

第10章 直流电源

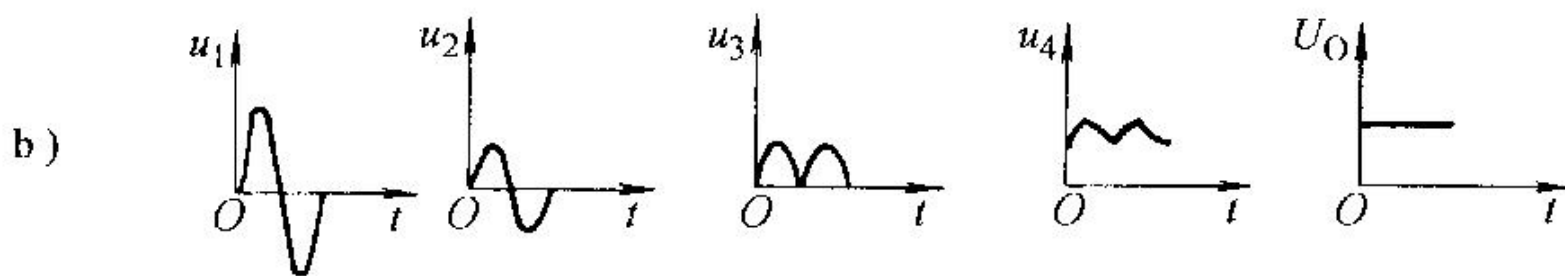
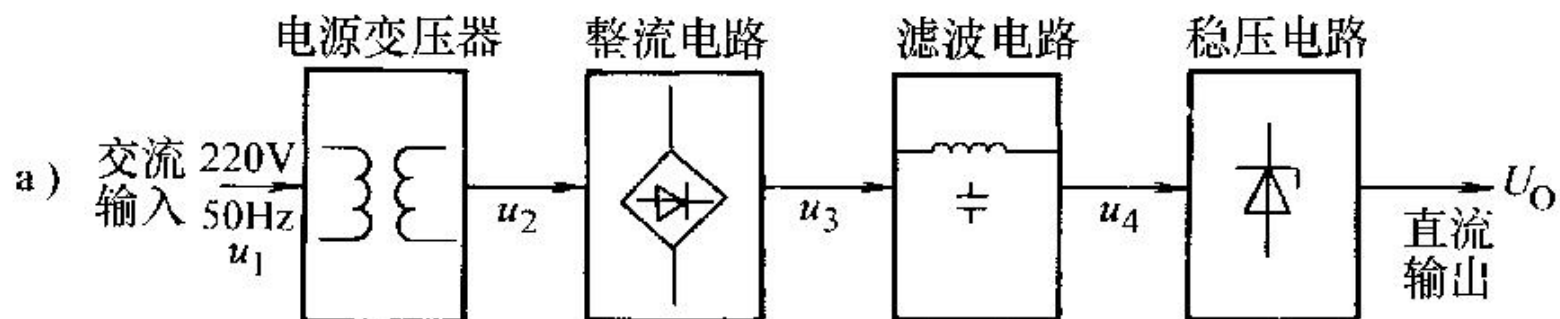
2学时

直流电源

作业

- 思考 10-5、10-17
- 习题 10-10、10-11、10-19

直流稳压电源原理框图及波形图



功能

将交流电压变成直流电压

(1) 电源变压器 将来自电网的有效值为220V的交流电压转换为符合整流需要的有效值较低的交流电压。

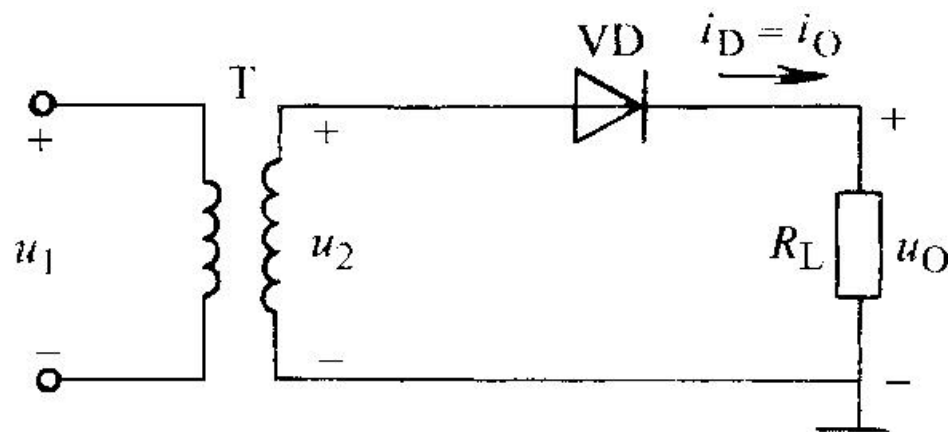
(2) 整流电路 利用具有单向导电性能的整流元件，将正弦交流电压 u_2 变为单向脉动电压 u_3 。

(3) 滤波电路 利用电容、电感元件的频率特性，将直流脉动电压中的谐波成分滤除掉，使电压 u_3 成为比较平滑的脉动直流电压 u_4 。

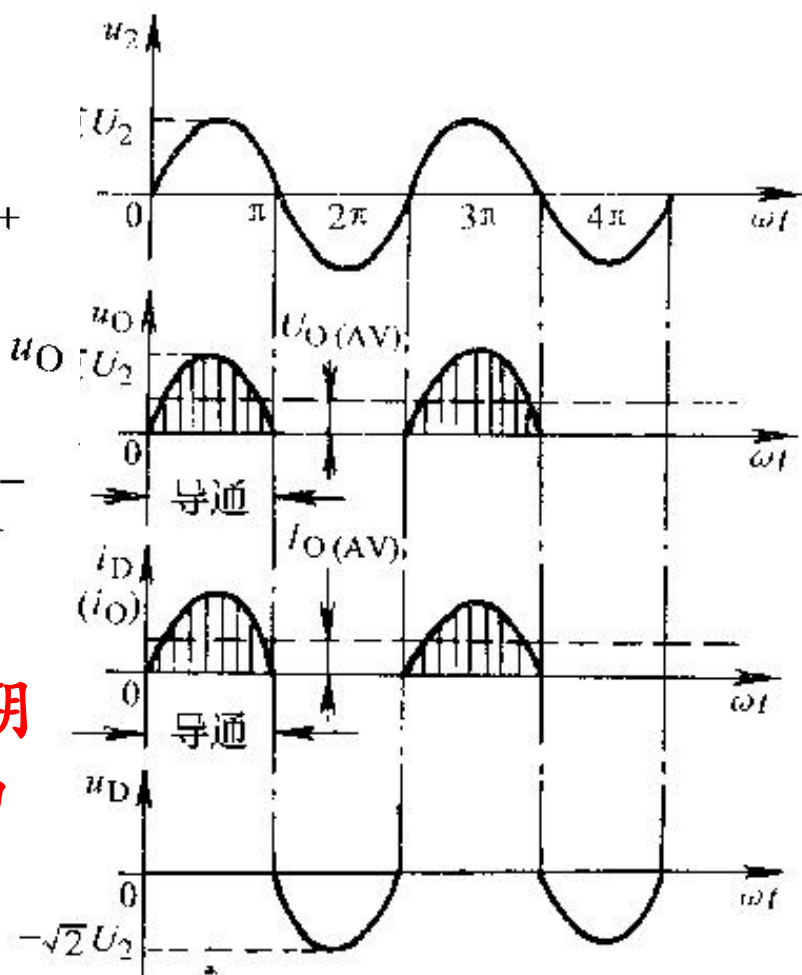
(4) 稳压电路 当电网电压波动或负载变动时，经滤波后的直流电压大小还会变动。稳压电路的作用是使直流输出电压基本不受上述因素的影响。

10.1 整流电路

1. 电路组成



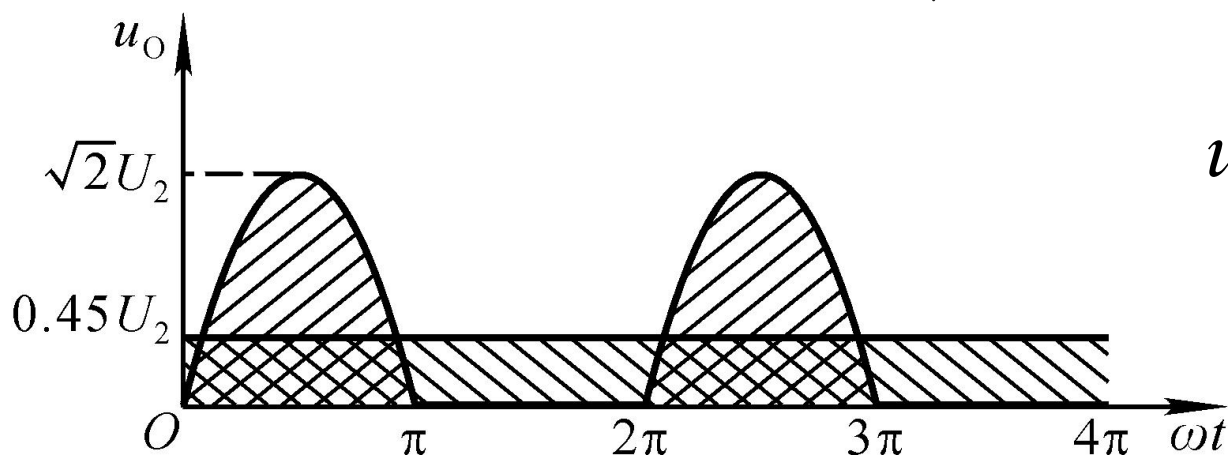
因为负载上只有半个周期内有电流和电压，所以称为“半波整流电路”。



2. 电路参数分析

(1) 输出电压平均值:

负载电阻上电压的平均值



$\omega t = 0 \sim \pi$ 时:

$$u_o = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$$

$\omega t = \pi \sim 2\pi$ 时:

$$u_o = 0$$

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

(2) 负载电流的平均值: $I_{O(AV)} = \frac{U_{O(AV)}}{R_L} \approx 0.45 \frac{U_2}{R_L}$

(3) 输出电压的脉动系数:

整流输出电压的基波峰值与输出电压平均值之比。

$$S = \frac{U_{O1M}}{U_{O(AV)}} \quad \text{经推导: } S \approx 1.57$$

S越大，脉动越大。

半波整流电路的输出脉动很大。

3.二极管的选择

一般根据流过二极管的正向平均电流和它所承受的最大反向电压来选择。

半波整流电路中，二极管的正向平均电流等于负载电流平均值： $I_{D(AV)} = I_{O(AV)} \approx 0.45U_2 / R_L$

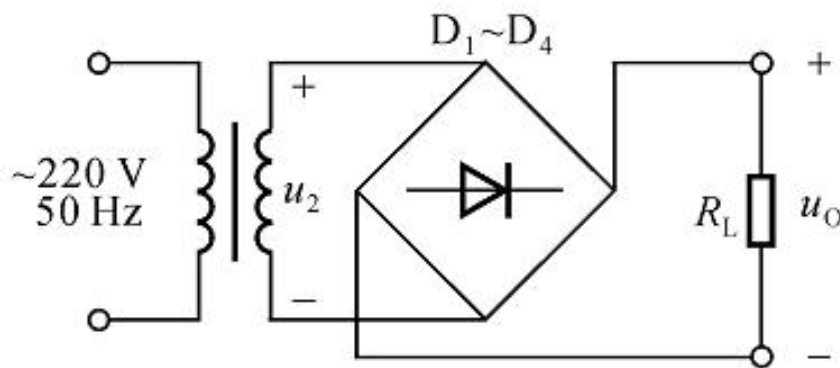
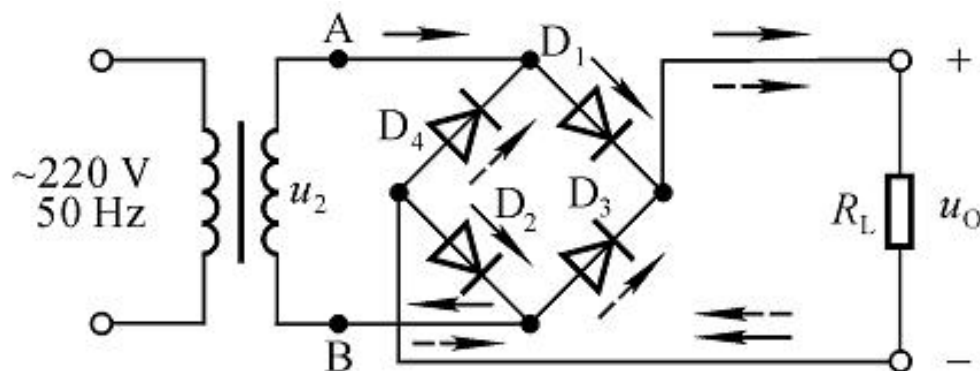
二极管承受的最大反向电压等于变压器副边的峰值电压： $U_{RM} = \sqrt{2}U_2$

