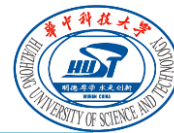


11 直流电源电路

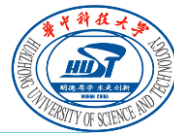


11.1 小功率整流滤波电路

11.2 线性串联反馈式稳压电路

11.3 开关稳压电路

11 直流电源电路



如何为放大电路提供直流工作电源？

干电池

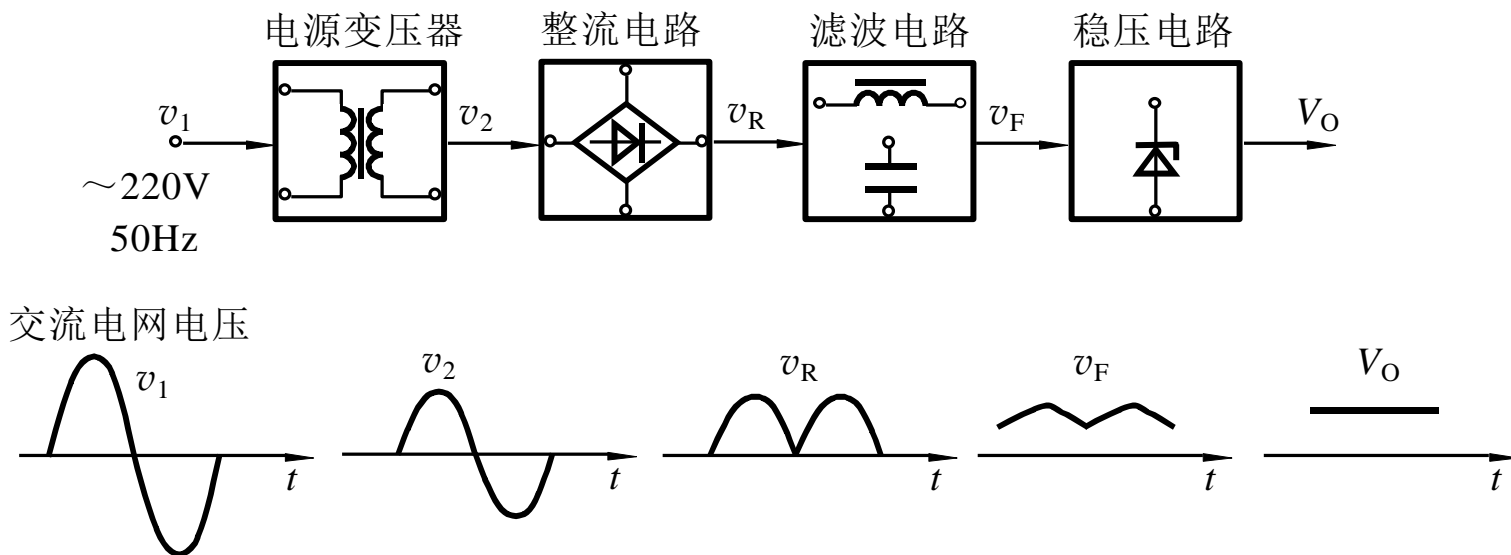
可充电电池（锂电池、镍氢电池、其它蓄电池）

太阳能电池

电网电源？

11 直流电源电路

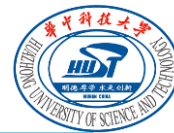
电网电源如何变为直流供电电源？



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 直流电源电路



11.1 小功率整流滤波电路

11.2 线性串联反馈式稳压电路

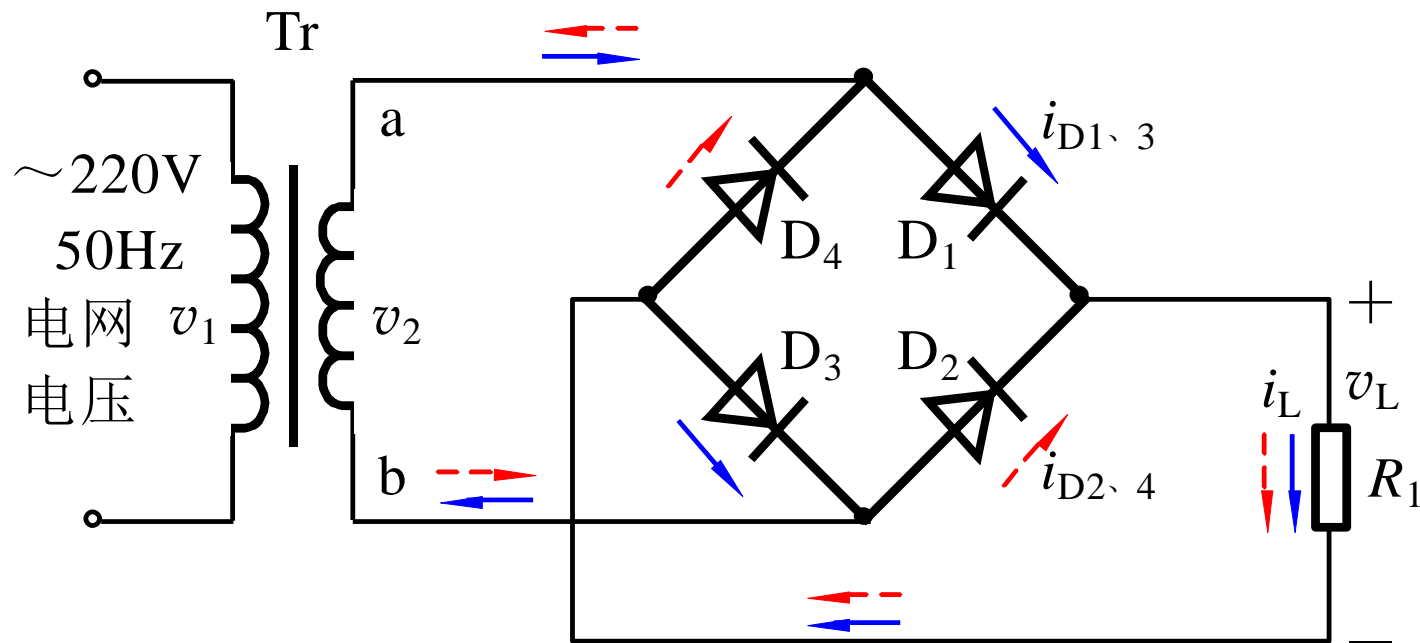
11.3 开关稳压电路

11.1 小功率整流滤波电路

1. 单相桥式整流电路

1) 工作原理

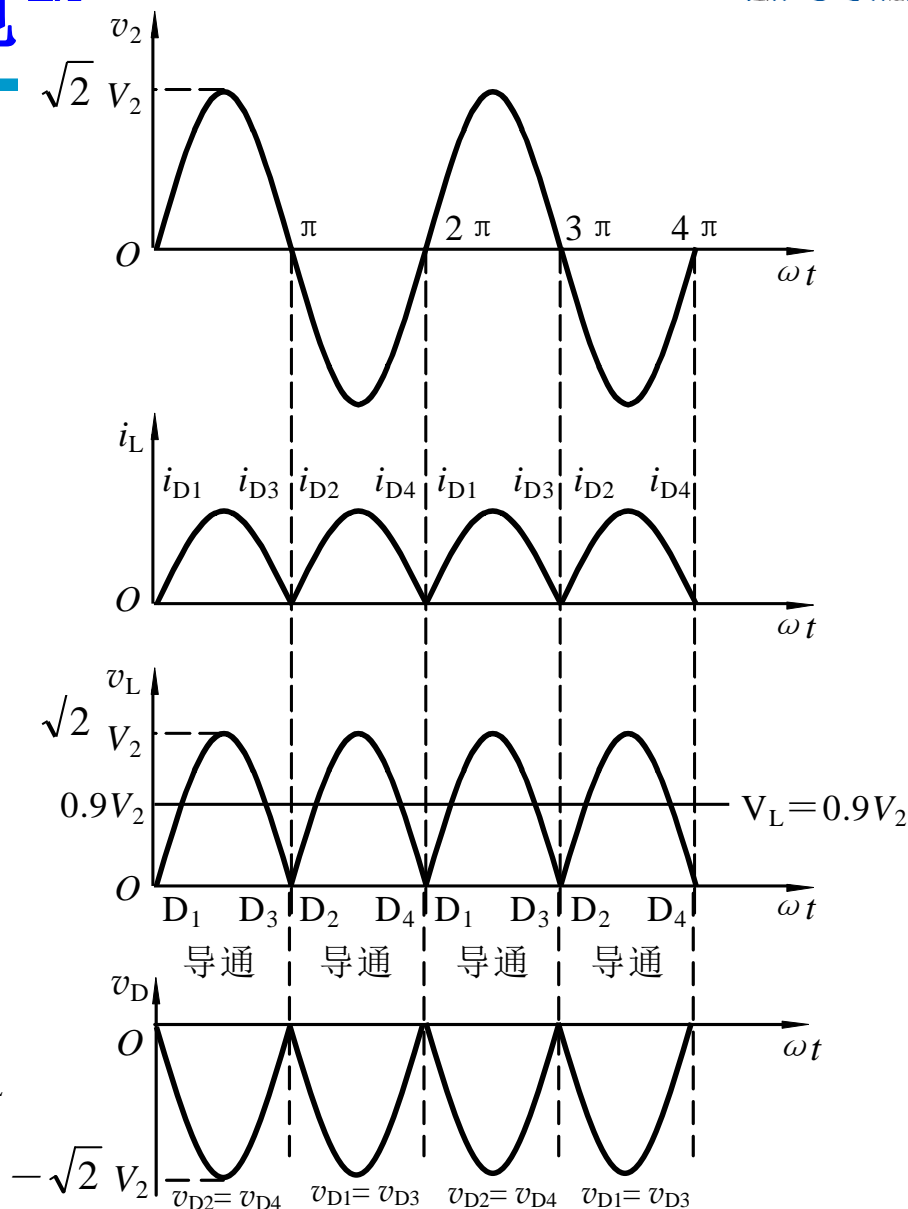
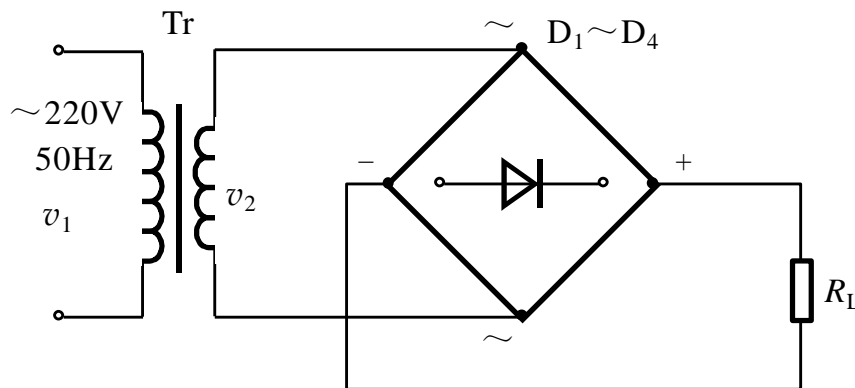
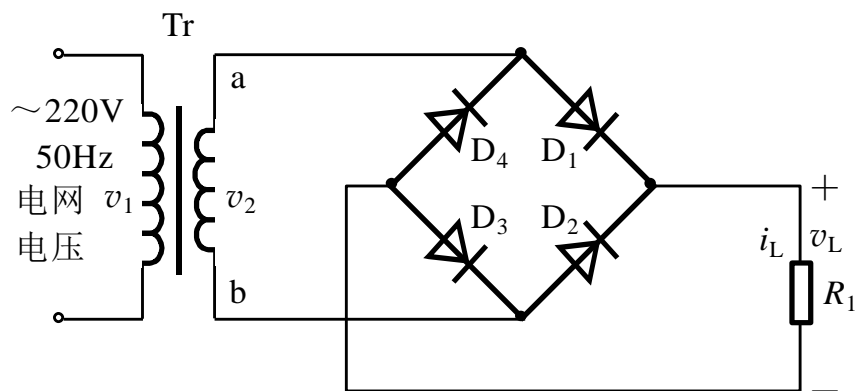
利用二极管的单向导电性



