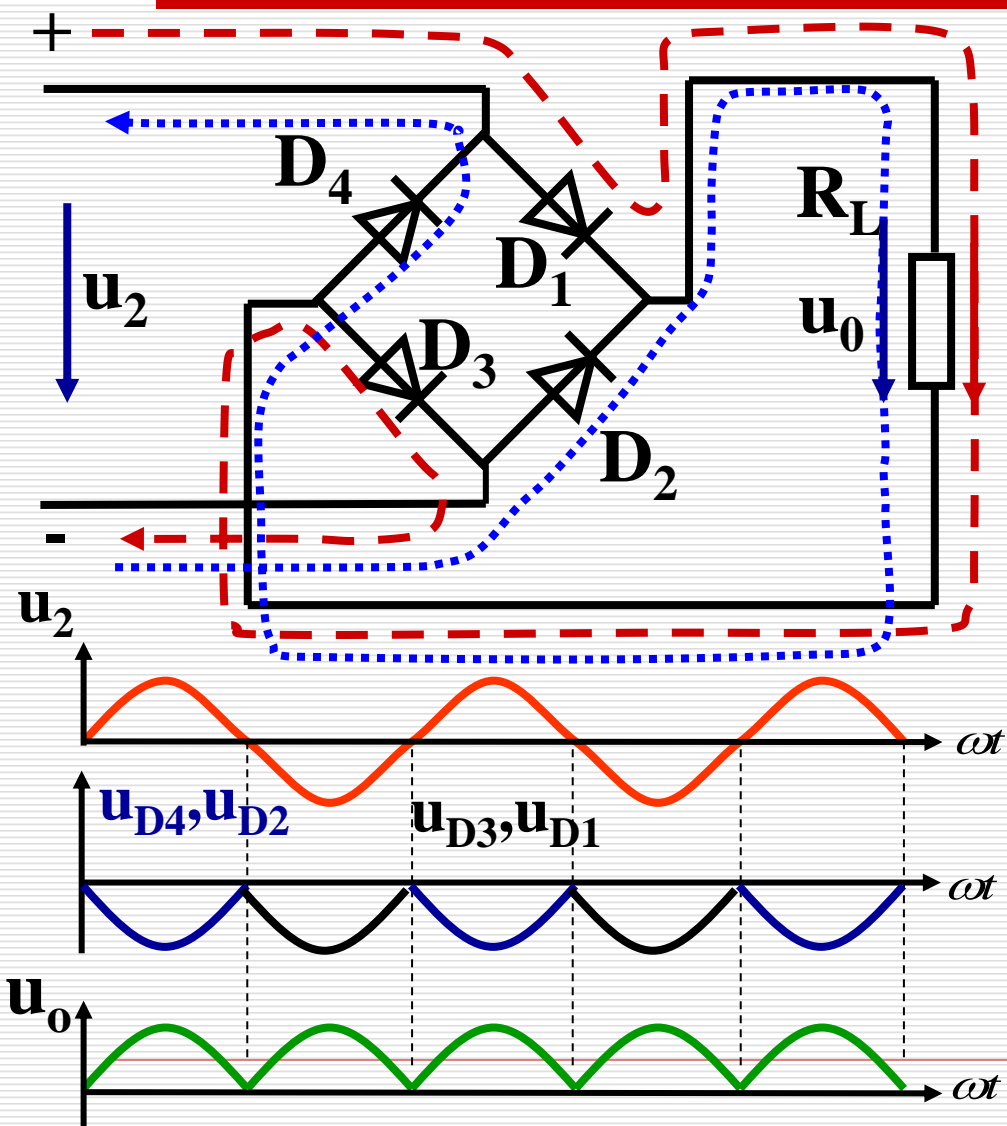
组成：由四个二极管组成桥路



u_2 正半周时
电流通路



桥式整流电路输出波形及二极管上电压波形



$u_2 > 0$ 时	$u_2 < 0$ 时
D_1, D_3 导通 D_2, D_4 截止 电流通路: 由+经 $D_1 \rightarrow R_L \rightarrow D_3 \rightarrow -$	D_2, D_4 导通 D_1, D_3 截止 电流通路: 由-经 $D_2 \rightarrow R_L \rightarrow D_4 \rightarrow +$
输出是脉动的直流电压！	

在桥式整流电路中，
输出直流电压：

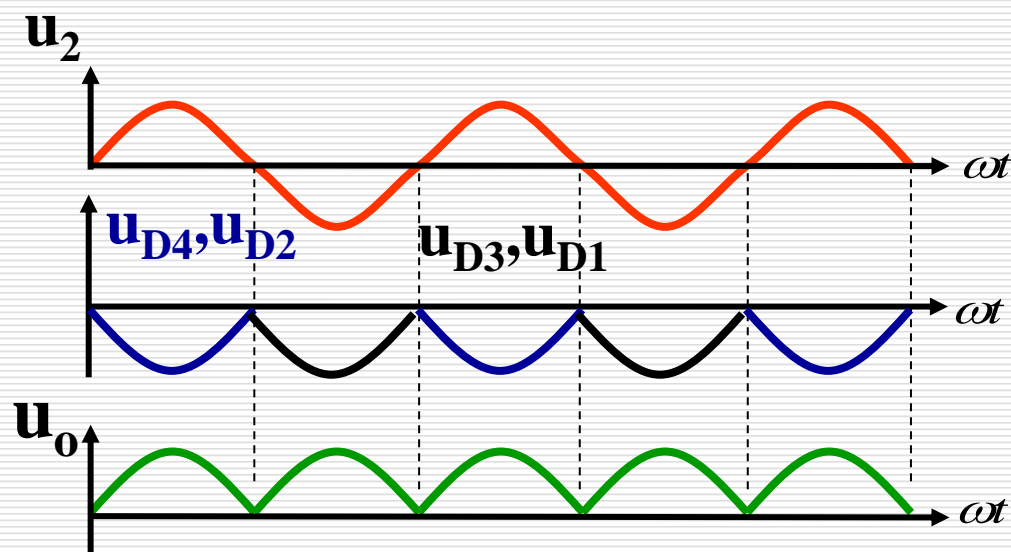
$$U_{O(AV)} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t) \\ = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0.9U_2$$

二极管正向平均电流：

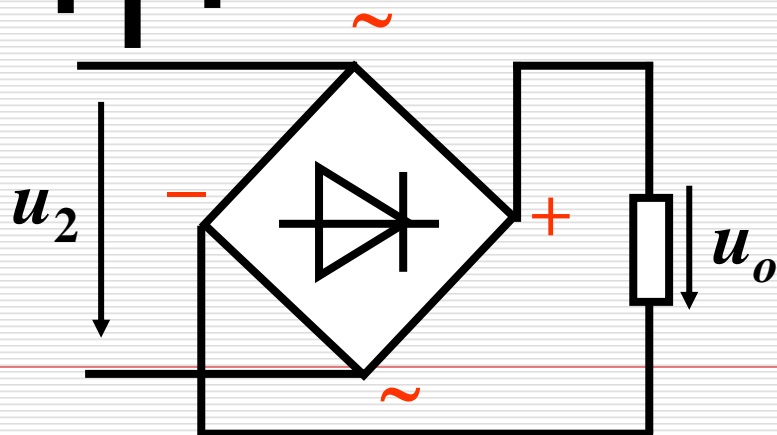
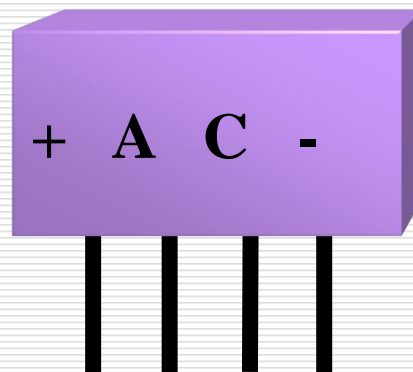
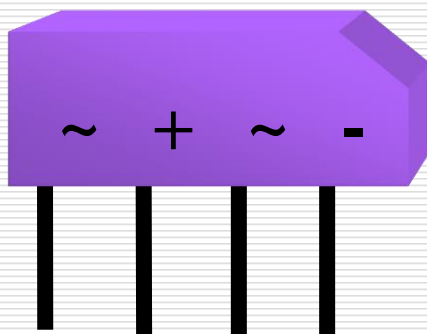
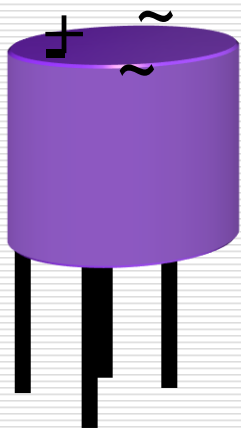
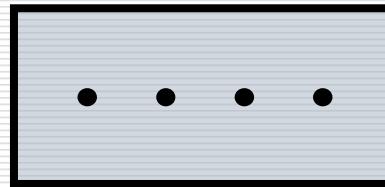
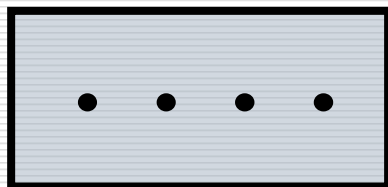
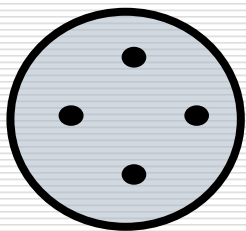
$$I_{D(AV)} = \frac{1}{2} I_{O(AV)}$$

二极管最大反向峰值电压：

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



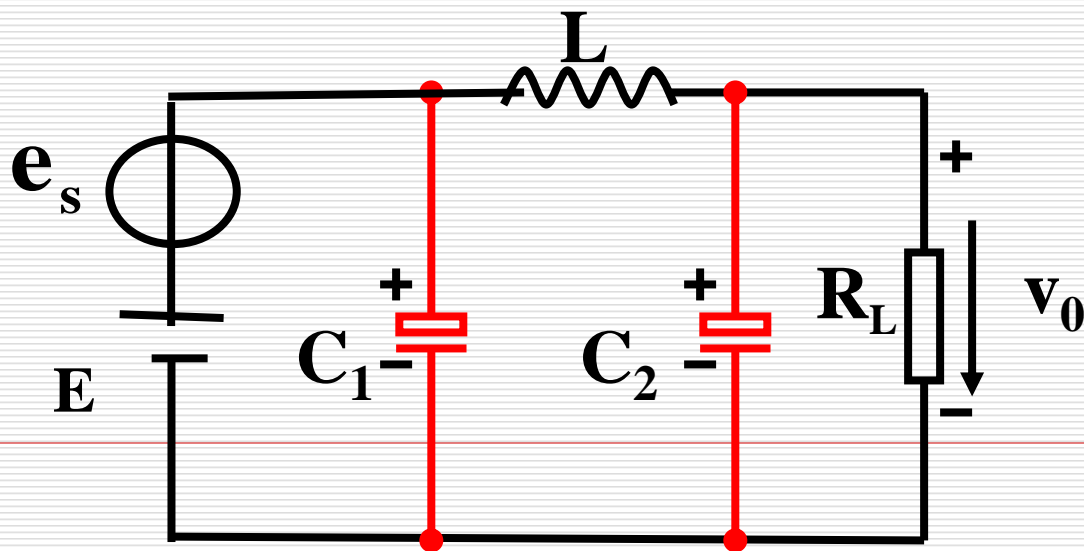
几种常见的硅整流桥

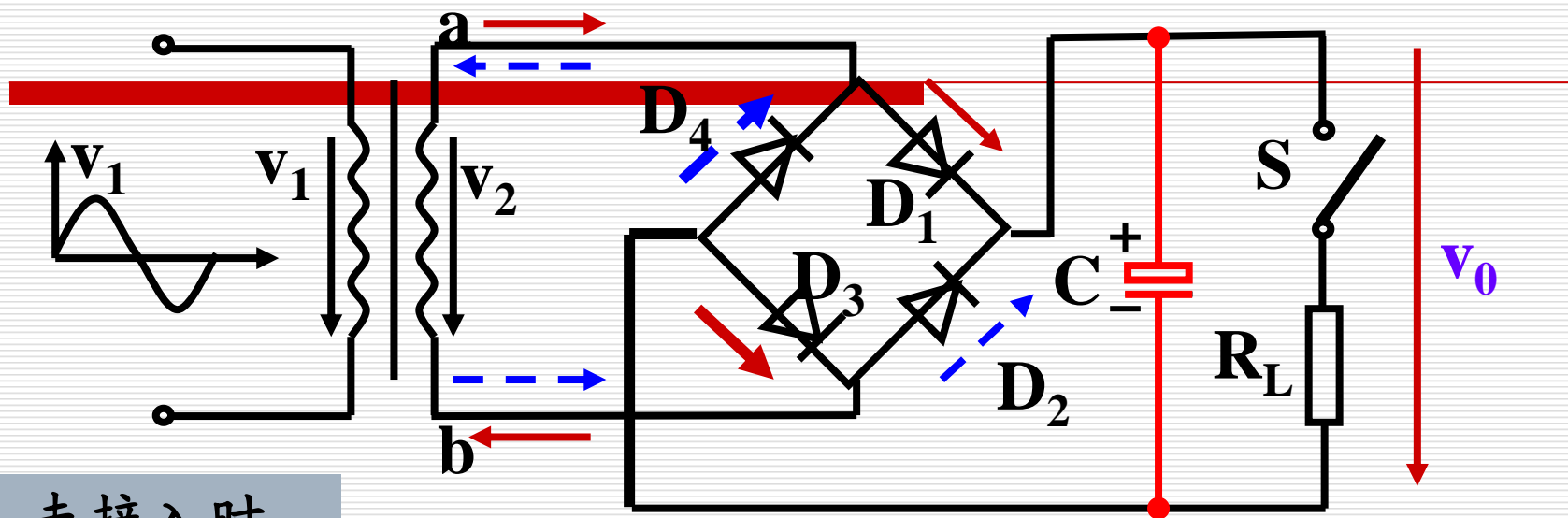


6.2 电容滤波电路

滤波原理:

利用储能元件**电容**两端的电压(或通过**电感**中的电流)不能突变的特性,将**电容**与负载 R_L 并联(或将**电感**与负载 R_L 串联),滤掉整流电路输出电压中的交流成份,保留其直流成份,达到平滑输出电压波形的目的。



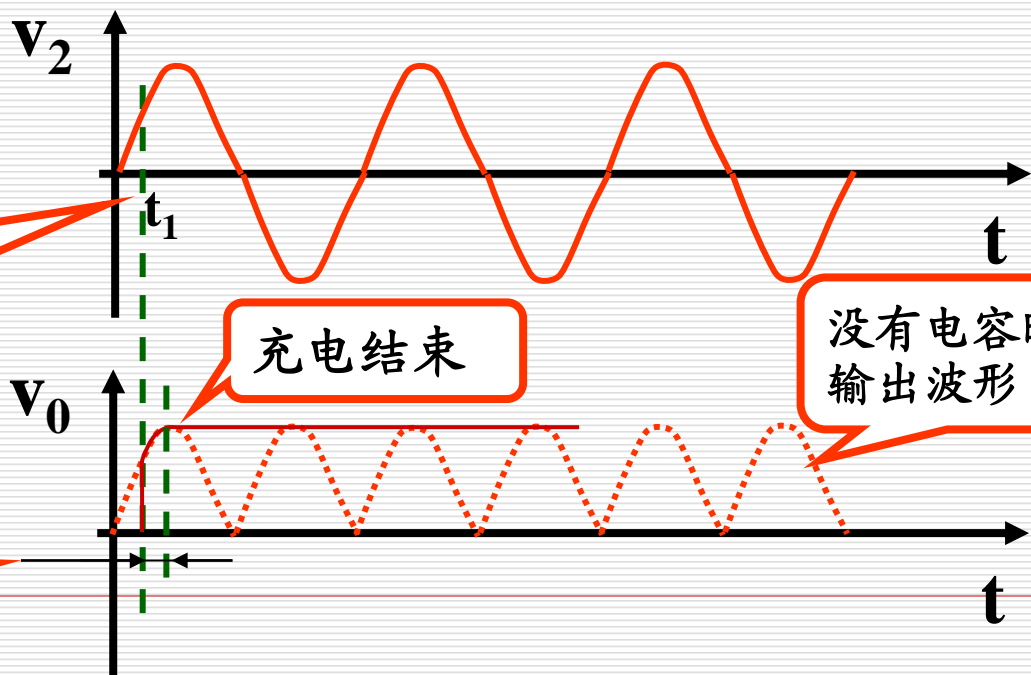


R_L 未接入时

忽略整流电路内阻

设 t_1 时刻接通电源

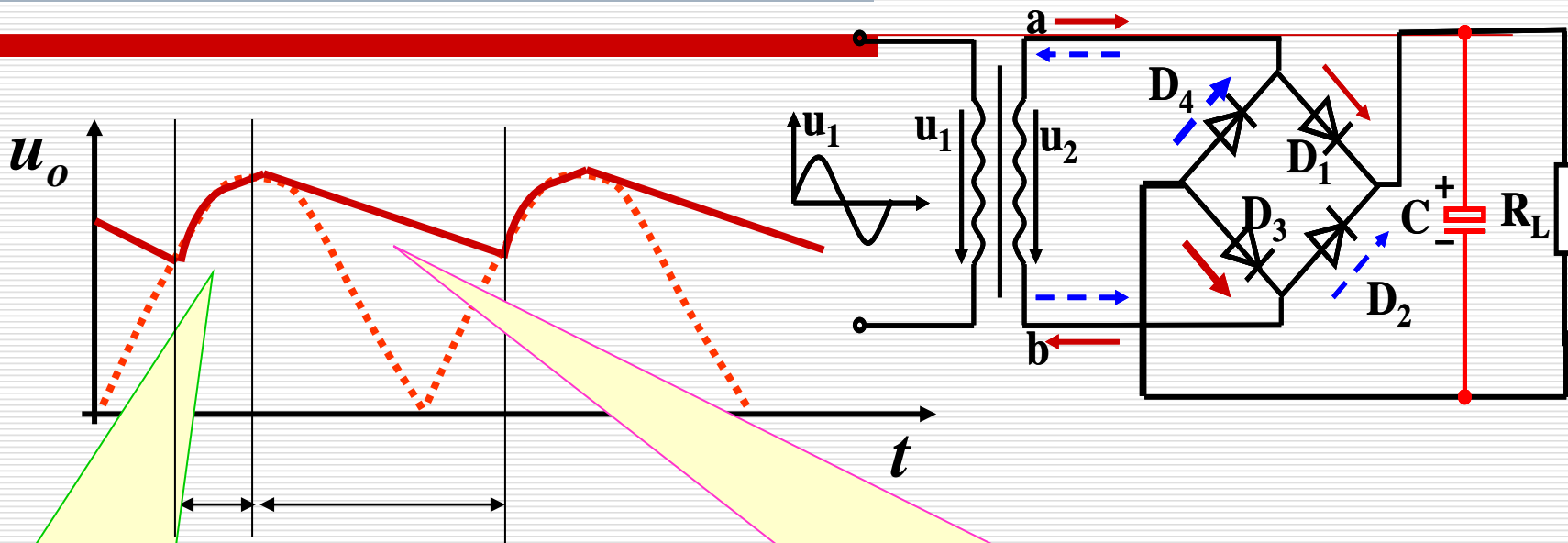
整流电路为电容充电



充电结束

没有电容时的输出波形

R_L 接入 (且 $R_L C$ 较大) 时



$|u_2|$ 上升, $|u_2|$ 大于电容上的电压 u_c , $|u_2|$ 对电容充电, τ 很小, $u_o = u_c \approx |u_2|$

$|u_2|$ 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 $\tau = R_L C$

电容滤波电路的特点

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。

1、输出电压 平均值 U_o 与时间常数 $R_L C$ 有关

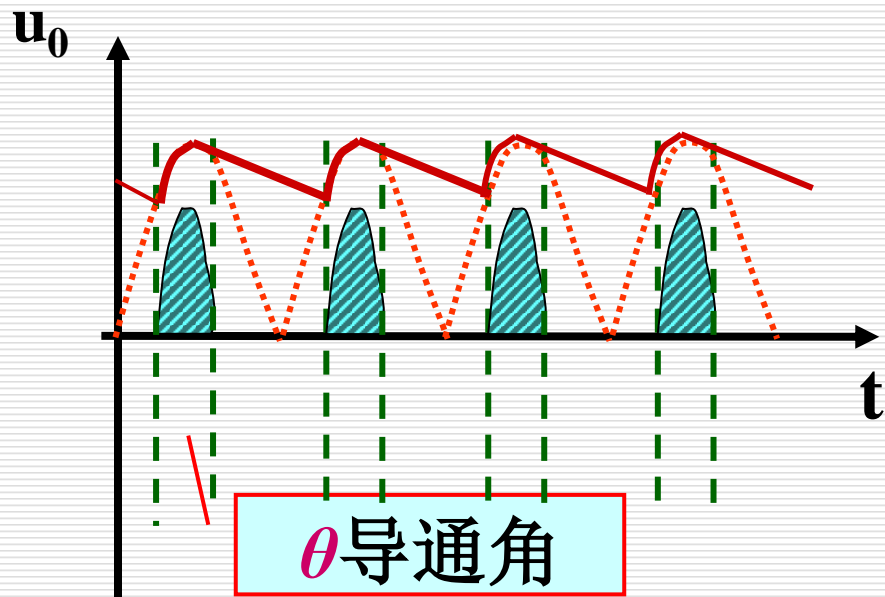
$R_L C$ 愈大 \rightarrow 电容器放电愈慢 $\rightarrow U_o$ (平均值)愈大

一般取 $\tau = R_L C \geq (3-5) T/2$ (T :电源电压的周期)

近似估算： $U_o=1.2U_2$ (全波整流滤波)； $I_o=U_o/R_L$
 $U_o=1.0U_2$ (半波整流滤波)

C 的耐压值应大于 $1.1\sqrt{2}U_2$ 。

2、二极管导通角



无滤波电容时 $\theta = \pi$ 。

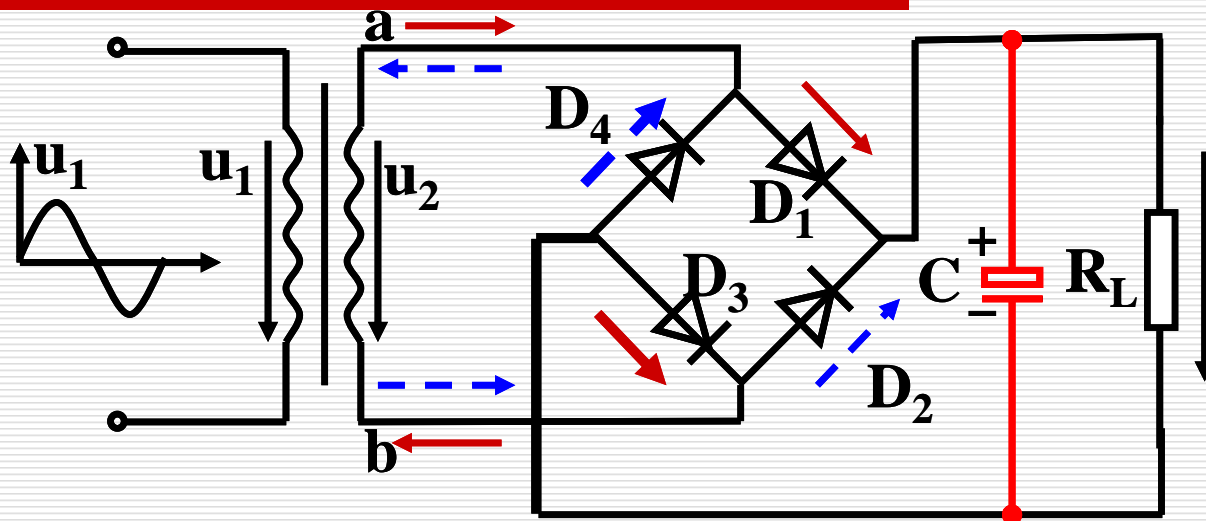
有滤波电容时 $\theta < \pi$,

且二极管平均电流增大,
故其峰值很大!

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

θ 小到一定程度, 难于选择二极管!

$$I_D = (2 \sim 3) \frac{I_0}{2} = (2 \sim 3) \frac{1}{2} \frac{U_0}{R_L}$$



$$U_2 = 20V$$

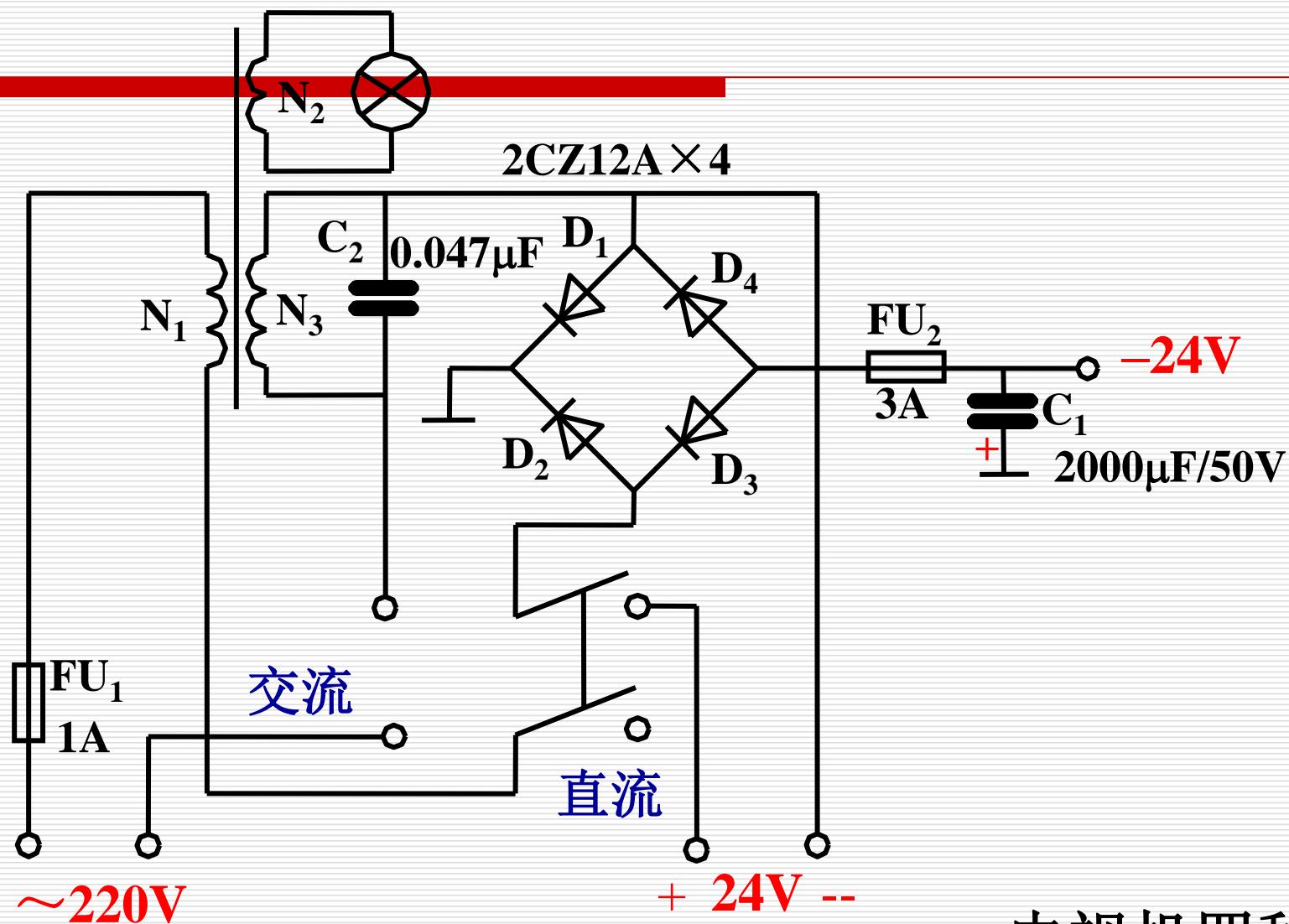
1)正常时, $U_{O(AV)} = ?$

2)如果电路中 D_1 开路, $U_{O(AV)} = ?$

3)如果测得 $U_{O(AV)}$ 为下列数值, 可能出了什么故障?

$$a) U_{O(AV)} = 18V; \quad b) U_{O(AV)} = 28V; \quad b) U_{O(AV)} = 9V;$$

4) D_1 极性接反, 可能出现什么问题?