4.半波整流的特点

- 1) 单相半波整流电路简单易行;
- 2) 由于它仅利用了交流电路的半个周期, 所以输出电压低, 脉动大 (即交流分量大), 效率低。
- 3) 只适用于整流电流较小, 对脉动要求不高的场合。

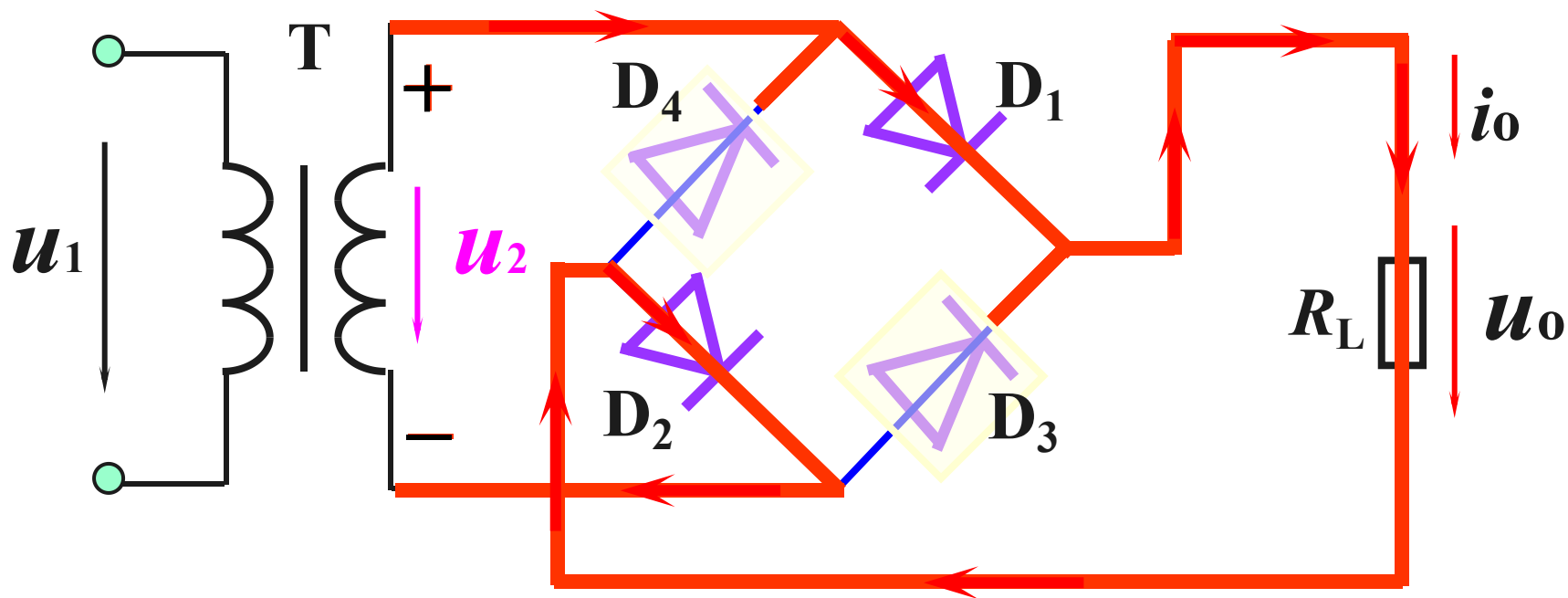
单相桥式整流电路

1. 电路组成及工作原理



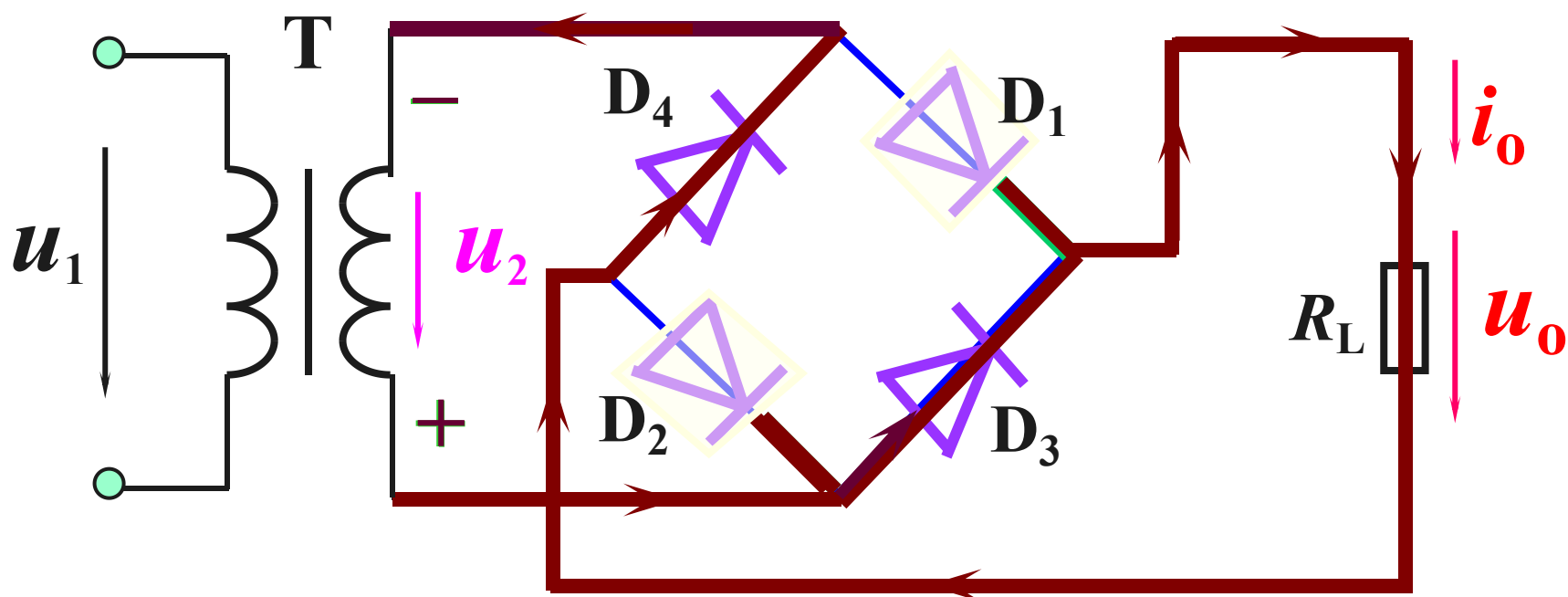
工作原理

(1) u_2 正半周时

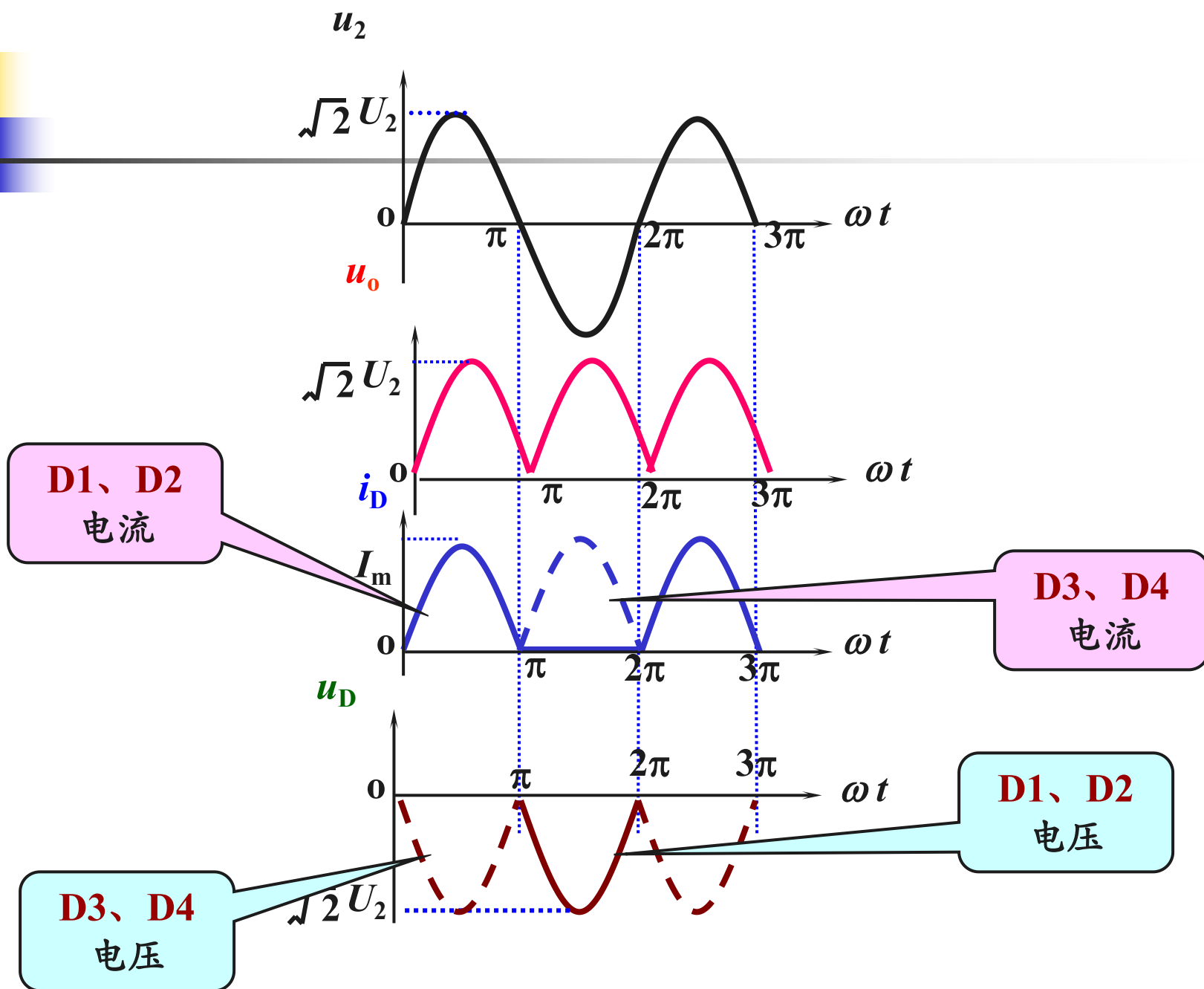


D_1 和 D_2 导通, D_3 和 D_4 截止(相当于开路)

(2) u_2 负半周时



D_3 和 D_4 导通, D_1 和 D_2 截止。



2. 电路参数分析

(1) 输出电压平均值:

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

(2) 负载电流的平均值: $I_{O(AV)} = \frac{U_{O(AV)}}{R_L} \approx 0.9 \frac{U_2}{R_L}$

(3) 脉动系数: $S = \frac{U_{O1M}}{U_{O(AV)}} \approx 0.67$

3.二极管的选择

每只二极管只在变压器副边电压的半个周期通过电流，故每个二极管的平均电流只有负载上平均电流的一半。

$$I_{D(AV)} = I_{O(AV)} / 2 \approx 0.45U_2 / R_L \text{ (同半波整流电路)}$$

二极管承受的最大反向电压等于变压器副边的峰值电压 $\sqrt{2}U_2$

实际选用时，应至少留有10%的裕量。

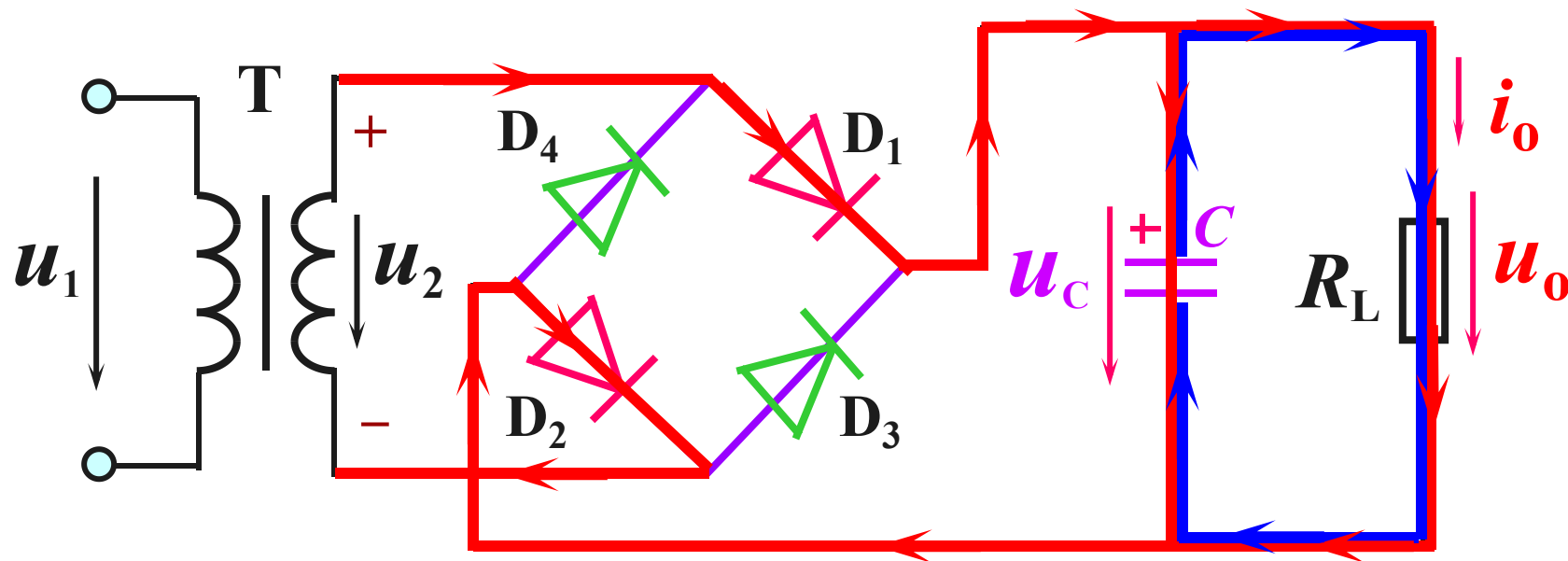
4.桥式整流的特点

- 1) 桥式整流电路与半波整流电路相比，在相同的变压器副边电压下，对二极管要求相同。
- 2) 桥式整流电路的输出电压与输出电流的平均值是半波整流电路的两倍。
- 3) 输出电压高，脉动小，变压器利用率高，因此得到广泛应用。

10.2 滤波电路

电容滤波电路

滤波原理

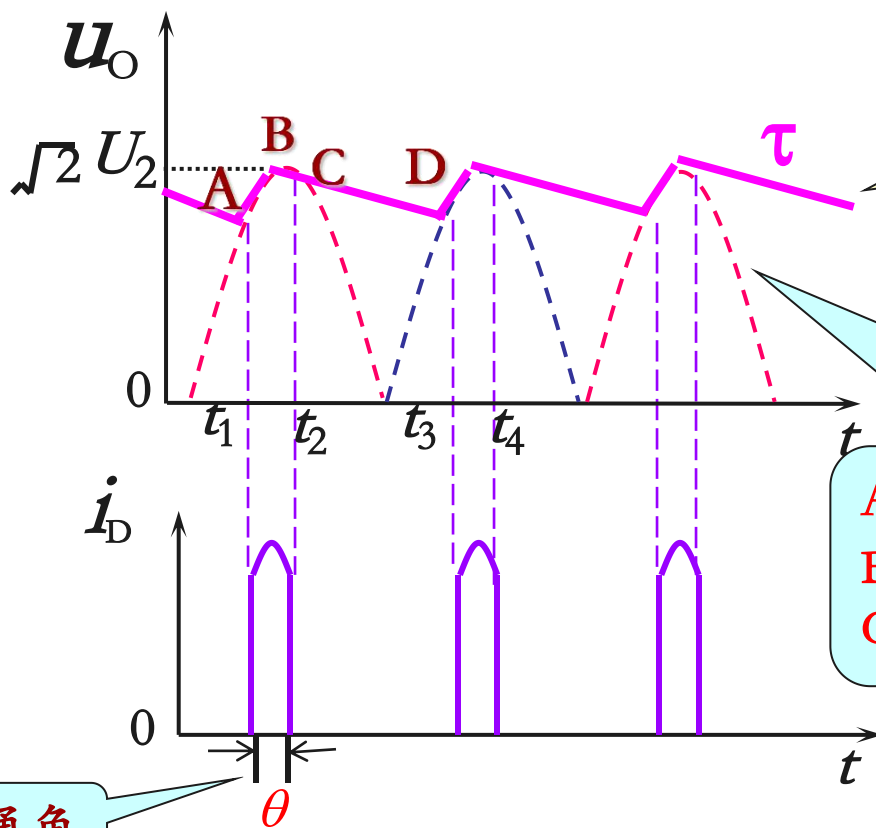


注意电容器两端电压 u_c 对整流元件导电的影响。

二极管导通时给电容充电,二极管截止时电容向负载放电;

滤波后输出电压 u_o 的波形变得平滑,平均值提高。

2. 输出电压的平均值



红: U_2 正半周;
绿: U_2 负半周。
放电时间常数由
 $R_L C$ 决定。

AB段 D_1 、 D_2 通, C 充电 $u_o = u_c = u_2$
BC段 D_1 、 D_2 止, C 放电 $u_o = u_c \approx u_2$
CD段 D_1 、 D_2 止, C 放电 $u_o = u_c > u_2$

导通角

当满足 $R_L C = (2 \sim 5) T/2$ 时

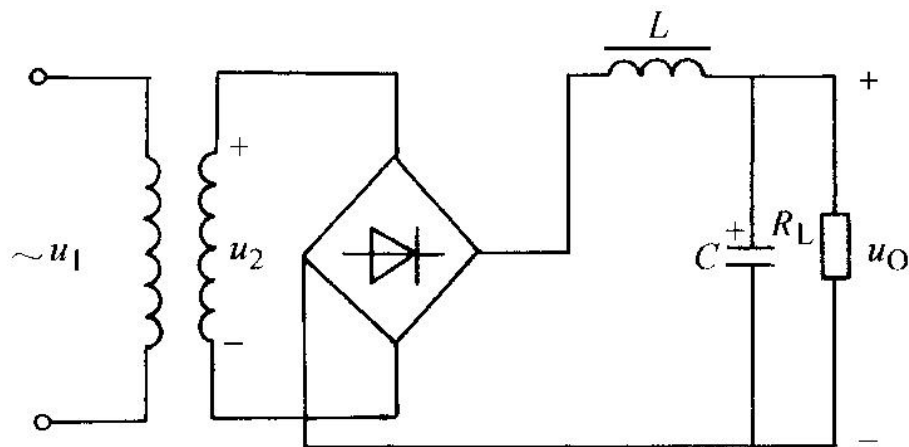
$$U_{o(AV)} \approx 1.2 U_2$$

为获得较好的滤波效果, C 的容量应选大些。

电感电容滤波电路

为了减小输出电压的脉动程度，在滤波电容之前串接一个铁心线圈，就组成了电感电容滤波（LC滤波）电路。

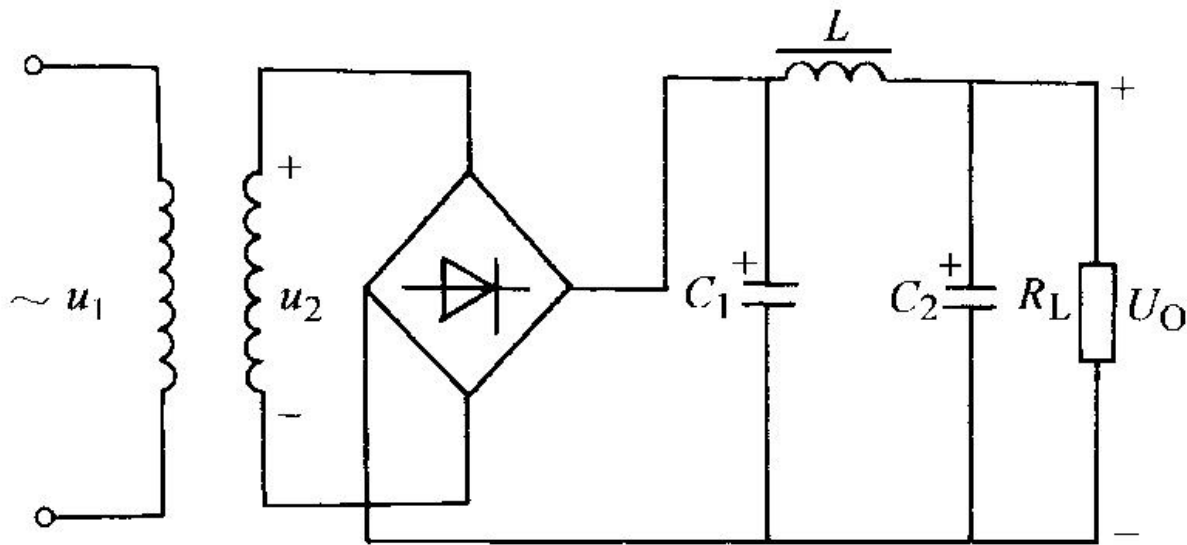
由于通过电感线圈的电流发生变化时，线圈中要产生自感电动势阻碍电流的变化，因而使负载电流和负载电压的脉动大大减小。



