

11 直流稳压电源

11.1 小功率整流滤波电路

11.2 线性稳压电路

11.3 开关式稳压电路

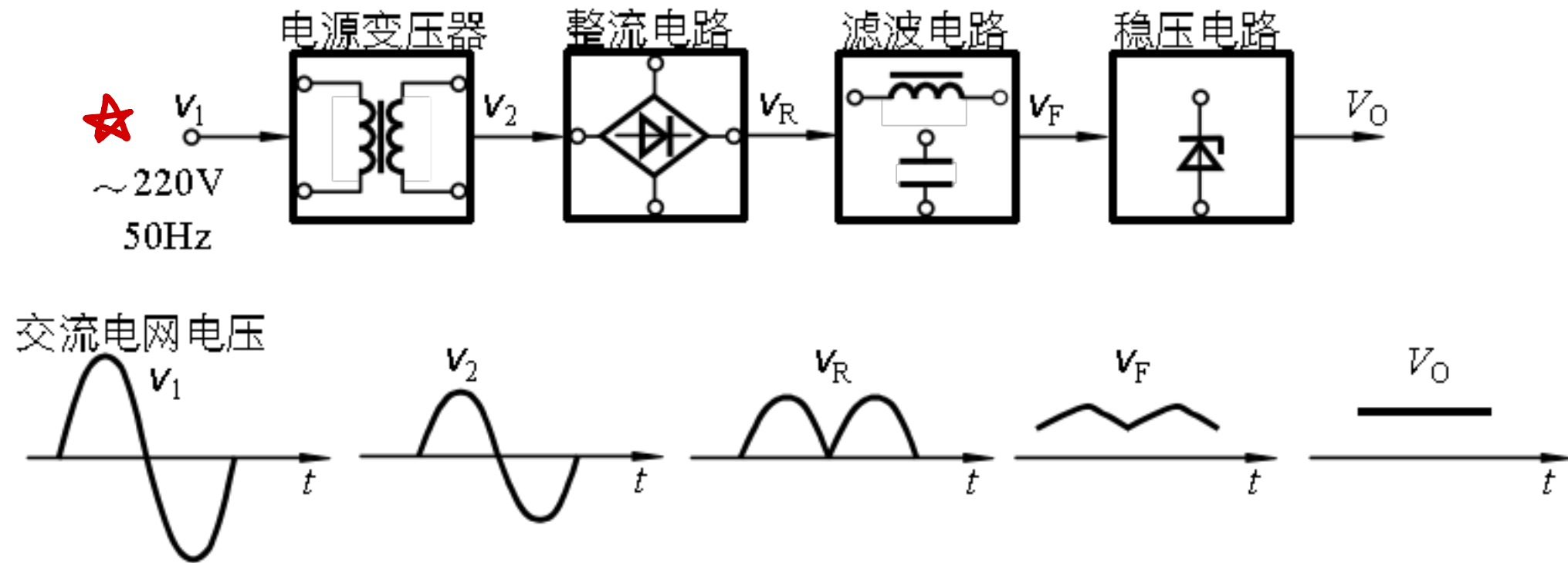
11.1 小功率整流滤波电路

11.1.1 单相桥式整流电路

11.1.2 滤波电路

*11.1.3 倍压整流电路

交流电网电压转换为直流电压的一般过程



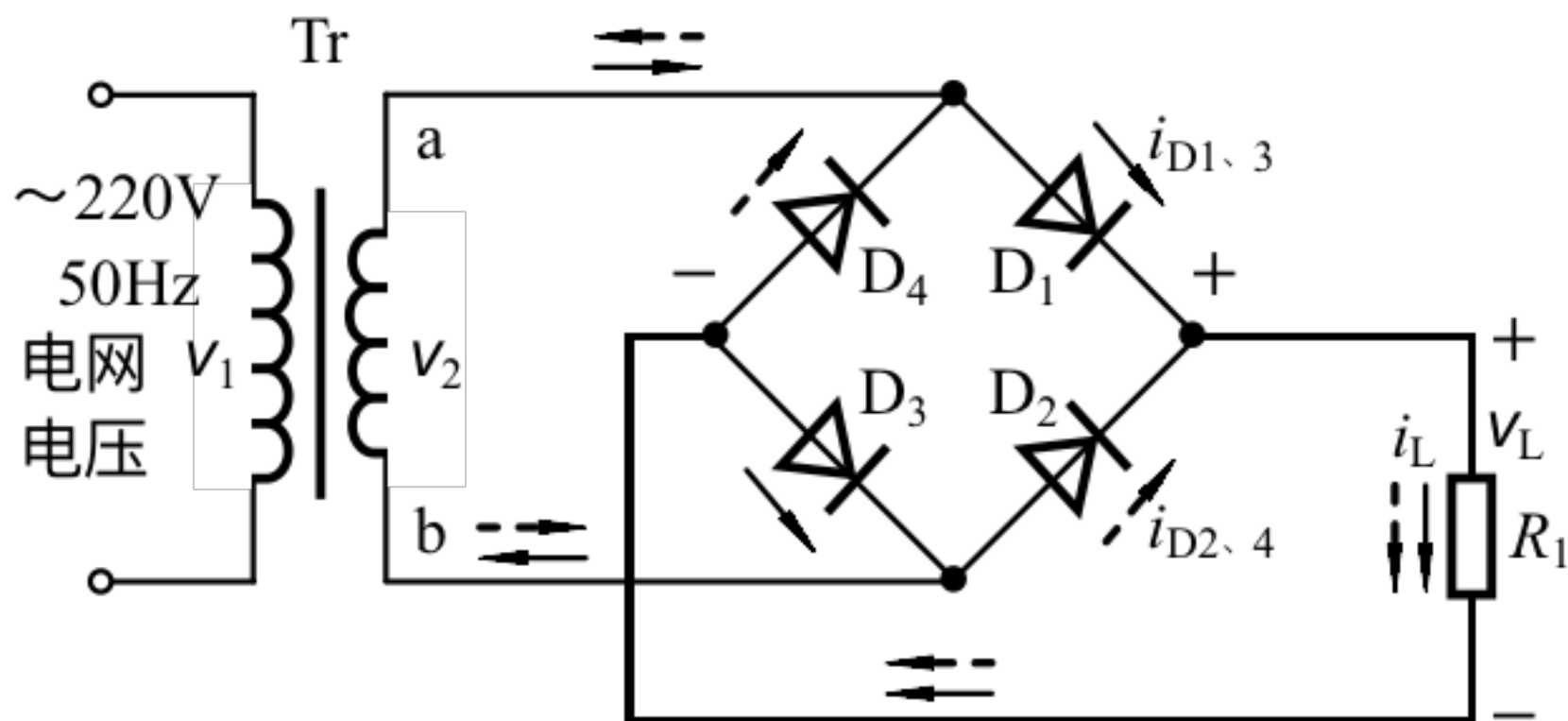
变压器：降压 **整流：交流变脉动直流** **滤波：滤除脉动**

稳压：进一步消除纹波，提高电压的稳定性和带载能力

11.1.1 单相桥式整流电路

1. 工作原理

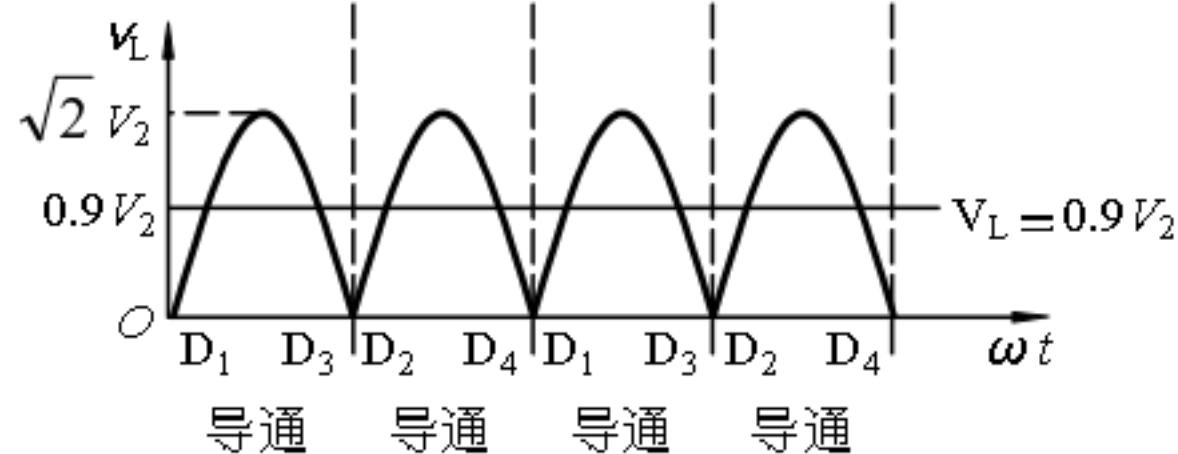
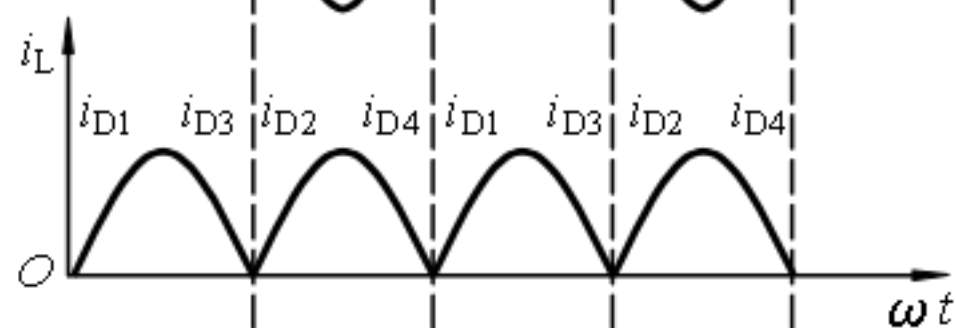
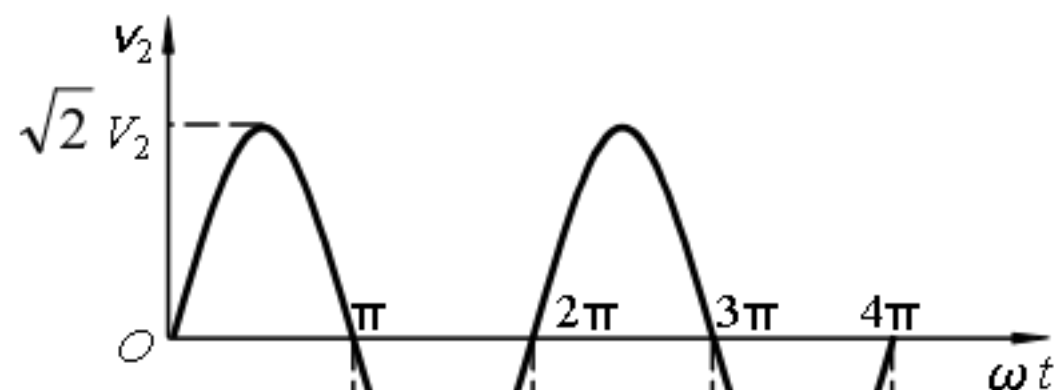
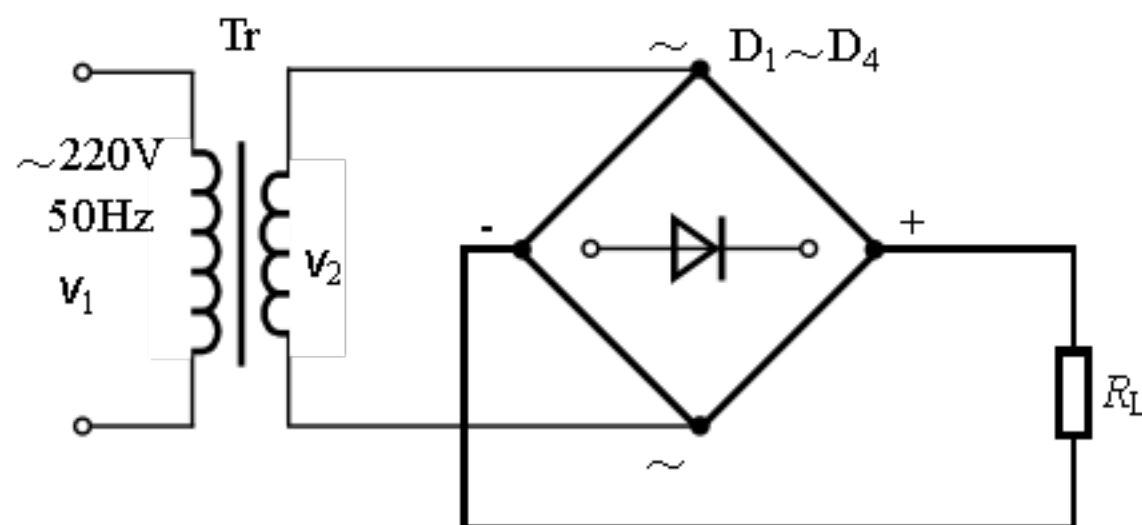
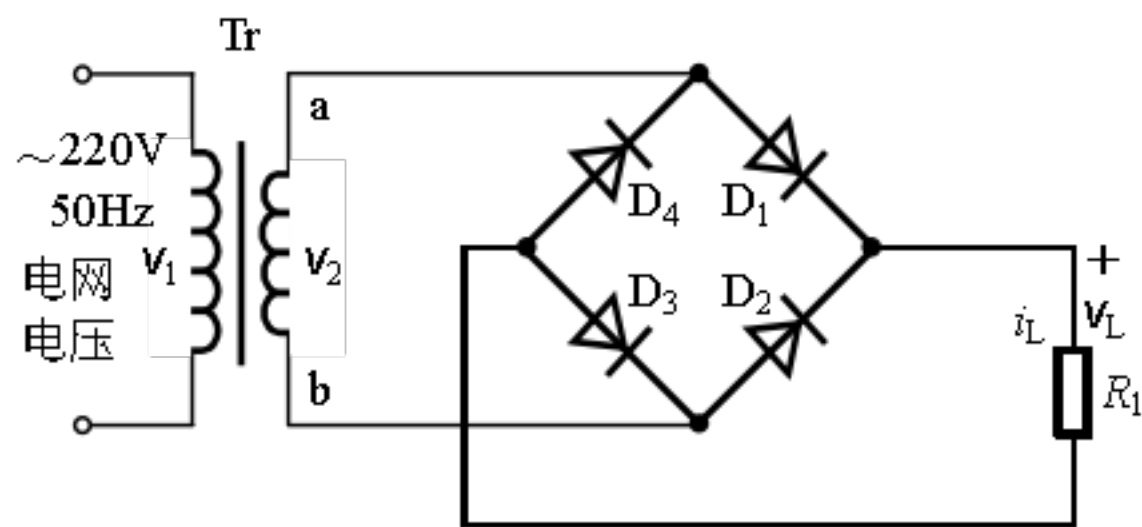
利用二极管的单向导电性