交直流收扩两用机电源

电视机四种电源

6.3 倍压整流电路



6.3 倍压整流电路

6.3.1 二倍压整流电路

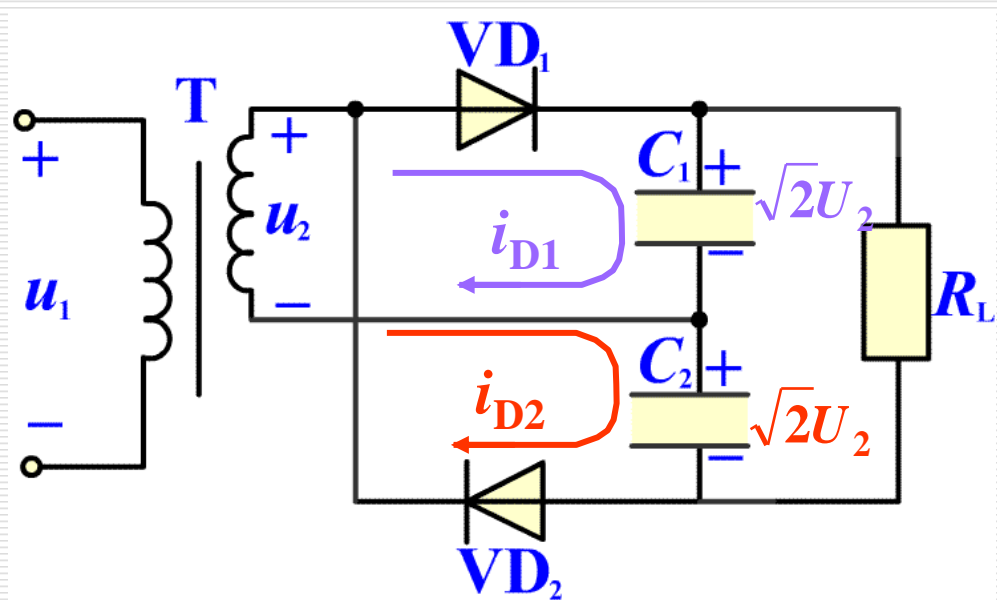
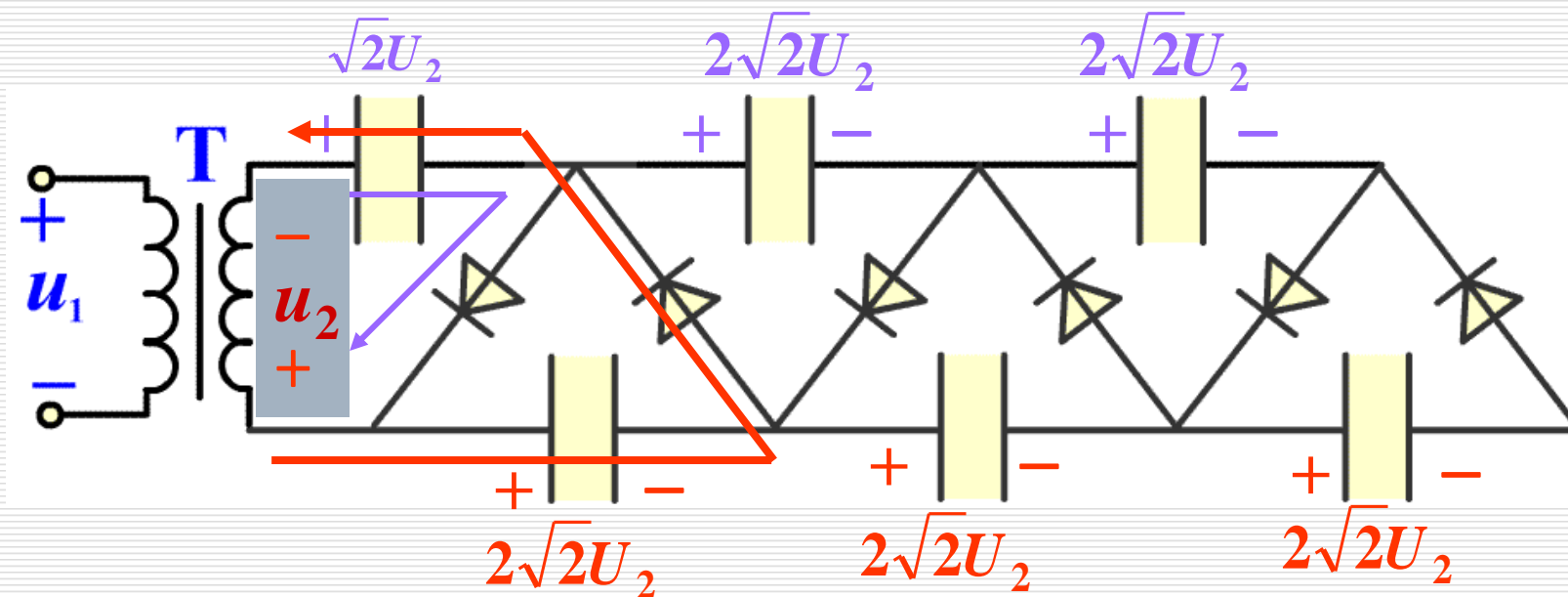


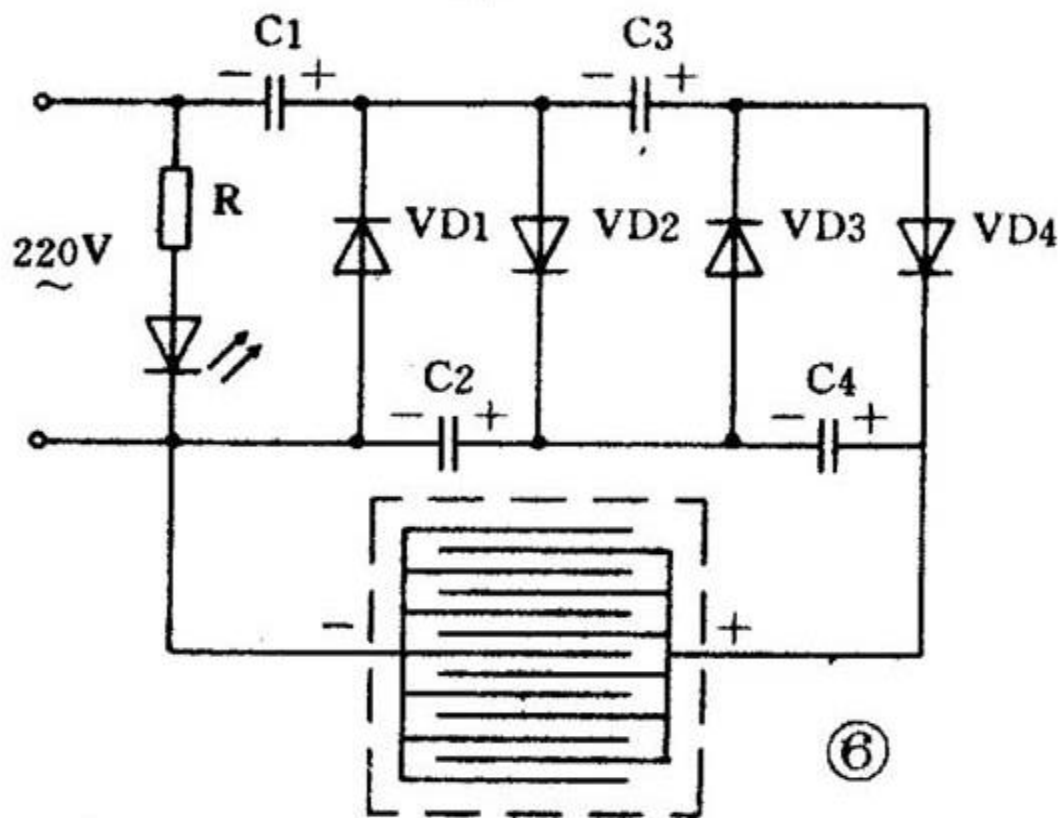
图 6.4.1 二倍压整流电路

微波炉
磁控管
4000V

6.3.2 多倍压整流电路

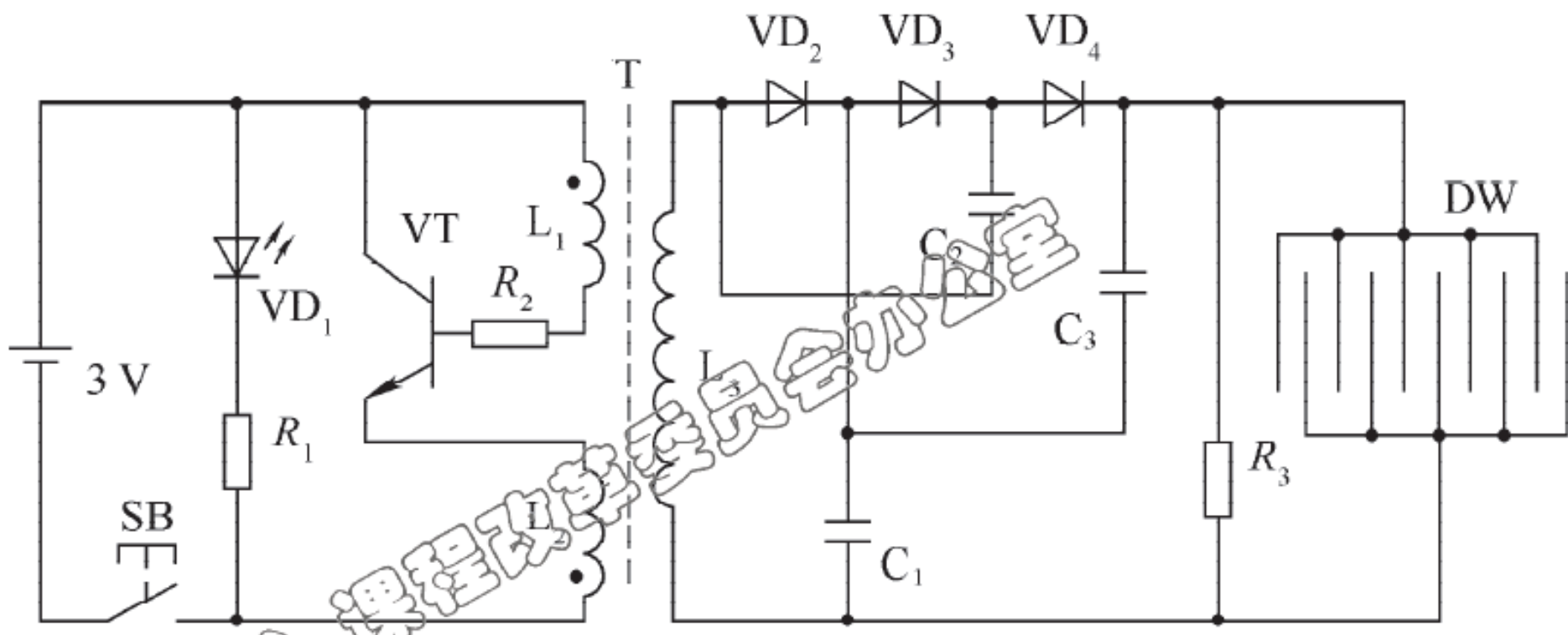


适用于要求输出电压较高、负载电流较小的场合。



高压电子灭蚊蝇灯

电子灭蚊拍



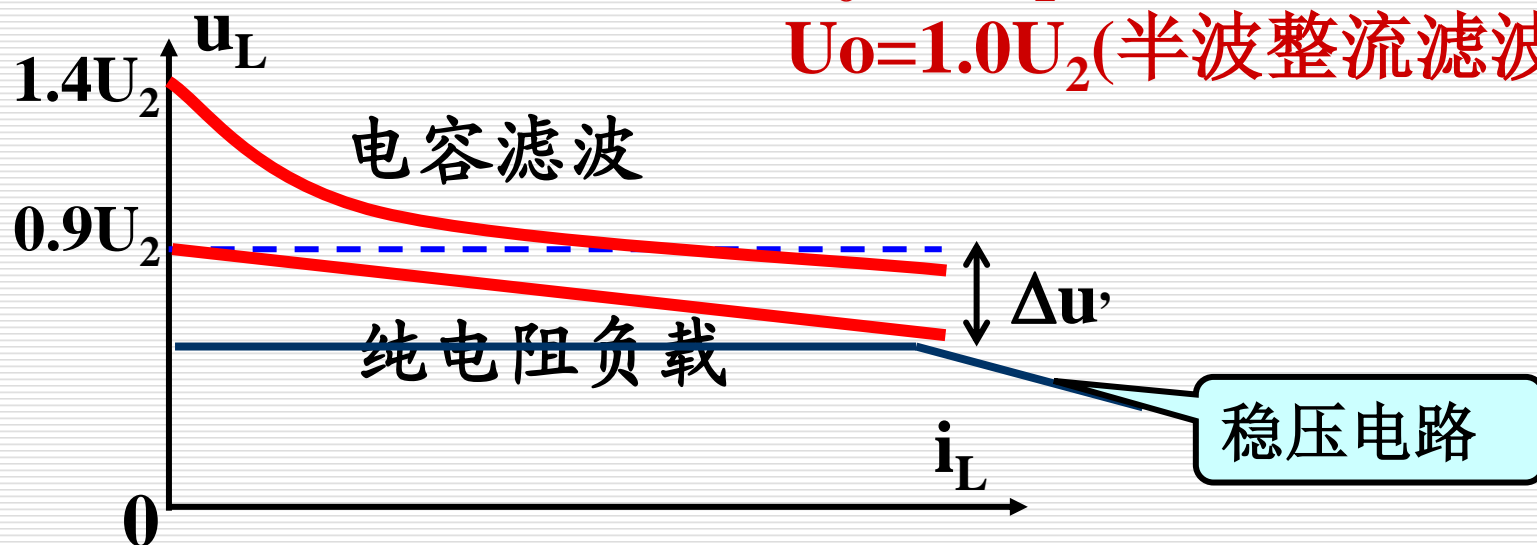
它主要由高频振荡电路、三倍压整流电路和高压电击网DW三部分组成。按下电源开关SB，由三极管VT和变压器T构成的高频振荡器得电工作，把3V直流电变成18kHz左右的交流电，经T升压到约500V(L3两端实测)，再经二极管VD2~VD4电容C1~C3三倍压整流升高到1500V左右，加到蚊拍的金属网DW上。