频率越高，电感越大，滤波效果越好。

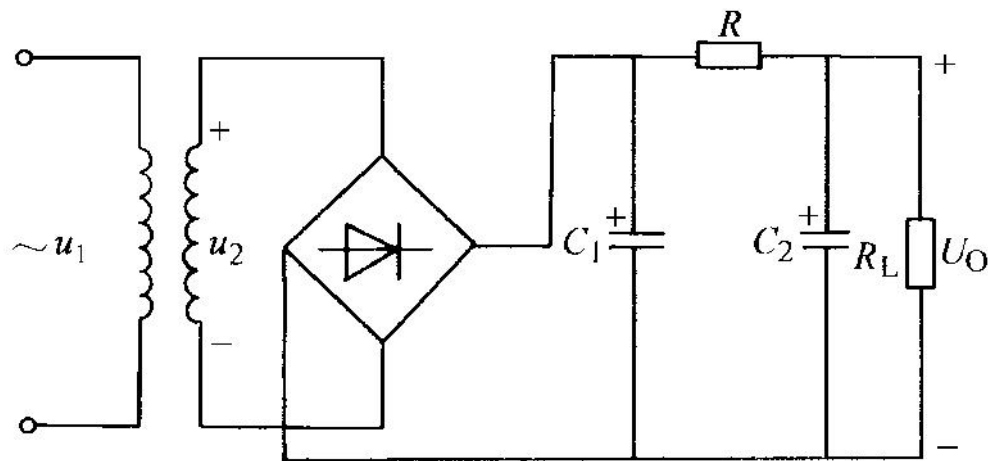
π 形滤波电路

LC- π 形滤波电路相当于在LC滤波电路的前面并联一个滤波电容 C_1 。



这样，滤波效果比LC滤波更好，但整流二极管的冲击电流较大。

由于电感线圈体积大而且笨重，成本又高，所以有时用电阻 R 代替 π 形滤波电路中的电感线圈，构成了RC- π 形滤波电路。



它是利用 R 和 C 对输入回路整流后电压的交流分量的不同分压作用来实现滤波作用的。

倍压整流电路

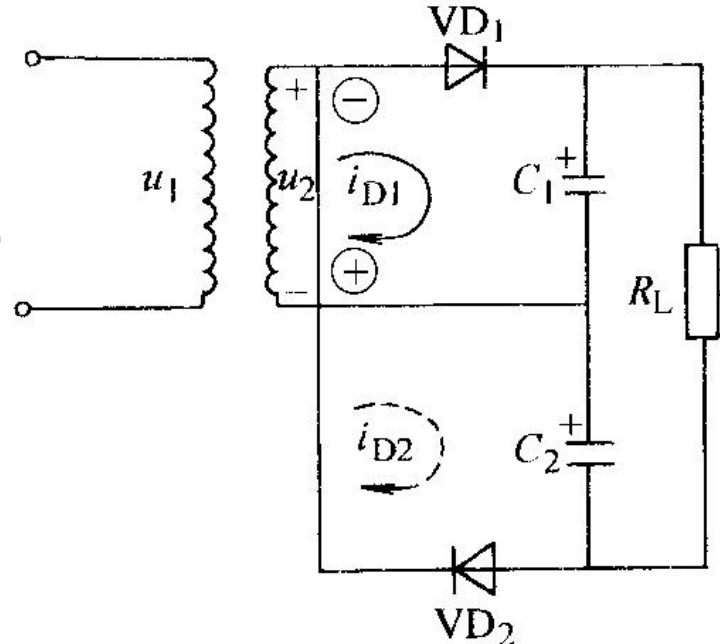
1. 二倍压整流电路

当变压器二次电压为正半周
(u_2 的极性为上正下负) 时

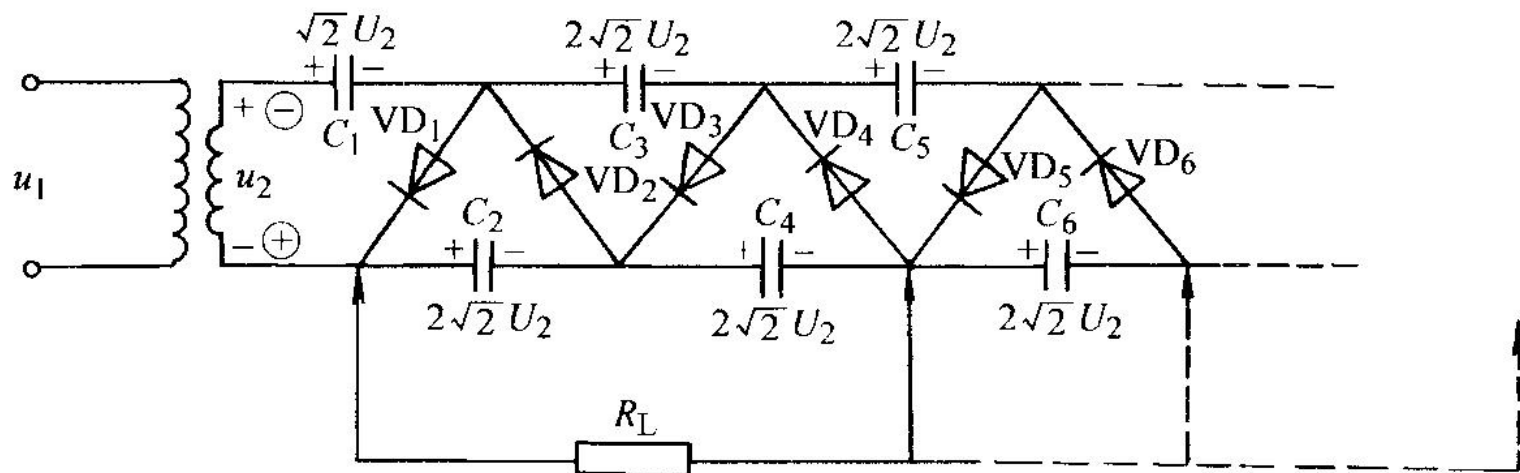
二极管 VD_1 导通, 在理想情况下, 将电容 C_1 充电至 u_2 的最大值 $\sqrt{2}U_2$, 极性如图中所示。

在负半周时, VD_2 导通, 将电容 C_2 充电至 $\sqrt{2}U_2$, 极性如图中所示。

由图中可见, 负载 R_L 上的输出电压是两个电容电压之和, 即为 $2\sqrt{2}U_2$ 。



2. 多倍压整流电路



当 u_2 为正半周（极性为上正下负）时，电源电压通过 VD_1 将电容 C_1 充电至 $\sqrt{2}U_2$ 。

然后，在 u_2 负半周（上负下正）时， VD_2 导通。此时 C_1 上的电压 u_{C1} 与 u_2 的极性一致，它们共同将电容 C_2 充电到 $2\sqrt{2}U_2$ 。

10.3 稳压电路

当电网电压波动和负载变化时，整流滤波电路的输出电压会随之变化。为了能够提供更加稳定的直流电源，需要在整流滤波后面加入稳压电路。

稳压电路的主要性能指标

1. 稳压系数 S_r

负载及环境温度 T 不变时,直流输出电压 U_O 的相对变化量与稳压电路输入电压 U_I 的相对变化量之比。

$$S_r = \frac{\Delta U_O / U_O}{\Delta U_I / U_I} \bigg|_{\substack{R_L = \text{常数} \\ T = \text{常数}}}$$

S_r 表明电网电压波动的影响。

2. 输出电阻 R_o

稳压电路输入电压一定时，输出电压变化量与输出电流变化量之比的绝对值。

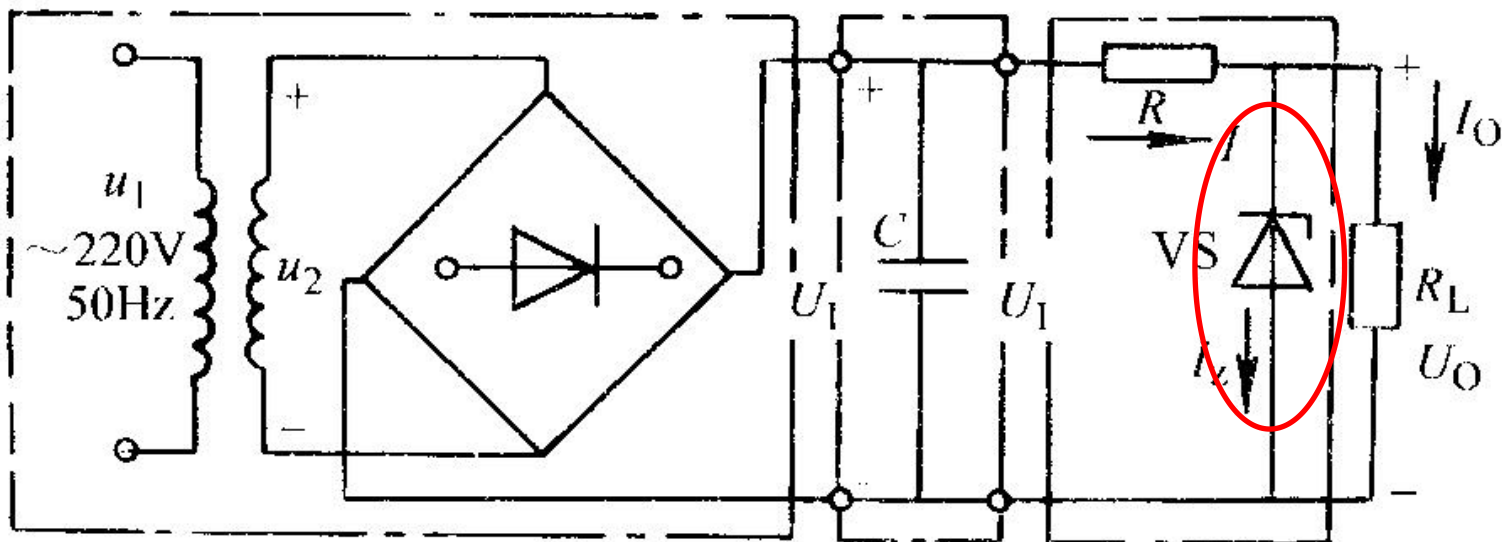
$$R_o = \left| \frac{\Delta U_o}{\Delta I_o} \right| \bigg|_{\substack{U_I = \text{常数} \\ T = \text{常数}}}$$

R_o 表明负载电阻对稳压性能的影响。

3. 最大纹波电压

稳压电路输出端的交流分量，用有效值或幅值表示。

稳压管稳压电路

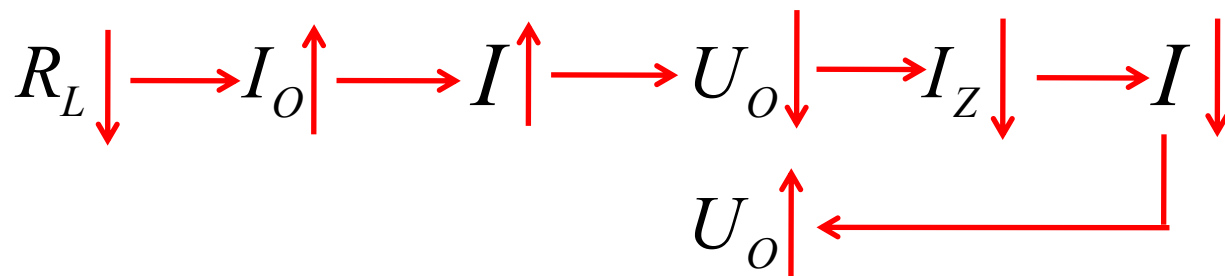


电路中由于稳压管 VS 与负载电阻 R_L 并联，所以也叫做“并联型稳压电路”。

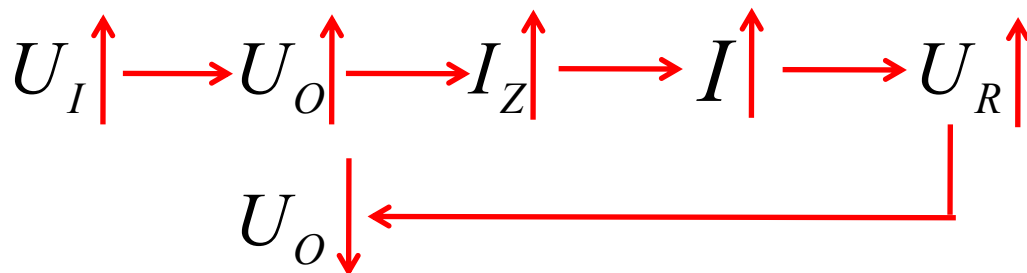
1. 稳压管稳压电路的工作原理

$$U_I = U_R + U_O \quad I = I_Z + I_O$$

当负载发生变化时（设输入电压保持不变）：



当电网电压变化时（设负载电阻保持不变）：



稳压管稳压电路所以能使输出电压保持稳定，是利用了稳压管的稳压特性，即：电流在一定范围内变化时， U_Z 可基本保持一定。

同时，限流电阻 R 是必不可少的，它起了调节电压的作用。

2.限流电阻的选择

限流电阻必须使稳压管处在稳压区,即

$$I_{Zmin} \leq I_Z \leq I_{Zmax}$$

当电网电压最高而负载电流最小时，流过稳

压管的电流最大

$$\frac{U_{Imax} - U_Z}{R} - I_{Omin} < I_{Zmax} \Rightarrow R > \frac{U_{Imax} - U_Z}{I_{Zmax} + I_{Omin}} = R_{min}$$

当电网电压最低而负载电流最大时，流过稳

压管的电流最小

$$\frac{U_{Imin} - U_Z}{R} - I_{Omax} > I_{Zmin} \Rightarrow R < \frac{U_{Imin} - U_Z}{I_{Zmin} + I_{Omax}} = R_{max}$$