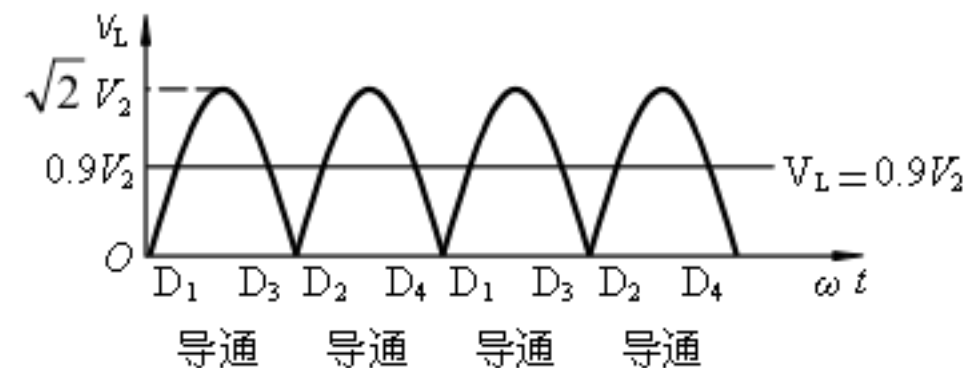
11.1.1 单相桥式整流电路

1. 工作原理

利用二极管的单向导电性



11.1.1 单相桥式整流电路



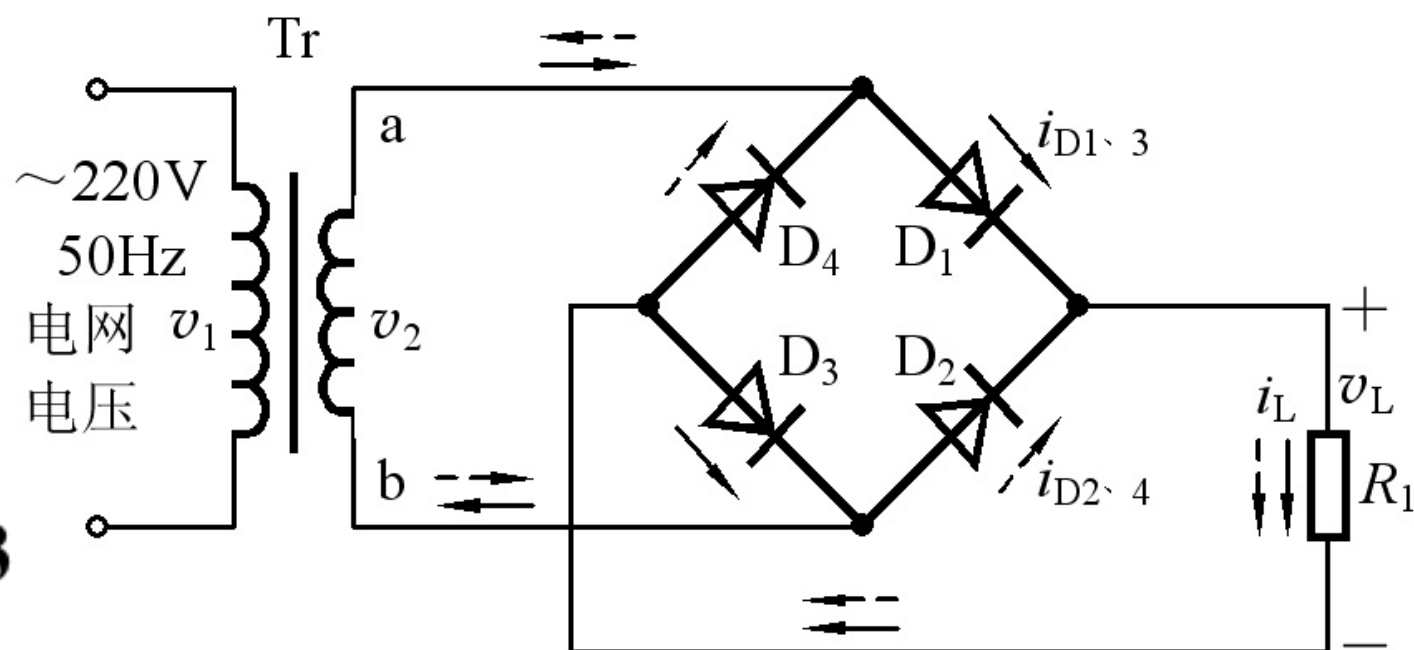
2. V_L 和 I_L

$$V_L = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} \cdot V_2 \sin \omega t \cdot d\omega t = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_2$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{0.9V_2}{R_L}$$

3. 纹波系数

$$K_r = \frac{\sqrt{V_2^2 - V_L^2}}{V_L} = 0.483$$



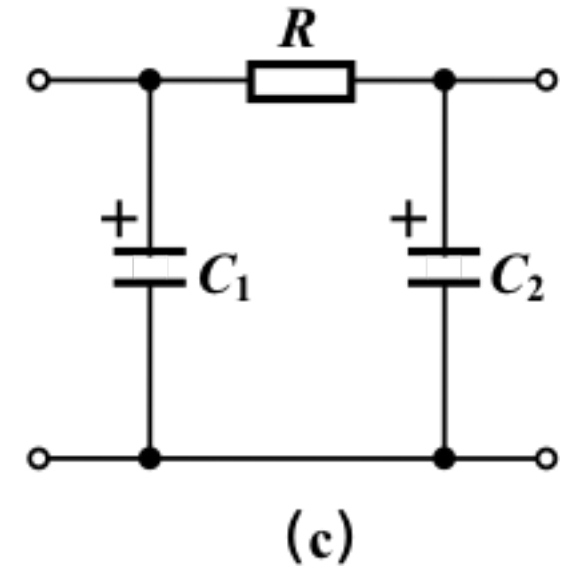
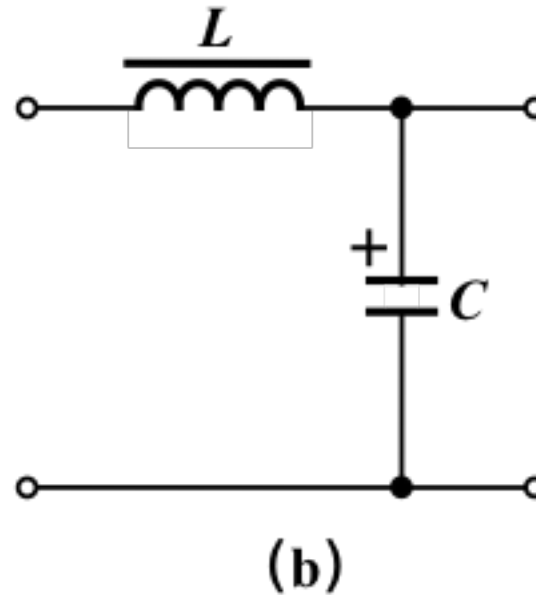
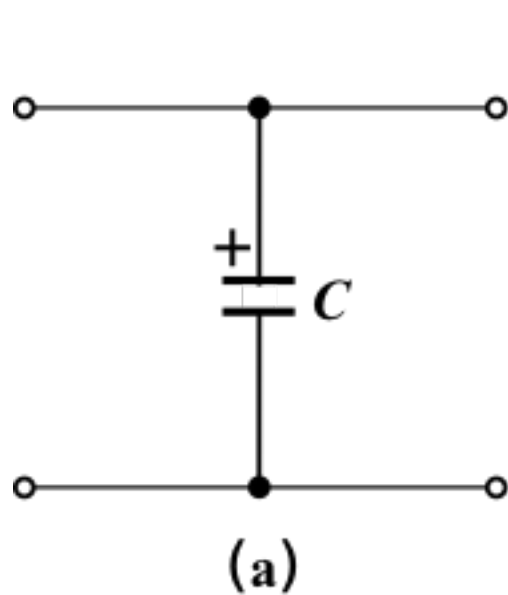
4. 平均整流电流

$$I_{D1} = I_{D3} = I_{D2} = I_{D4} = \frac{1}{2} I_L = 0.45 \frac{V_2}{R_L}$$

5. 最大反向电压 $V_{RM} = \sqrt{2} V_2$

11.1.2 滤波电路

几种滤波电路



(a) 电容滤波电路

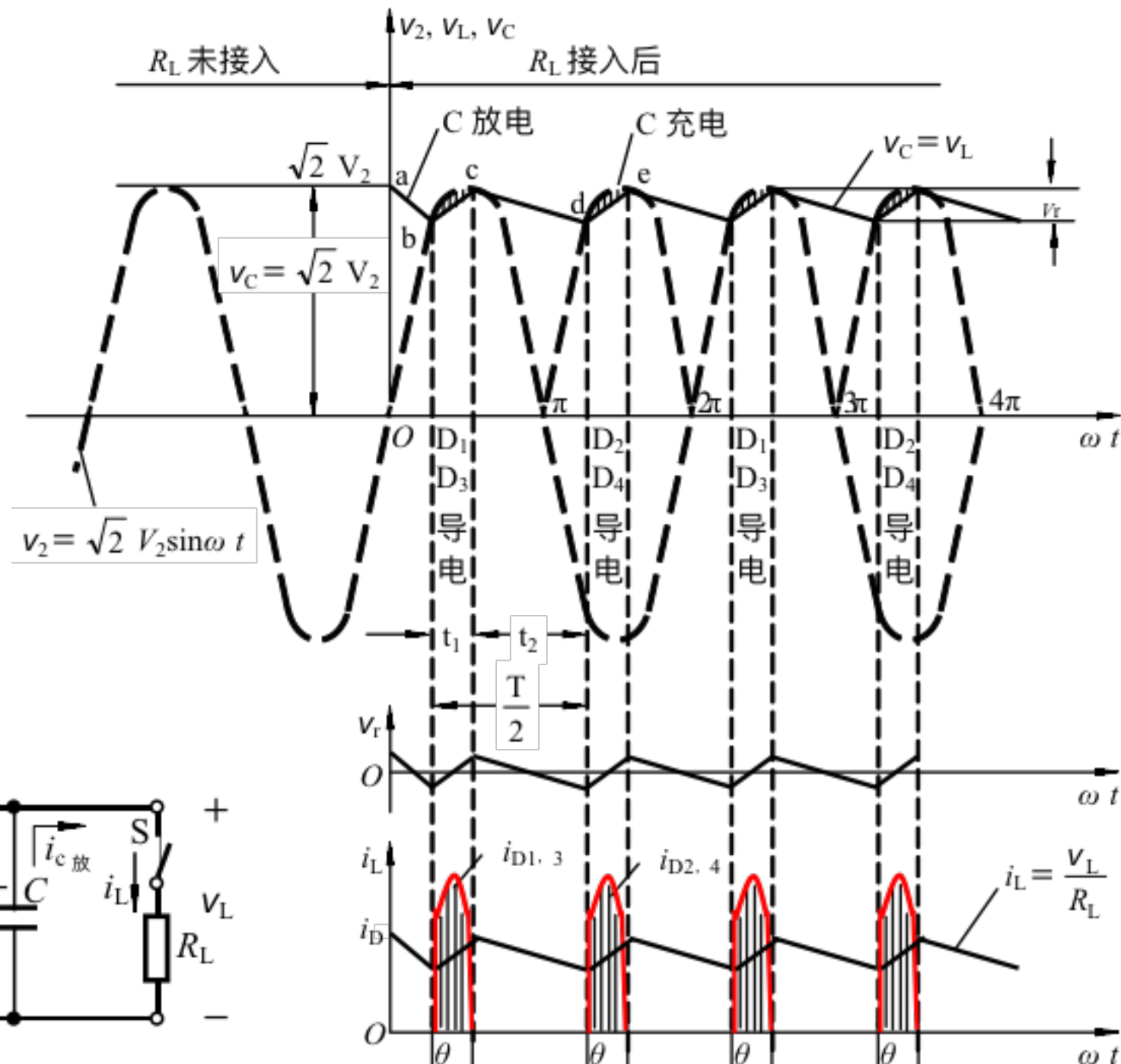
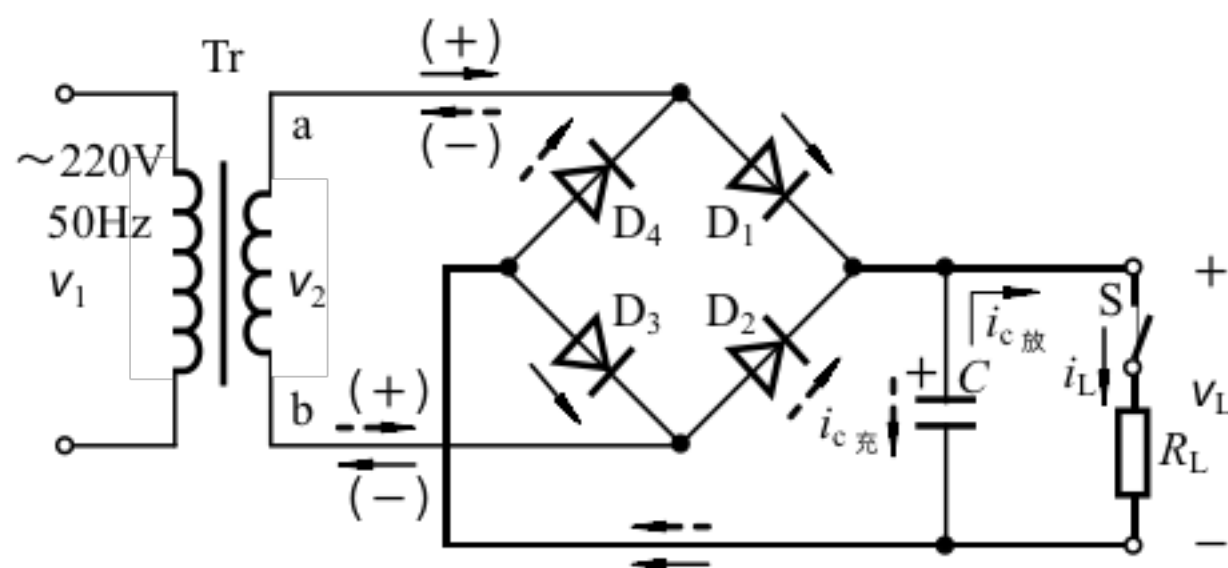
(b) 电感电容滤波电路（倒L型）