11.1 小功率整流滤波电路

1. 单相桥式整流电路

1) 工作原理



11.1 小功率整流滤波电路

1. 单相桥式整流电路

2) 负载输出电压和输出电流的平均值

$$V_L = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} \cdot V_2 \sin \omega t \cdot d\omega t = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_2 \approx 0.9V_2$$

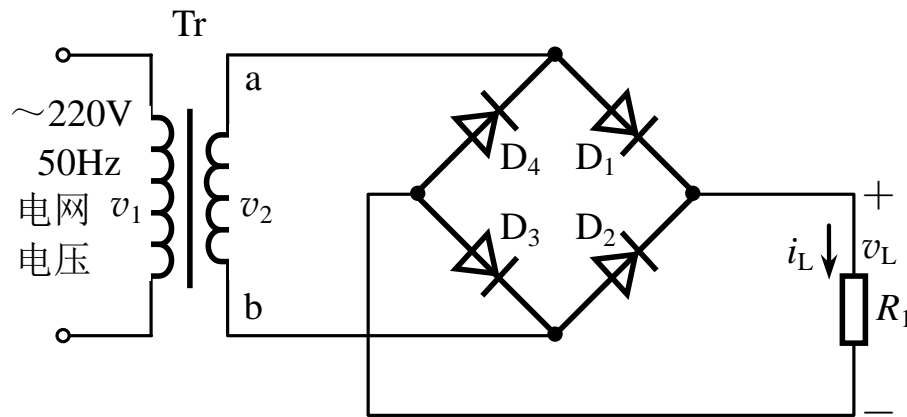
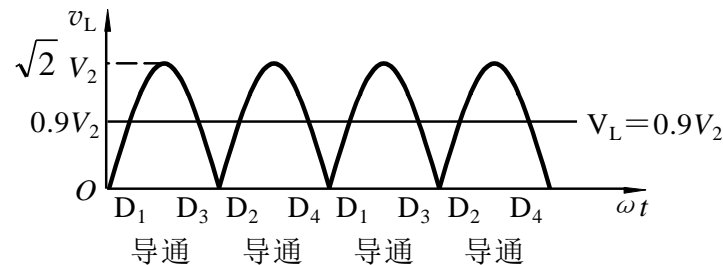
$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{0.9V_2}{R_L}$$

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

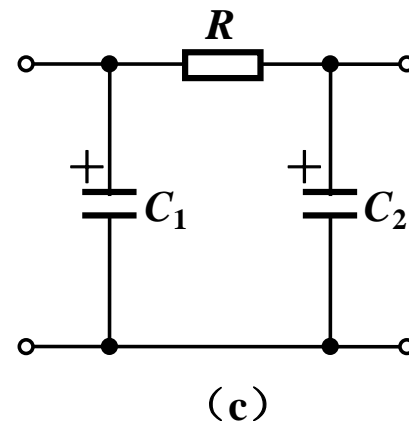
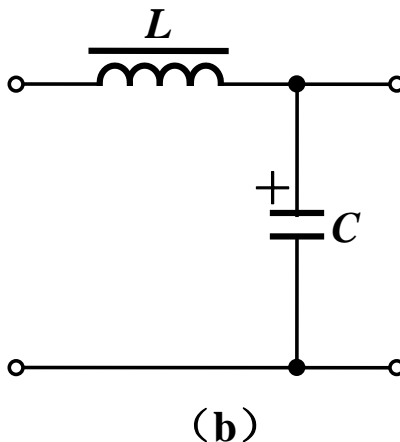
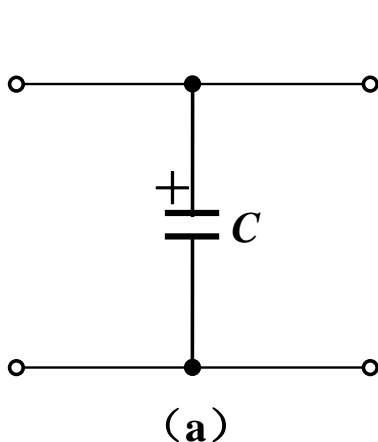
5) 最大反向电压 $V_{RM} = \sqrt{2} V_2$



11.1 小功率整流滤波电路

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？

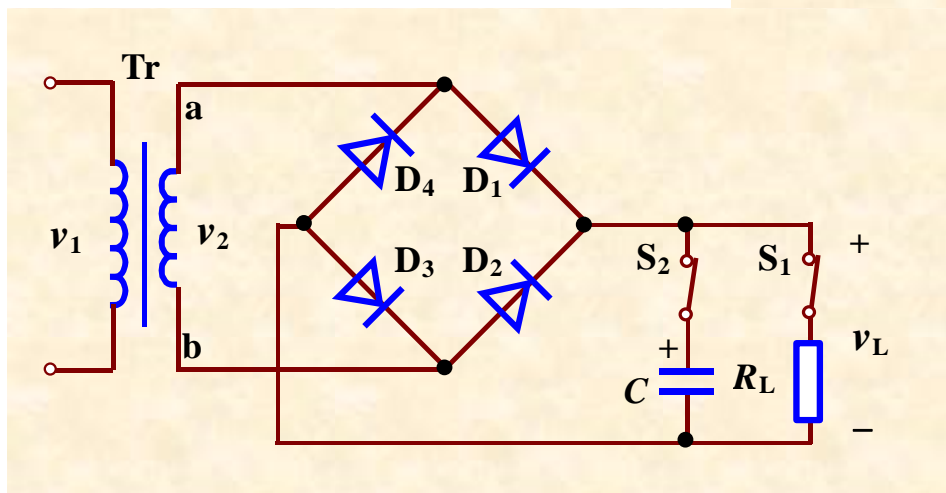
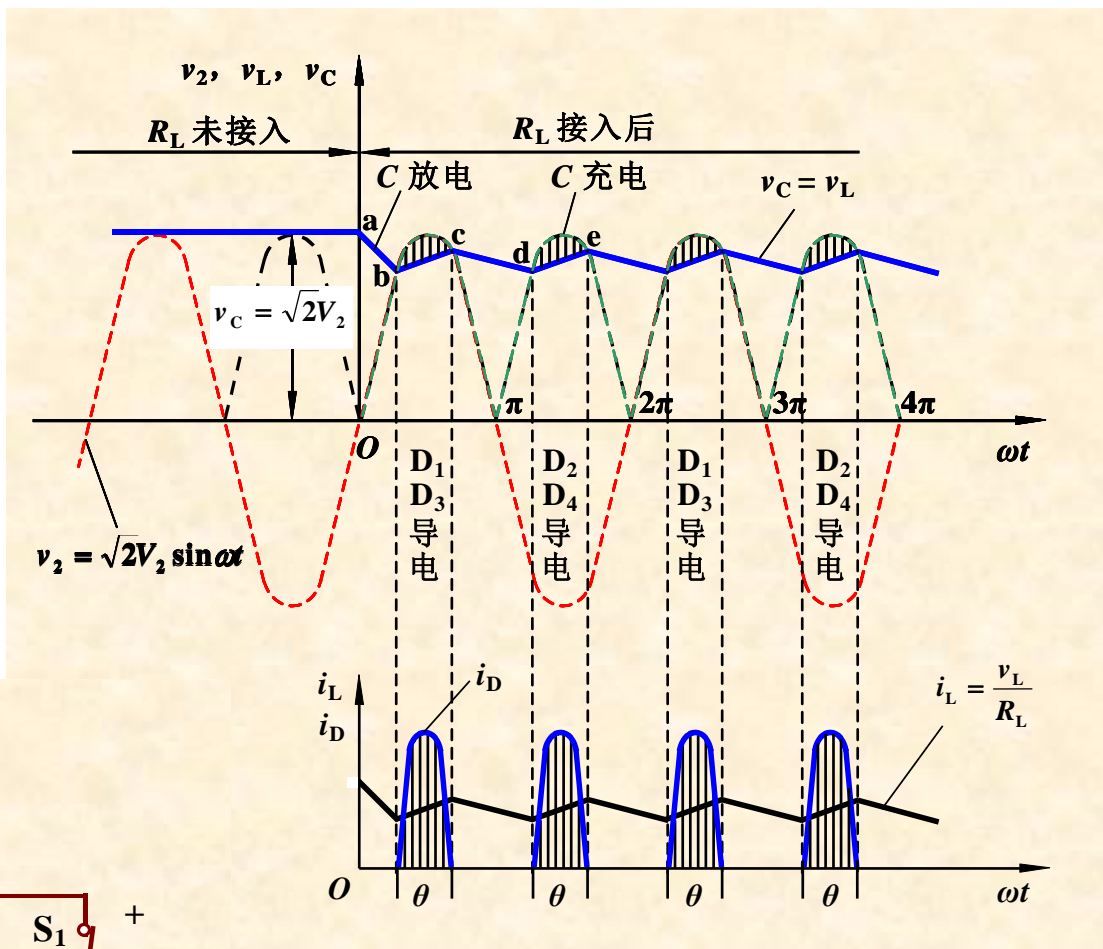
三种电路各有什么优缺点？