几种电路的输出特性(外特性):

$$U_o = 0.9U_2 \text{ (全波整流)}$$

$$U_o = 1.2U_2 \text{ (全波整流滤波)}$$

$$U_o = 1.0U_2 \text{ (半波整流滤波)}$$



6.4 稳压电路

常用稳压电路
(小功率设备)

稳压管
稳压电路

电路最简单，
但是带负载能力差，一般只提供基准电压，不作为电源使用。

线性
稳压电路

重点讨论

开关型
稳压电路

效率较高，
目前用的也比较多，但因学时有限，这里不做介绍。

稳压电路的主要性能指标

1、稳压系数 S_r

稳压系数 S 反映电网电压波动时对稳压电路的影响。定义为当负载固定时，输出电压的相对变化量与输入电压的相对变化量之比。

$$S_r = \frac{\Delta U_o}{U_o} / \frac{\Delta U_I}{U_I}$$

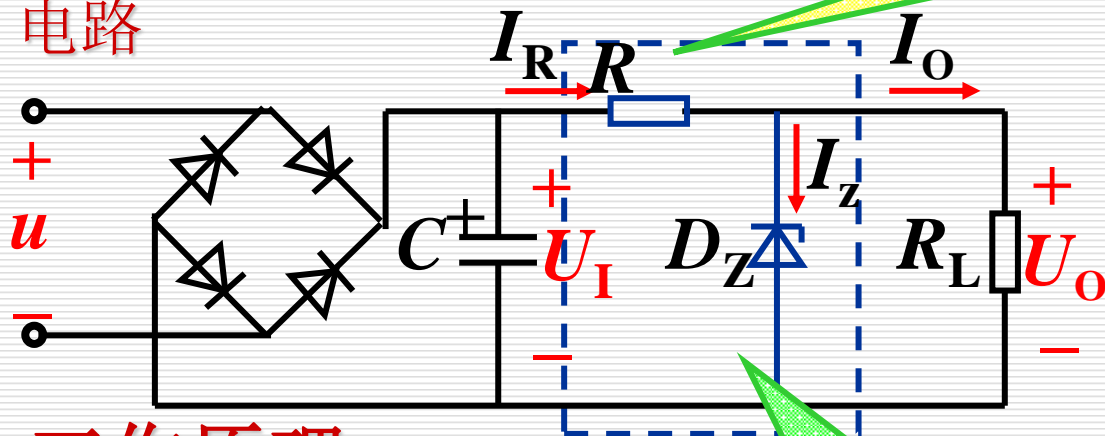
2、输出电阻 R_o

输出电阻用来反映稳压电路受负载变化的影响。它实际上就是电源戴维南等效电路的内阻。

$$R_o = \frac{\Delta U_o}{\Delta I_o}$$

6.4.1 硅稳压管稳压电路

1. 电路

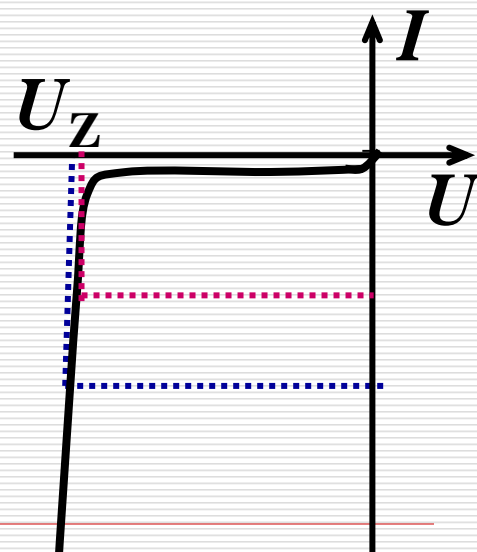


□ 2. 工作原理

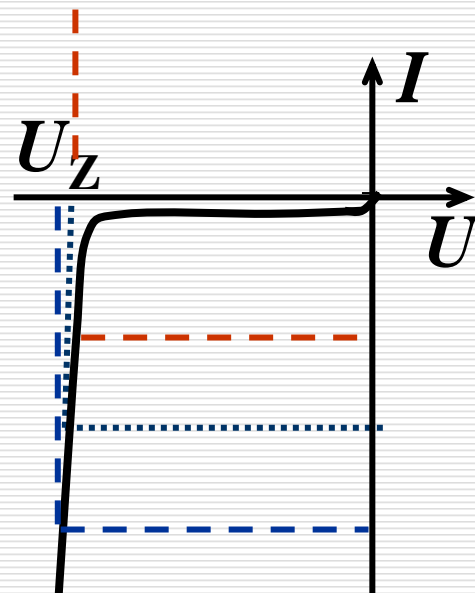
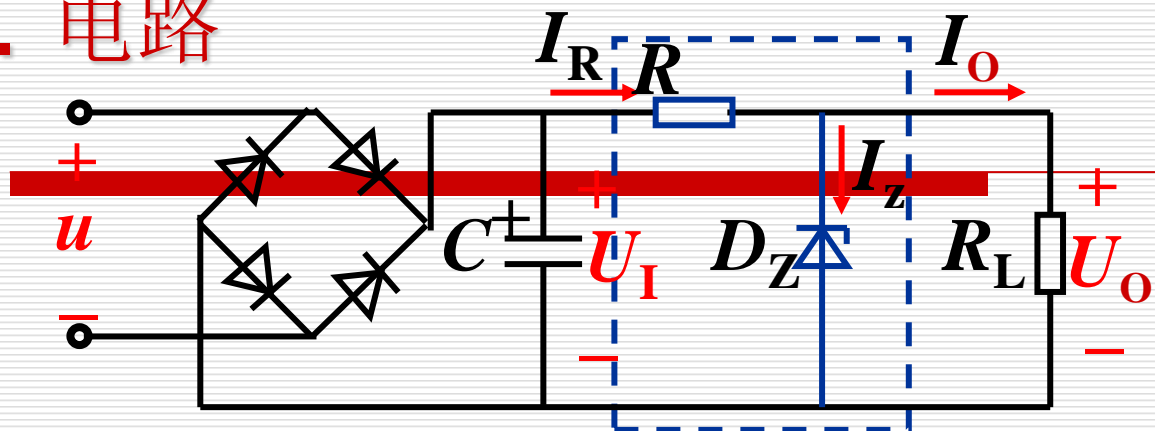
$$U_O = U_Z \quad I_R = I_O + I_Z$$

设 U_I 一定，负载 R_L 变化

$R_L \downarrow (I_O \uparrow) \rightarrow I_R \uparrow \rightarrow U_O (U_Z) \downarrow \rightarrow I_Z \downarrow$
 U_O 基本不变 $\leftarrow I_R (I_R R)$ 基本不变 \leftarrow



1. 电路



□ 2. 工作原理

$$U_O = U_Z \quad I_R = I_O + I_Z$$

设负载 R_L 一定, U_I 变化

$$U_I \uparrow \rightarrow U_Z \uparrow \rightarrow I_Z \uparrow \rightarrow I_R \uparrow$$

$$U_O \text{ 基本不变} \leftarrow I_R R \uparrow \leftarrow$$

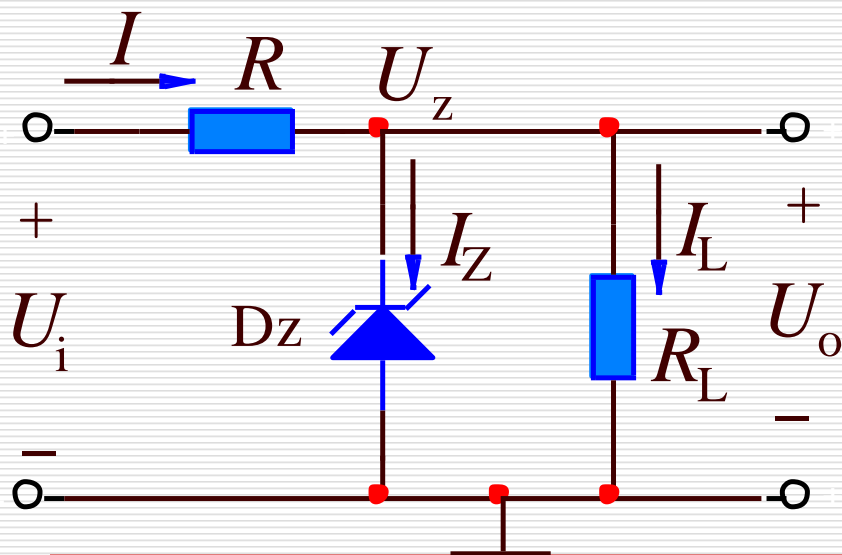
$$R_o = \frac{\Delta U_o}{\Delta U_i} = r_z // R \approx r_z$$

$$S_r = \frac{\Delta U_o / U_o}{\Delta U_i / U_i} \approx \frac{r_z}{R} \frac{U_i}{U_o}$$