(c) Π 型滤波电路

为什么不用有源滤波电路？

11.1.2 滤波电路

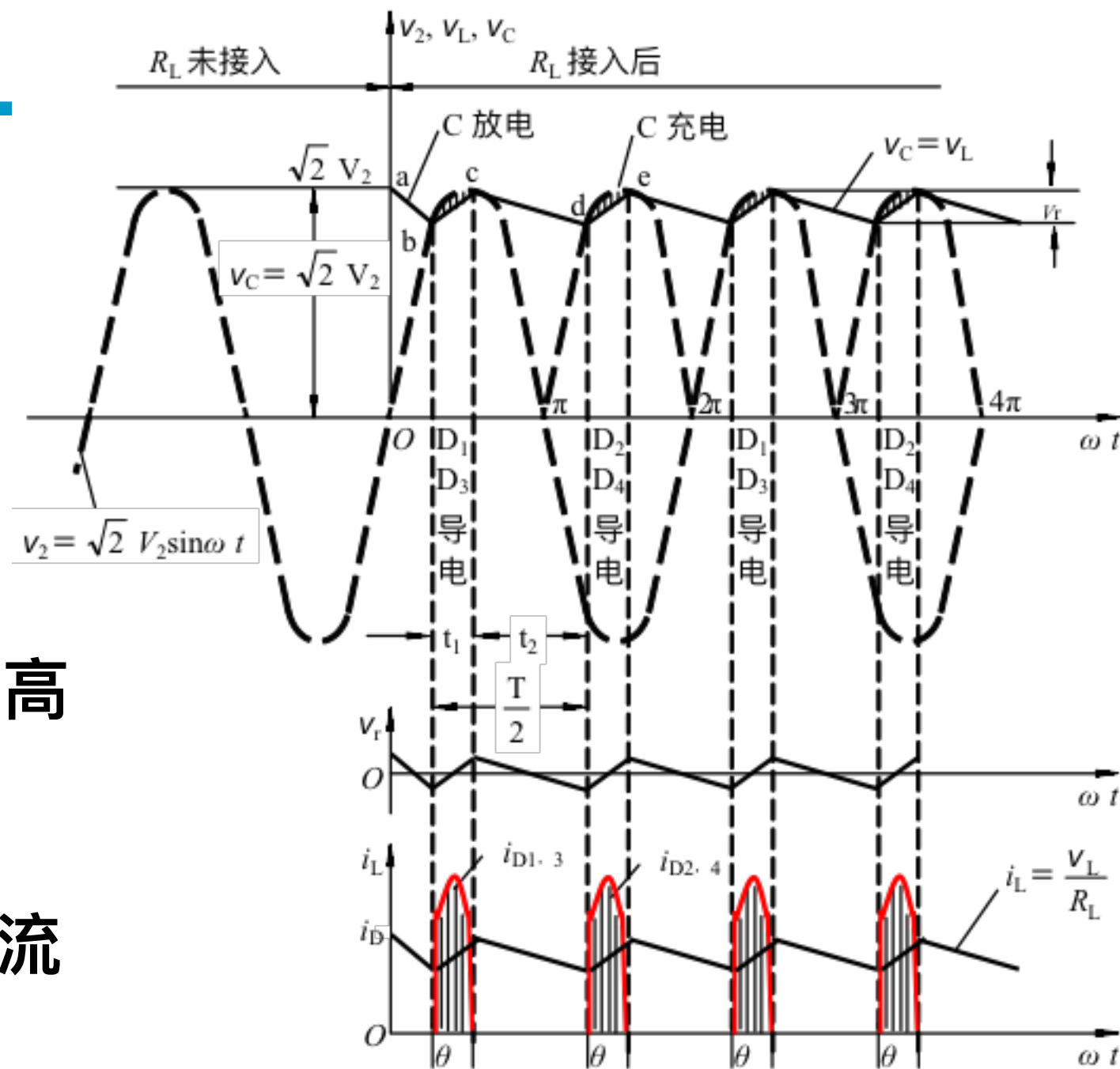
电容滤波电路



11.1.2 滤波电路

电容滤波的特点

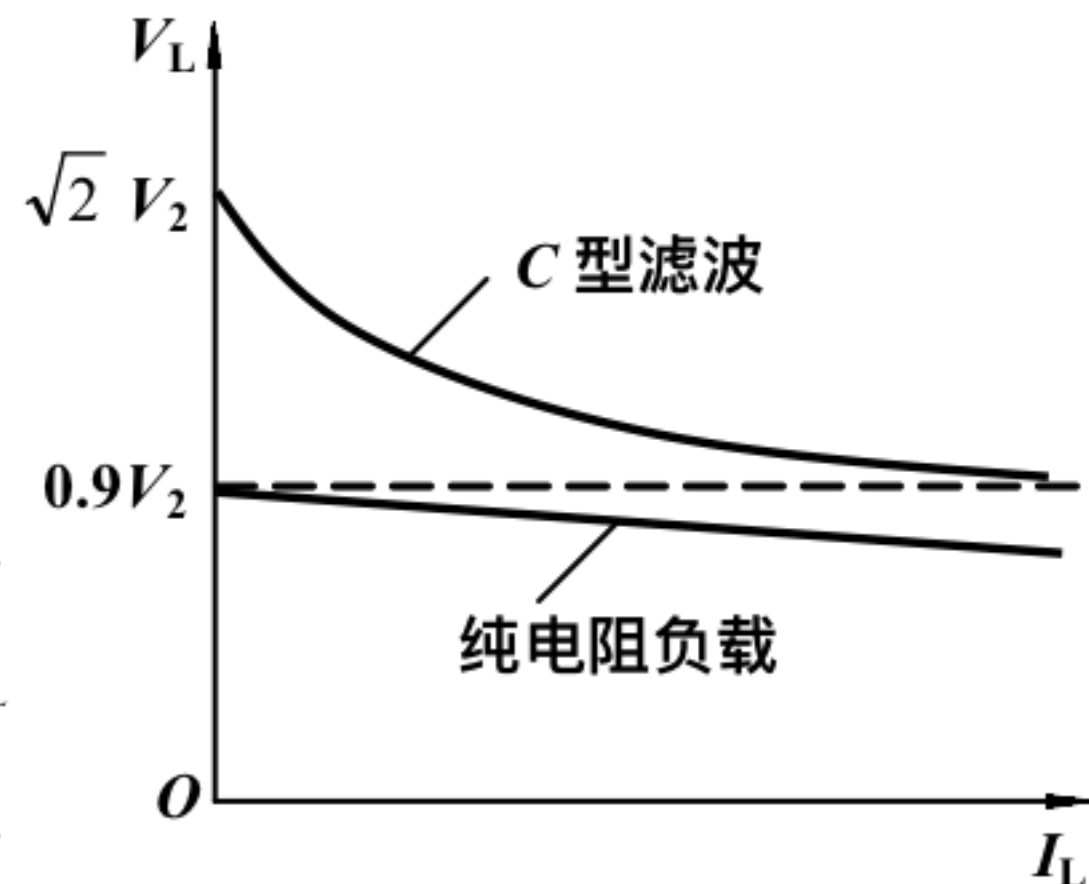
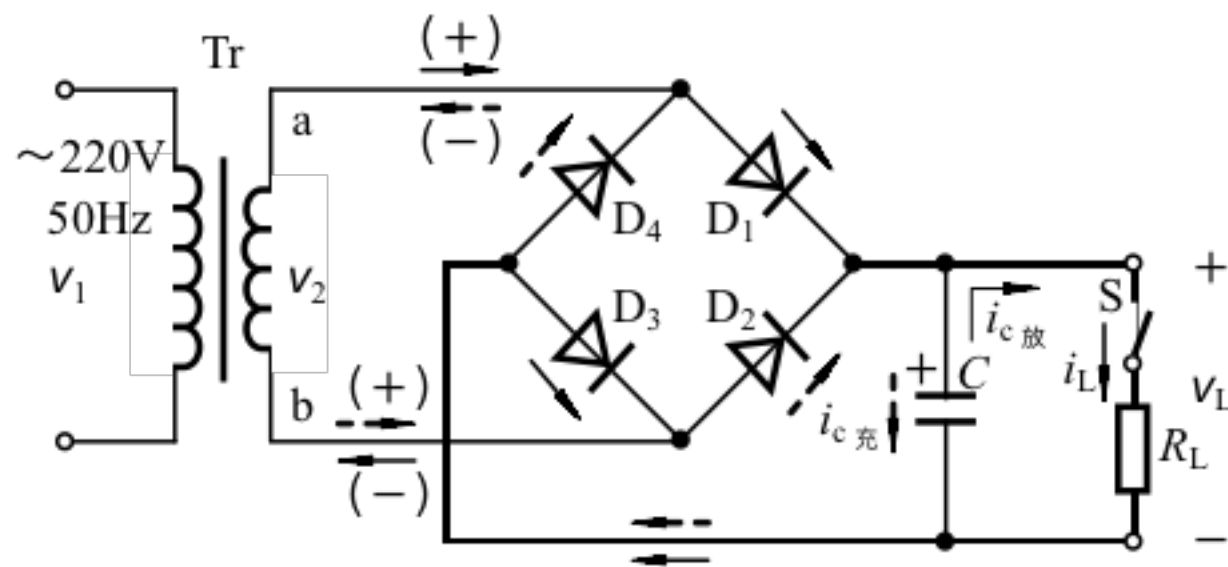
- A. 二极管的导电角 $\theta < \pi$,
流过二极管的瞬时电流很大。
- B. 负载直流平均电压 V_L 升高
 $\tau_d = R_L C$ 越大, V_L 越高
- C. 直流电压 V_L 随负载电流
增加而减少



当 $\tau_d \geq (3 \sim 5) \frac{T}{2}$ 时, $V_L = (1.1 \sim 1.2) V_2$

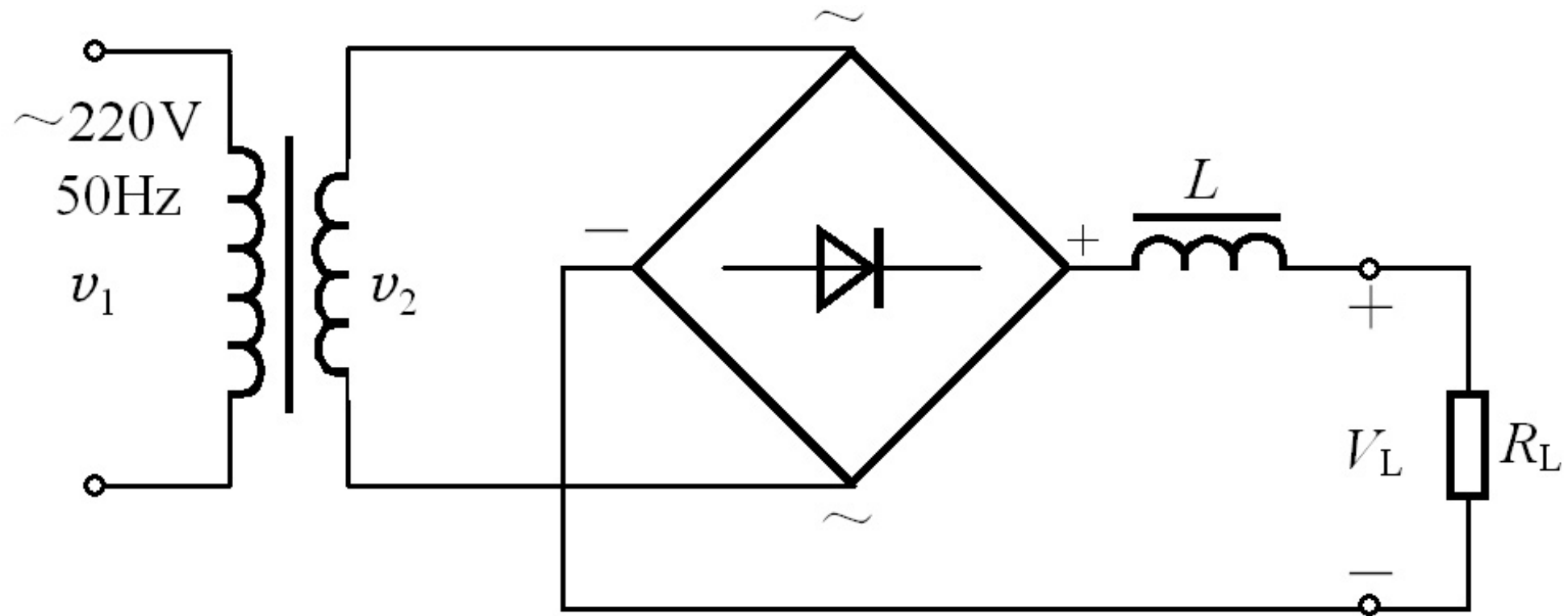
11.1.2 滤波电路

V_L 随负载电流的变化



11.1.2 滤波电路

电感滤波电路



*11.1.3 倍压整流电路

正半周， D_1 导通， D_2 截止， C_1 充电达峰值电压

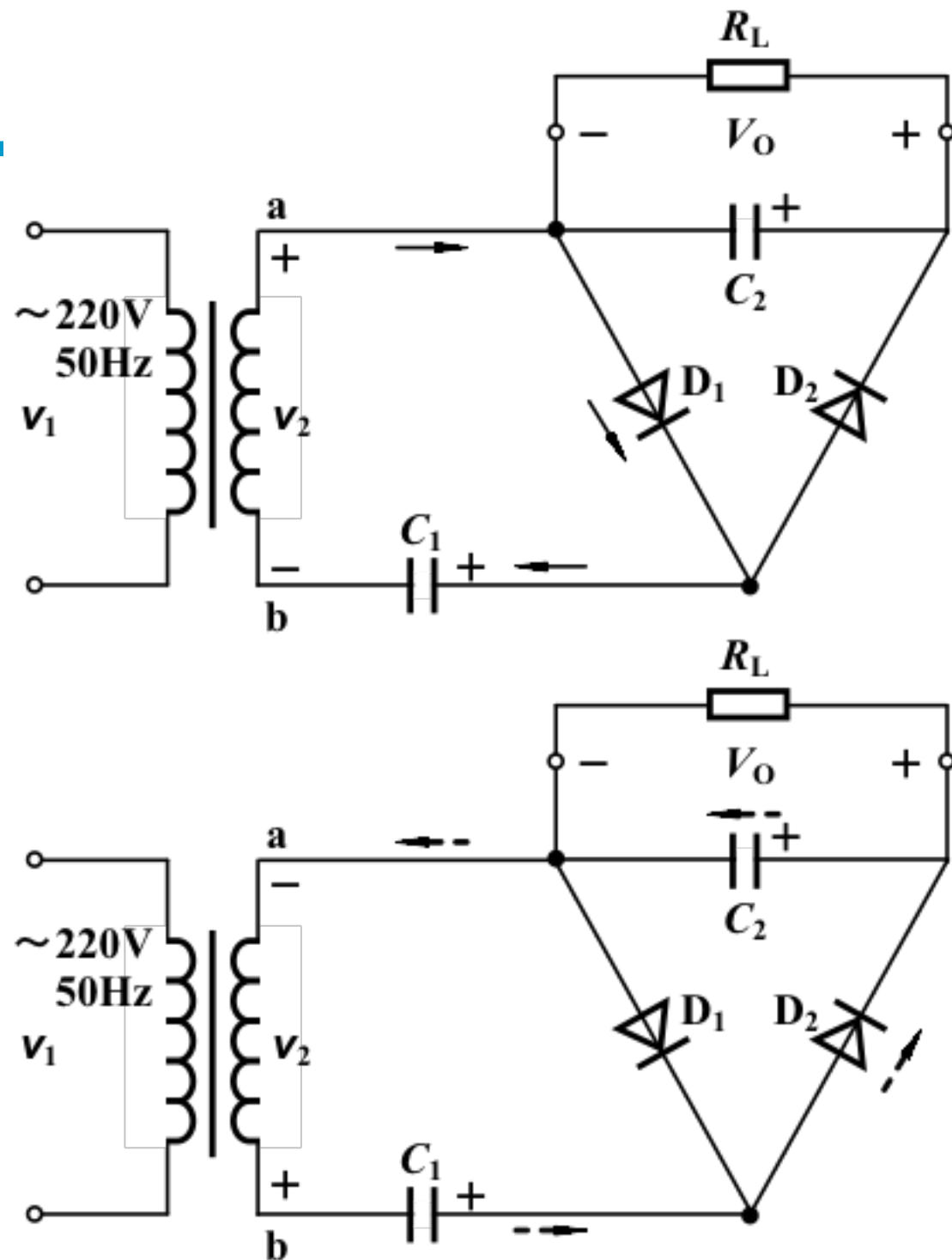
$$V_{C_1} = \sqrt{2} V_2$$

负半周， D_1 截止， D_2 导通， C_2 充电的峰值电压

$$V_{C_2} = \sqrt{2} V_2 + V_{C_1} = 2\sqrt{2} V_2$$

$$V_L = V_{C_2} = 2\sqrt{2} V_2$$

是变压器副边电压的2倍

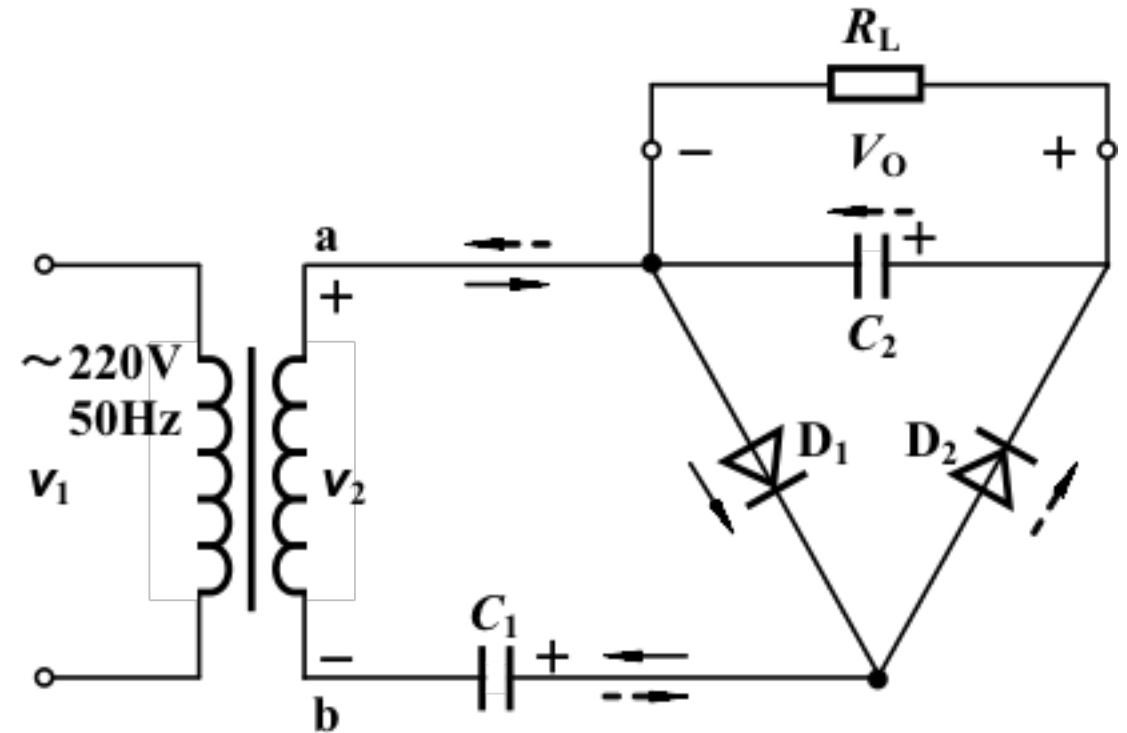


当 C_2 的放电时间常数 $R_L C_2$ 远大于电源电压周期时，正半周， C_2 放电很少，负载电压可以基本保持不变。

*11.1.3 倍压整流电路

电路中元器件要求有较高的耐压值，
并能承受更大的冲击电流

增加连接的级数，可得到更
高倍数的输出电压



倍压整流电路一般用于高电压、小电流（几毫安以下）和
负载变化不大的直流电源中。

10.2 线性稳压电路

10.2.1 稳压电源质量指标

 10.2.2 串联反馈式稳压电路工作原理

10.2.3 三端集成稳压器

10.2.4 三端集成稳压器的应用

11.2.1 稳压电源质量指标

输出电压 $V_o = f(V_I, I_o, T)$

输出电压变化量 $\Delta V_o = K_v \Delta V_I + R_o \Delta I_o + S_T \Delta T$

输入调整因数 $K_v = \left. \frac{\Delta V_o}{\Delta V_I} \right|_{\substack{\Delta I_o = 0 \\ \Delta T = 0}}$