为什么不用阶数更高的滤波电路？

11.1 小功率整流滤波电路

2. 滤波电路

电容滤波电路



11.1 小功率整流滤波

2. 滤波电路

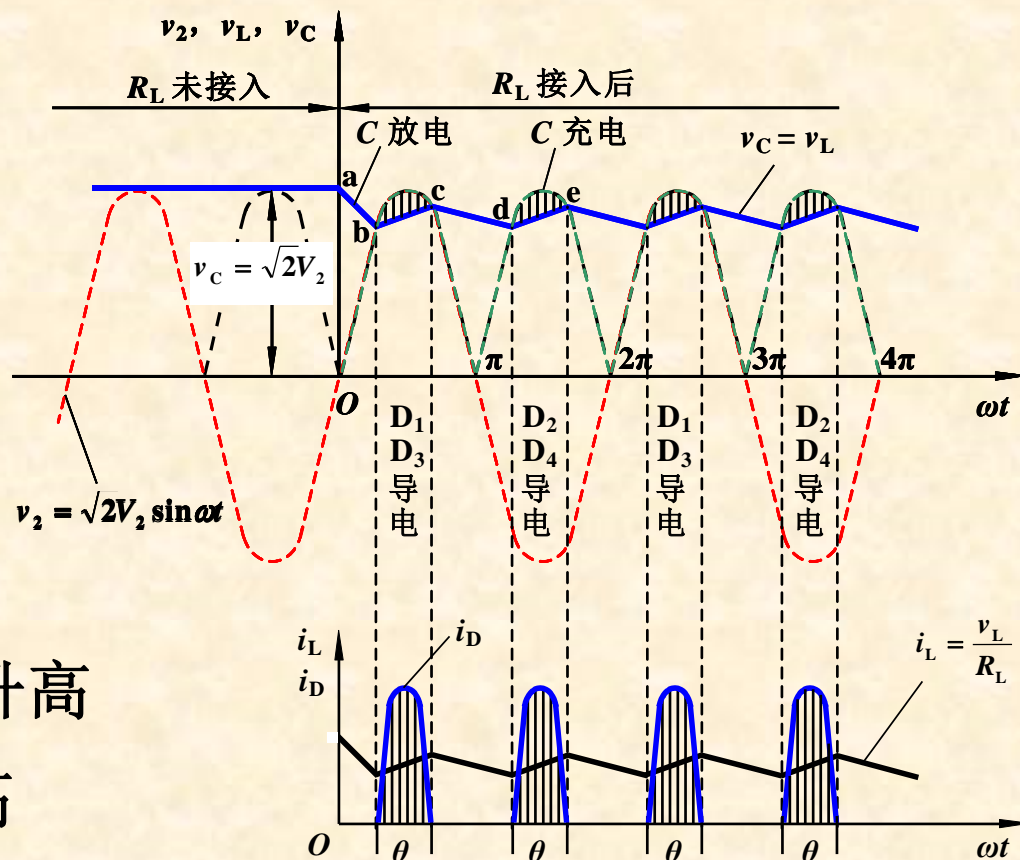
电容滤波的特点

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

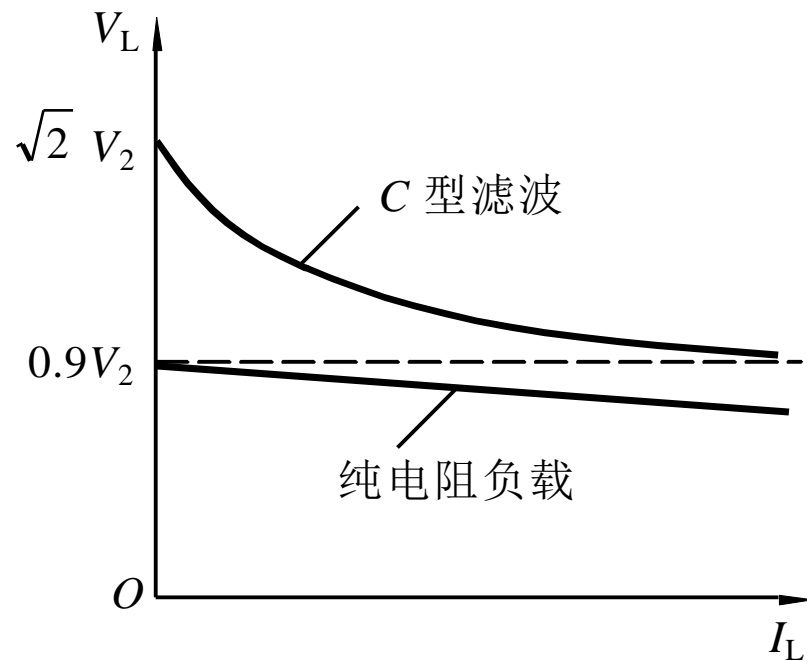
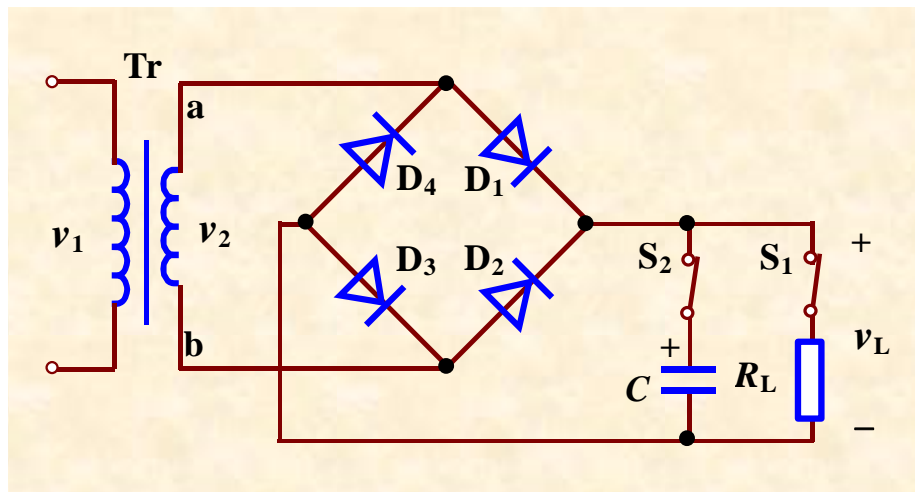
当 $\tau_d \geq (3 \sim 5) \frac{T}{2}$ 时, $V_L = (1.1 \sim 1.2) V_2$



11.1 小功率整流滤波电路

2. 滤波电路

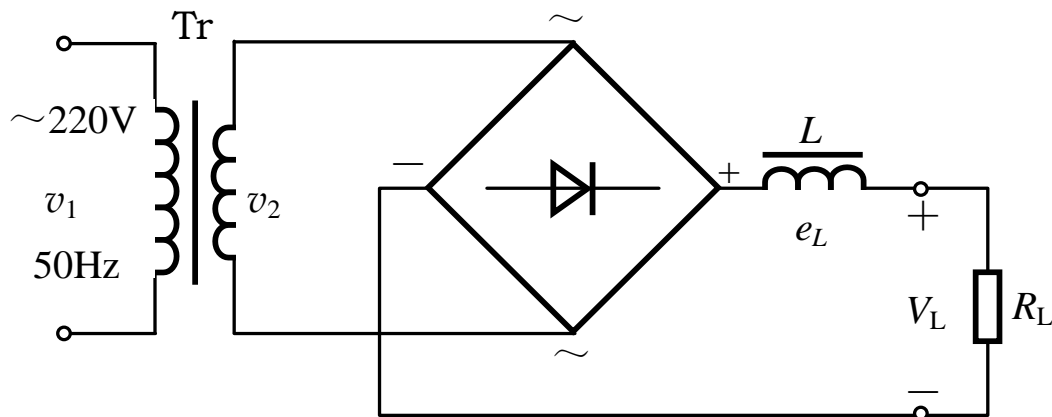
V_L 随负载电流的变化



11.1 小功率整流滤波电路

2. 滤波电路

电感滤波电路



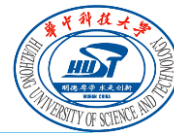
特点:

整流二极管的导电角增大, 没有峰值电流, 输出特性变得平滑。

缺点:

由于电感存在铁芯, 体积大, 笨重且容易引起电磁干扰。一般只适用于小电压、大电流的场合。

11 直流电源电路



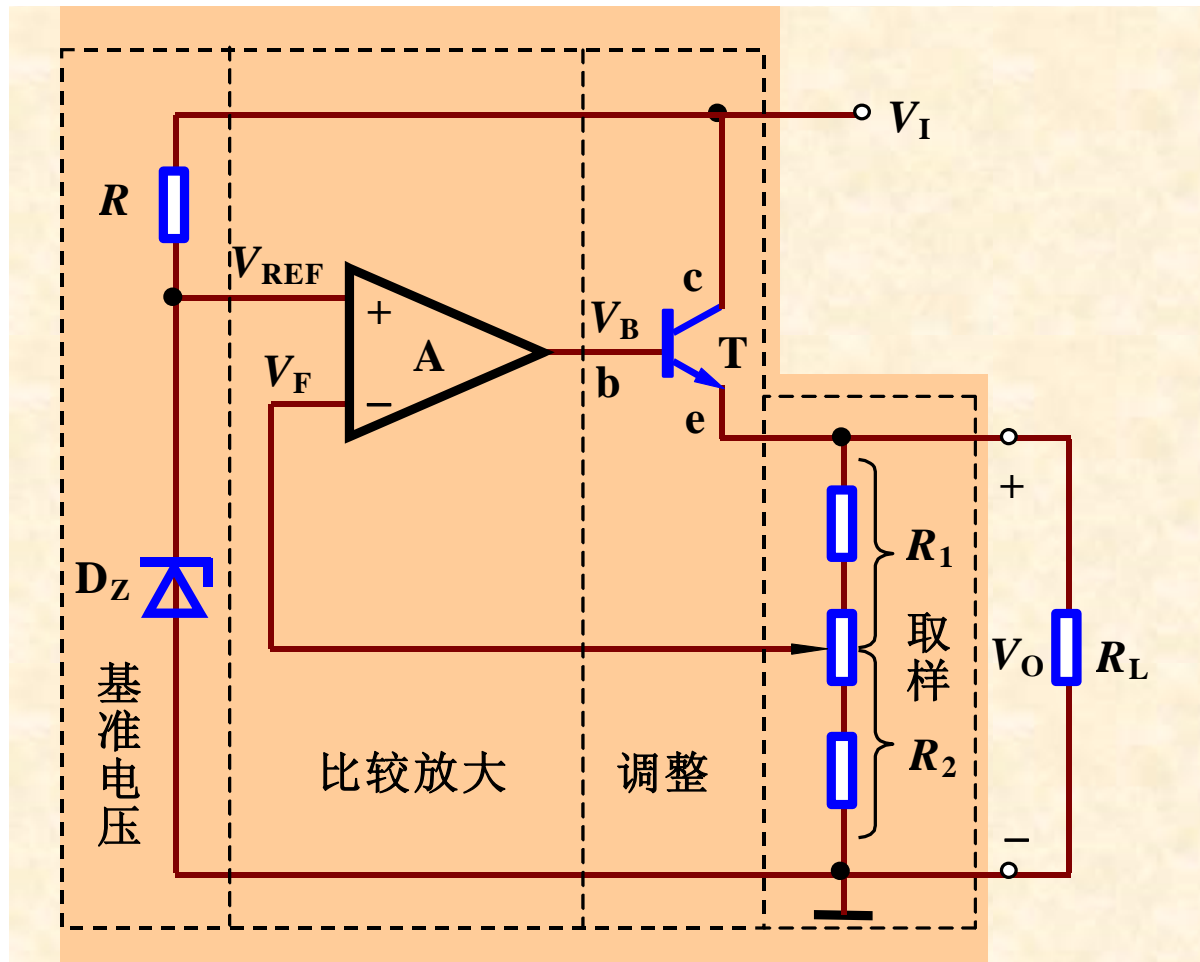
11.1 小功率整流滤波电路

11.2 线性串联反馈式稳压电路

11.3 开关稳压电路

11.2 线性串联反馈式稳压电路

1. 工作原理



11.2 线性串联反馈式稳压电路

1. 工作原理

将 V_{REF} 看作电路的输入

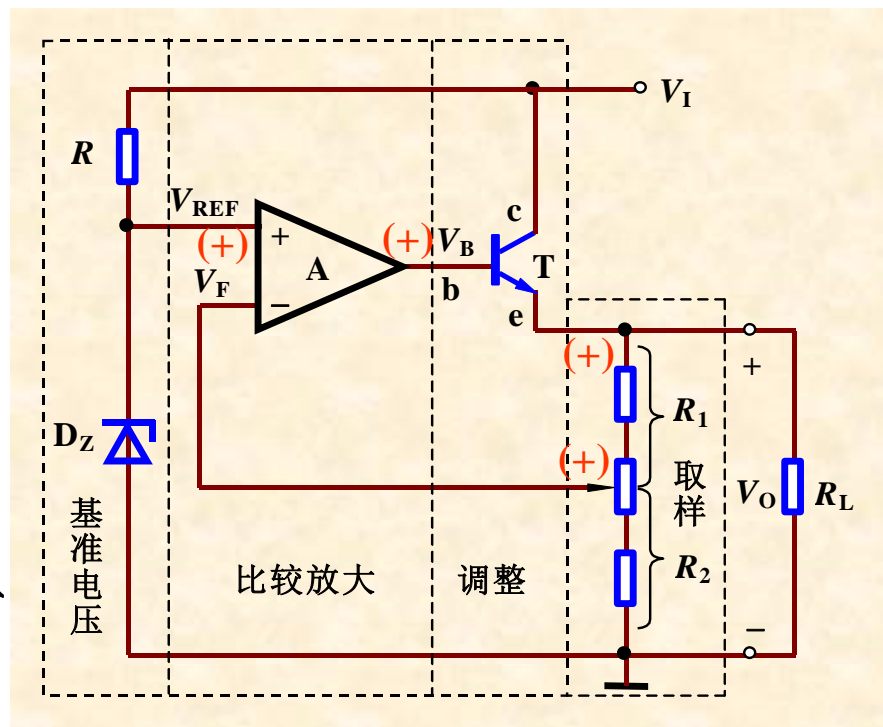
电压串联负反馈

输入电压波动
负载电流变化 } → 输出电压变化

$V_O \downarrow \rightarrow V_F \downarrow (V_{REF} \text{ 不变}) \rightarrow V_B \uparrow$
 $V_O \uparrow \leftarrow$

满足深度负反馈，根据虚短和虚断有

$$\begin{cases} V_F = V_{REF} \\ \frac{V_F}{V_O} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \end{cases} \quad \text{所以输出电压} \quad V_O = V_{REF} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$