改进：——串联型直流稳压电路

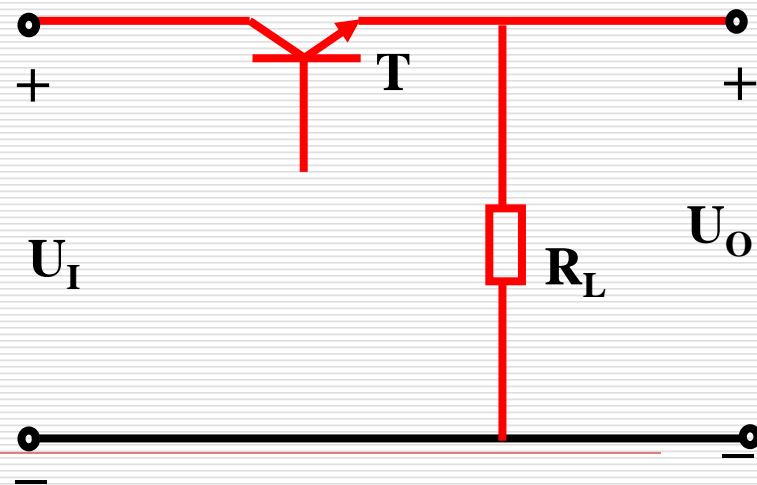
稳压管稳压电路的缺点：

- (1) 带负载能力差
- (2) 输出电压不可调



并联 $U_o = U_Z$

电阻 R 是用一个三极管来替代. 控制基极电位, 从而就控制了三极管的管压降 u_{CE} , u_{CE} 相当于 u_R 。



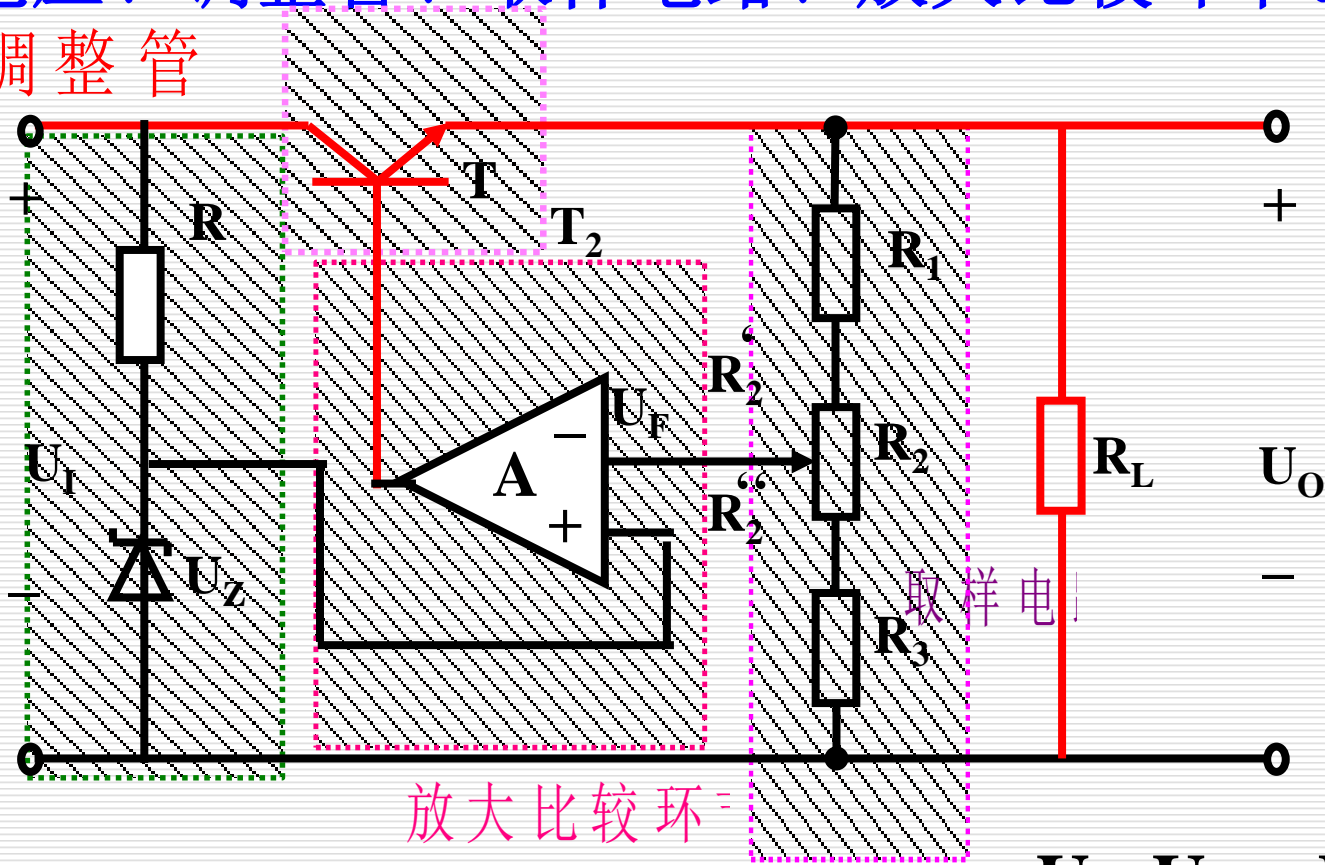
串联 $U_I = U_{CE} + U_o$

6.4.2 串联型稳压电路

由四部分组成：

基准电压、调整管、取样电路、放大比较环节。

调整管



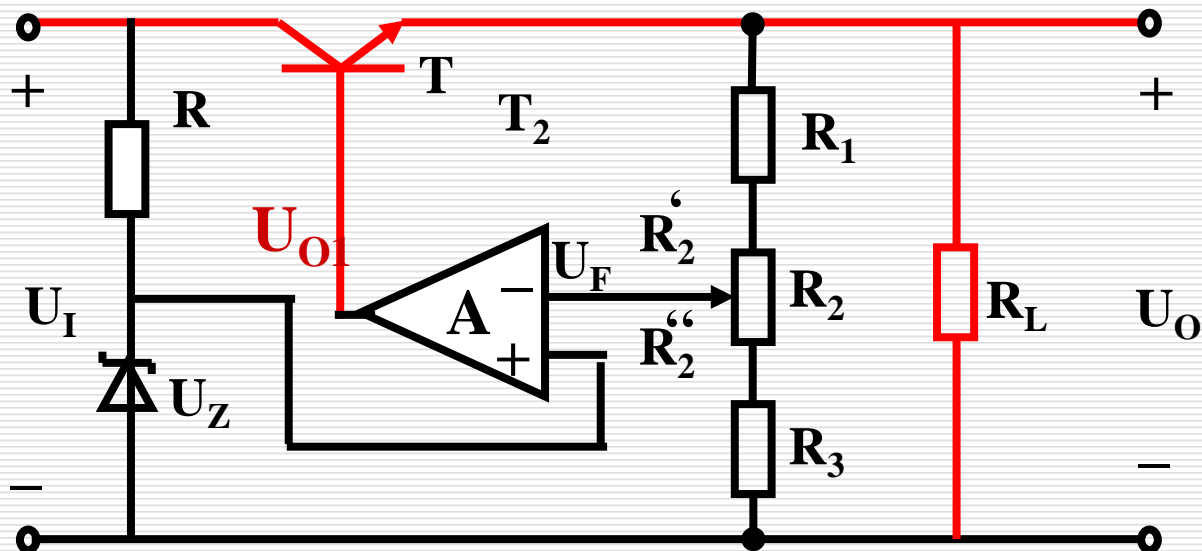
放大比较环 =

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

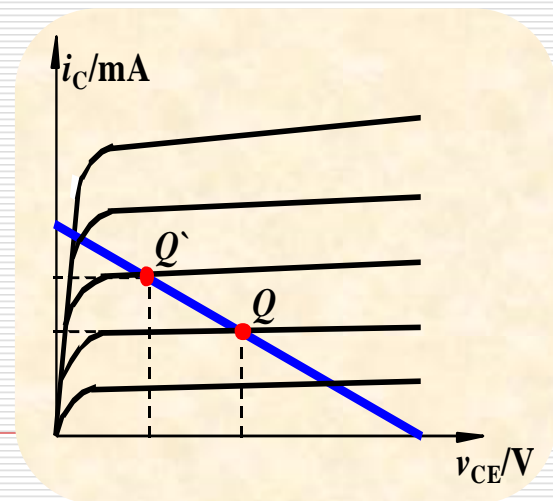
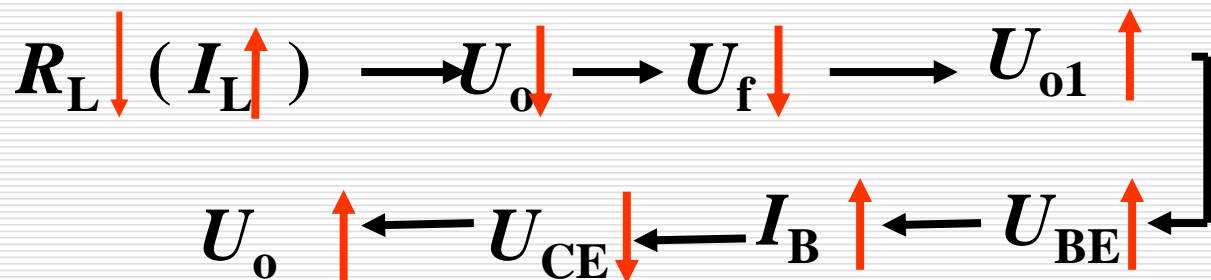
基准电压

2. 工作原理

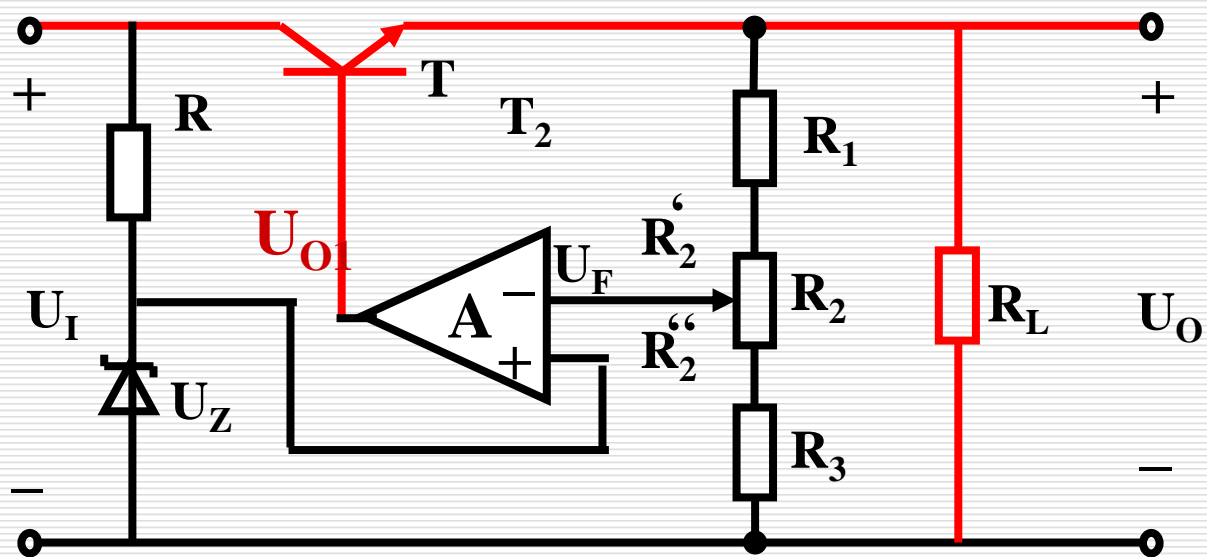
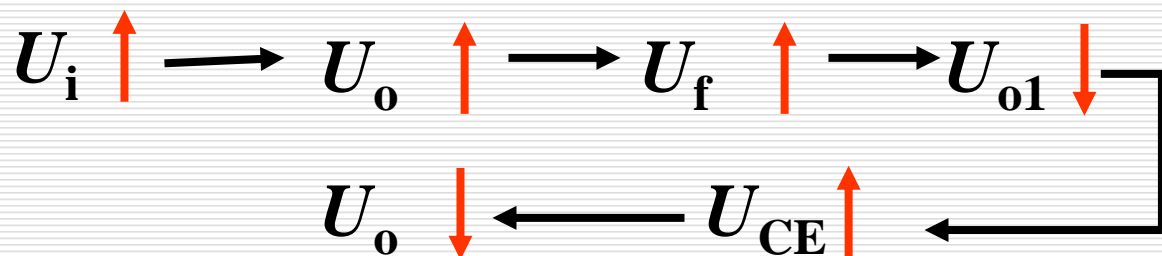
实质：电压负反馈



(2) 负载电流变化时



(1) 输入电压变化时



输出电压的调节范围

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

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

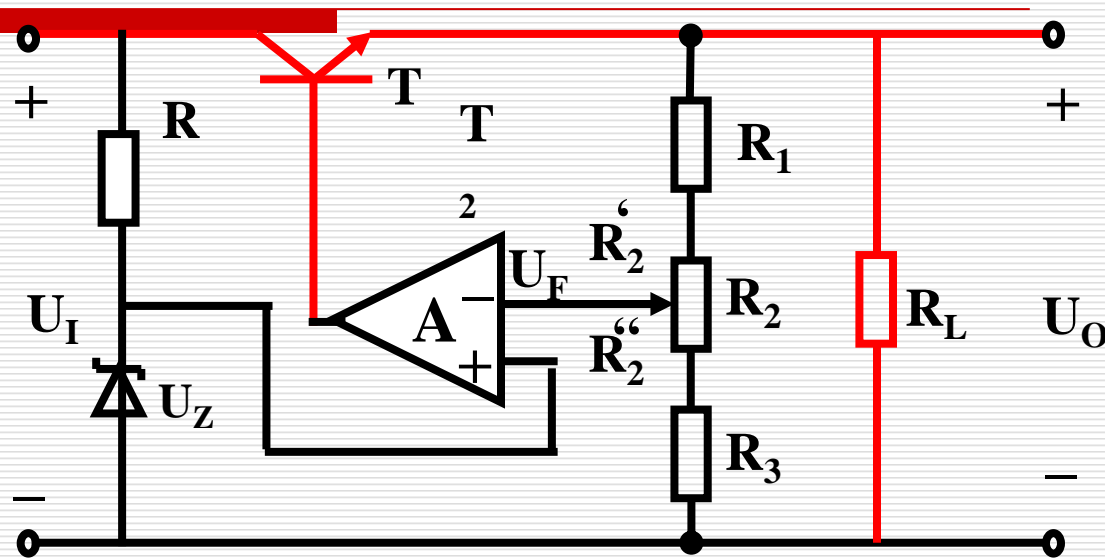
当 R_2 的滑动端调至最上端时

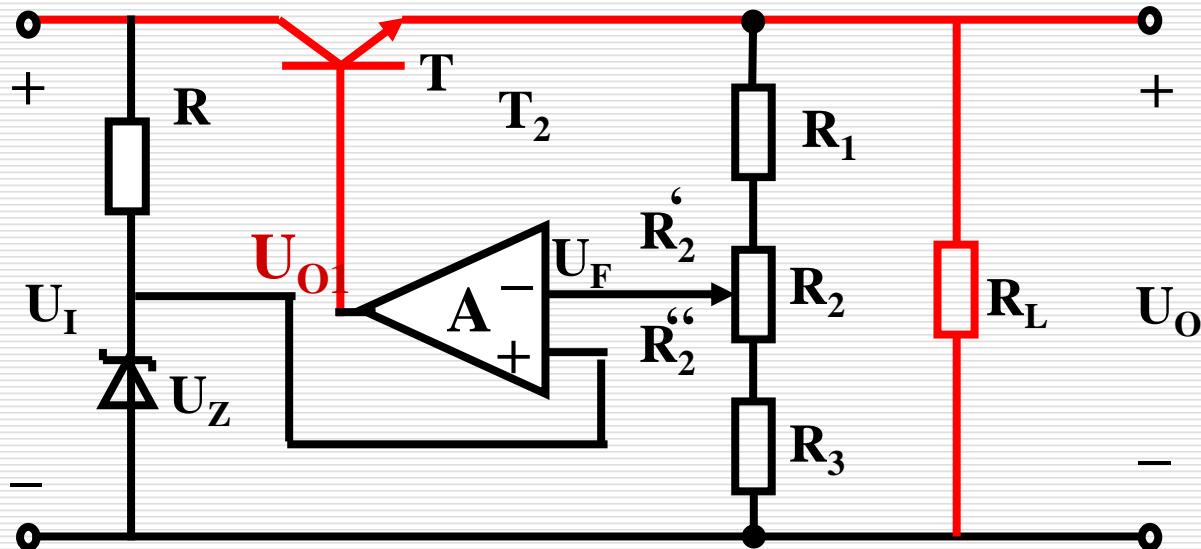
$$U_{Omin} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_2 + R_3} U_Z$$

当 R_2 的滑动端调至最下端时

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

串联型直流稳压 电路优点:





稳压电路的输入直流电压为： $U_I = U_{Omax} + (3 \sim 8)V$

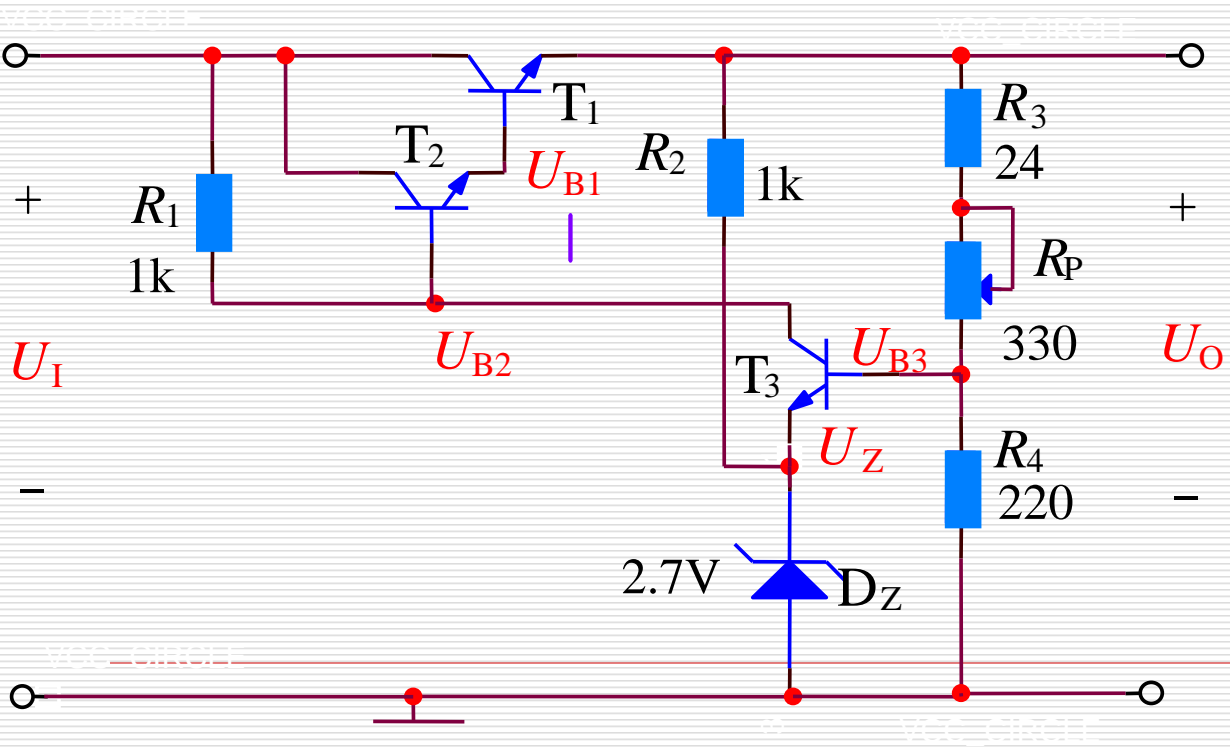
变压器副边电压为： $U_2 \approx 1.1 \times \frac{U_I}{1.2}$ (考虑输入电压波动)

例：分立元件组成的串联式稳压电源

输出电压的调节范围

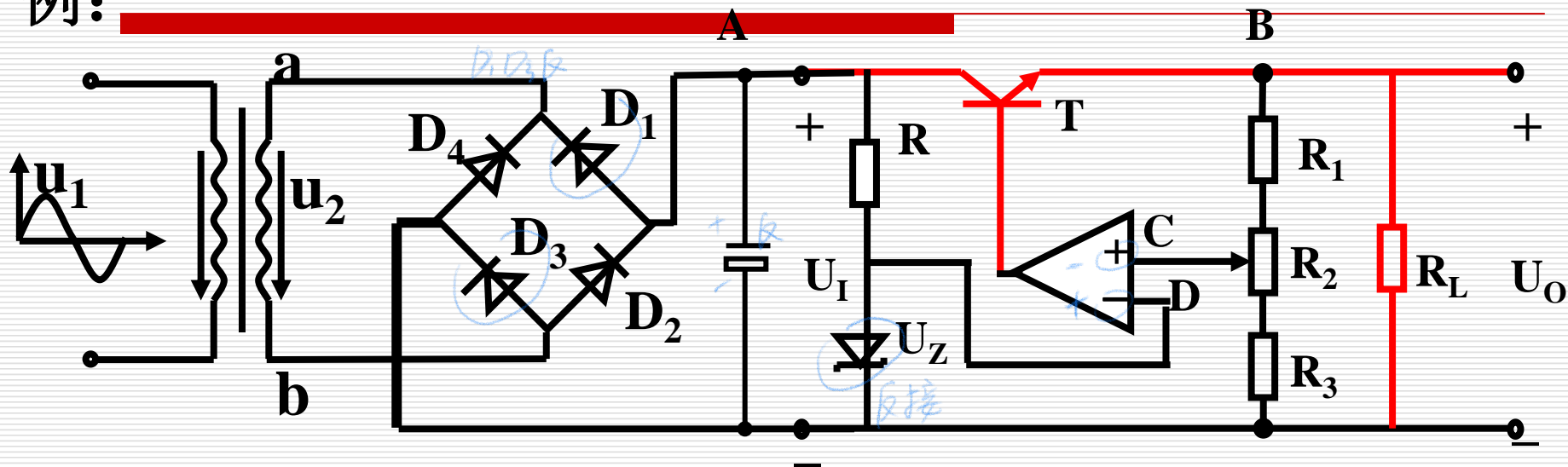
$$U_Z + U_{BE3} = \frac{R_4}{R_3 + R_4 + R_P} U_O$$

$$U_O = (U_Z + U_{BE3}) \frac{R_3 + R_4 + R_P}{R_4} \quad U_{Omin} = \frac{24 + 220}{220} \times 3.4 = 3.77V$$



$$U_{Omax} = 9.8V$$

例:



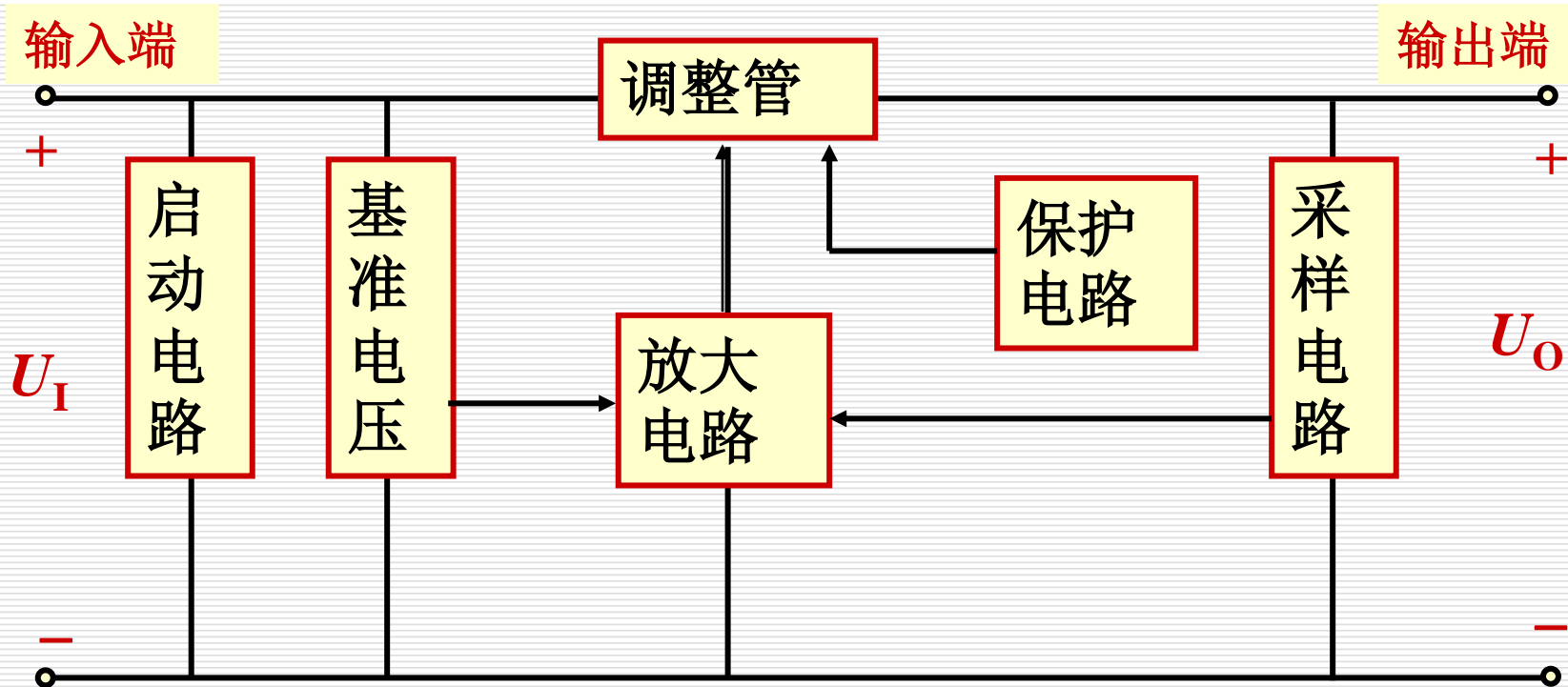
1、改错;

2、当 $U_2=20V$, $V_Z=6V$, $R_1=R_2=R_3=300\Omega$ 。在中间位置, 计算A、B、C、D、E的电位和T的 U_{CE} 值;

3、计算输出电压的调节范围。

6.5 集成稳压器

6.5.1 三端集成稳压器的组成

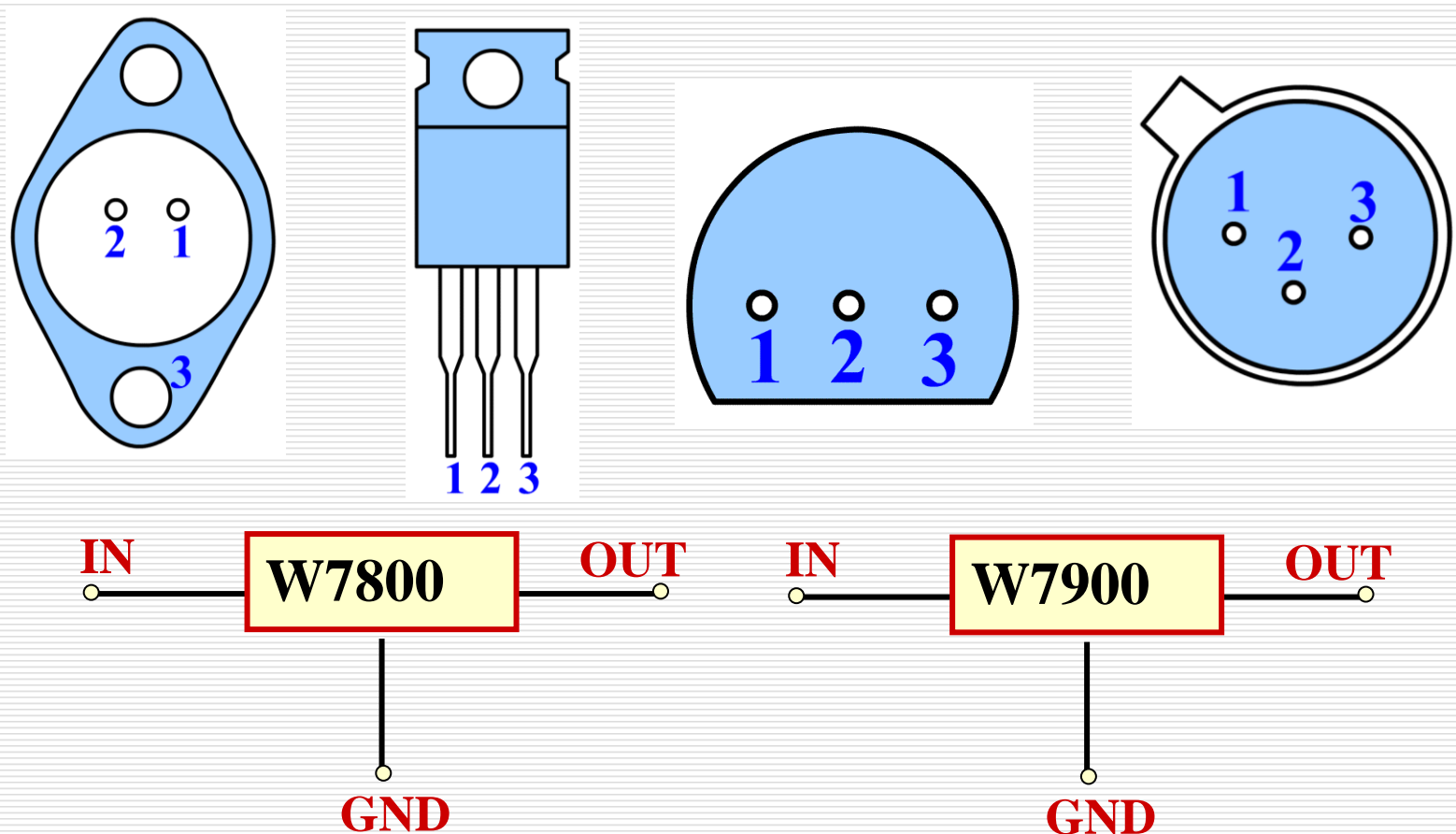


6.5.2 三端集成稳压器的主要参数

参数名称	符号 单位	参 数 型 号 值	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	μV	10	10	10	10	10	10	10
输出电阻	R_o	m Ω	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