例 设稳压管的 $U_Z=6V$, $I_{Zmax}=40mA$, $I_{Zmin}=5mA$,
 $U_{Imax}=15V$, $U_{Imin}=12V$, $R_{Lmax}=600\Omega$, $R_{Lmin}=300\Omega$,
试选择限流电阻 R 。

$$I_{Omin} = \frac{U_Z}{R_{Lmax}} = \frac{6V}{600\Omega} = 0.01A = 10mA$$

$$I_{Omax} = \frac{U_Z}{R_{Lmin}} = \frac{6V}{300\Omega} = 0.02A = 20mA$$

$$R > R_{min} = \left(\frac{15-6}{0.04+0.01} \right) \Omega = 180\Omega$$

$$R < R_{max} = \left(\frac{12-6}{0.005+0.02} \right) \Omega = 240\Omega$$

稳压管稳压电路在输出电压不需调节、负载电流比较小的情况下，效果比较好。

缺点：

1. 输出电压由稳压管的型号决定，不可随意调节；
2. 电网电压和负载电流的变化太大时，电路将不能适应。

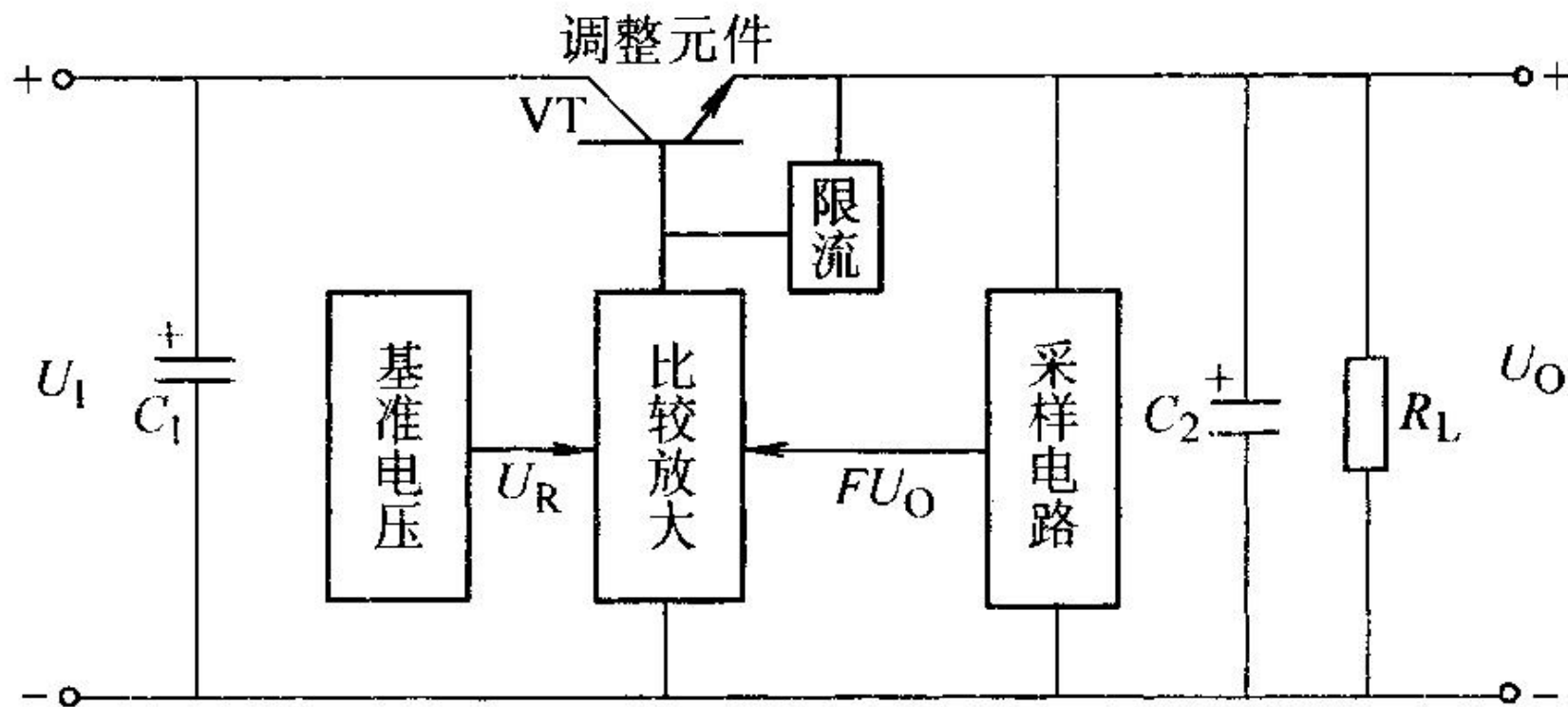
线性串联型稳压电路

线性串联型稳压电路是在稳压管稳压电路的基础上，增加了调整元件、比较放大电路、取样电路等环节。

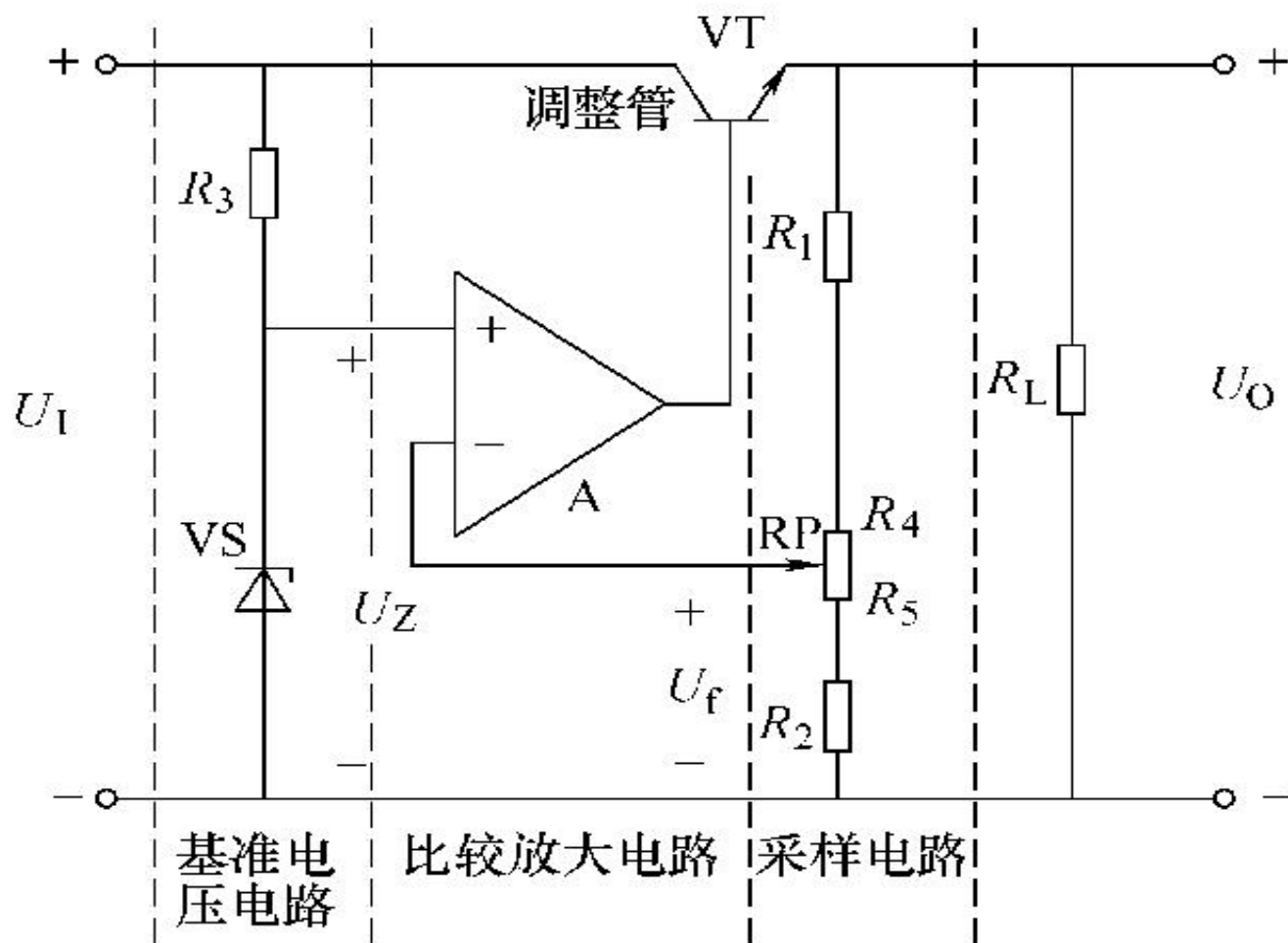
利用晶体管的放大作用，加大输出电流，并引入深度电压负反馈以稳定输出电压。

同时，可以通过改变电路参数，使输出电压具有一定的调节范围。

1. 线性串联型稳压电路的基本组成



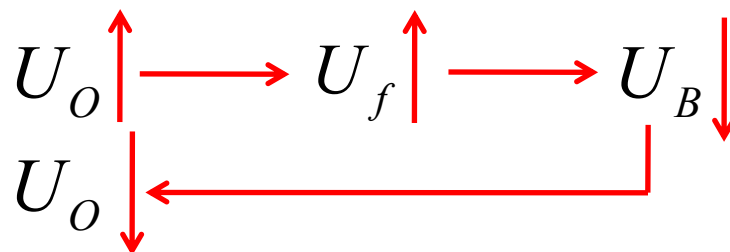
2.稳压原理



当输入电压波动或负载变化引起输出电压 U_o 升高时，输出电压的变化通过取样值 U_f 反馈到运放的反相输入端。

因同相输入端接基准电压 U_Z ，经比较放大后，使运放A的输出电压（即VT的基极电压）降低。因为VT接成了射极跟随器，所以输出电压 U_o 也随之降低。

这一稳压过程可简单表示为：



3. 输出电压及其调节范围

理想情况下, $U_N = U_P = U_Z$ 。

所以输出电压为

$$U_O = \left(1 + \frac{R_1 + R_4}{R_2 + R_5} \right) \cdot U_Z$$

当RP的滑动点在最上端，即 $R_5=R_{RP}$ 时，输出电压最小，为：

$$U_O = U_{O\min} = \frac{R_1 + R_{RP} + R_2}{R_2 + R_{RP}} \cdot U_Z$$

当RP的滑动点在最下端，即 $R_5=0$ 时，输出电压最大，为：

$$U_O = U_{O\max} = \frac{R_1 + R_{RP} + R_2}{R_2} \cdot U_Z$$

4.能隙基准电压源电路（感兴趣自己了解）

线性串联型稳压电路的输出电压与基准电压密切相关，基准电压源的性能直接影响着稳压电源的性能。

采用稳压管做基准电压源，它的优点是电路简单，但存在输出电阻大、噪声电平较高的弊端。

性能好的基准电压源应该输出电阻小、噪声低、温度稳定性好。目前，被广泛采用的能隙基准电压源（又叫带隙基准电压源）就具备上述优点。

开关式稳压电路

线性串联型稳压电路中，调整管工作在线性放大区。这种电路结构简单，输出纹波小，稳压性能好。

但是，在负载电流较大时，调整管的集电极损耗（ $P_C = V_{CE} I_O$ ）相当大（调整管与负载串联，通过负载电流），电源效率较低，一般为40%~60%，往往需配置笨重的散热装置。

将稳压电源改为开关式。即电源中的调整管主要工作在饱和导通和截止两种状态。在调整管饱和导通时，管子压降 U_{CES} 很小；在调整管截止时，管子电流 I_{CE} 也很小，所以调整管的管耗很小，并且主要发生在状态转换过程中。

这样，电源效率可提高到80%~95%，同时省去了笨重的散热装置，体积小、重量轻。

开关式稳压电源的主要缺点是输出电压所含纹波较大，对电子设备有较大干扰。

功率较大、负载固定场合广泛应用。

开关式串联型稳压电路

开关式并联型稳压电路

无工频变压器开关稳压电源

10.4 集成稳压器及其应用

线性集成稳压器及其应用

在线性集成稳压器件中，“三端集成稳压器”只有三个引脚，即输入端、输出端和公共端（或调整端），因此而得名。

三端集成稳压器按输出电压是否可调分为“固定式”和“可调式”两类。

1.输出电压固定的三端集成稳压器

正电源W78 ××系列:

输出电压: 5V、6V、9V、12V、15V、18V、24V

输出电流: W78 ××系列1.5A;

W78M ××系列0.5A;

W78L ××系列0.1A

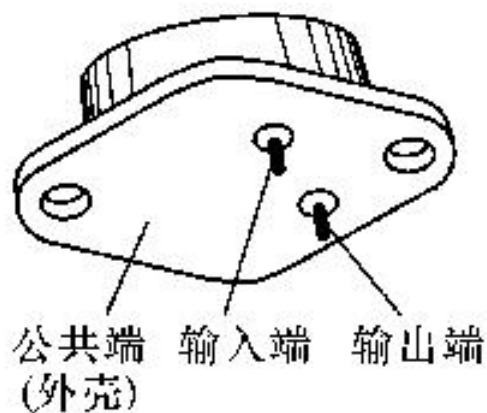
负电源W79 ××系列:

输出电压: -5V、-6V、-9V、-12V、-15V、
-18V、-24V

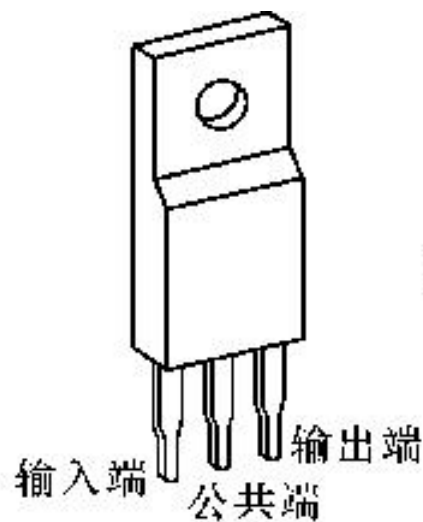
输出电流: 同上

W78XX型三端集成稳压器的外形、图形符号

号如图所示



(a)

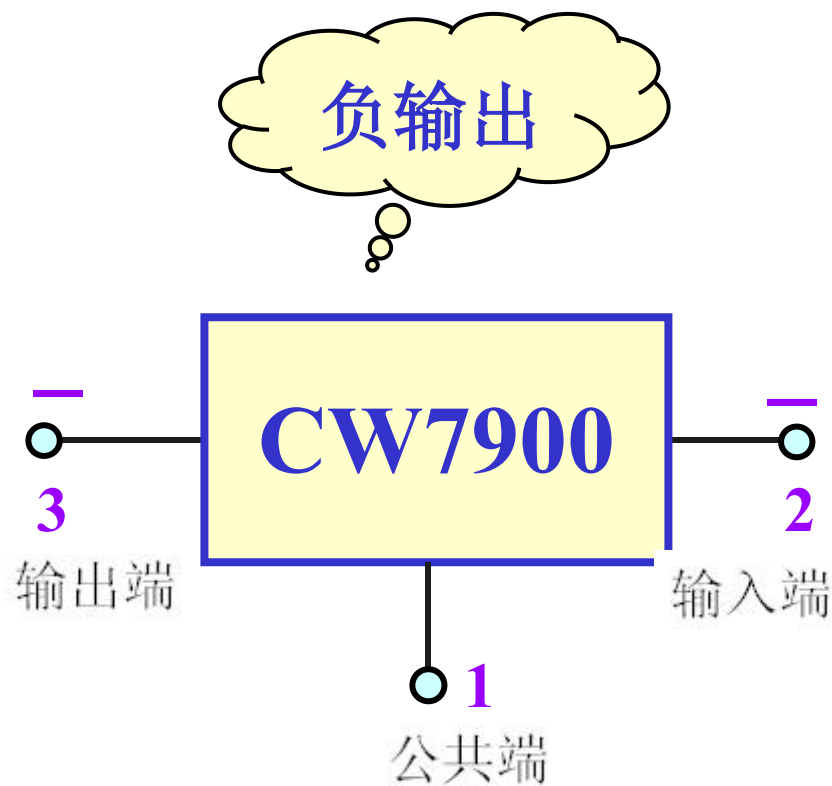
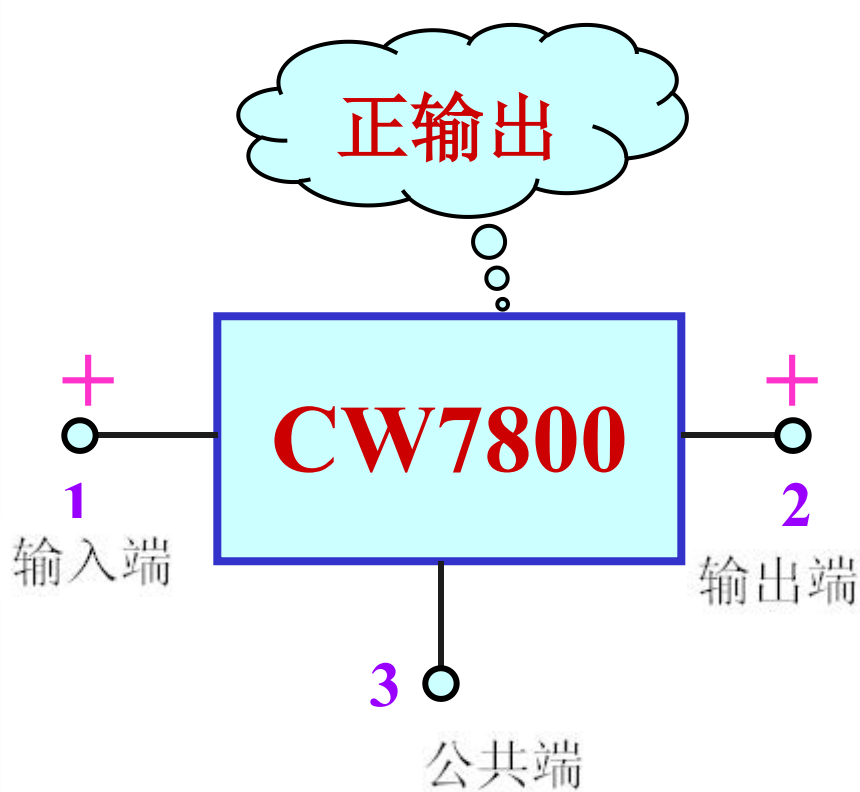


(b)

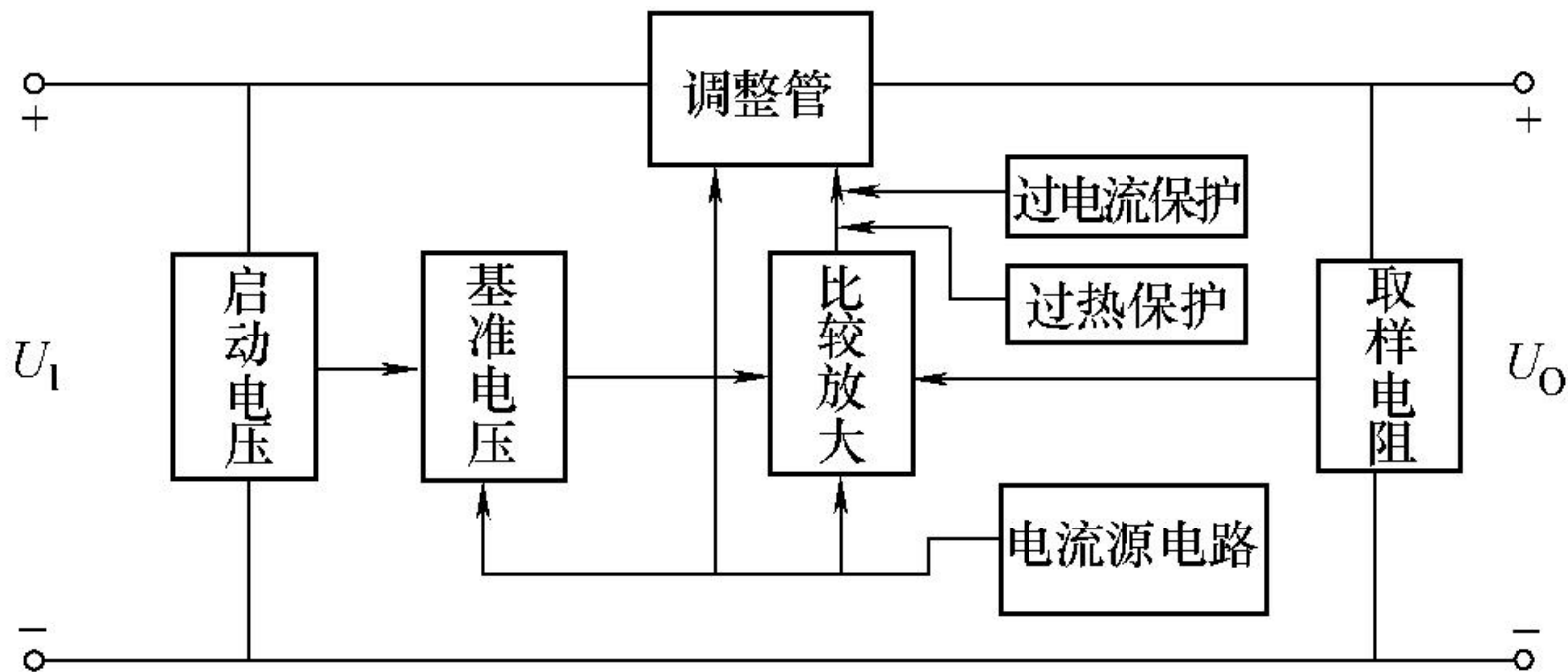


(c)

三端集成稳压器的电路符号



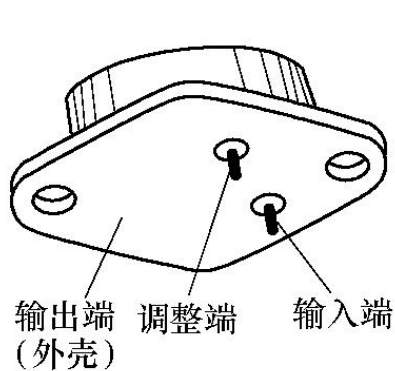
W7805的内部电路结构框图



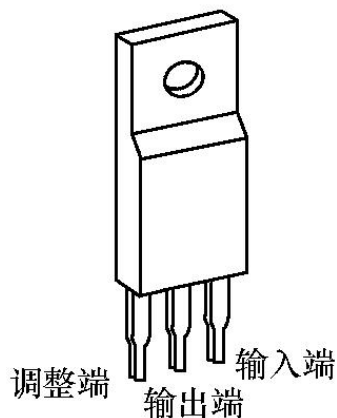
2. 输出电压可调的三端集成稳压器

可调式三端集成稳压器的特点是输出电压连续可调。这类器件是依靠外接电阻来调节输出电压的，输出电压的调节范围较宽。

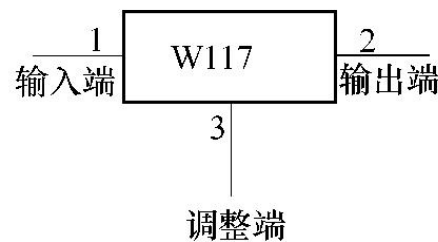
其外形、图形符号如图所示。



a)



b)

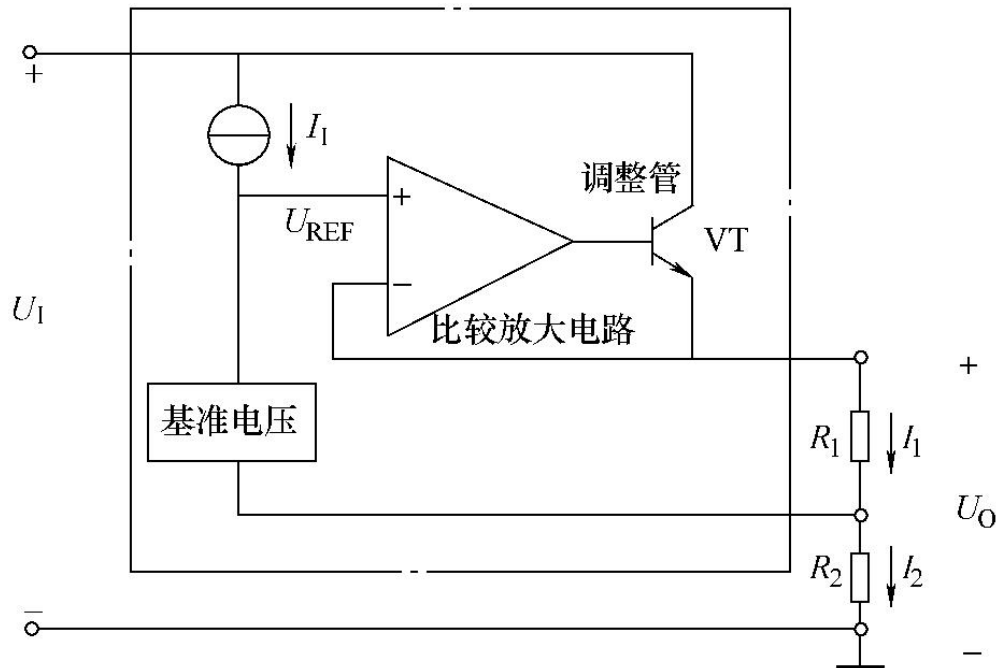


c)