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？

11.2 线性串联反馈式稳压电路

2. 主要技术指标

输出电压 $V_O = f(V_I, I_O, T)$

输出电压变化量

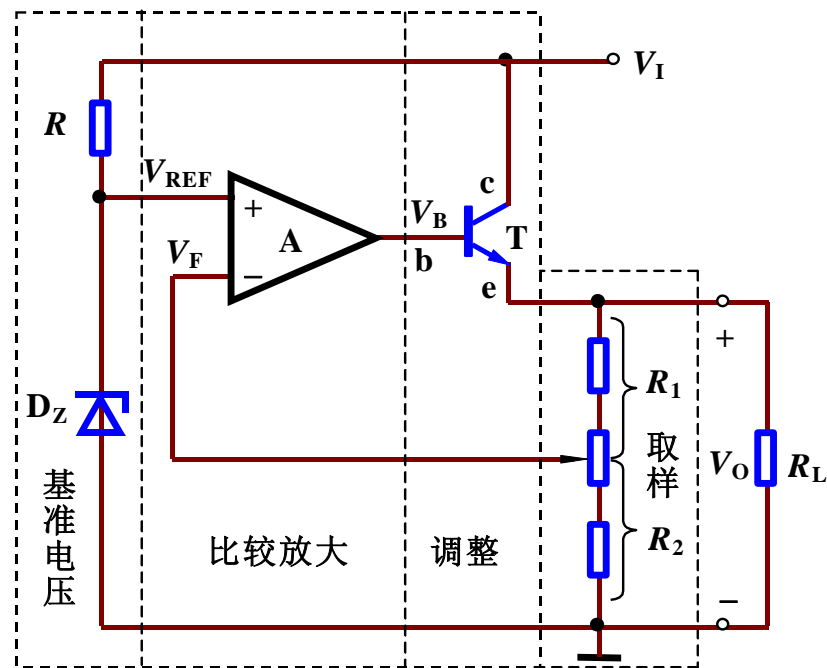
$$\Delta V_O = K_V \Delta V_I + R_o \Delta I_O + S_T \Delta T$$

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 $\gamma = \left. \frac{\Delta V_O / V_O}{\Delta V_I / V_I} \right|_{\substack{\Delta I_O=0 \\ \Delta T=0}}$



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

纹波抑制比

$$RR = 20 \lg \frac{\tilde{V}_{IrP-P}}{\tilde{V}_{OrP-P}} \text{ dB}$$

11.2 线性串联反馈式稳压电路

2. 主要技术指标

输出电压 $V_O = f(V_I, I_O, T)$

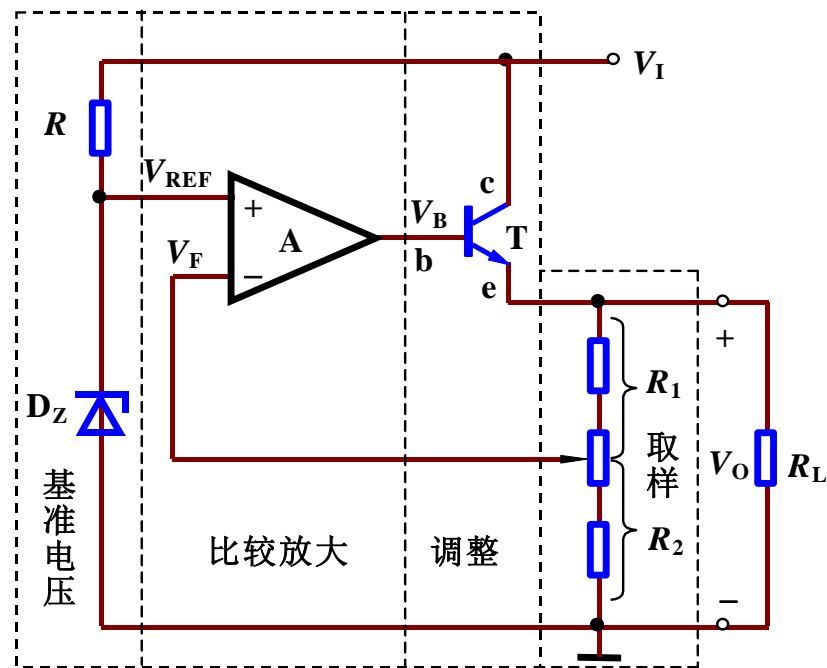
输出电压变化量

$$\Delta V_O = K_V \Delta V_I + R_o \Delta I_O + S_T \Delta T$$

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

其他特性指标

- ❑ 输出电压范围
- ❑ 最大输入输出电压差
- ❑ 最小输入输出电压差
- ❑ 输出电流范围

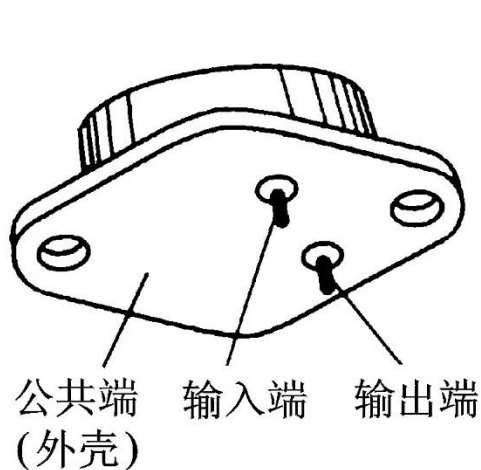


11.2 线性串联反馈式稳压电路

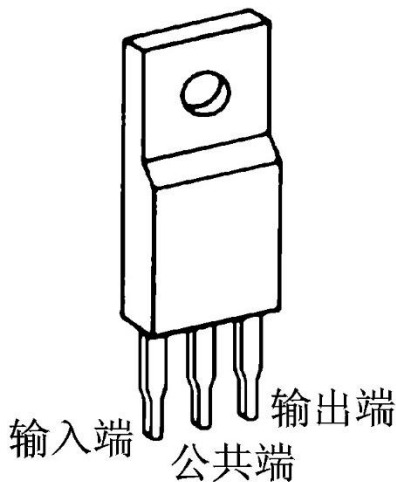
3. 三端集成稳压器

78 XX: 正电压

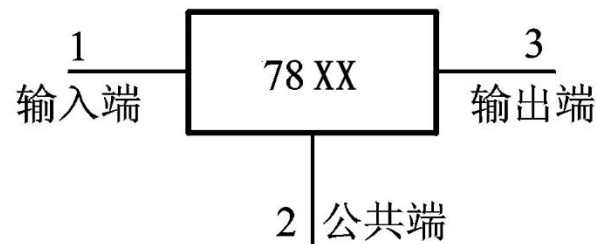
79 XX: 负电压



(b)

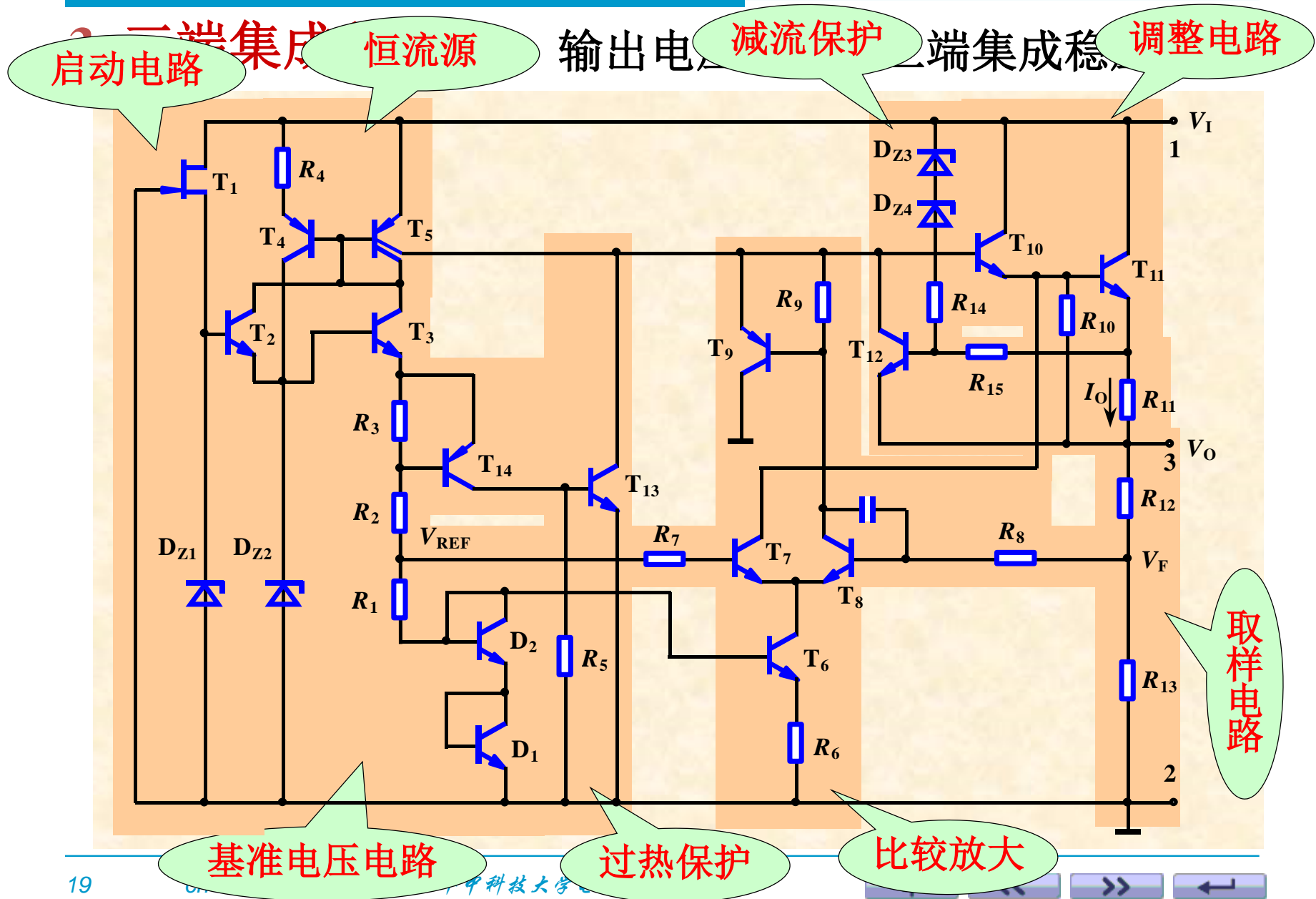


(c)



(d)

11.2 线性串联反馈式稳压电路



11.2 线性串联反馈式稳压电路

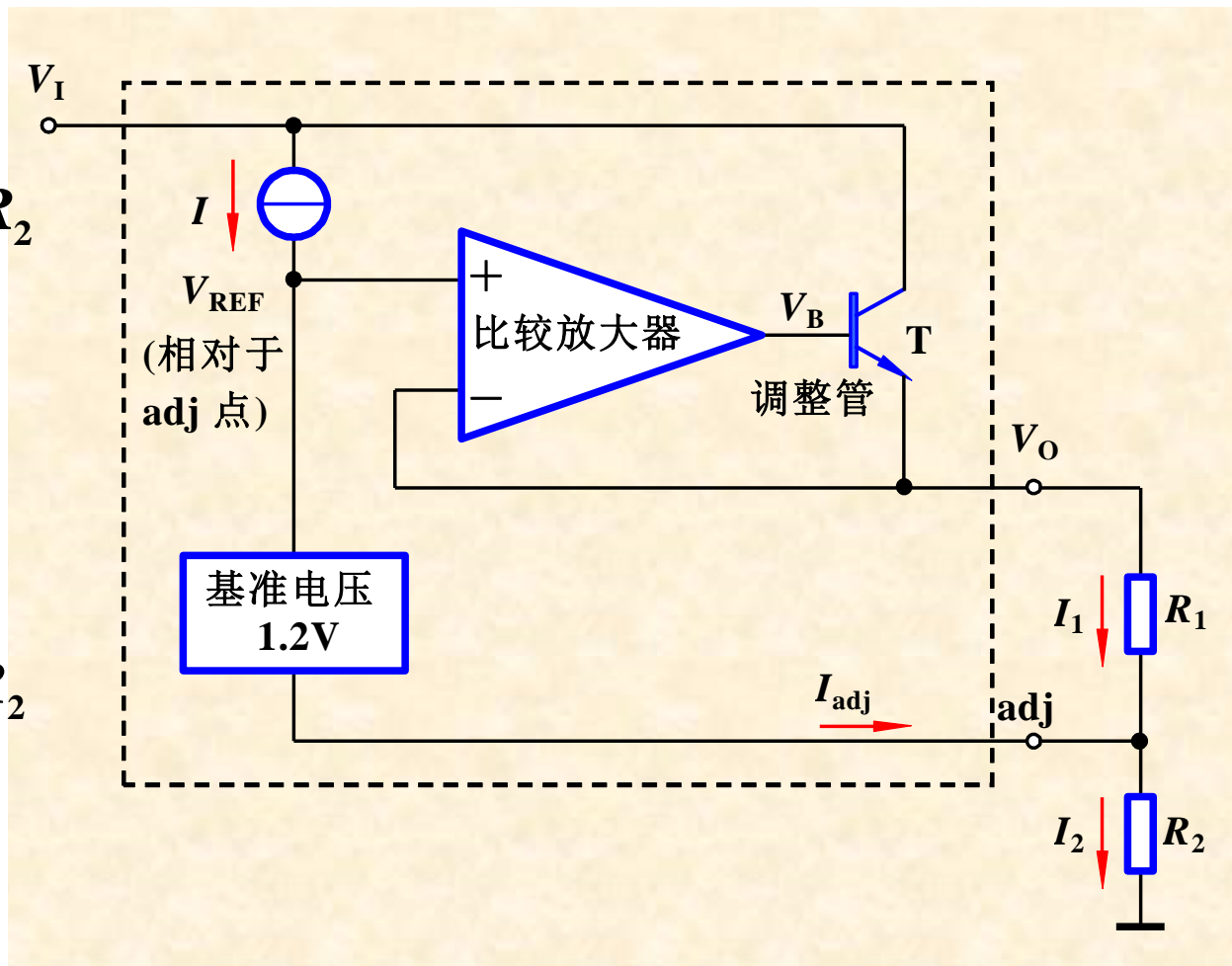
3. 三端集成稳压器 可调式三端集成稳压器（正电压 LM317、负电压 LM337）