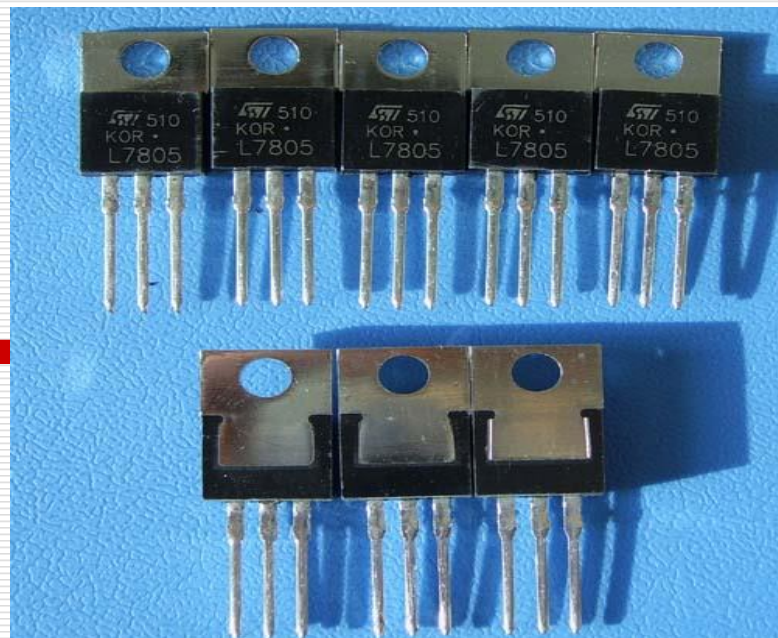
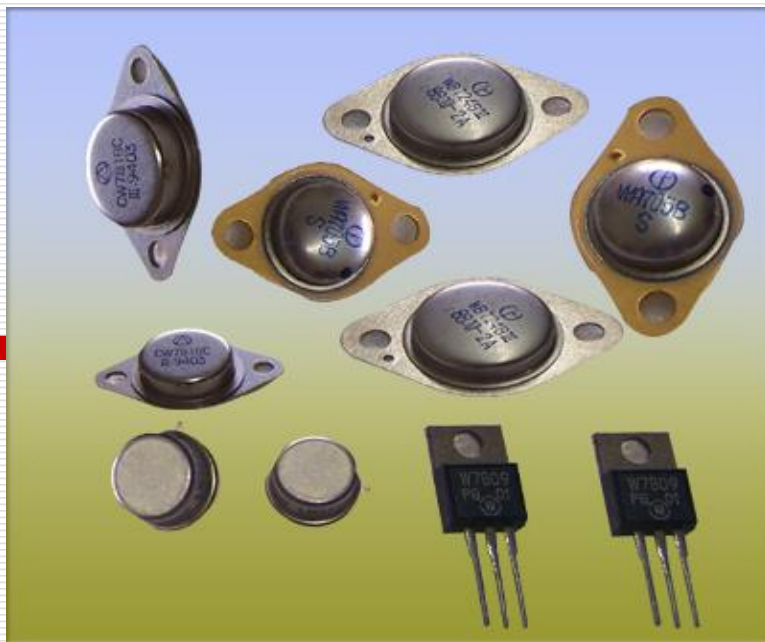
6.5.3 三端集成稳压器的应用

1、三端集成稳压器的外形及电路符号

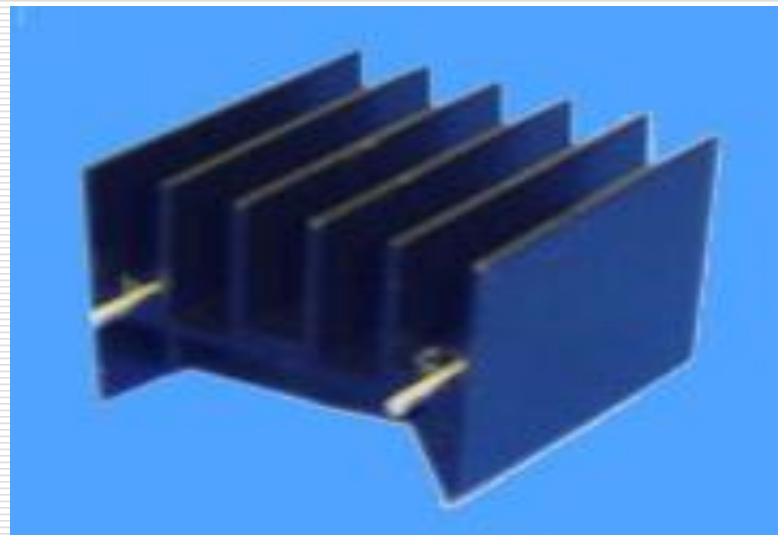
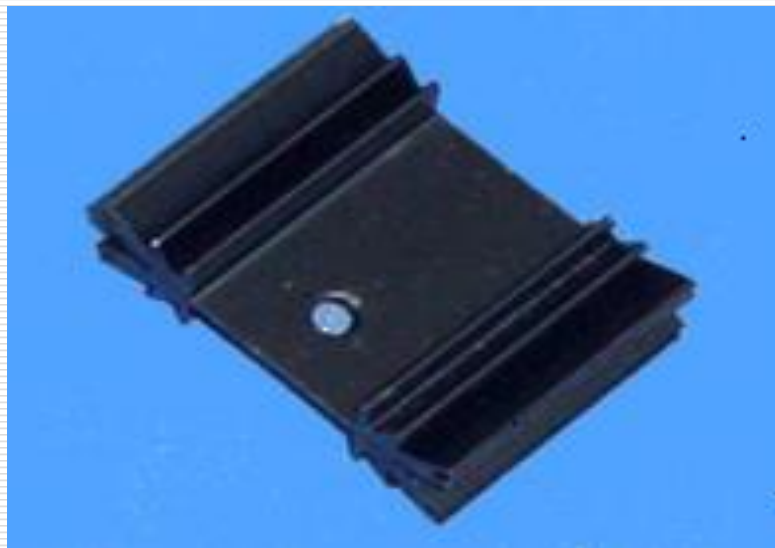


2、三端集成稳压电源的外形及配套的散热片

三端集成稳压电源的外形



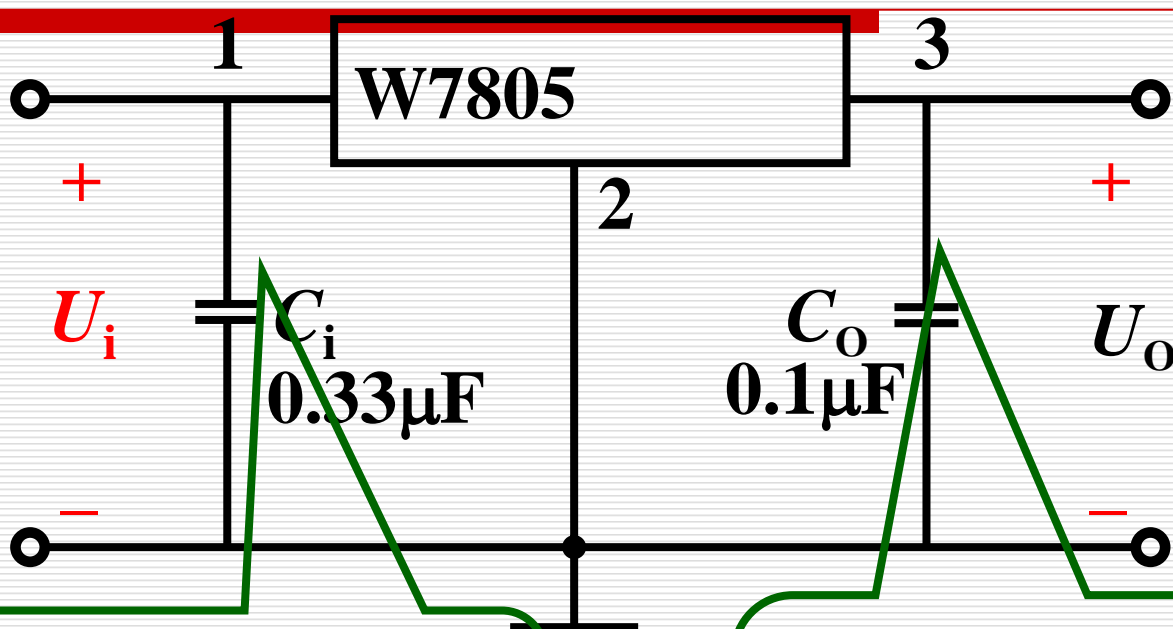
配套的散热片



二、三端集成稳压器应用电路

(1) 输出为固定电压的电路

输出为固定正电压时的接法如图所示。

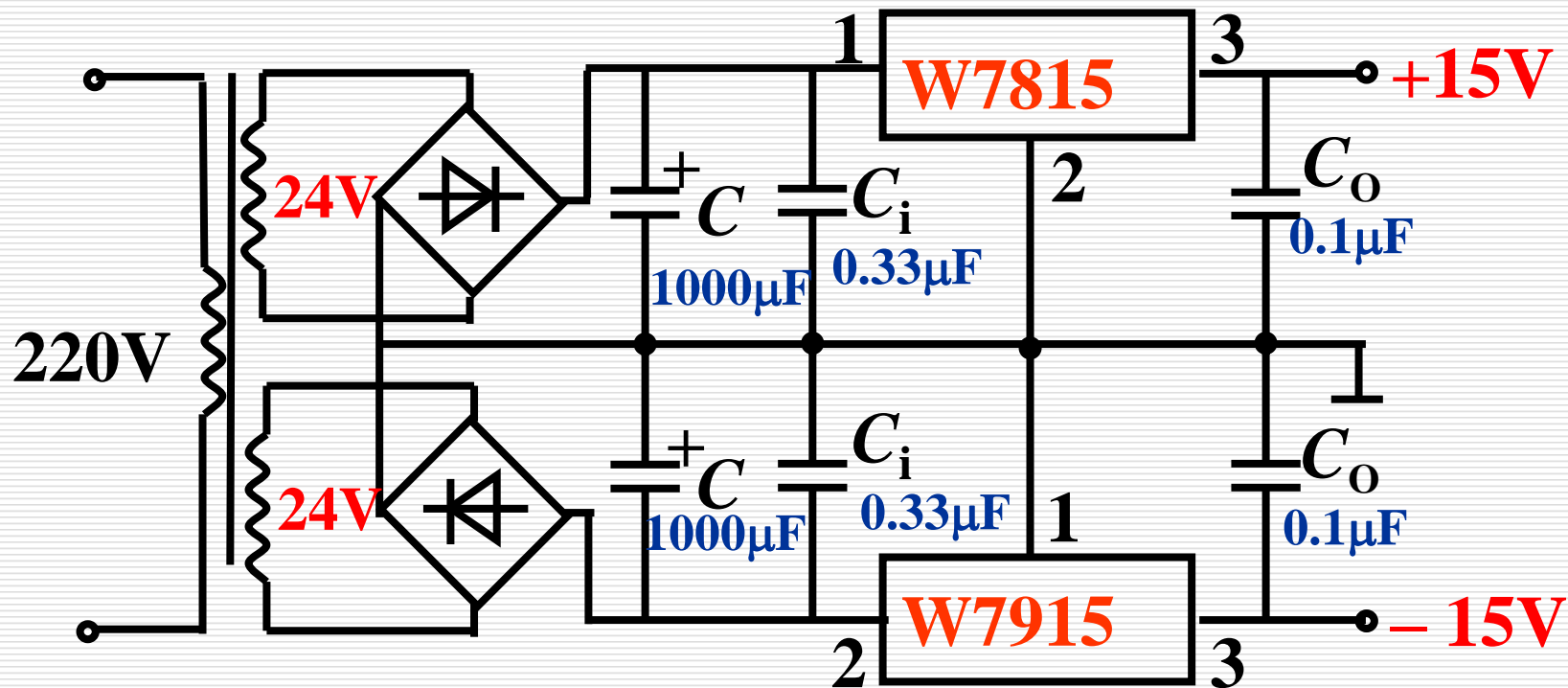


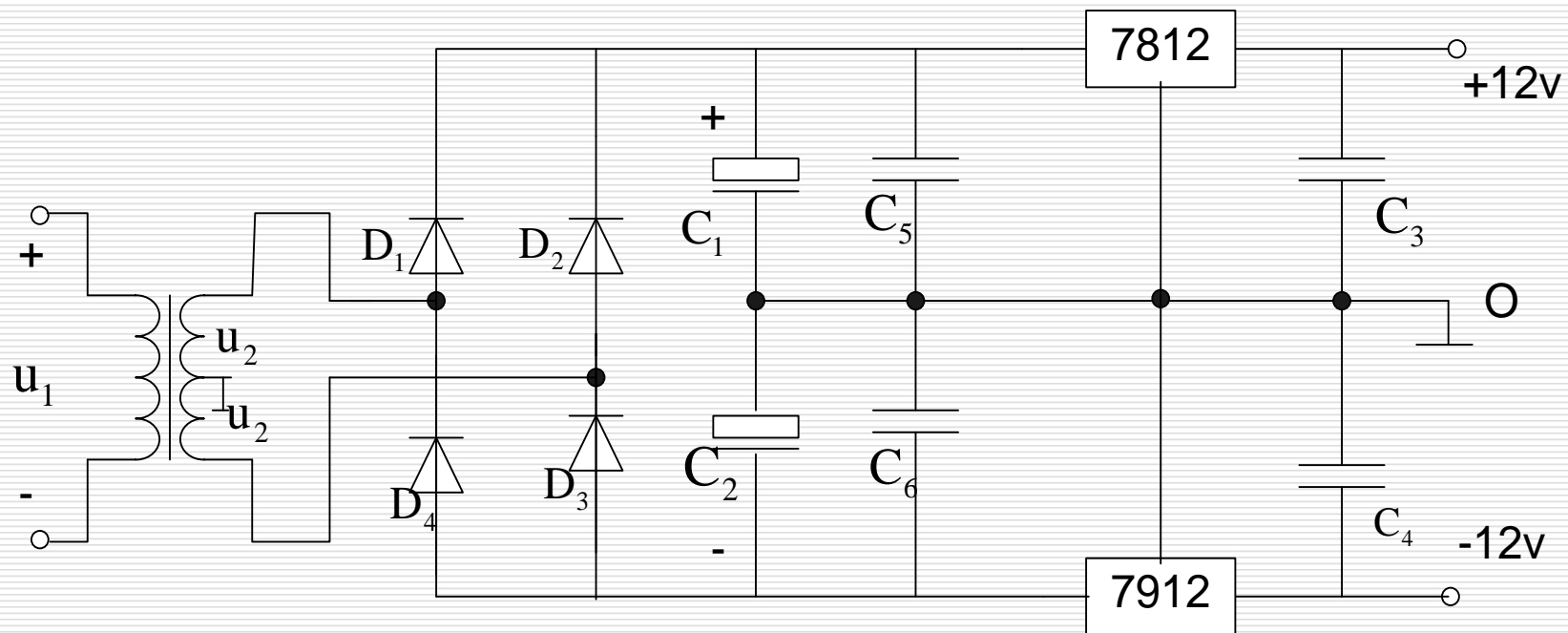
输入与输出之间的电压不得低于2V!