电压调整率 $S_v = \frac{\Delta V_o / V_o}{\Delta V_I} \times 100\% \left|_{\substack{\Delta I_o = 0 \\ \Delta T = 0}} \right.$

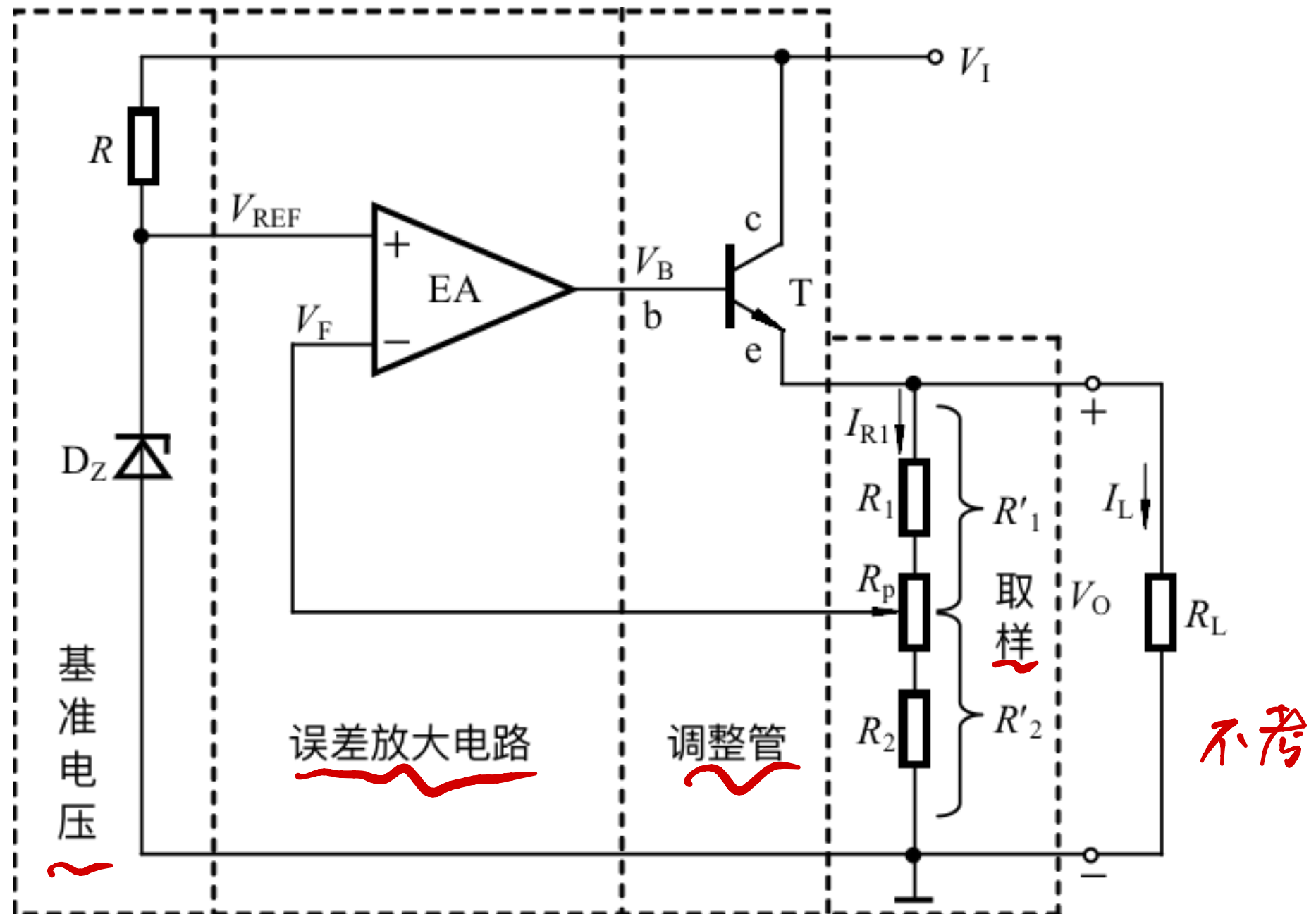
稳压系数 $\gamma = \frac{\Delta V_o / V_o}{\Delta V_I / V_I} \left|_{\substack{\Delta I_o = 0 \\ \Delta T = 0}} \right.$

输出电阻 $R_o = \left. \frac{\Delta V_o}{\Delta I_o} \right|_{\substack{\Delta V_I = 0 \\ \Delta T = 0}}$

温度系数 $S_T = \left. \frac{\Delta V_o}{\Delta T} \right|_{\substack{\Delta V_I = 0 \\ \Delta I_o = 0}}$

11.2.2 串联反馈式稳压电路的工作原理

1. 结构



11.2.2 串联反馈式稳压电路的工作原理

2. 工作原理

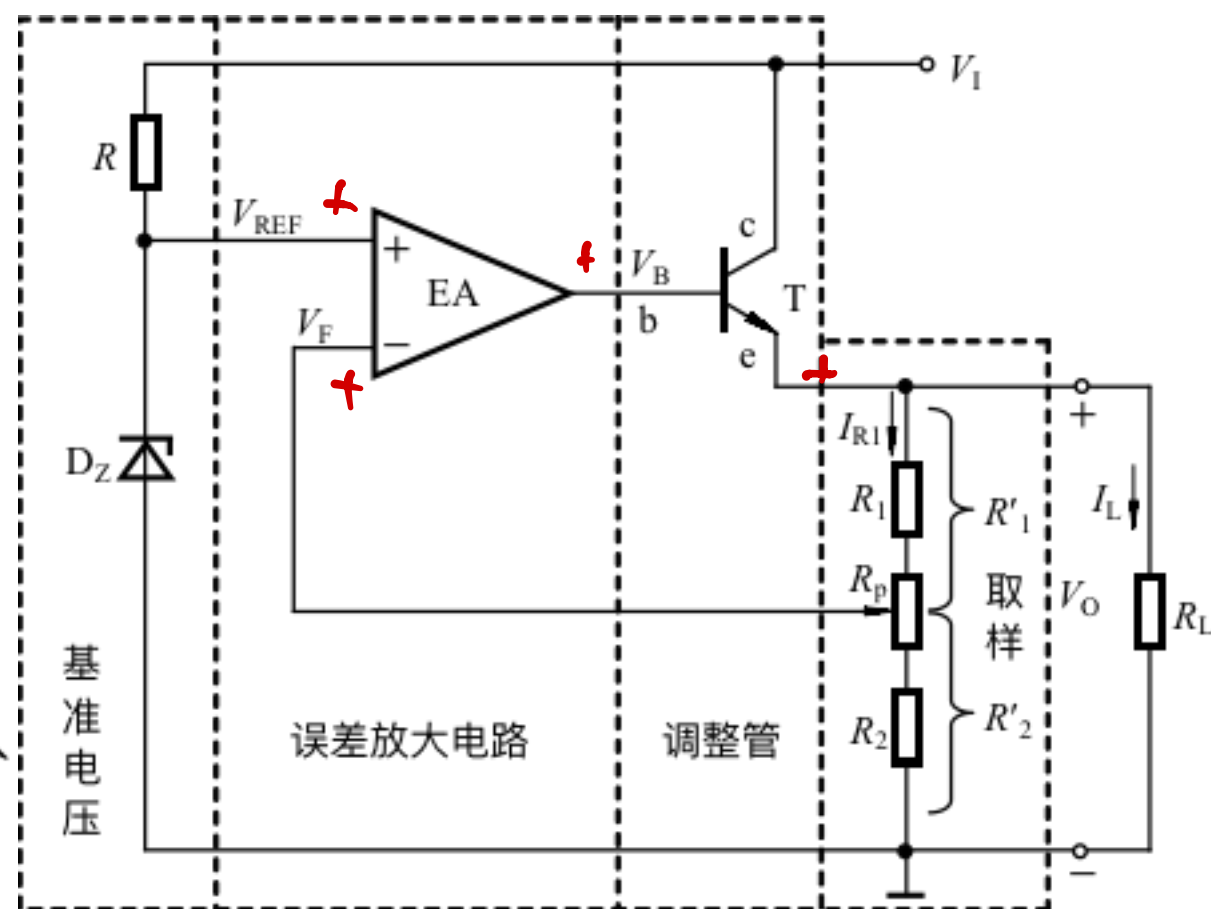
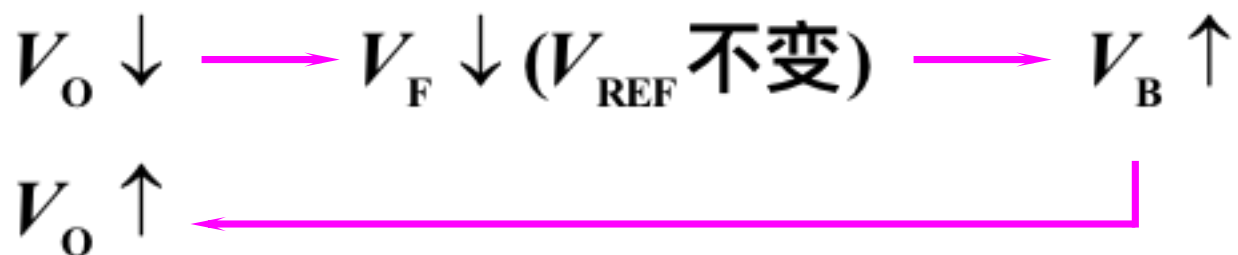
将 V_{REF} 看作电路的输入

电压串联负反馈

输入电压波动

负载电流变化

输出电压变化



满足深度负反馈，根据虚短和虚断有
所以输出电压

$$\begin{cases} V_F = V_{REF} \\ \frac{V_F}{V_O} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \end{cases} \quad V_O = V_{REF} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$V_{omin} = \frac{R_1 + R_2 + R_2}{R_2 + 1\Omega}$
 $V_{omax} = \frac{R_1 + R_2 + R_2}{R_2} V_{REF}$

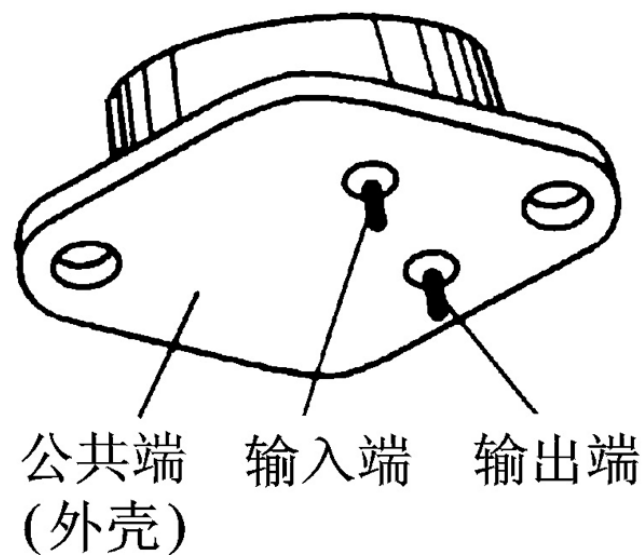
除了稳压原理来自负反馈，此电路设计还需要考虑哪些问题？

9492 11.2.6

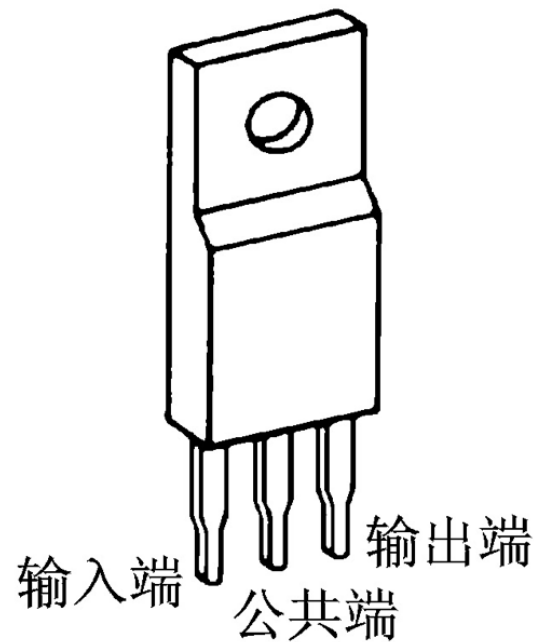
11.2.3 三端集成稳压器

78 XX: 正电压
压

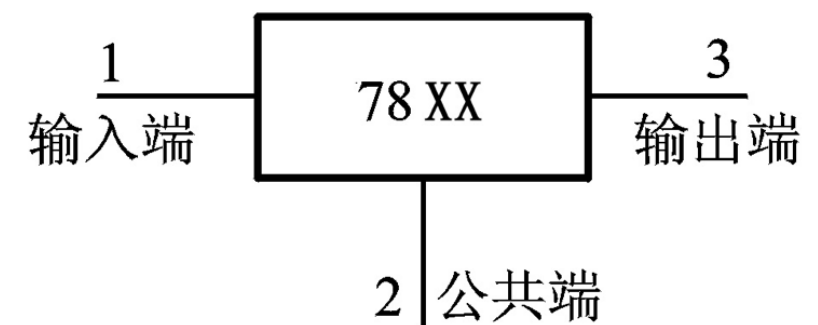
79 XX: 负电



(b)



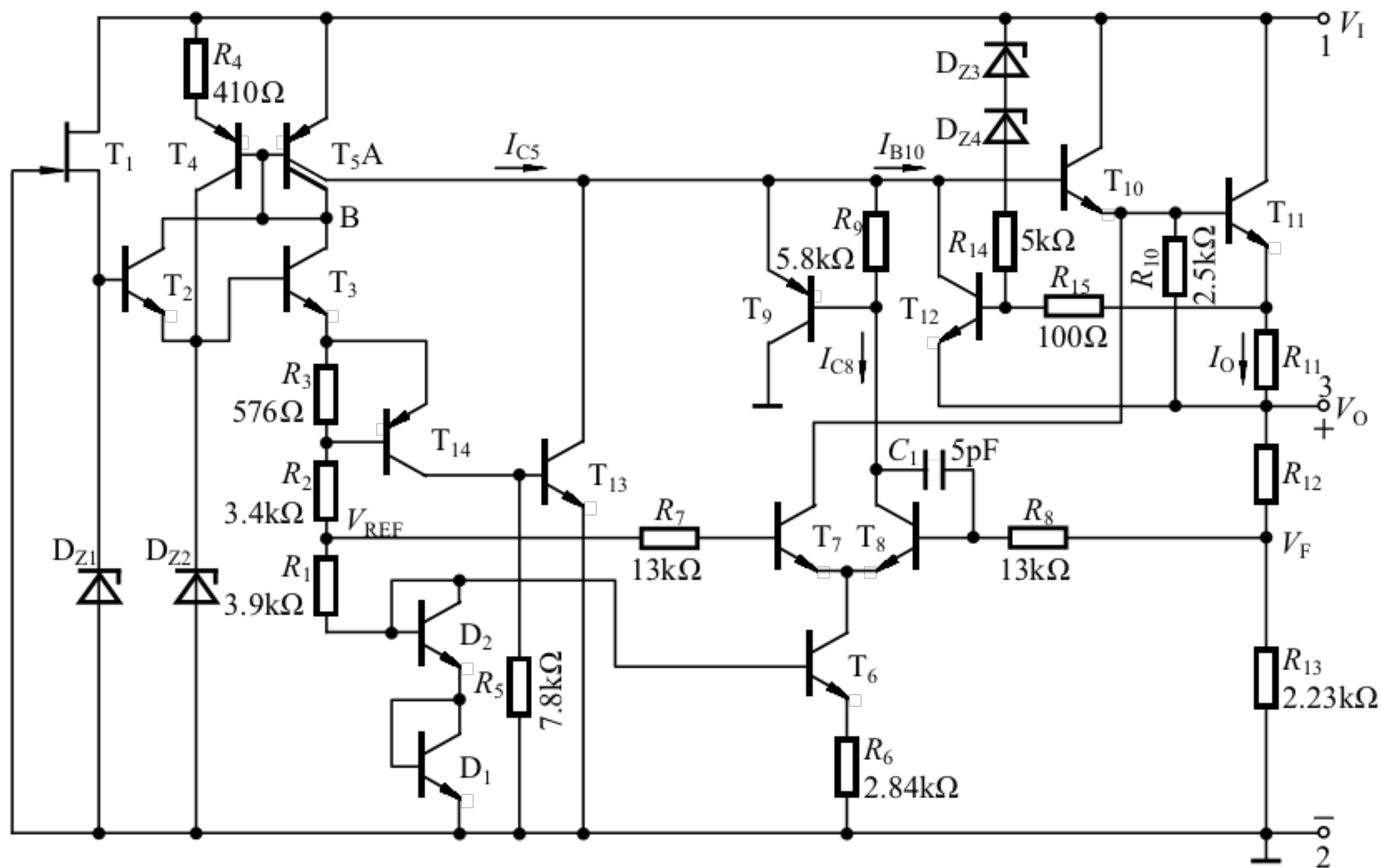
(c)