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 线性串联反馈式稳压电路

3. 三端集成稳压器

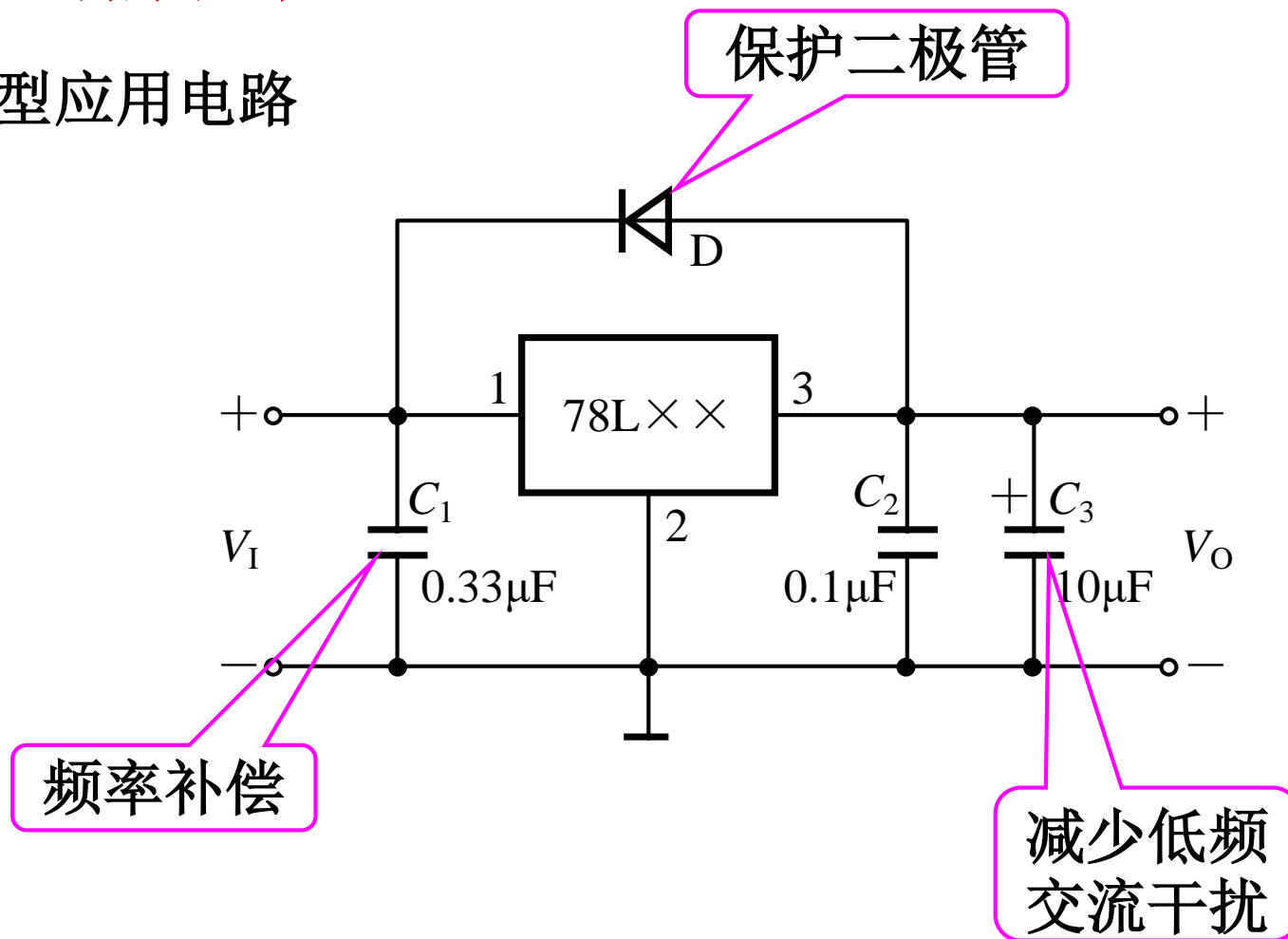
输出电压固定的集成稳压器的型号与部分性能指标

型号参数	78L05 (79L05)	78M09 (79M09)	7812 (7912)
输入电压 V_I/V	7~20 (- 7~ - 20)	11~35 (- 11~ - 35)	14~35 (- 14~ - 35)
输出电压 V_O/V	+5 (- 5)	+9 (- 9)	+12 (- 12)
$(V_I - V_O)_{\min}/V$	2.0~2.5 (-2.0~-2.5)	2.0~2.5 (- 2.0~ - 2.5)	2.0~2.5 (- 2.0~ -2.5)
输出电流/A	0.1	0.5	1.5