防止产生自激振荡。
即用以改善波形。

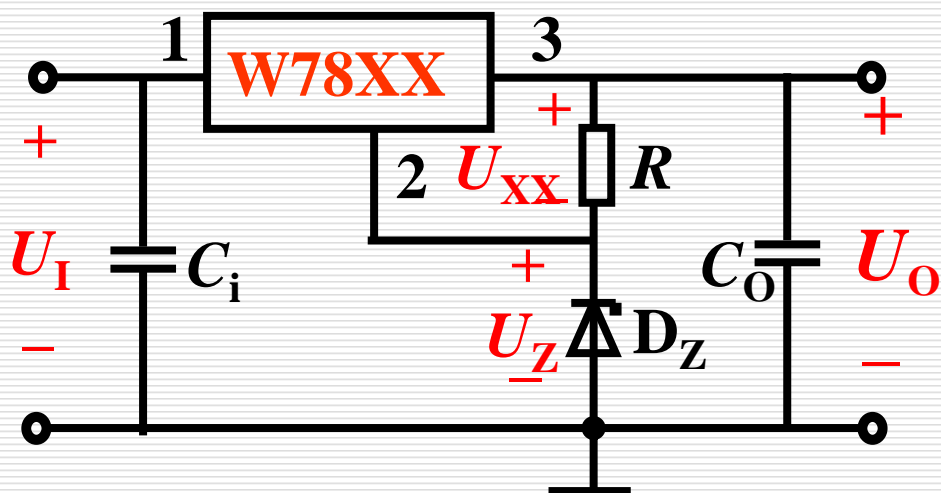
为了瞬时增减负载电流时，不致引起输出电压有较大的波动。即用来改善负载的瞬态响应。

(2) 同时输出正、负电压的电路





(3) 提高输出电压的电路

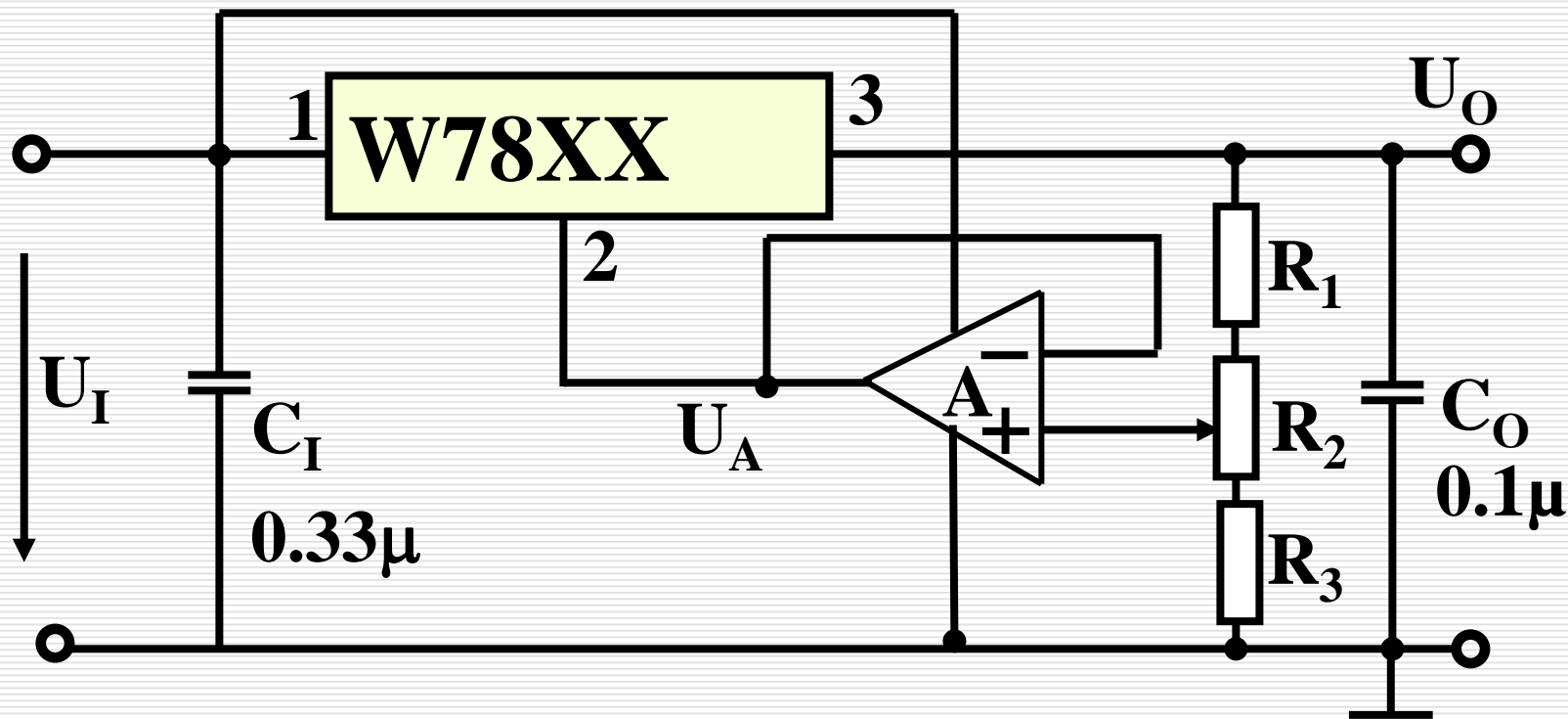


U_{xx} : 为W78XX

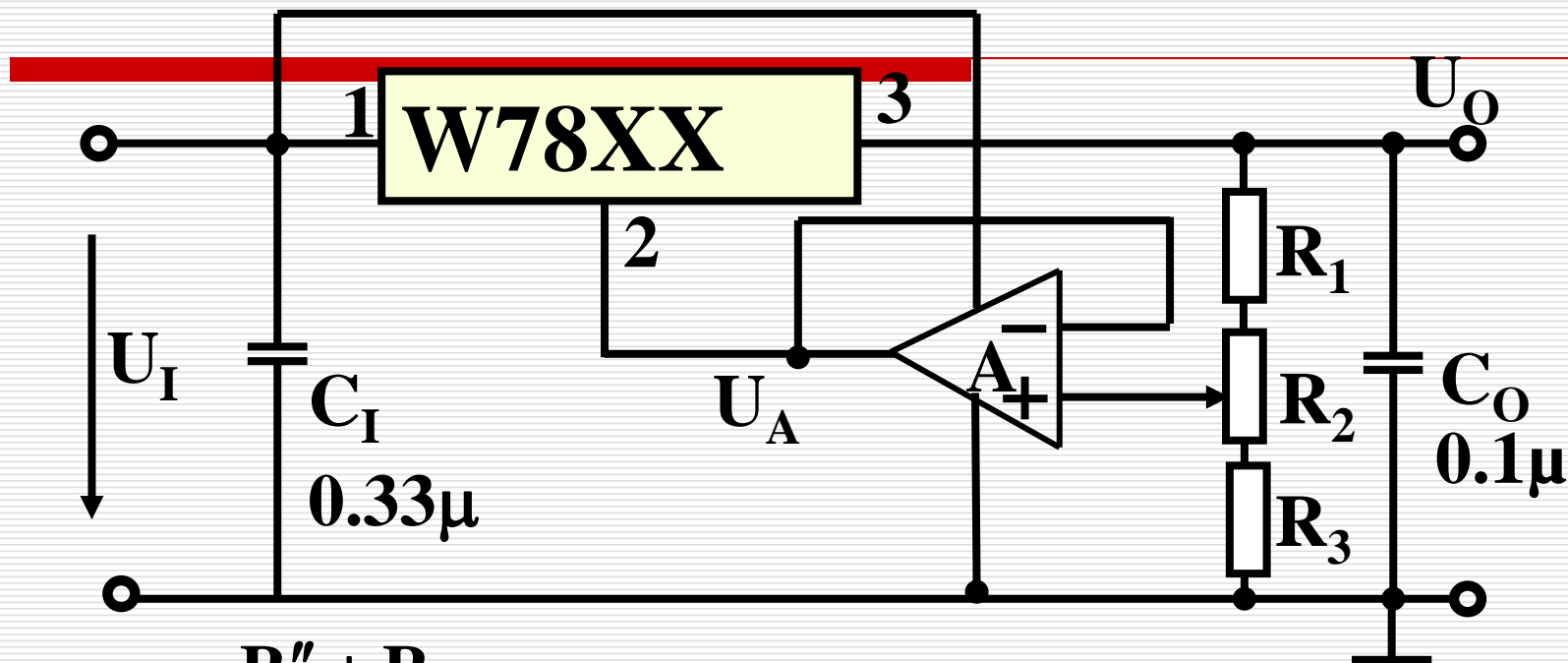
固定输出电压

$$U_o = U_{xx} + U_Z$$

(4) 输出电压可调



运算放大器作为电压跟随器使用,它的电源就借助于稳压器的输入直流电压。由于运放的输入阻抗很高,输出阻抗很低,可以克服稳压器输出电流变化的影响。



$$U_A = \frac{R_2'' + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U_O \quad U_{23} + U_A = U_O$$

$$U_{23} + \frac{R_2'' + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U_O = U_O$$

$$U_O = U_{23} / \left(1 - \frac{R_2'' + R_3}{R_1 + R_2 + R_3}\right) = U_{23} \left(1 + \frac{R_2'' + R_3}{R_1 + R_2'}\right)$$

70年代，随着功率晶体管的研制，隔离集成电路和磁性材料的研制、应用；随着功率电子学领域中技术的日新月异的发展，理论研究不断深化，功率变换拓扑及器件对偶理论的日趋完善，开关电源以其强大的生命力适应当今高效率、小型轻量化的要求。

开关电源去除了工频变压器，代之以几十kHz、几百kHz甚至数MHz的高频变压器。由于调整管工作于开关状态，功耗小，效率高，可达80%~95%。因此开关稳压电源体积小，重量轻。但由于电路负载，高频元器件价格高，因此成本较高，且输出纹波噪声电压较高，动态响应较差。

6.6 开关型稳压电路

6.6.1 开关型稳压电路的特点和分类

特点： 效率高90% (串联型30%)、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。

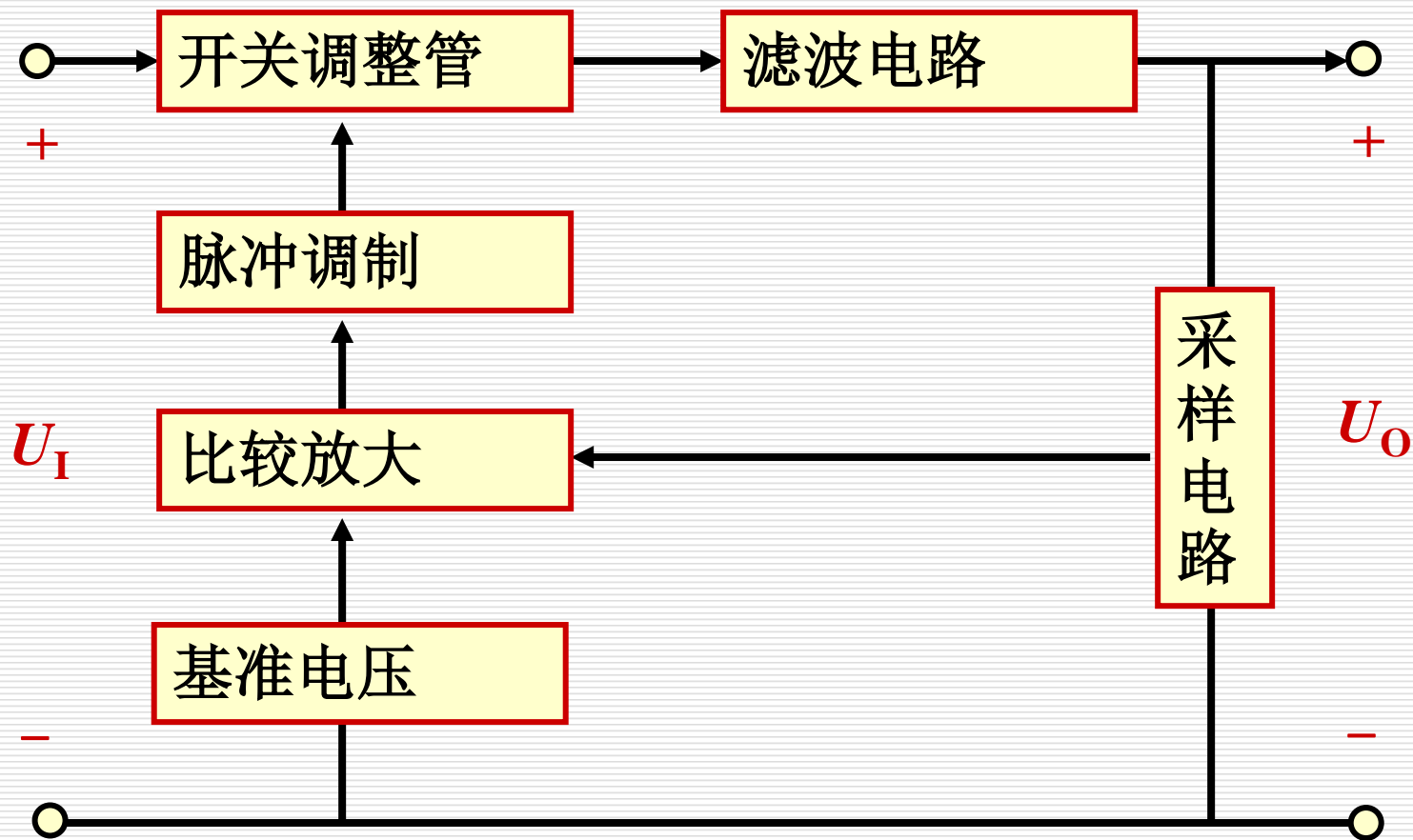
分类：

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。

6.6.2 开关型稳压电路的组成和工作原理



本章要求:

- (1) 掌握整流、滤波、稳压三个基本概念。
- (2) 要求熟练掌握单相整流电路和电容滤波的工作原理及各项指标的估算，并能正确选择相关元件的参数。
- (3) 熟练掌握串联反馈式稳压电路稳压原理及输出电压的计算。
- (4) 对于三端式集成稳压器，重点放在掌握使用方法和应用。