(d)

11.2.3 三端集成稳压器

1. 输出电压固定的三端集成稳压器



11.2.3 三端集成稳压器

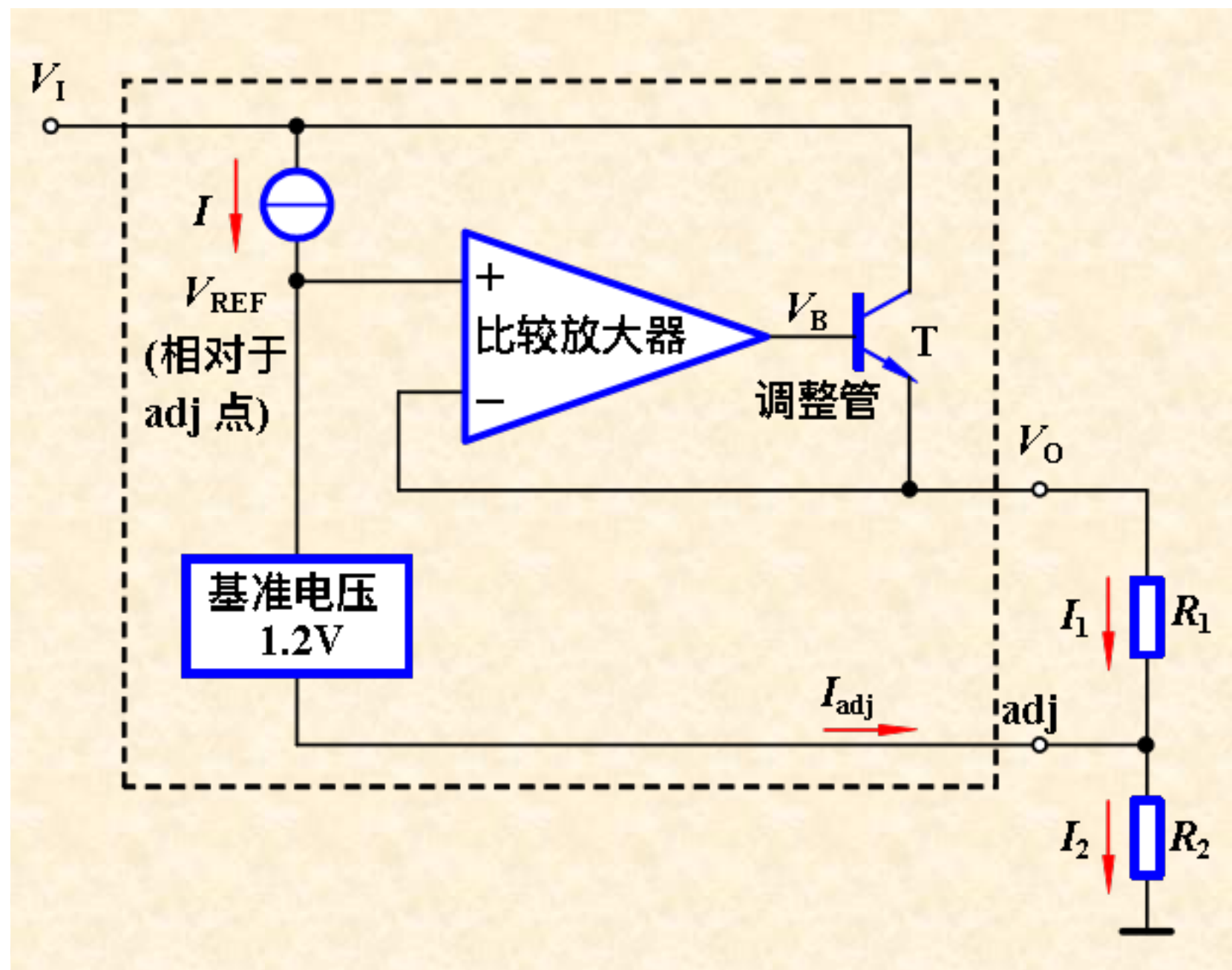
2. 可调式三端集成稳压器（正电压LM317、负电压LM337）

输出电压

$$\begin{aligned} V_O &= V_{\text{REF}} + I_2 R_2 \\ &= V_{\text{REF}} + (I_1 + I_{\text{adj}}) R_2 \end{aligned}$$

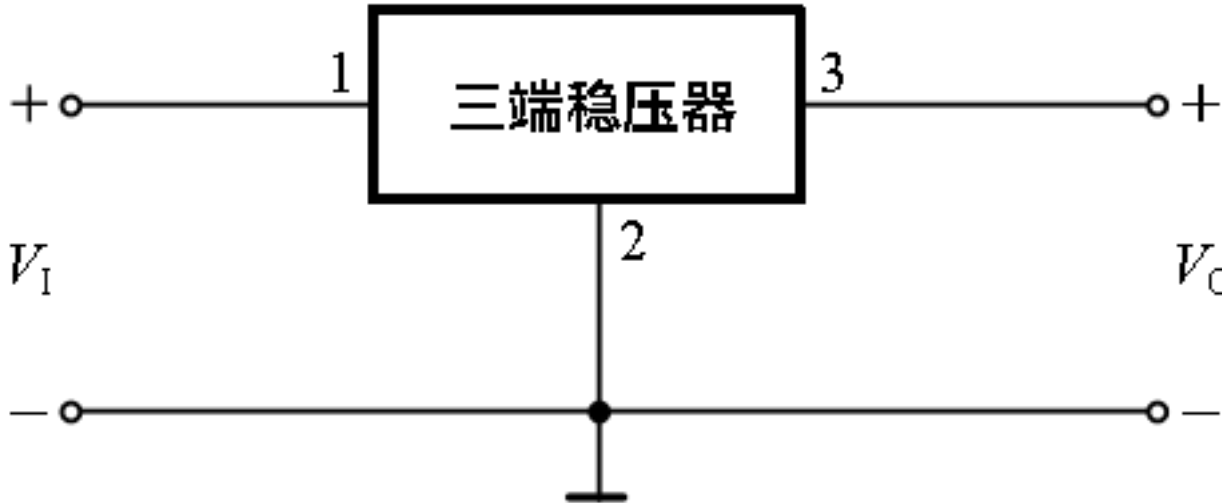
由于 $I_{\text{adj}} \ll I_1$
所以

$$\begin{aligned} V_O &\approx V_{\text{REF}} + I_1 R_2 \\ &= V_{\text{REF}} + \frac{V_{\text{REF}}}{R_1} \cdot R_2 \\ &= V_{\text{REF}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \end{aligned}$$



11.2.3 三端集成稳压器

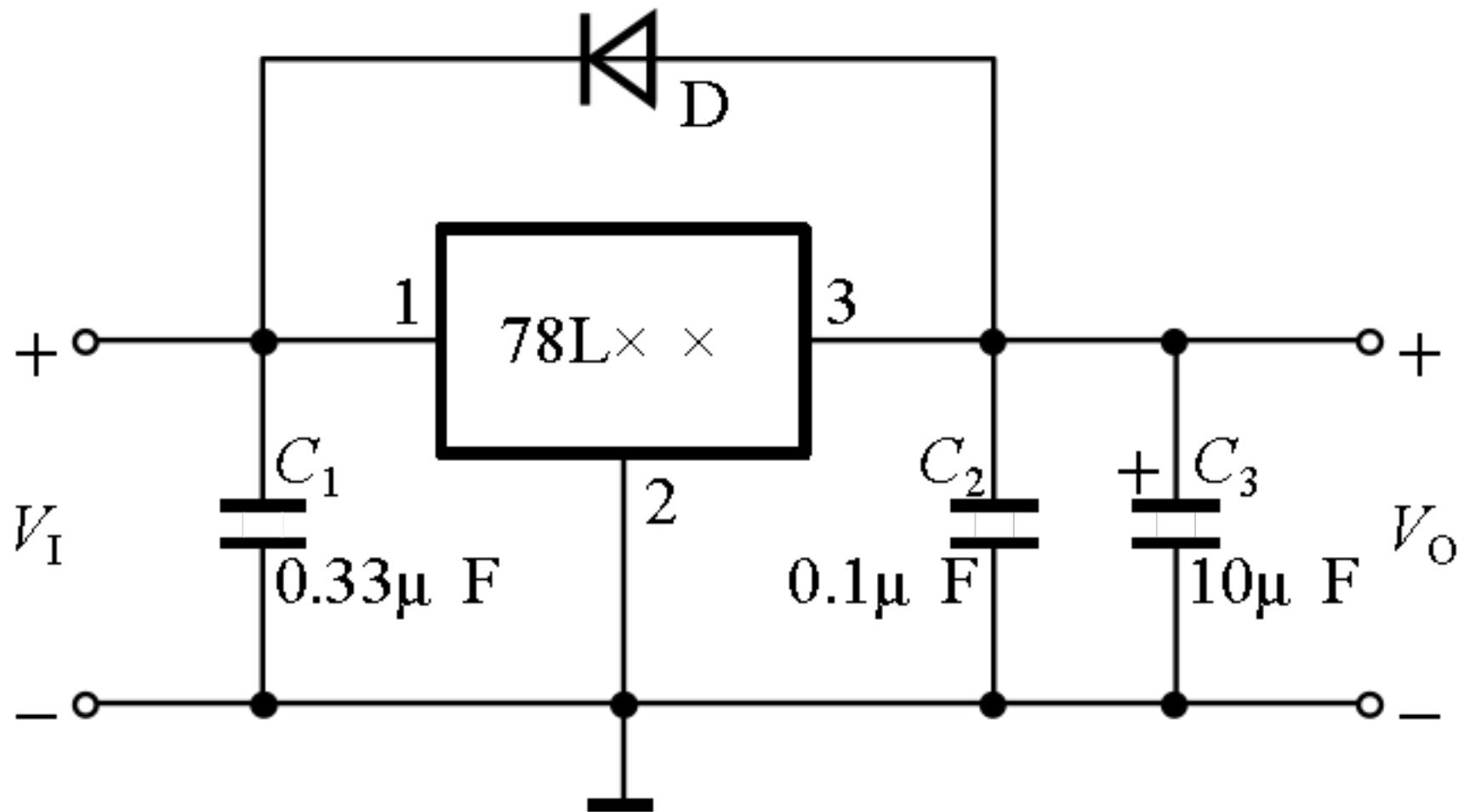
3. 最小输入－输出电压差



类 型			三端固定	三端可调
参 数	符号	单 位	正压78×× 负压79××	正压LM317 负压LM337
输入电压	V_I	V	$\pm(8\sim40)$	$\pm(3\sim40)$
输出电压	V_O	V	$\pm(5\sim24)$	$\pm(1.2\sim37)$
最小（输入－输出） 电压差	$(V_I - V_O) \text{ min}$	V	$\pm(2.0\sim2.5)$	1.2~22