11.2 线性串联反馈式稳压电路

3. 三端集成稳压器

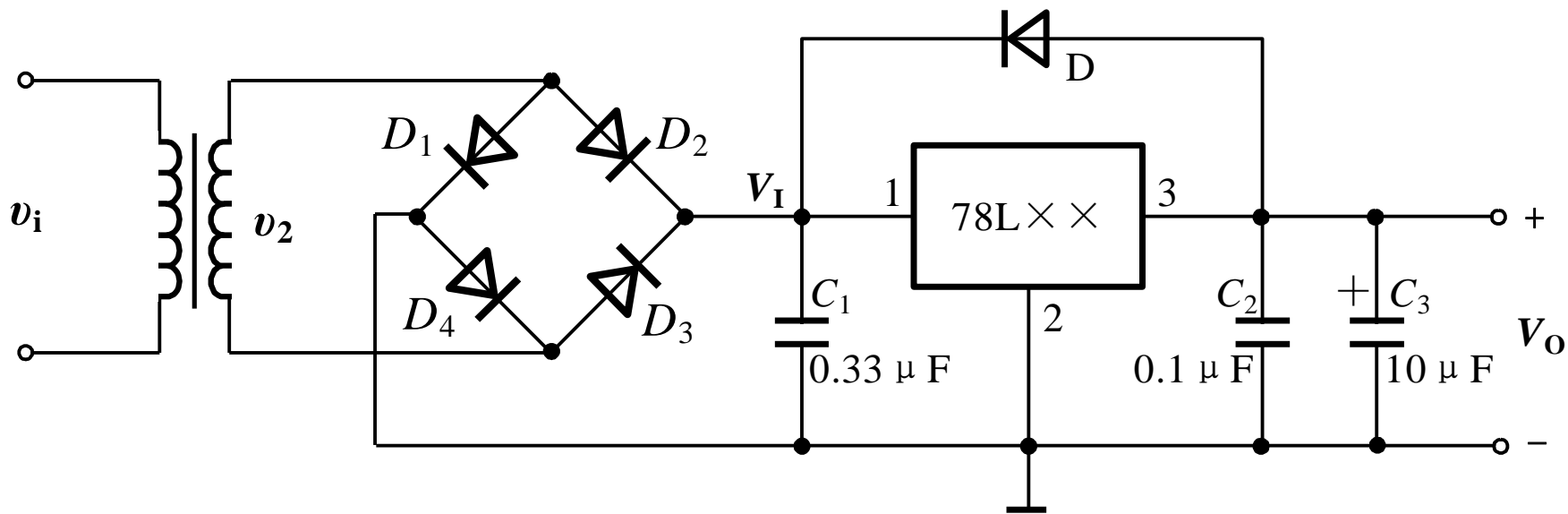
典型应用电路



11.2 线性串联反馈式稳压电路

3. 三端集成稳压器

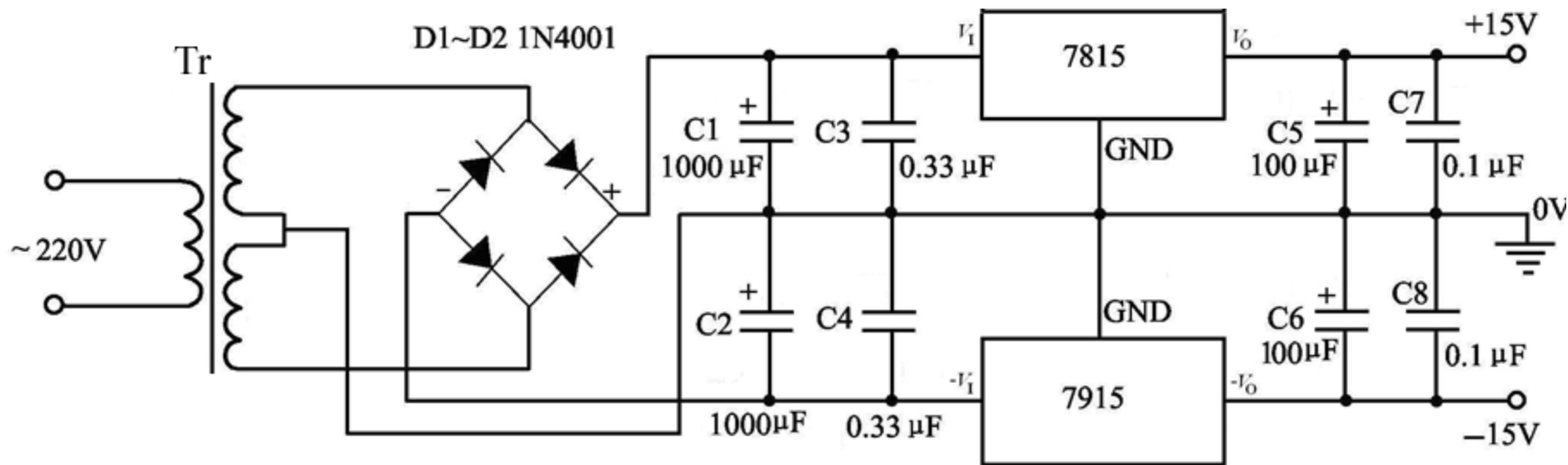
典型应用电路



11.2 线性串联反馈式稳压电路

3. 三端集成稳压器

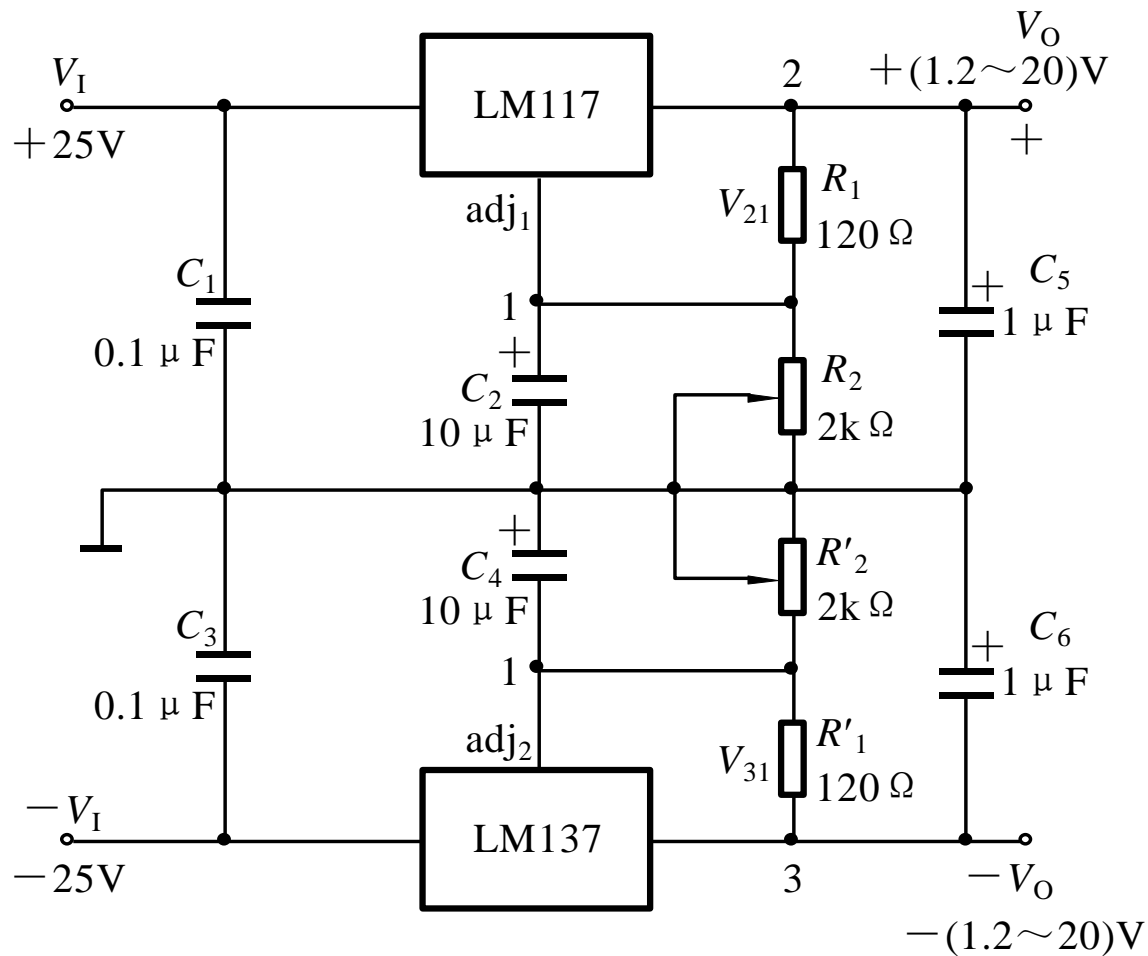
典型应用电路



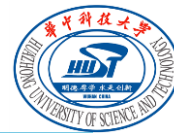
11.2 线性串联反馈式稳压电路

3. 三端集成稳压器

典型应用电路



11 直流电源电路



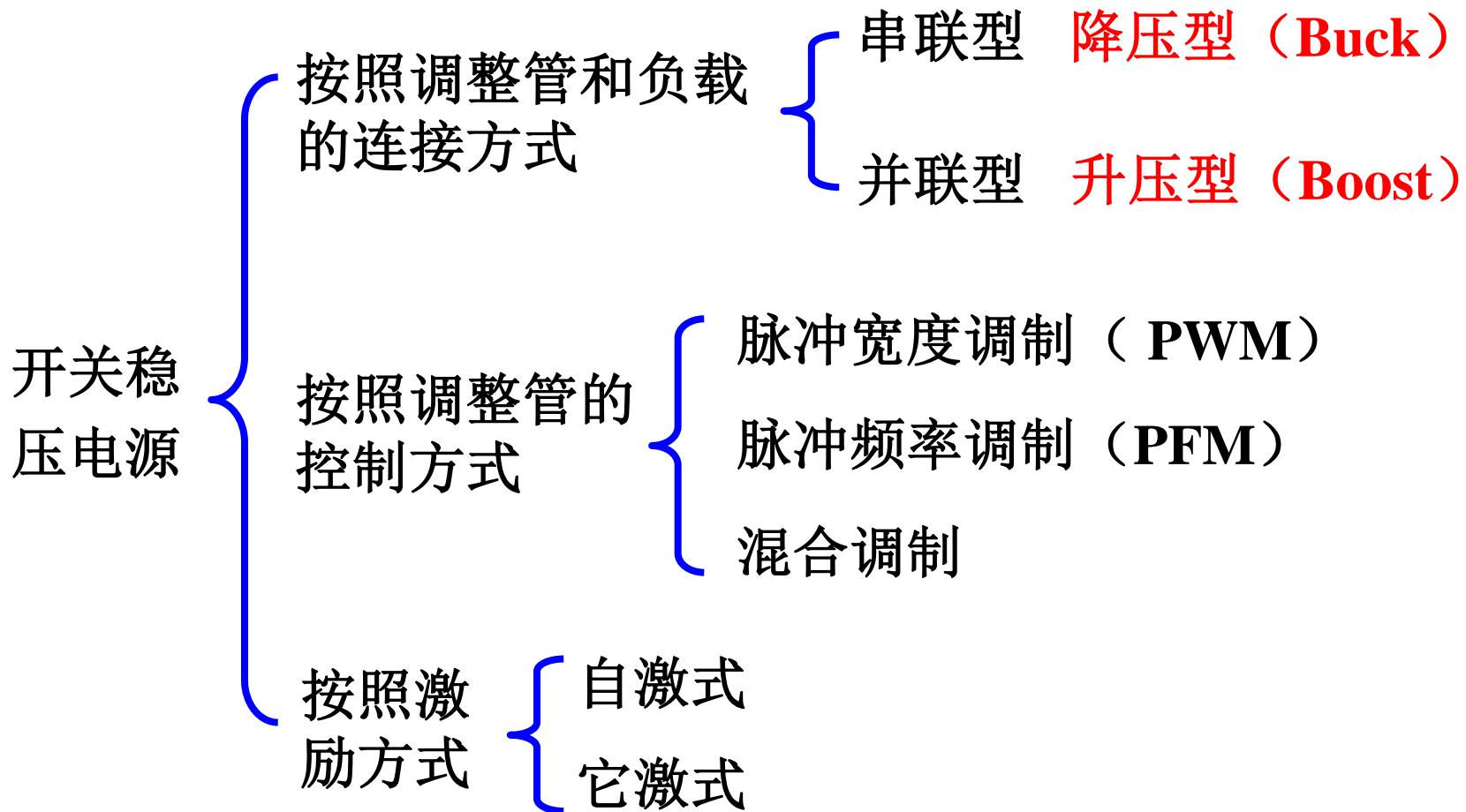
11.1 小功率整流滤波电路

11.2 线性串联反馈式稳压电路

11.3 开关稳压电路

11.3 开关稳压电路

1. 分类和特点



11.3 开关稳压电路

1. 分类和特点

(1) 效率高

在开关稳压电源中，调整管工作于开关状态，通过控制调整管的导通时间实现稳压。

由于调整管工作于开关状态，管耗很小，电源效率明显提高，可达75%~95%。

(2) 体积小，重量轻

开关稳压电源省去了笨重的工频变压器和线性稳压中调整管的散热装置，所以相对于线性稳压电源，其体积更小，重量更轻。

11.3 开关稳压电路

1. 分类和特点

(3) 稳压范围宽

开关稳压电路的效率和输入电压的大小基本无关，对交流电网的要求不高，因此稳压范围较宽。

(4) 调整管的控制比较复杂

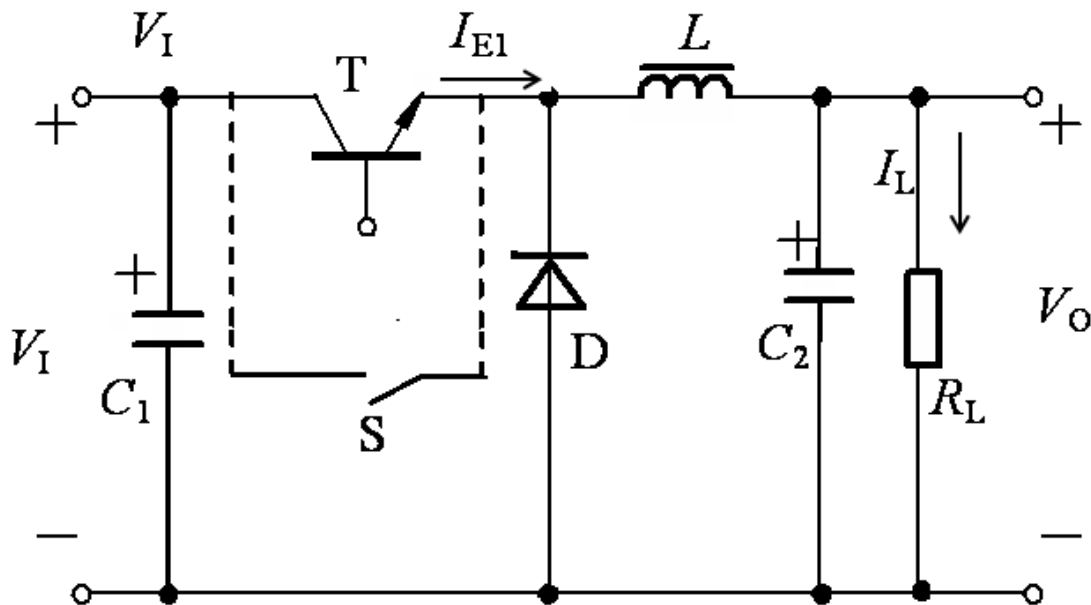
由于开关稳压电路的调整管工作在截止和饱和两种状态，控制电路较为复杂。