W××7系列为可调式三端集成稳压器，其中W117、W217和W317为正电压输出，W137、W237和W337为负电压输出。

与W78××相类似，最大输出电流也有0.1A(W117L)、0.5A(W117M)和1.5A(W117)三档。

输出电压 U_O 为 R_1 和 R_2 电压之和, R_1 上的电压即 U_{REF} 。因调整端电流远远小于 I_2 , 可忽略不计。



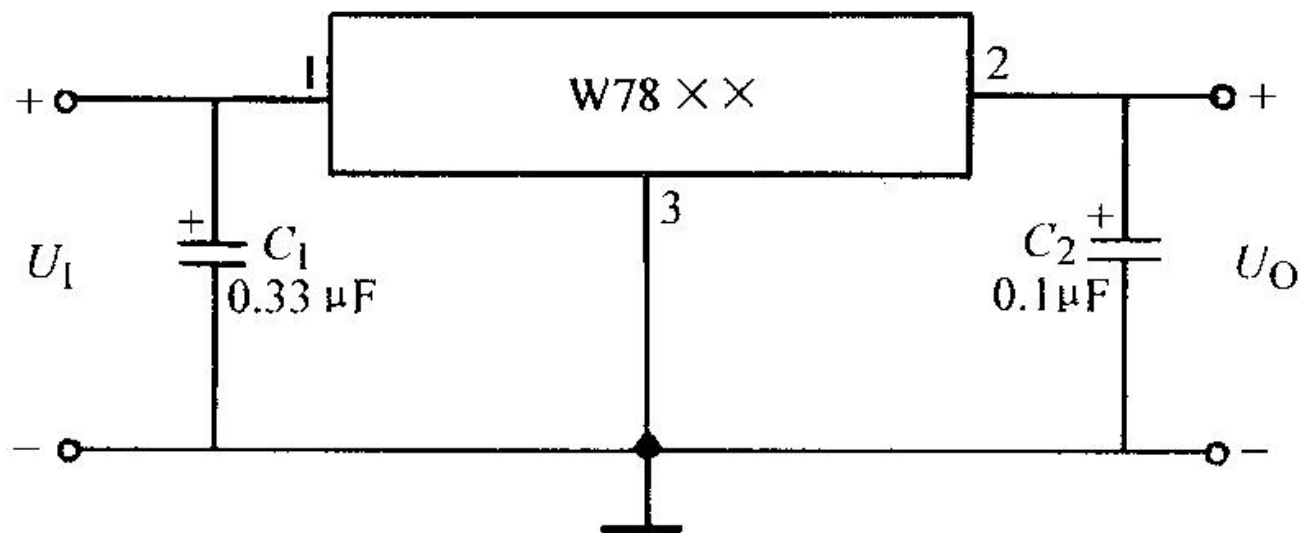
$$I_2 \approx I_1 = \frac{U_{REF}}{R_1}$$

1.25V

$$U_O = U_{R1} + U_{R2} = U_{REF} + I_2 R_2 = U_{REF} + \frac{U_{REF}}{R_1} R_2 = U_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