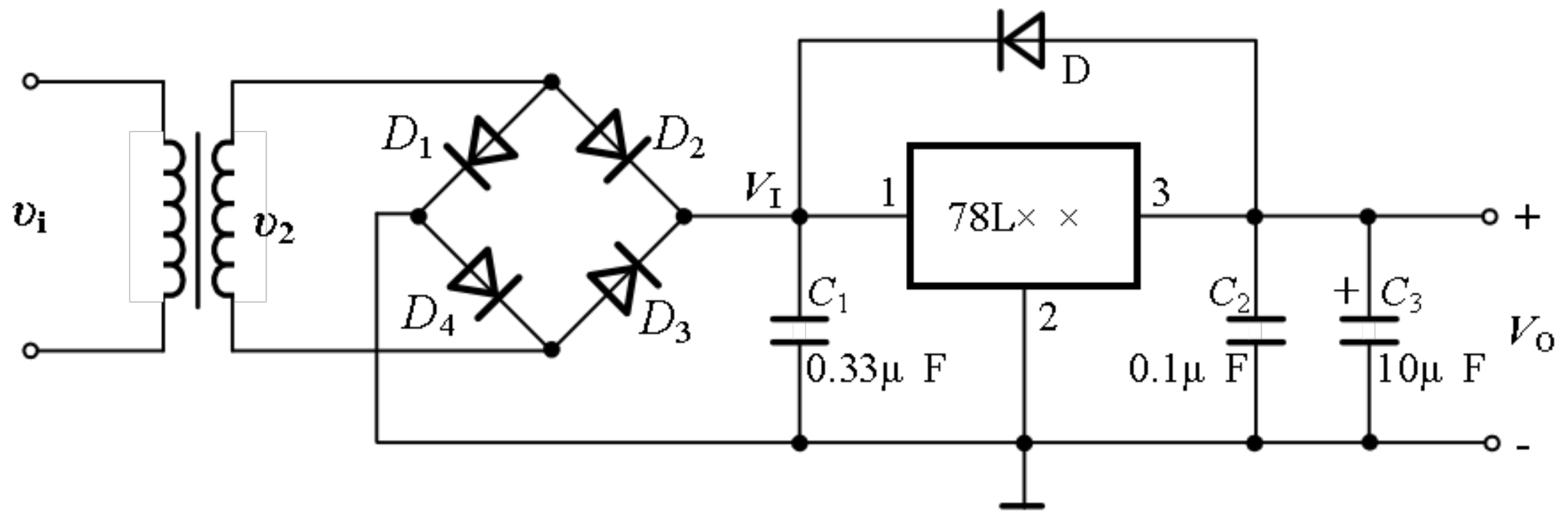
11.2.4 三端集成稳压器的应用

1. 固定式应用举例



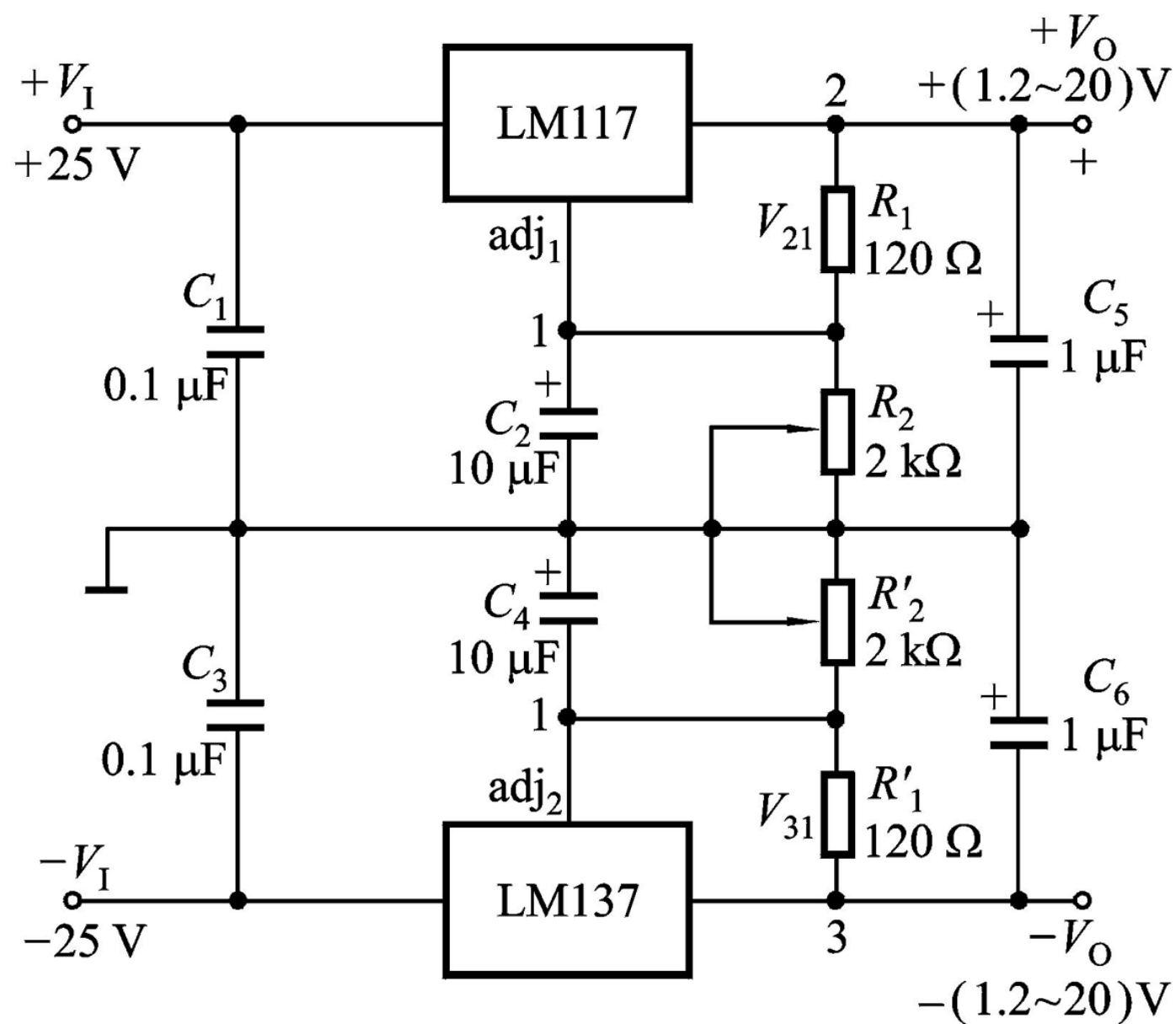
11.2.4 三端集成稳压器的应用

1. 固定式应用举例



11.2.4 三端集成稳压器的应用

2. 可调式应用举例



11.3 开关式稳压电路

11.3.1 开关试稳压电路的工作原理

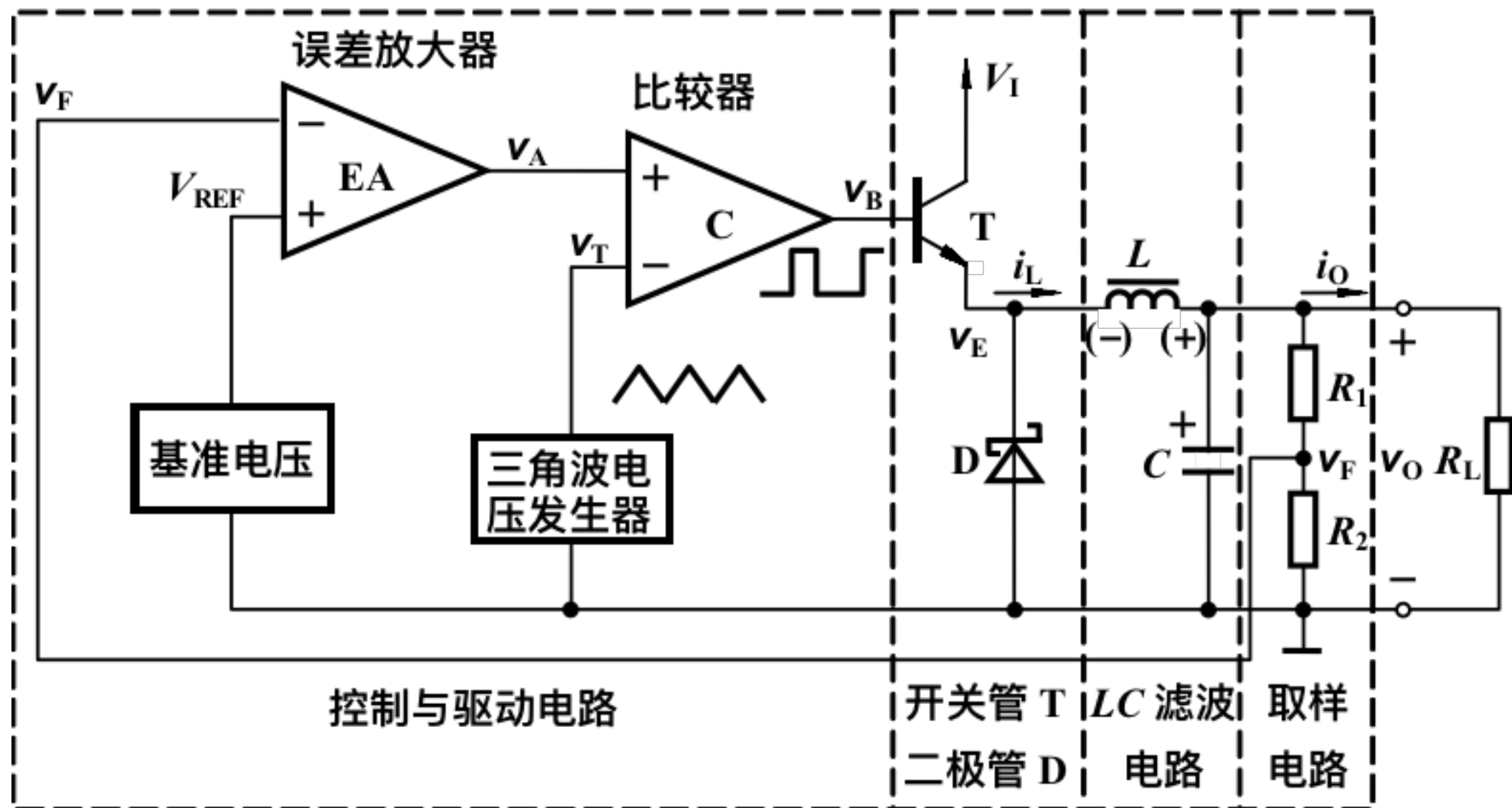
*11.3.2 带隔离变压器的直流变换型
电源

11.3.3 开关稳压电源的应用举例

11.3.1 开关式稳压电路的工作原理

1. 串联（降压）型开关稳压电路（Buck）

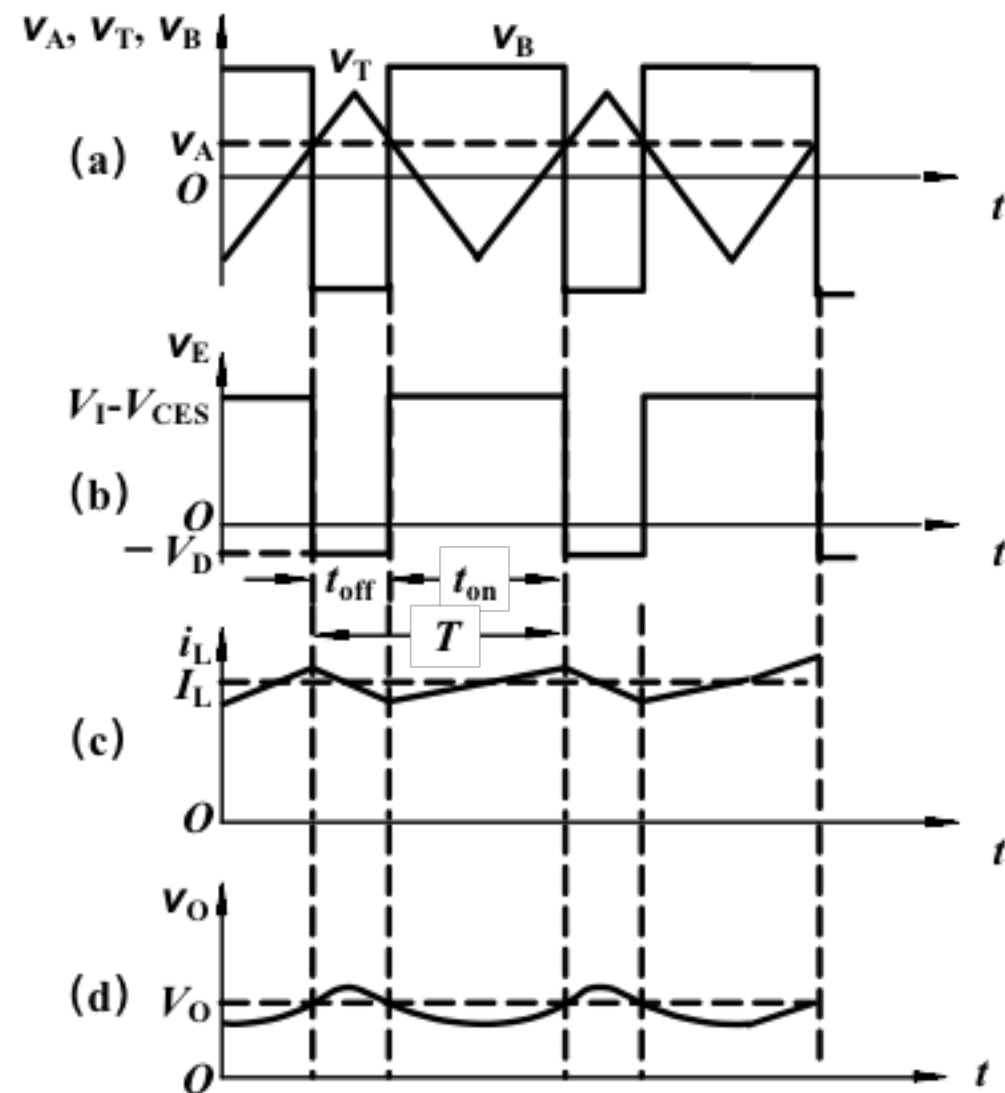
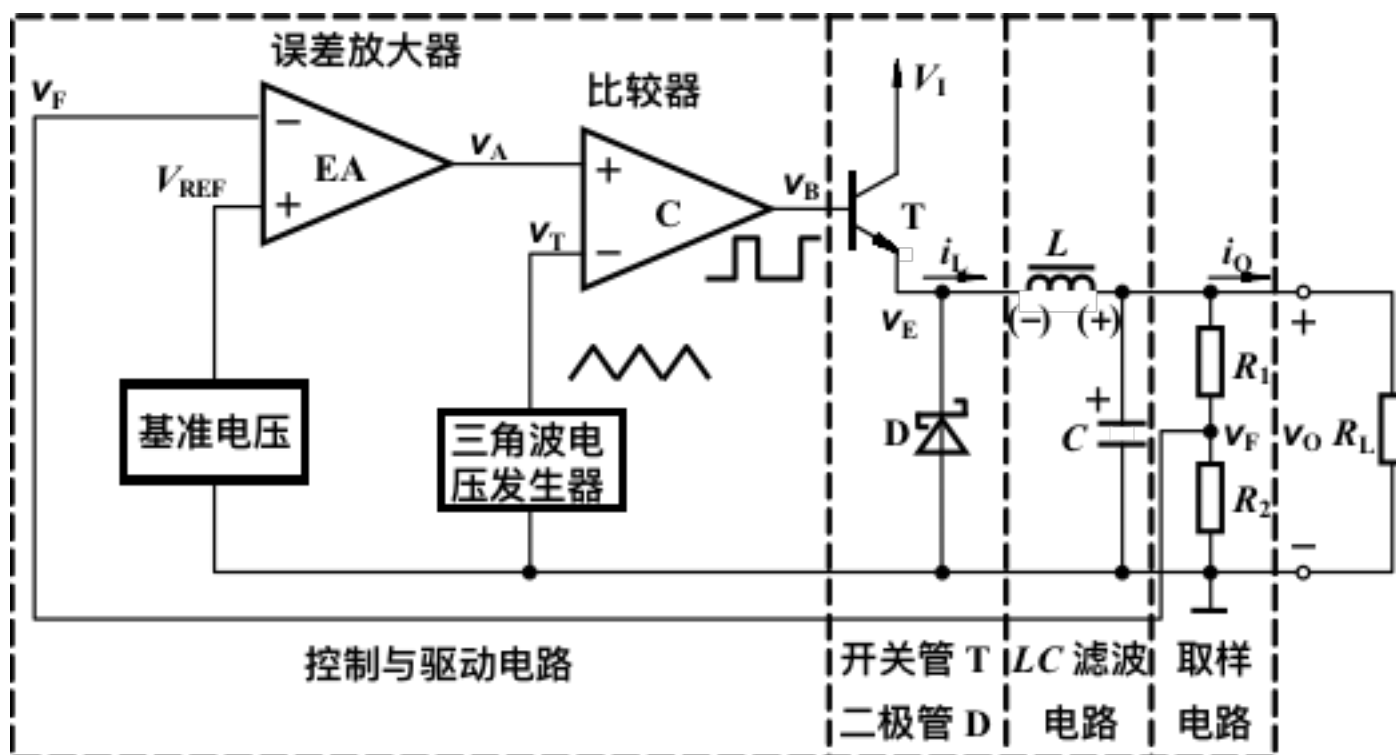
电路组成 开关管T与负载 R_L 串联



11.3.1 开关式稳压电路的工作原理

1. 串联（降压）型开关稳压电路（Buck）

工作原理



输出电压的平均值

$$V_O = \frac{t_{on}}{T} (V_I - V_{CES}) + \frac{t_{off}}{T} (-V_D) \approx \frac{t_{on}}{T} \cdot V_I = q V_I$$