(5) 输出电压纹波较大

11.3 开关稳压电路

2. 工作原理

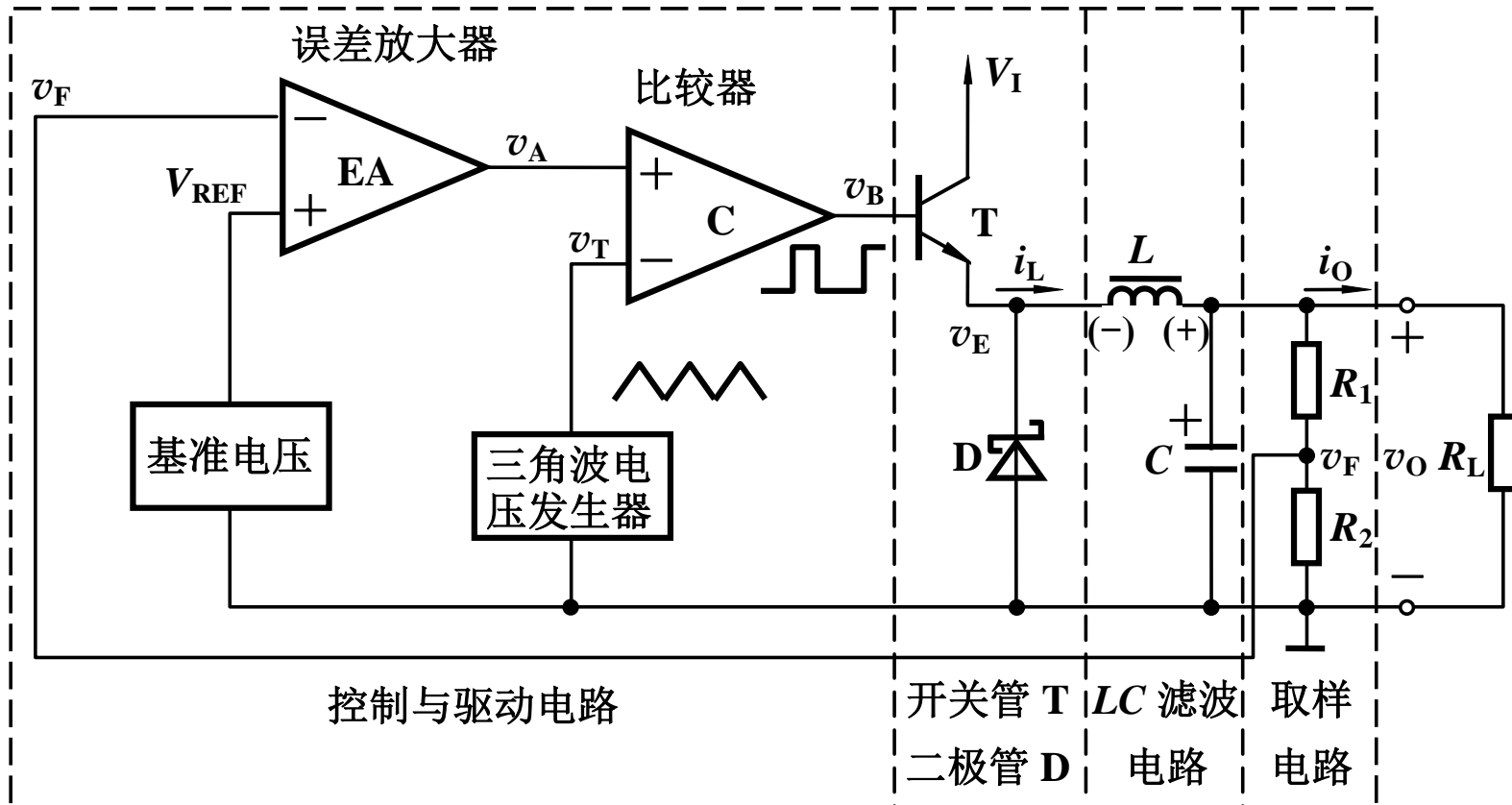
串联型（降压，Buck）主回路，开关管T与负载 R_L 串联



11.3 开关稳压电路

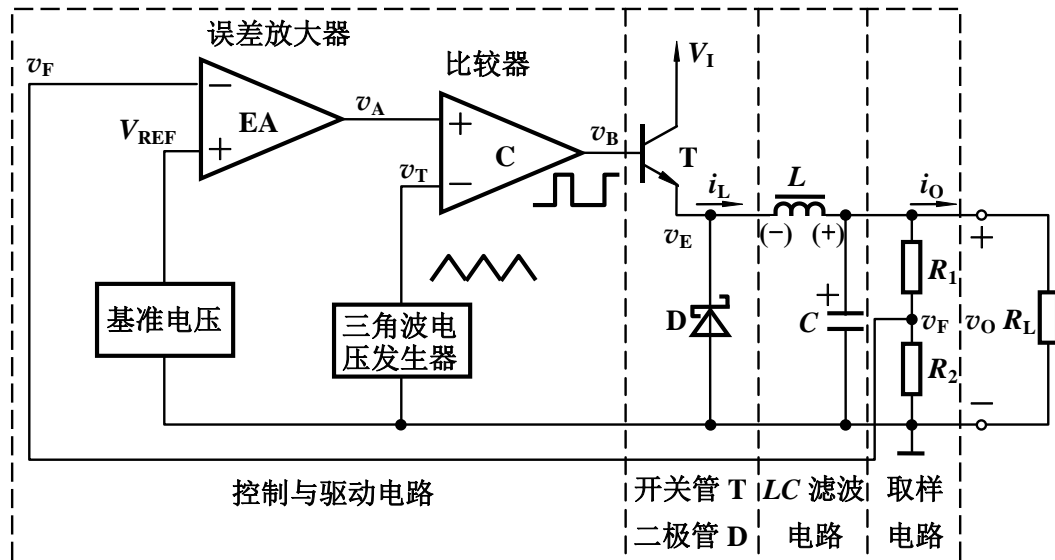
2. 工作原理

串联型（降压，Buck）



11.3 开关稳压电路

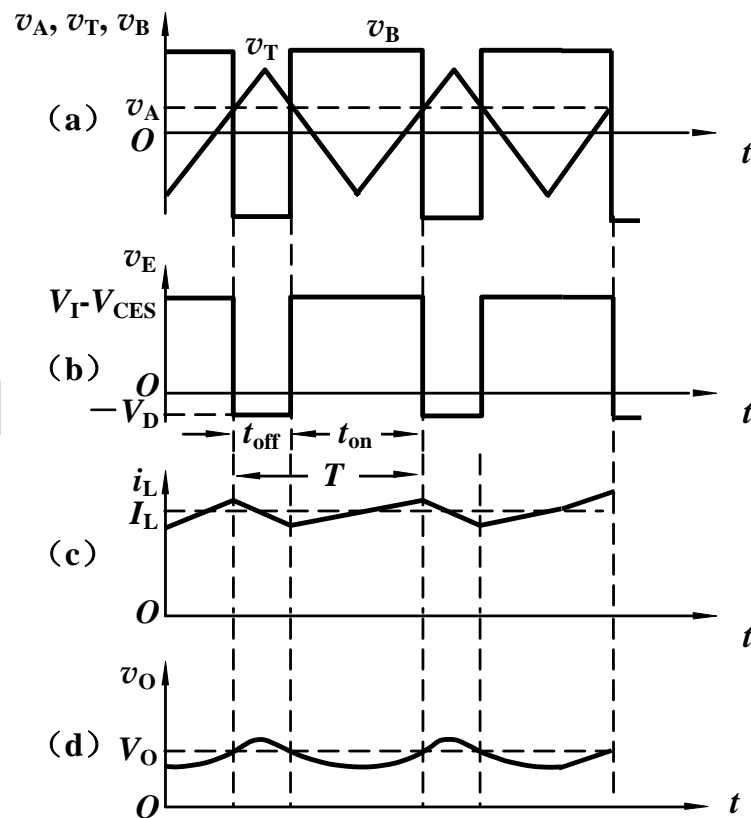
2. 工作原理



输出电压的平均值

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

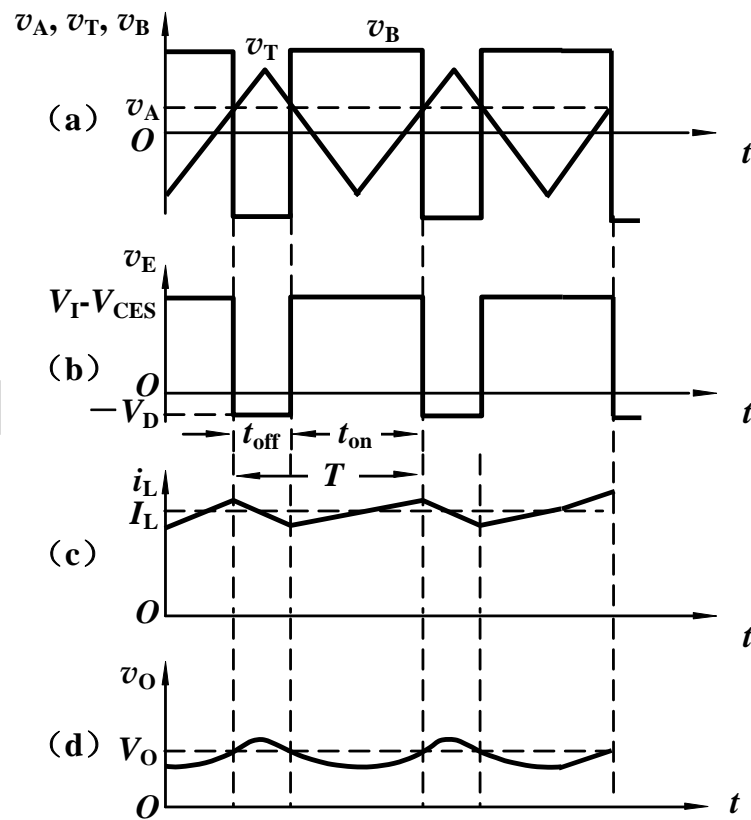
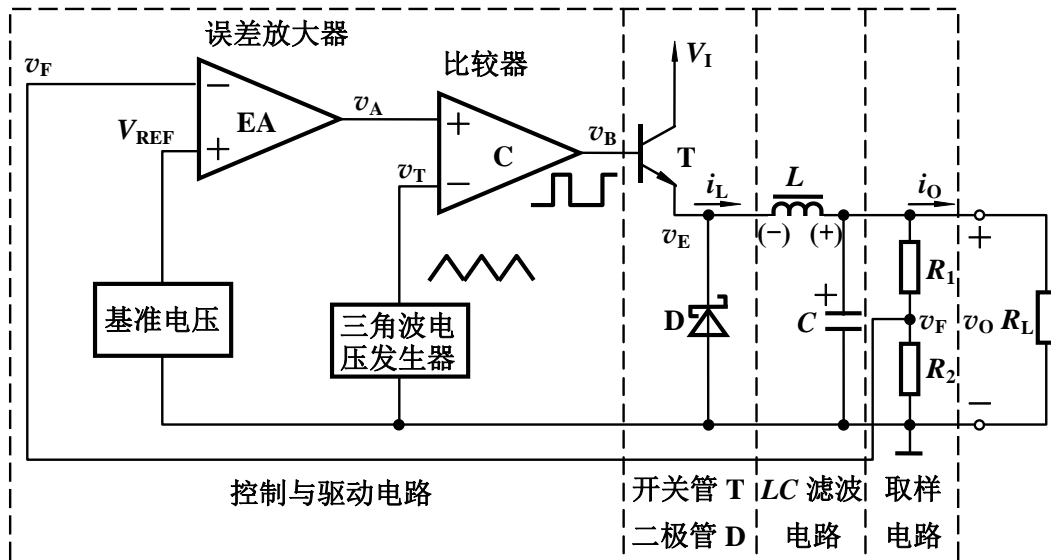
式中 $q = t_{on}/T$ 称为脉冲波形的占空比



脉宽调制 (PWM) 式
降压型开关稳压电源

11.3 开关稳压电路

2. 工作原理



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

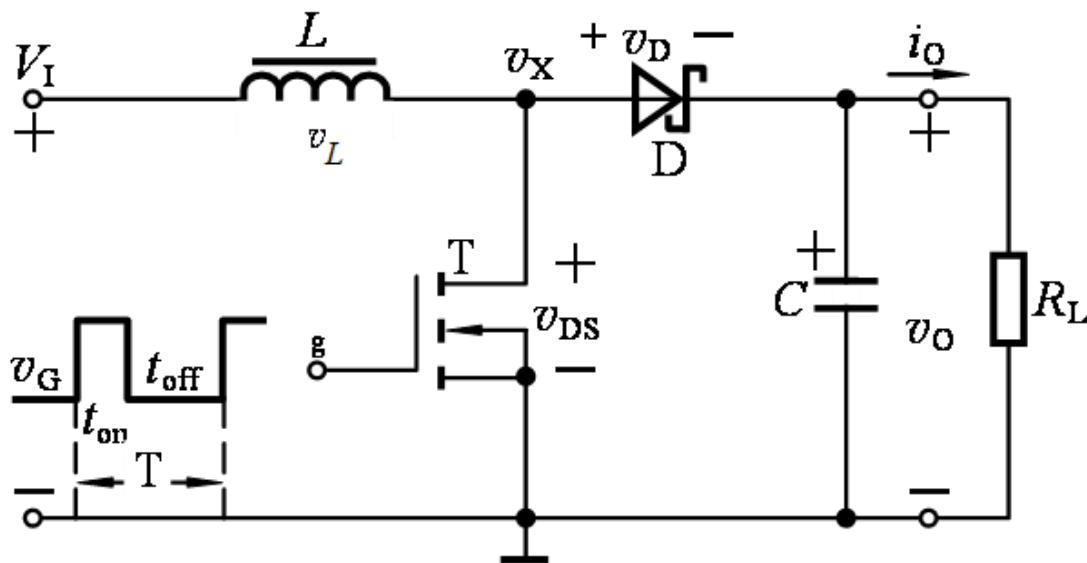
稳压原理

$$V_I \uparrow \text{ (或 } R_L \uparrow) \rightarrow V_O \uparrow \rightarrow V_F \uparrow \rightarrow t_{off} \uparrow, t_{on} \downarrow \rightarrow q \downarrow \rightarrow V_O \downarrow$$