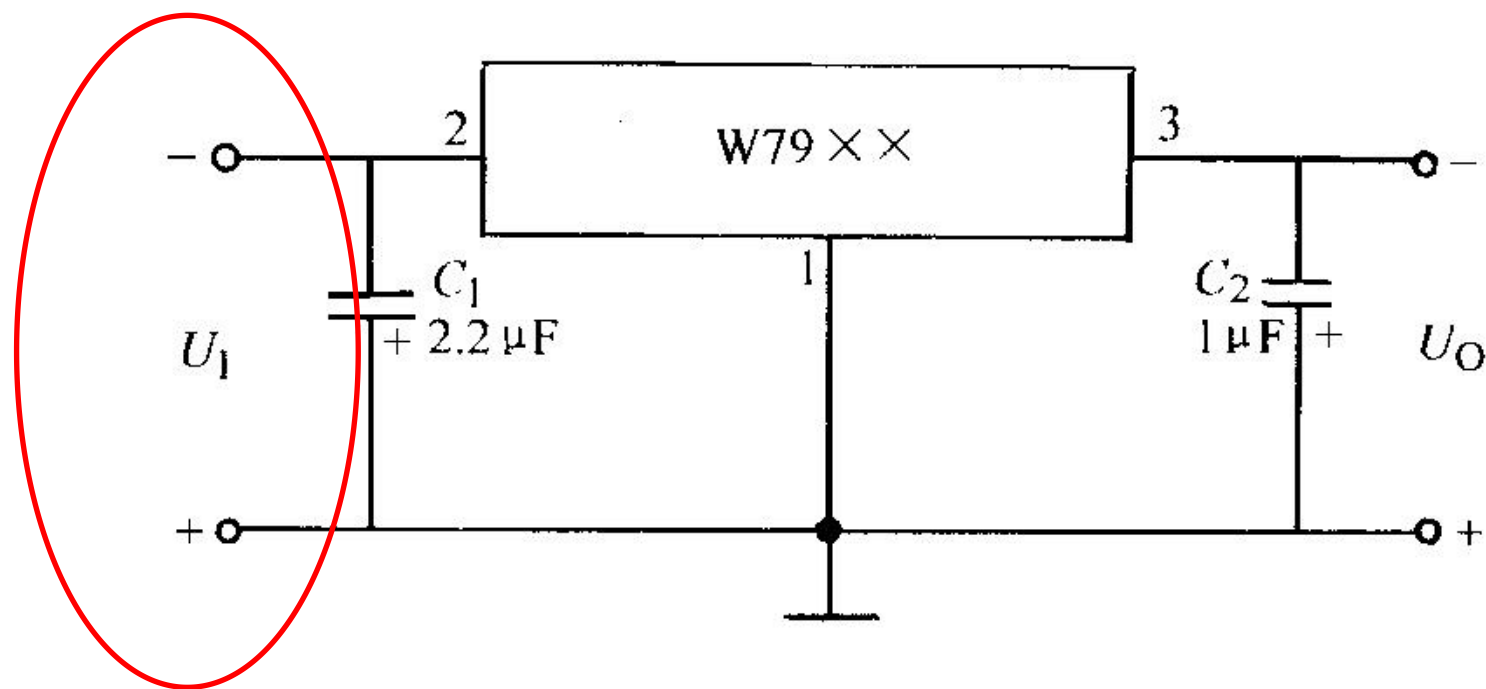
3.W78XX和W79XX固定式集成稳压器的应用

(1) 输出正电压

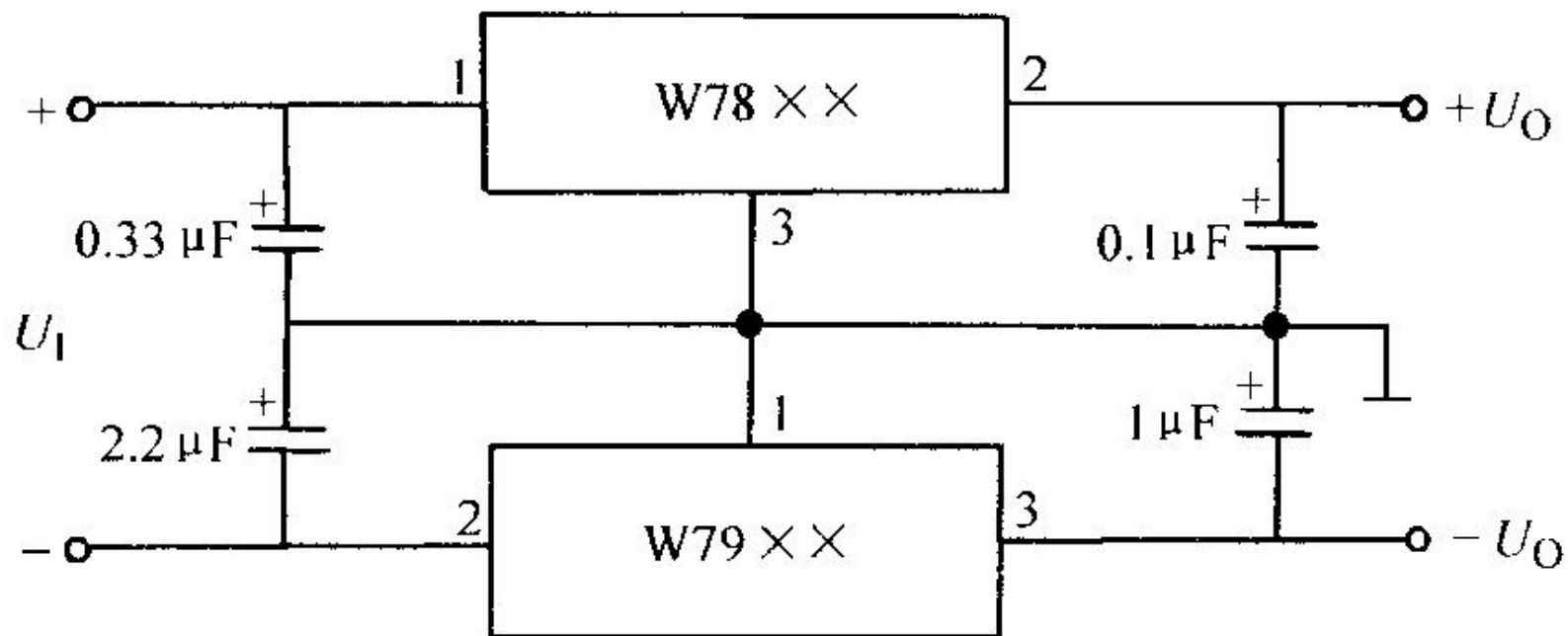


电容器 C_1 和 C_2 用来减少稳压器输入和输出的脉动，并改善负载的瞬态响应。

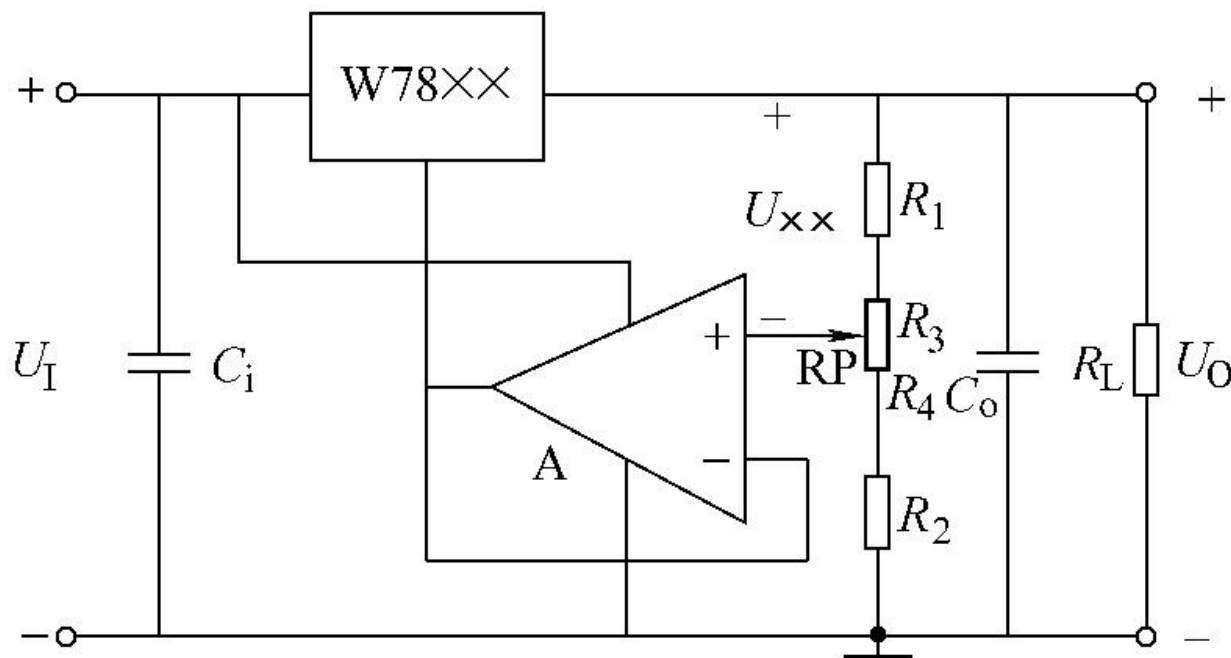
(2) 输出负电压



(3) 同时输出正电压和负电压



(4) 扩大输出电压

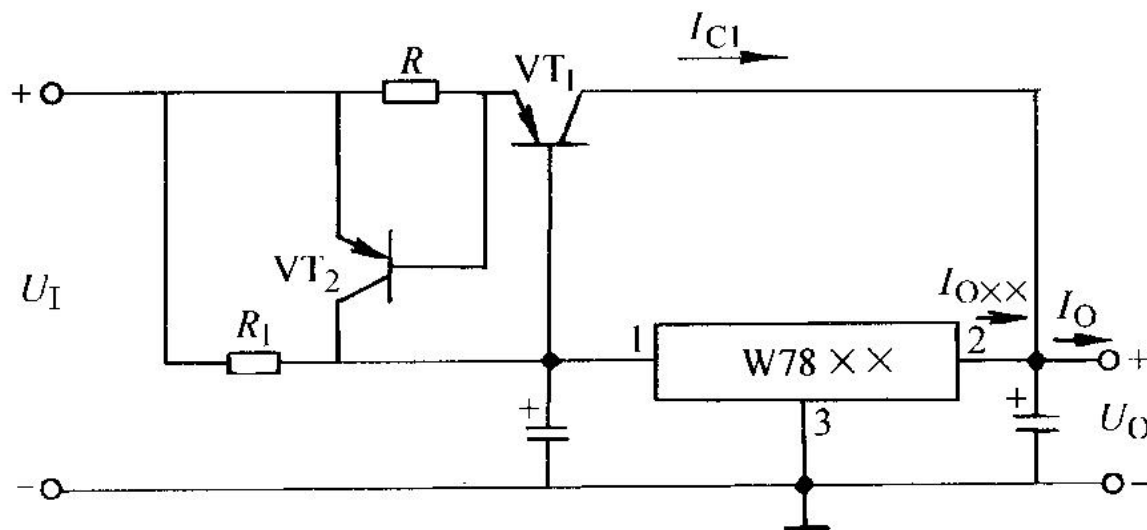


$$U_O = \frac{R_1 + RP + R_2}{R_1 + RP_1} \cdot U_{xx}$$

$$U_{O\min} = \frac{R_1 + RP + R_2}{R_1 + RP} \cdot U_{xx}$$

$$U_{O\max} = \frac{R_1 + RP + R_2}{R_1} \cdot U_{xx}$$

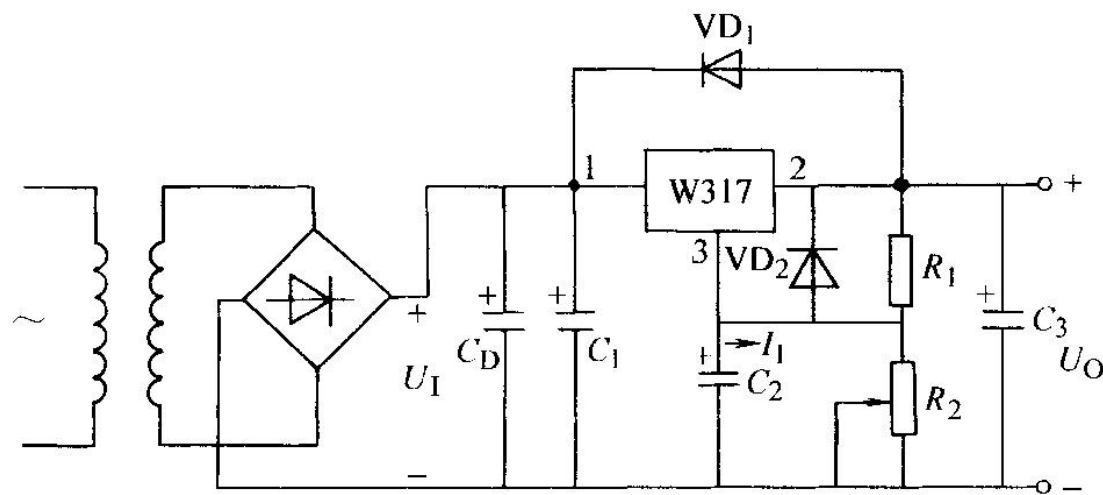
(5) 扩大输出电流



$$I_O = I_{C1} + I_{Oxx}$$

4.WXX7可调式三端集成稳压器的应用

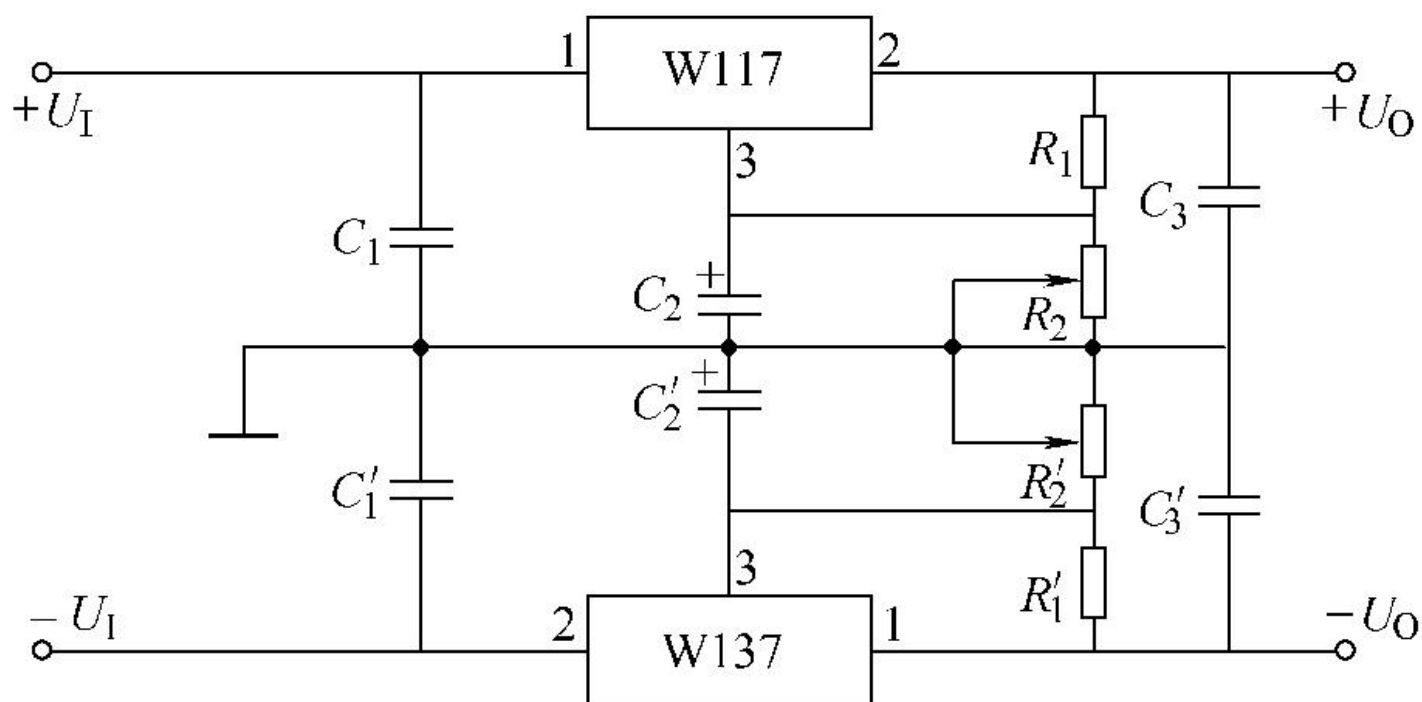
(1) 输出正电压可调

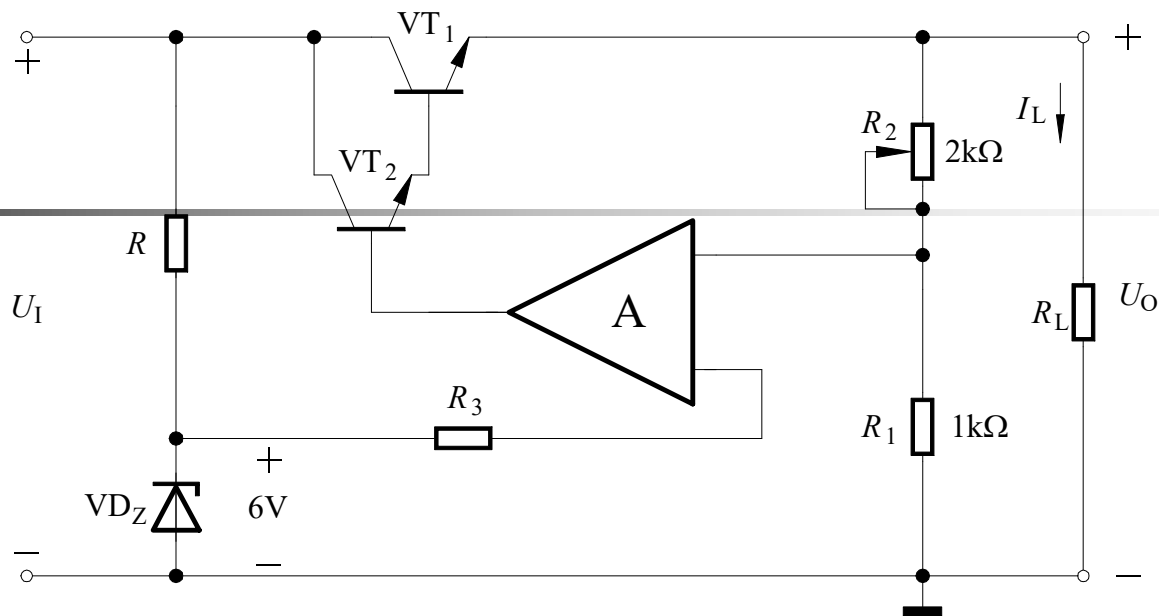


W317的输出端2与调整端3之间为基准电压，其值为1.25V，故 $U_{R1}=1.25V$ 。

I_1 很小可略，所以有 $U_O = 1.25(1 + \frac{R_2}{R_1}) V$

(2) 输出正、负电压可调

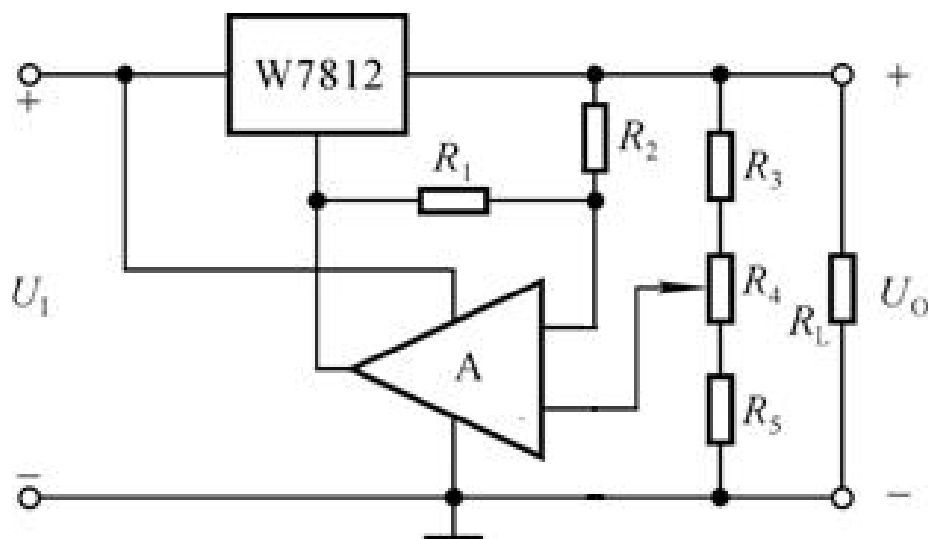




1. 标出集成运放同相输入端和反相输入端；
2. 求出 U_O 的调节范围；
3. 若 VT_1 管的管压降 $U_{CES} > 3V$ 才能正常工作，则 U_I 至少应选多少伏？

直流稳压电源如图T7所示，A可视为理想运放。要求：

1. 说明W7812的名称及其输出电压值；
2. 标出集成运放的同相输入端和反相输入端；
3. 写出输出电压 U_O 调节范围的表达式；



基本要求

1. 直流稳压电源框图组成及各部分的作用。
2. 单相桥式整流电路组成及工作原理。
3. 电容滤波原理。
4. 具有放大环节的串联型稳压电路的工作原理及输出电压调节范围的计算。
5. 三端稳压器的基本应用。