式中 $q = t_{on}/T$ 称为脉冲波形的占空比

脉宽调制 (PWM) 式
降压型开关稳压电源

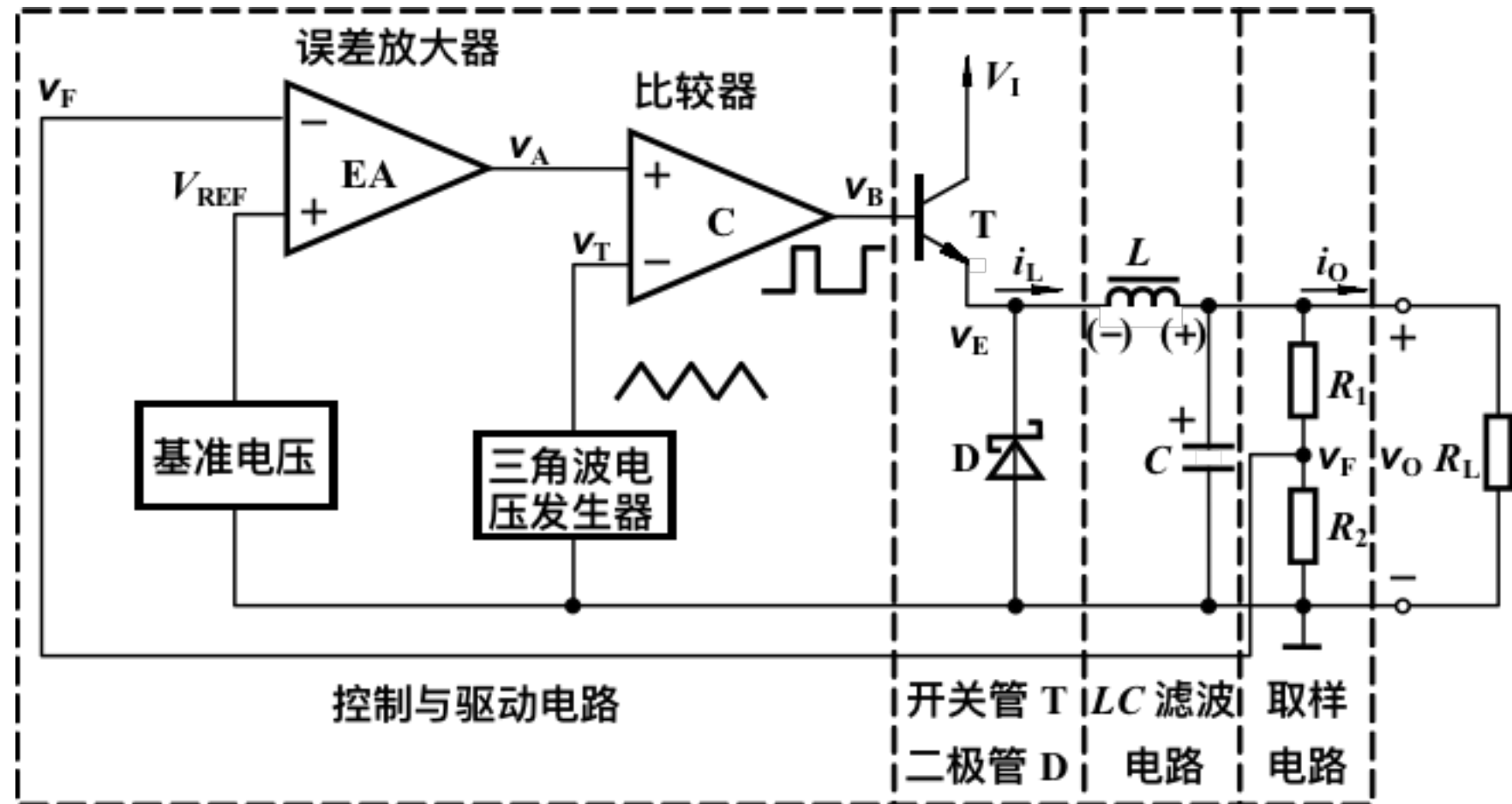
11.3.1 开关式稳压电路的工作原理

1. 串联（降压）型开关稳压电路（Buck）

工作原理

$$V_O = \frac{t_{on}}{T} \cdot V_I = q V_I$$

稳压原理



$V_I \uparrow$ (或 $R_L \uparrow$) $\rightarrow V_O \uparrow \rightarrow V_F \uparrow \rightarrow v_A \downarrow \rightarrow v_B \downarrow \rightarrow q \downarrow (t_{on} \downarrow)$
 $V_O \downarrow$

11.3.1 开关式稳压电路的工作原理

1. 串联（降压）型开关稳压电路（Buck）

工作原理

$$V_O = \frac{t_{\text{on}}}{T} \cdot V_I = q V_I$$

当 t_{on} 不变，改变 T （或 f_k ）同样能调节 V_O 的大小，称为脉冲频率调制PFM控制方式。

11.3.1 开关式稳压电路的工作原理

2. 并联（升压）型开关稳压电路（Boost）

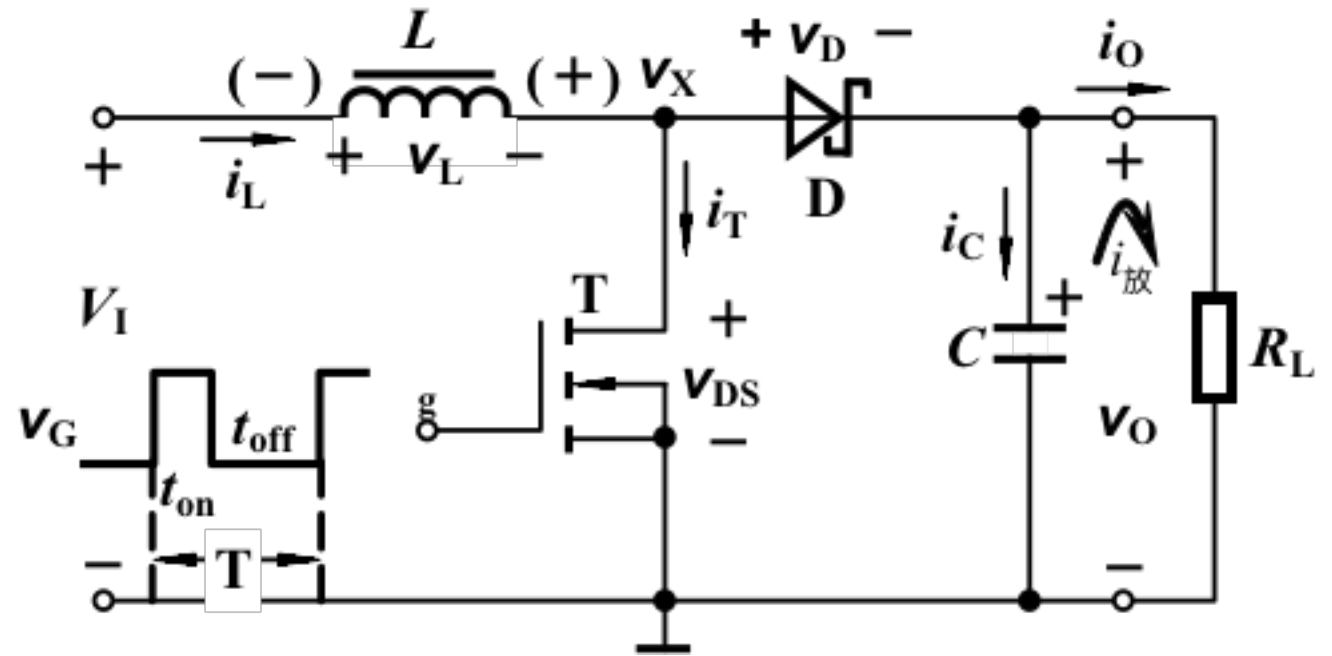
主回路

开关管T与负载 R_L 并联

工作原理

当控制电压 v_G 为高电平（ t_{on} 期间）时，T饱和导通，输入电压 V_I 直接加到 L 两端，电感储存能量。

二极管D截止，电容 C 向负载提供电流 $i_{放}$



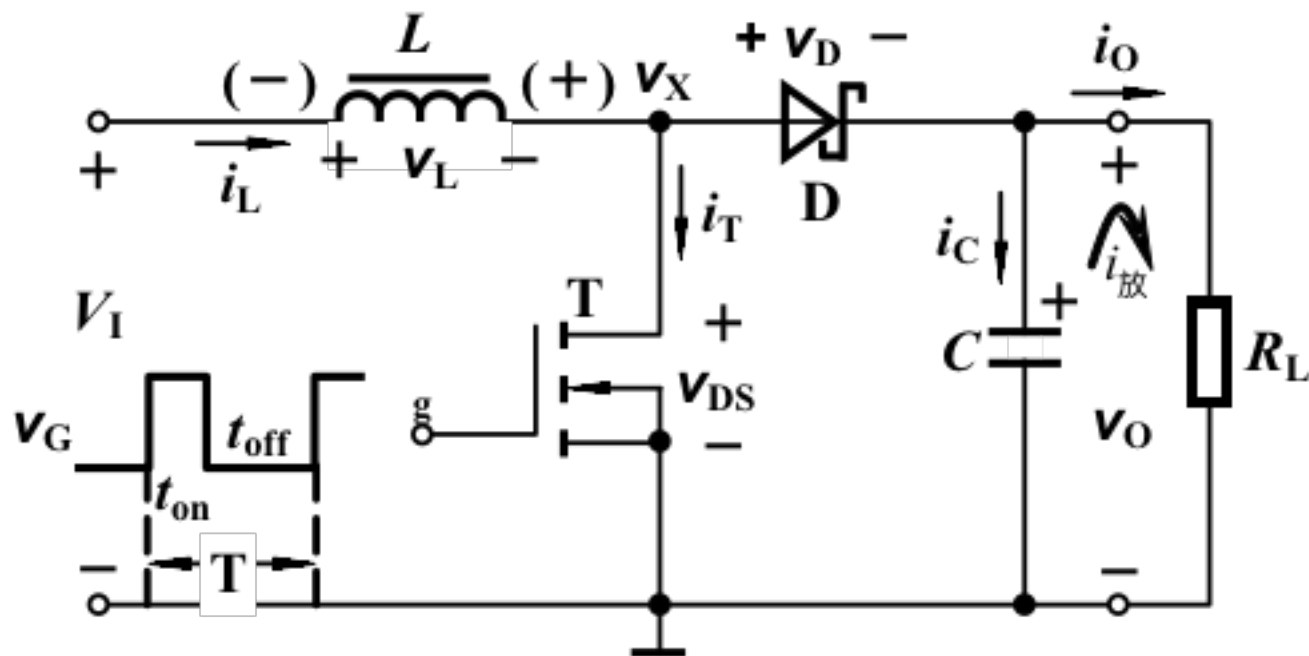
当 v_G 为低电平（ t_{off} 期间）时，T截止， i_L 不能突变。 L 产生反电势 v_L 为左负（-）右正（+）

若 $V_I + v_L > V_O$ ，则D导通， $V_I + v_L$ 给负载提供电流 i_O 。显然 $V_O > V_I$ ，所以电路称为升压型开关稳压电路

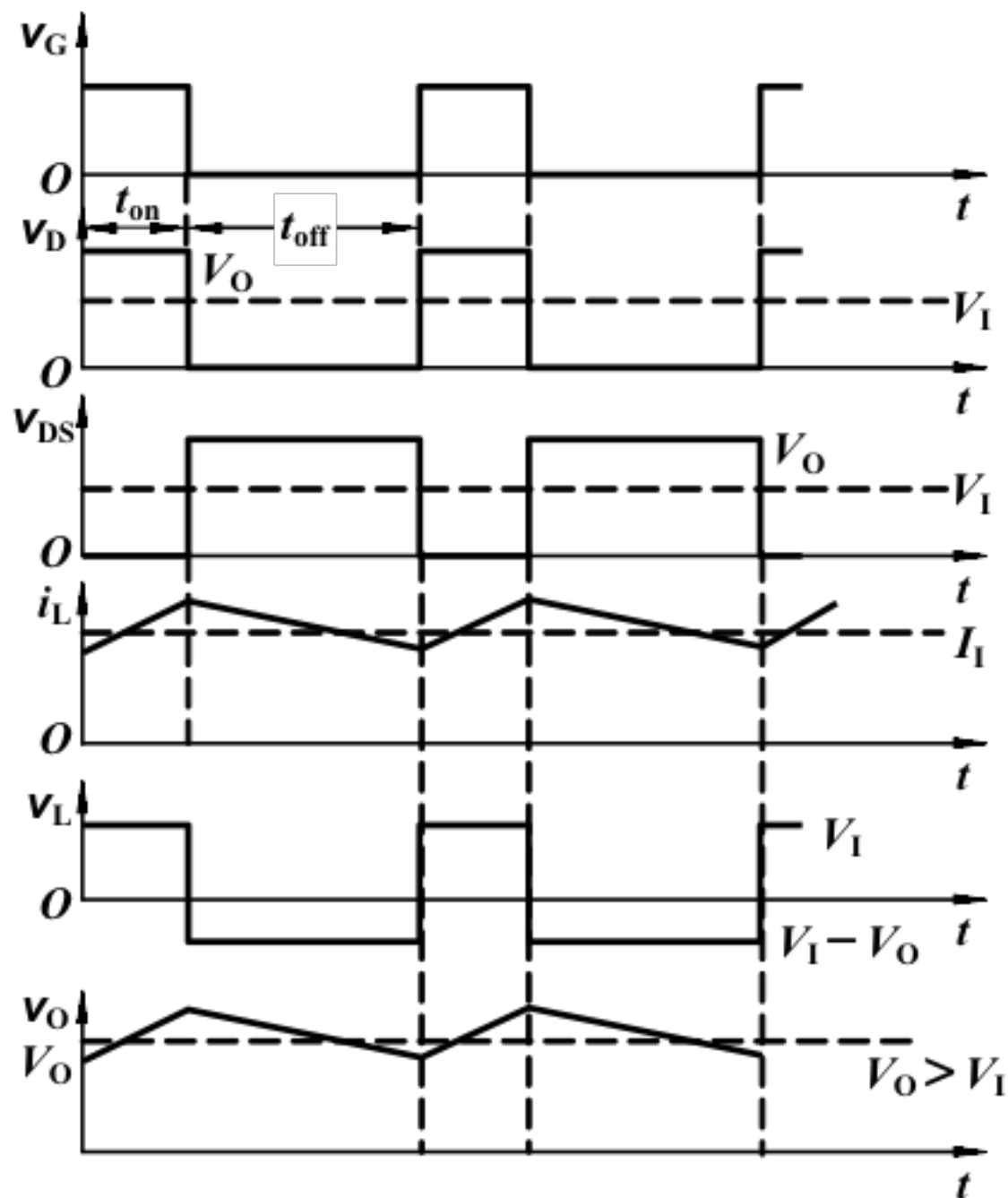
11.3.1 开关式稳压电路的工作原理

2. 并联（升压）型开关稳压电路（Boost）

工作波形



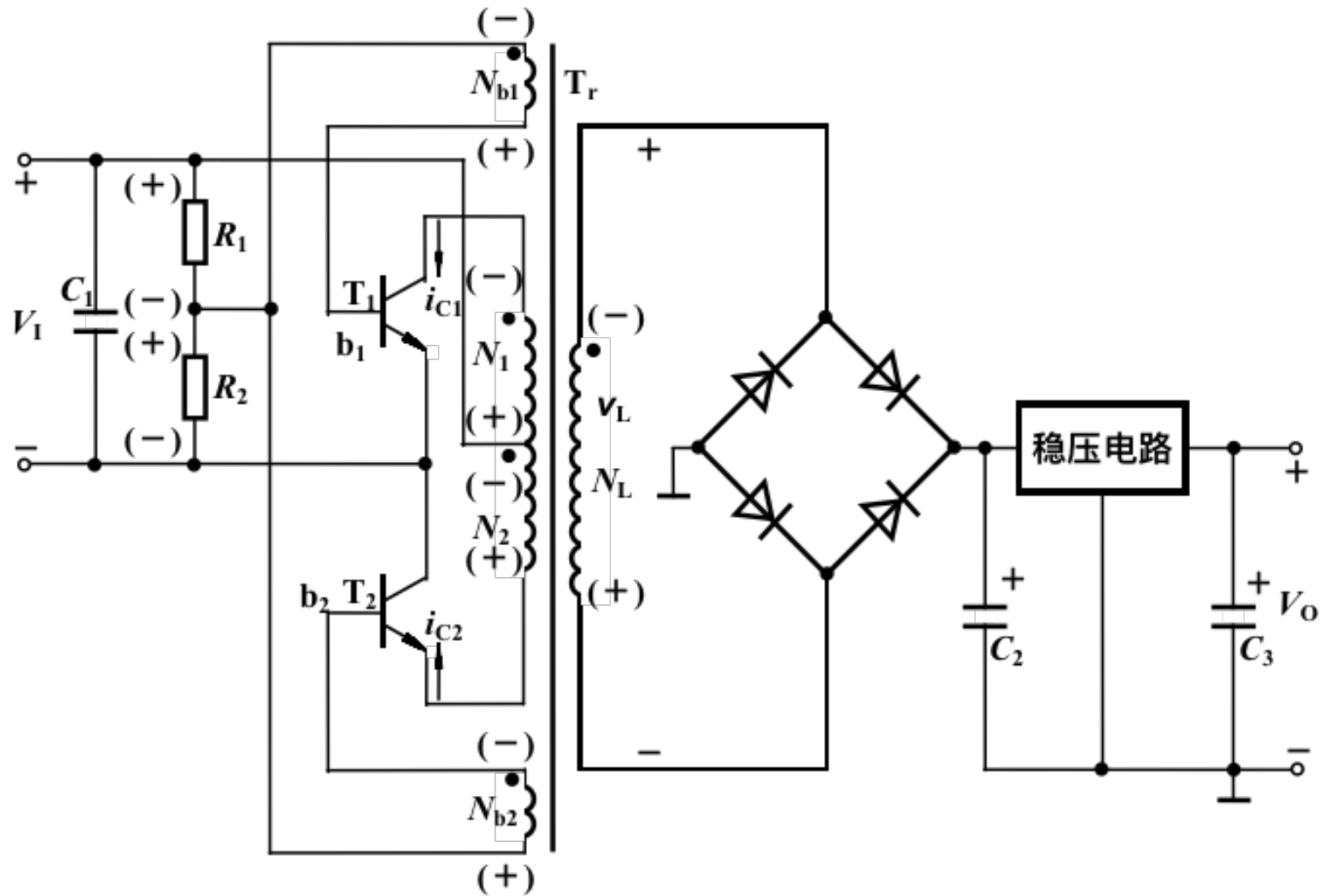
控制与驱动电路可以采用电压-脉冲宽度调制器（PWM）集成电路来实现
也有包括所有单元电路在内的单片集成开关稳压电源共选用