11.3 开关稳压电路

2. 工作原理

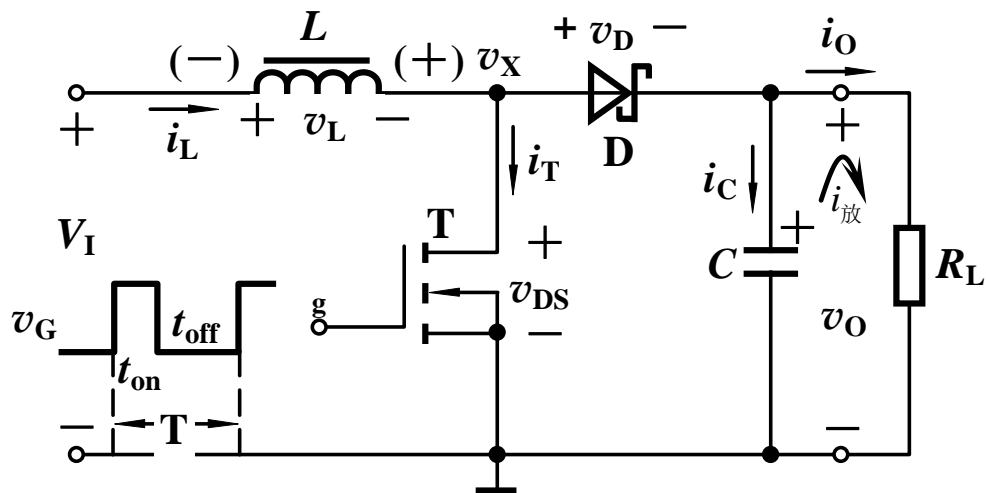
并联型（升压，Boost）主回路，开关管T与负载 R_L 并联



11.3 开关稳压电路

2. 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 $i_{放}$

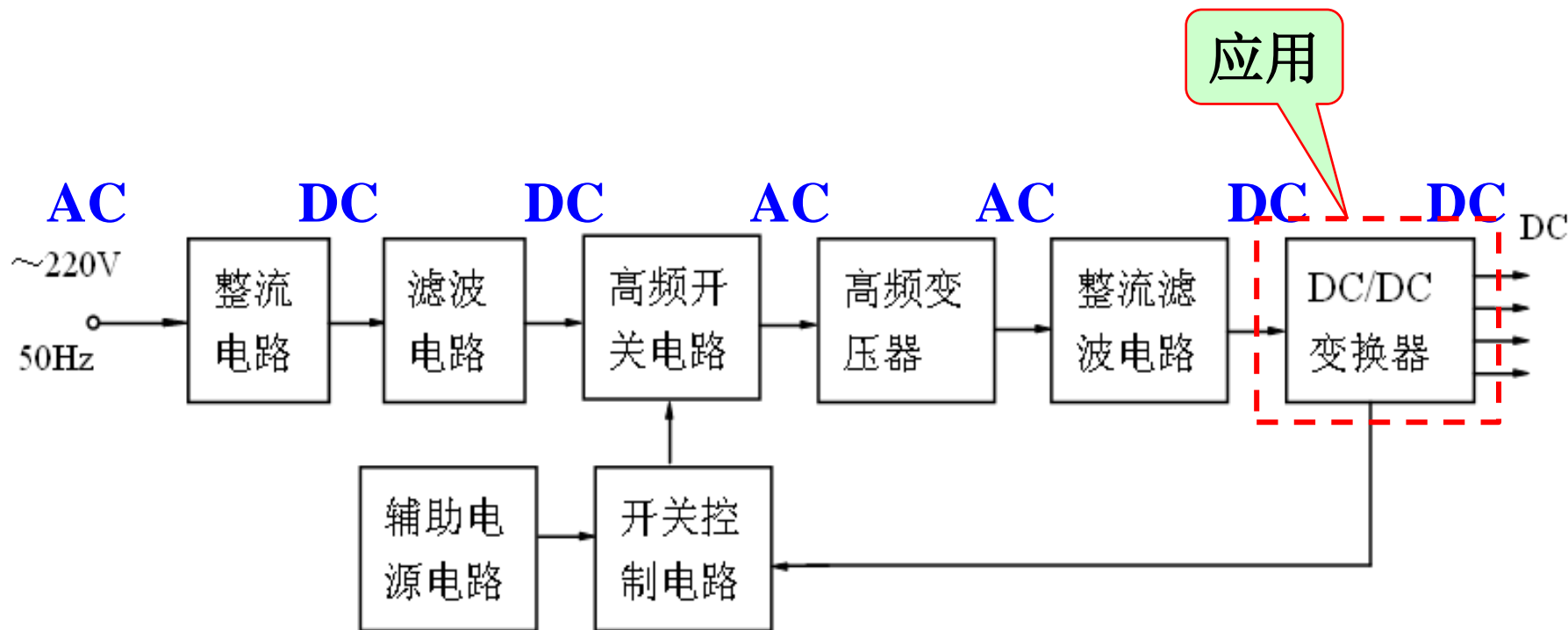
当 v_G 为低电平 (t_{off} 期间) 时, T 截止, i_L 不能突变。 L 产生反电势 v_L 为左负 (—) 右正 (+)

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

$$V_O \approx \frac{T}{t_{off}} V_I \approx \frac{V_I}{1-q}$$

11.3 开关稳压电路

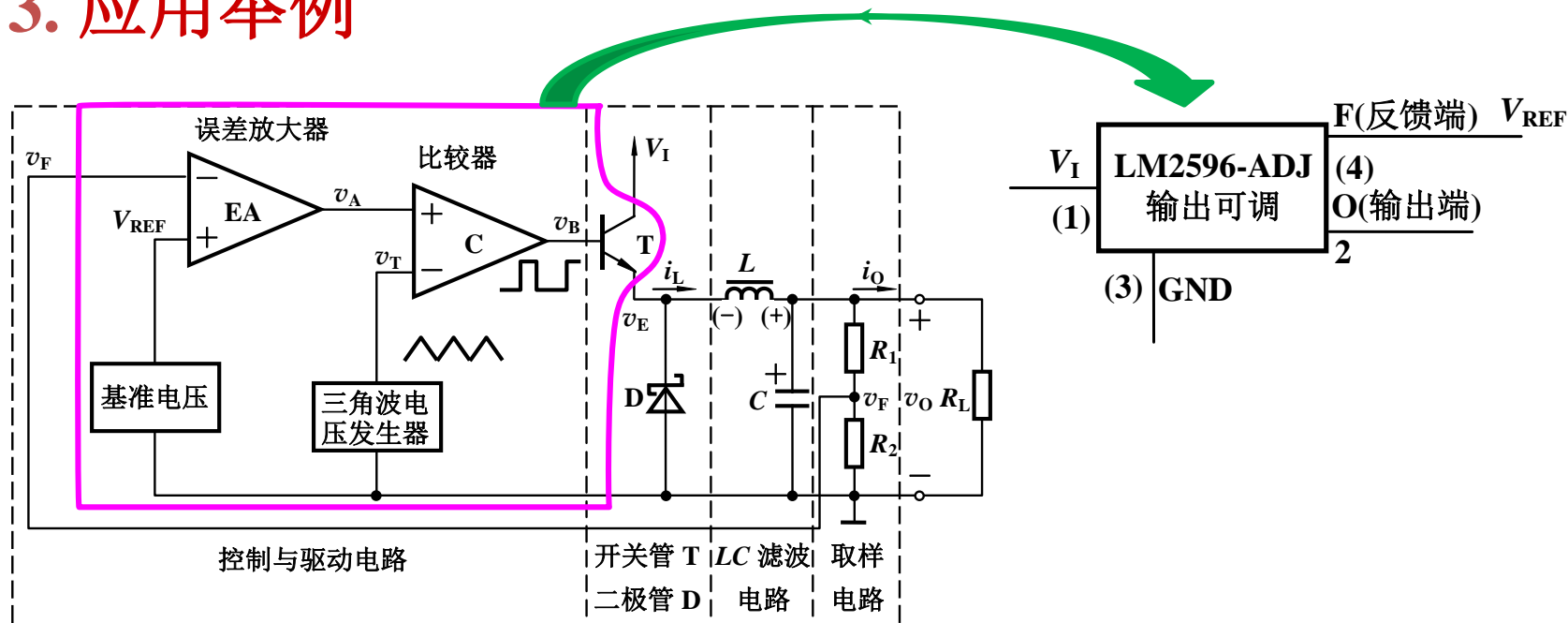
3. 应用举例



电网供电的开关稳压电源框图

11.3 开关稳压电路

3. 应用举例



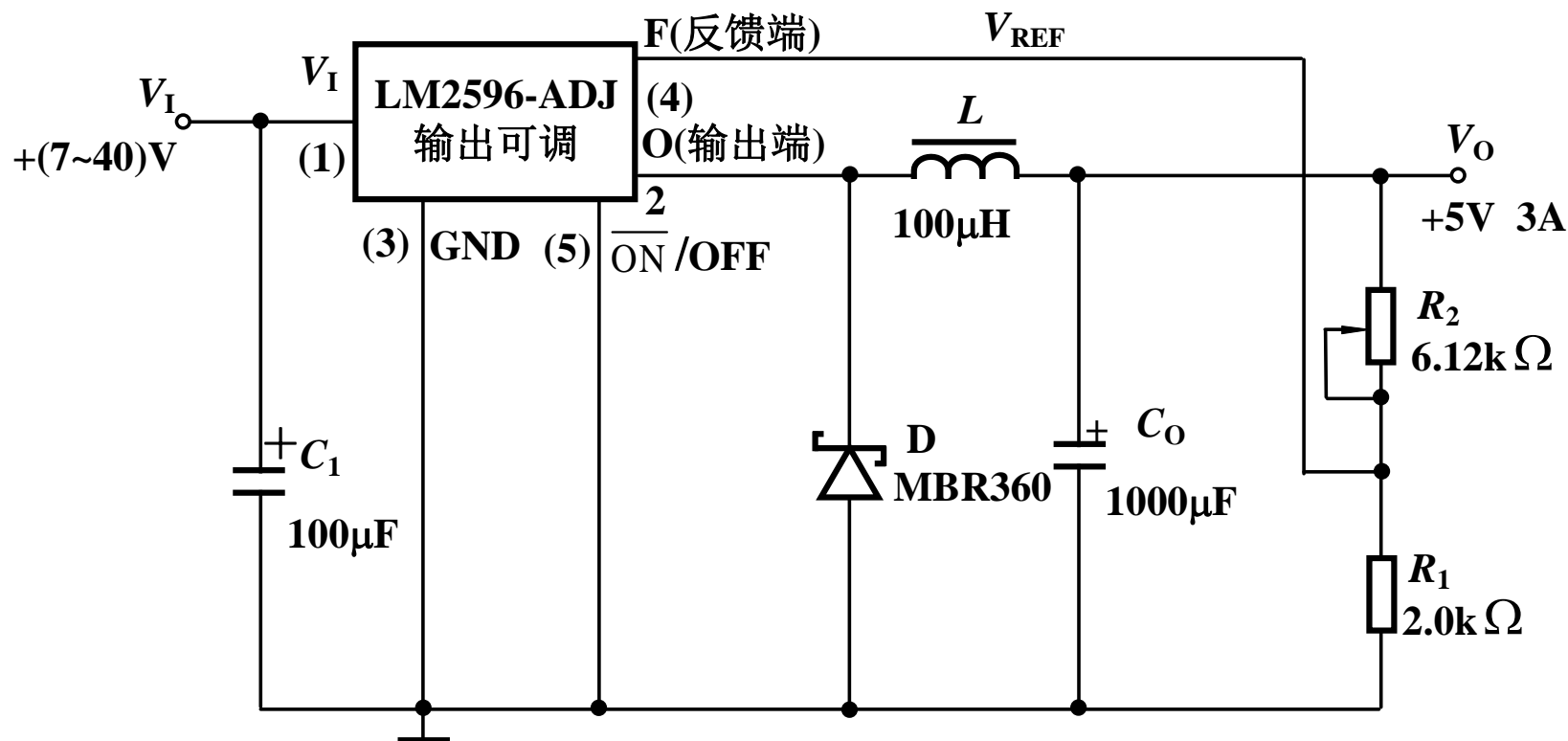
控制与驱动电路可以采用电压-脉冲宽度调制器 (PWM) 集成电路来实现

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 开关稳压电路

3. 应用举例

LM2576系列降压式（Buck）DC/DC电源变换器的应用



思考：

- ☐ 整流的含义是什么？
- ☐ 直流稳压电源中的“滤波”与第9章中滤波电路中的“滤波”在概念上有差别吗？
- ☐ 直流稳压电源中的滤波属于哪种类型的滤波电路？
- ☐ 串联反馈式稳压电路利用了反馈电路中的什么原理？从反馈放大电路的角度看，什么是电路的输入？电路的工作电源在哪？实际上，稳压电源电路的输入是什么？
- ☐ 在使用固定式集成三端稳压器时，必须特别关注哪些参数指标？
- ☐ 与线性稳压电源相比，开关式稳压电源突出的优点是什么？
- ☐ 根据调整管与负载的连接方式，开关式稳压电源分为哪两种类型？
- ☐ 开关式稳压电路中是否引入了负反馈？基于PWM的稳压电路是如何实现稳压的？