*11.3.2 带隔离变压器的直流变换型电源

推挽式自激变换型稳压电路

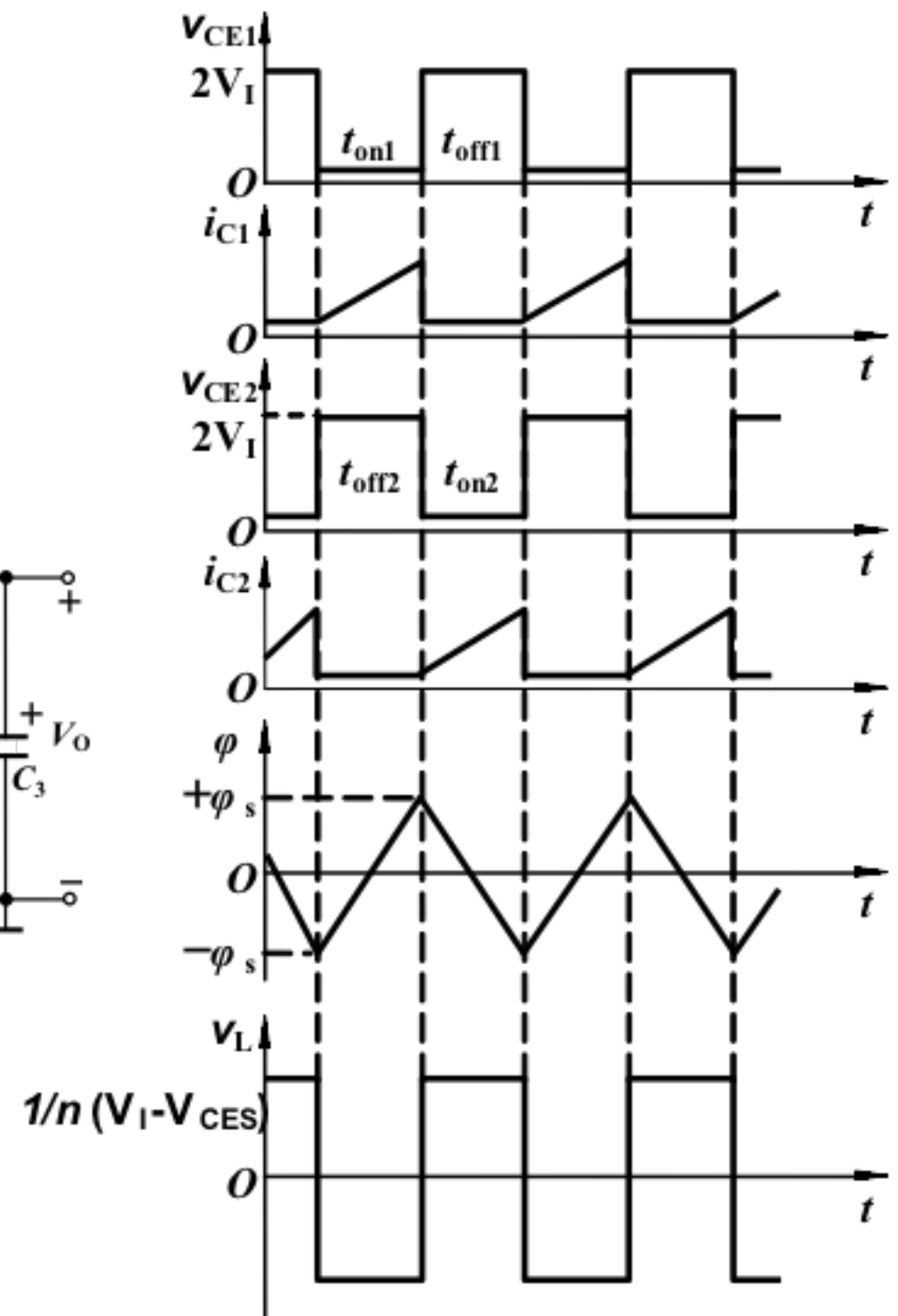
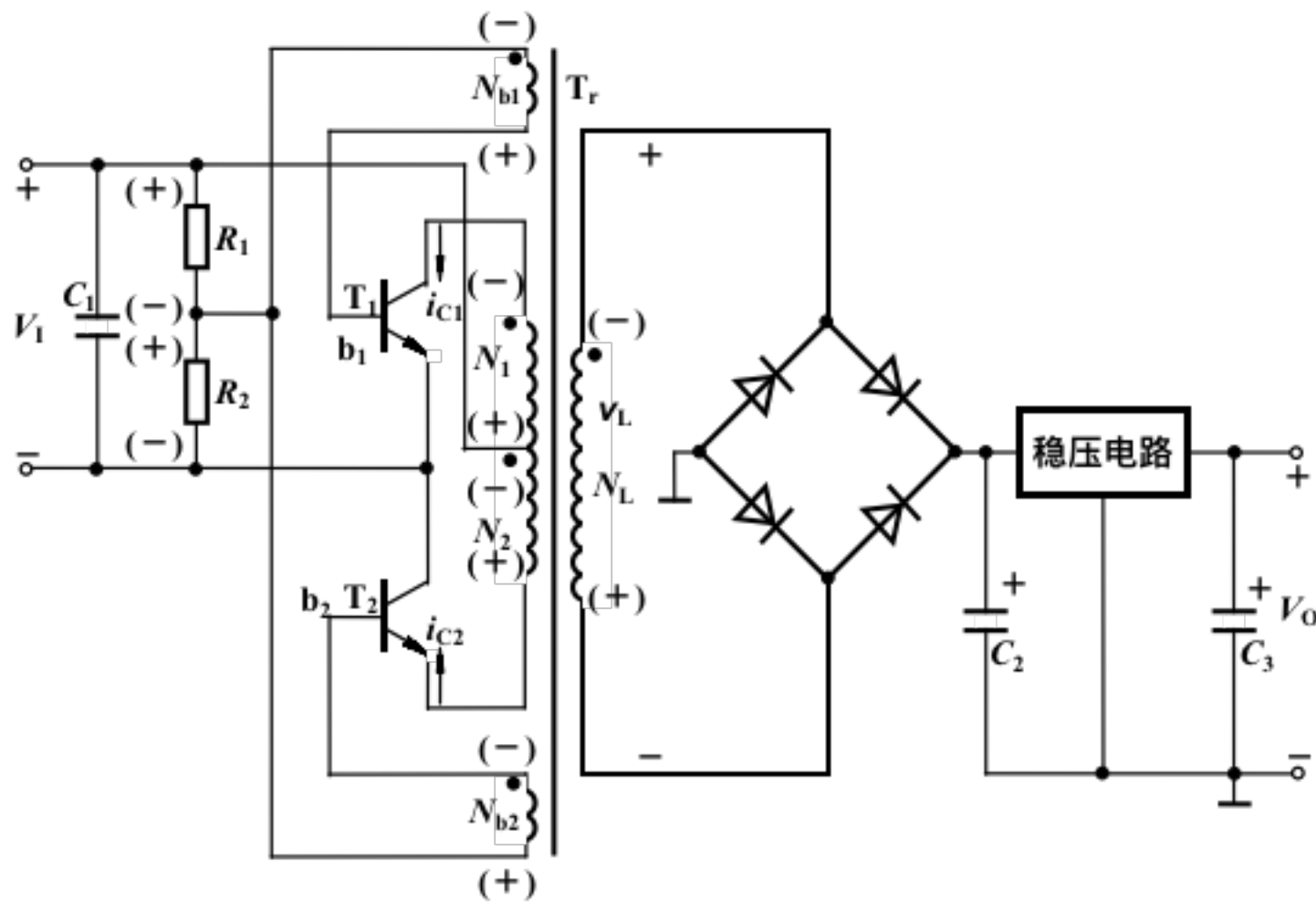
T_1 、 T_2 和 T_r
左侧线圈等构成振荡电路，
产生上千赫兹的振荡波形，
通过变压器耦合到副边，再
整流滤波稳压
实现DC/DC
变换。



在变压器副边增加几组类似的电路，便可获得多个要求不同的直流电压

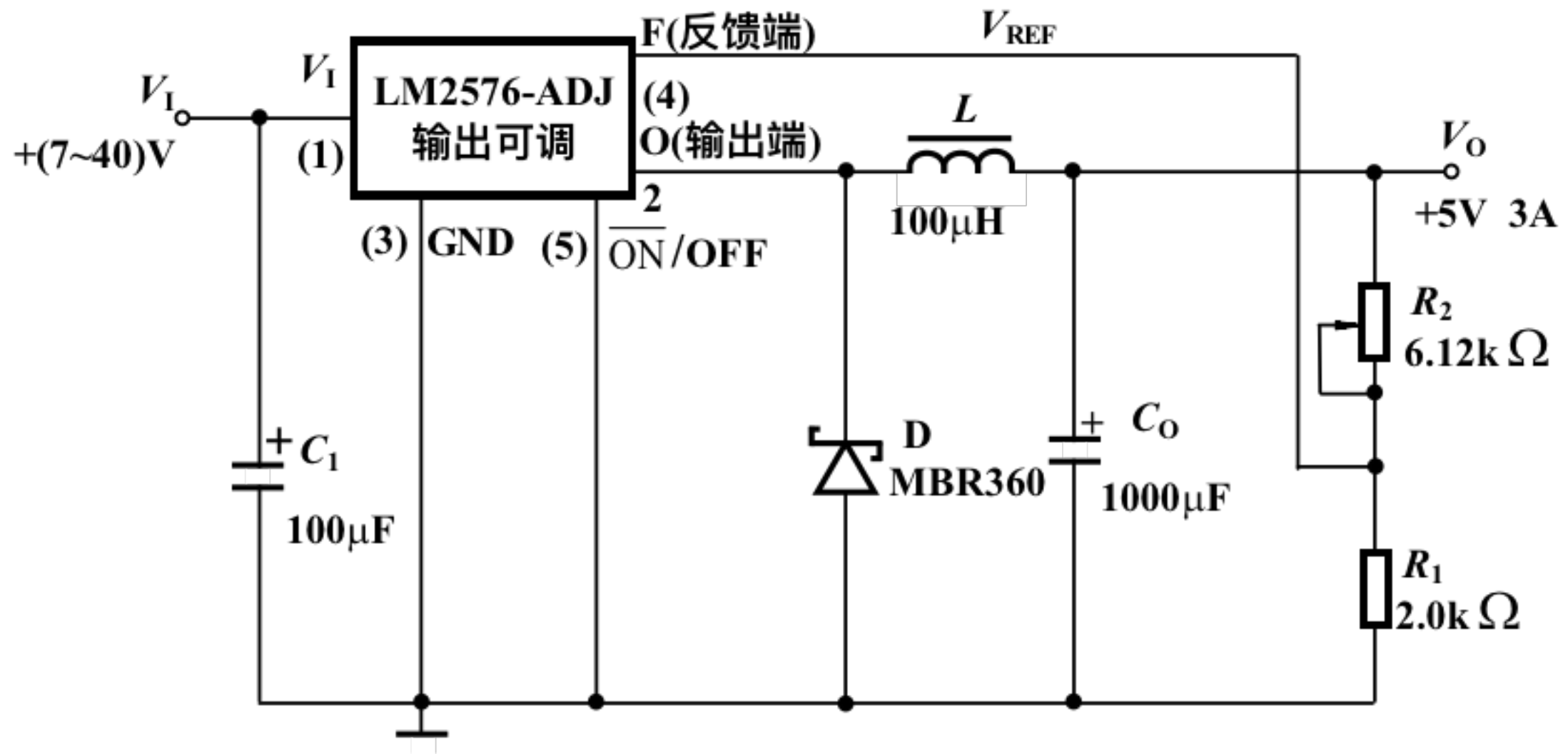
*11.3.2 带隔离变压器的直流变换型电源

工作波形



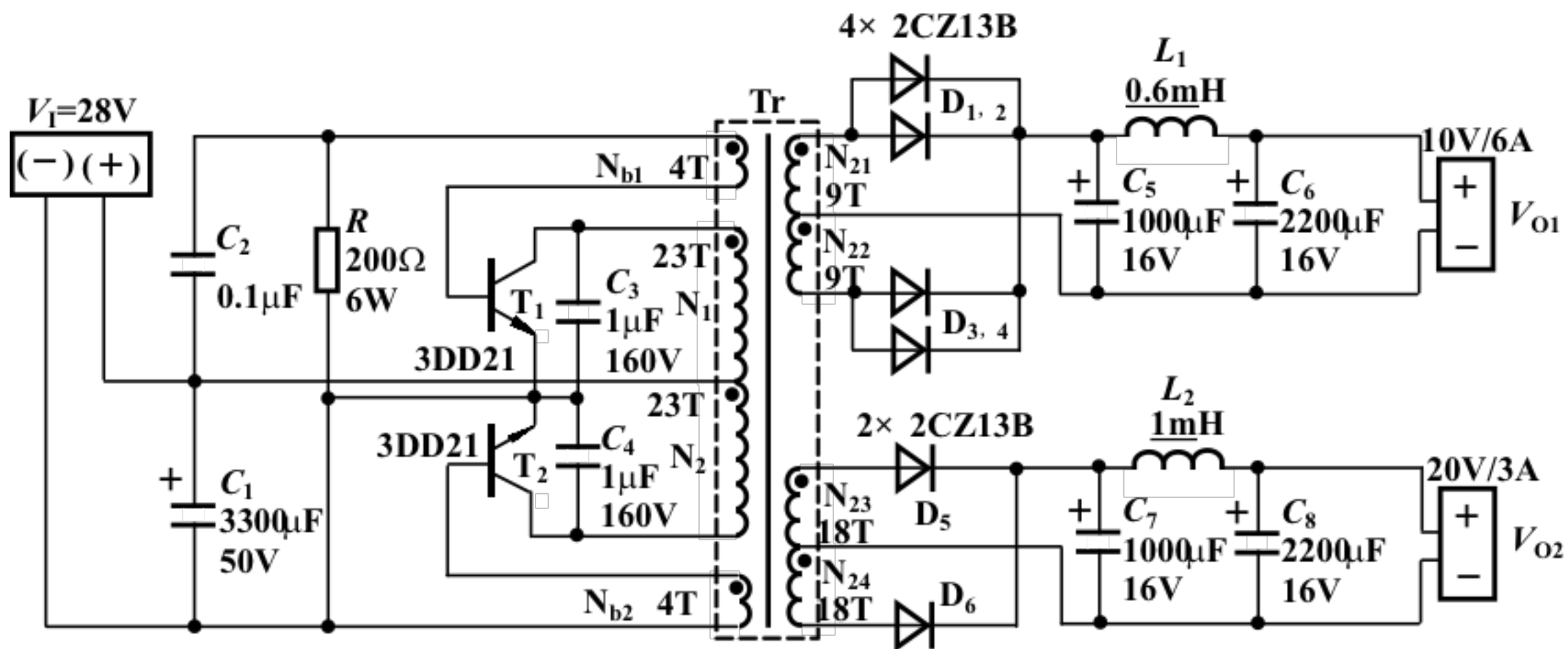
11.3.3 开关稳压电源的应用举例

1. LM2576系列降压式DC/DC电源变换器的应用



11.3.3 开关稳压电源的应用举例

2. 自激型推挽式开关稳压电源应用



小结

(1) 通过对共源和共射放大电路低频响应的分析看到，影响低频响应的主要因素是旁路电容和耦合电容。若想尽可能降低放大电路的下限截止频率，则尽量选用容量较大的旁路电容和耦合电容，其它组态的放大电路有类似的结论。

(2) 以上分析过程均假设电路满足一定条件，进行了简化处理，实际上通过SPICE仿真可以得到更精确的分析结果。

(3) 通过选用大容量电容降低下限截止频率的效果通常是有限的，因此在信号频率很低の場合，可考虑采用直接耦合的放大电路。