

开关电源

杨 平



西南交通大学电气工程学院

pyang@home.swjtu.edu.cn

主要内容

一、线性电源

二、开关电源

三、控制技术

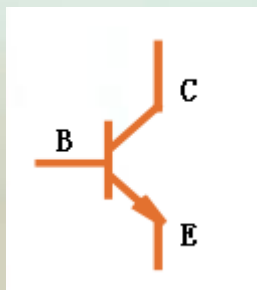
四、Buck变换器



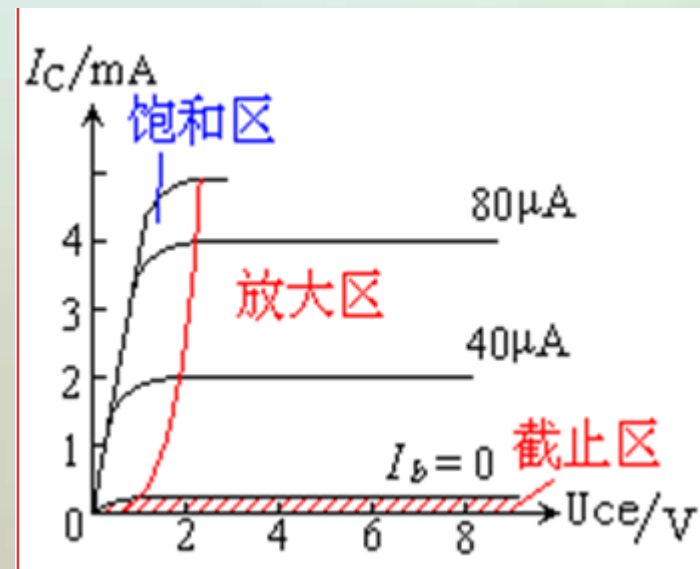
一、线性电源



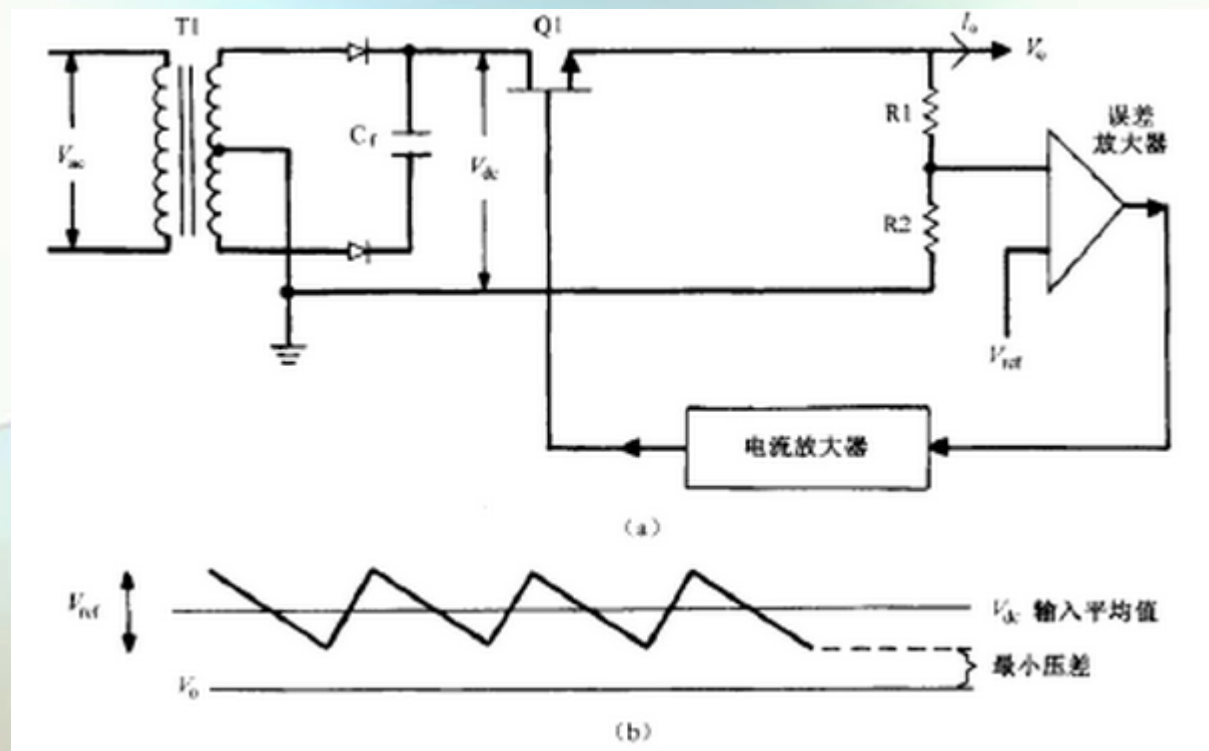
线性电源主要包括工频变压器、输出整流滤波器、控制电路、保护电路等。



晶体管工作于线性放大状态



一、线性电源



优点:

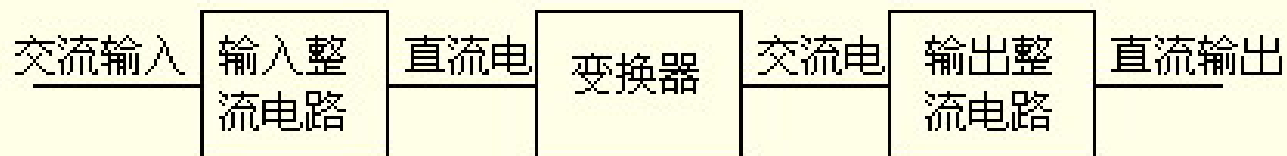
制作成本较低，可以达到很高的稳定度；
波纹较小，自身的干扰和噪声都比较小。

缺点:

功耗大、效率低；
体积大，重量重等。



二、开关电源



开关电源主要包括输入电网滤波器、输入整流滤波器、逆变器、输出整流滤波器、控制电路、保护电路。

输入整流回路——将交流输入电压整流成为较平滑的直流高压；

功率变换器——将直流高压变换为频率大于**20KHZ**的高频脉冲电压；

整流及滤波电路——将高频脉冲电压转换稳定的直流输出电压；

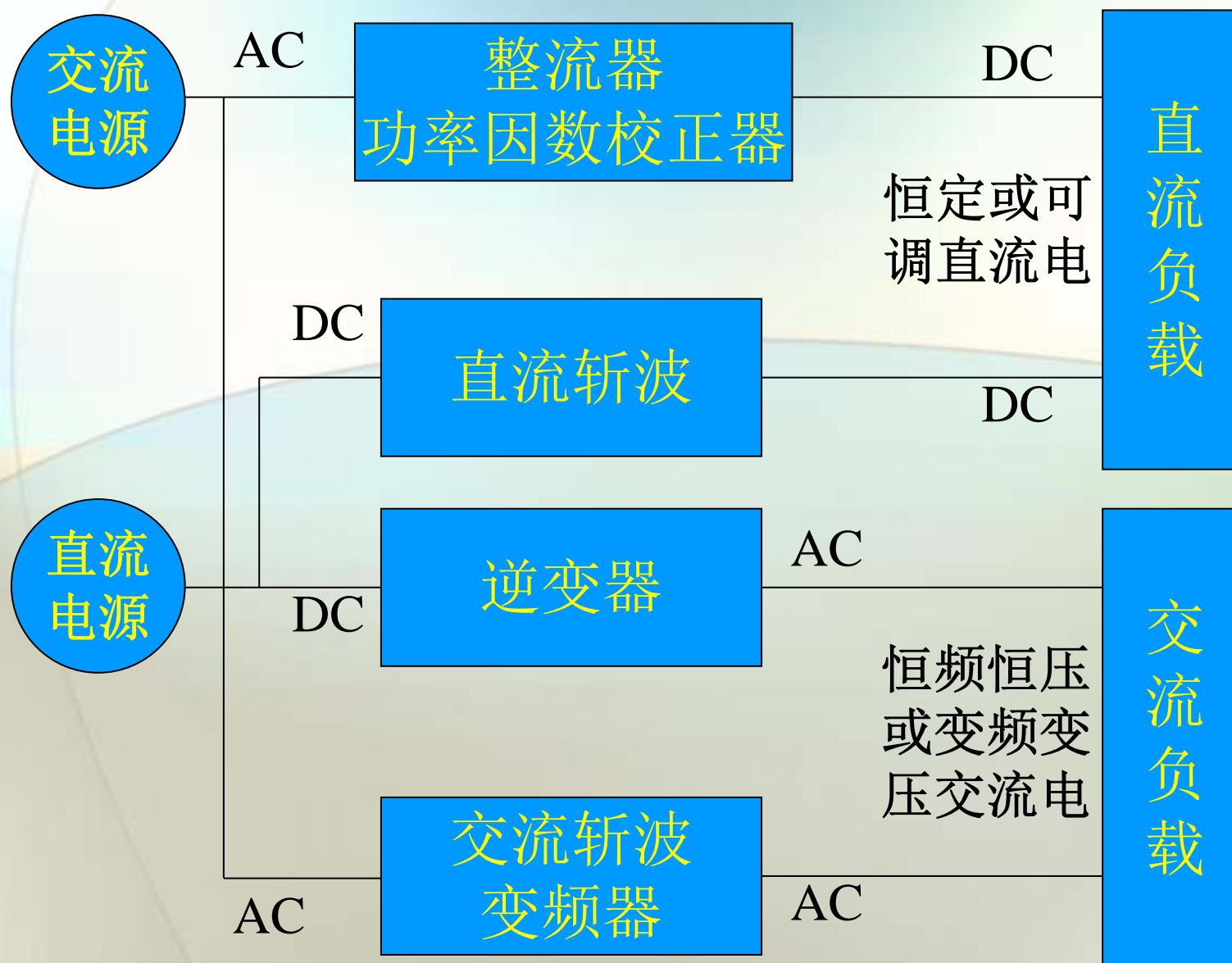
PWM控制器——将输出直流电压进行取样控制功率器件的驱动脉冲宽度，从而调整开通时间以使输出电压可调且稳定。

优点：
体积小、重量轻、效率高等。

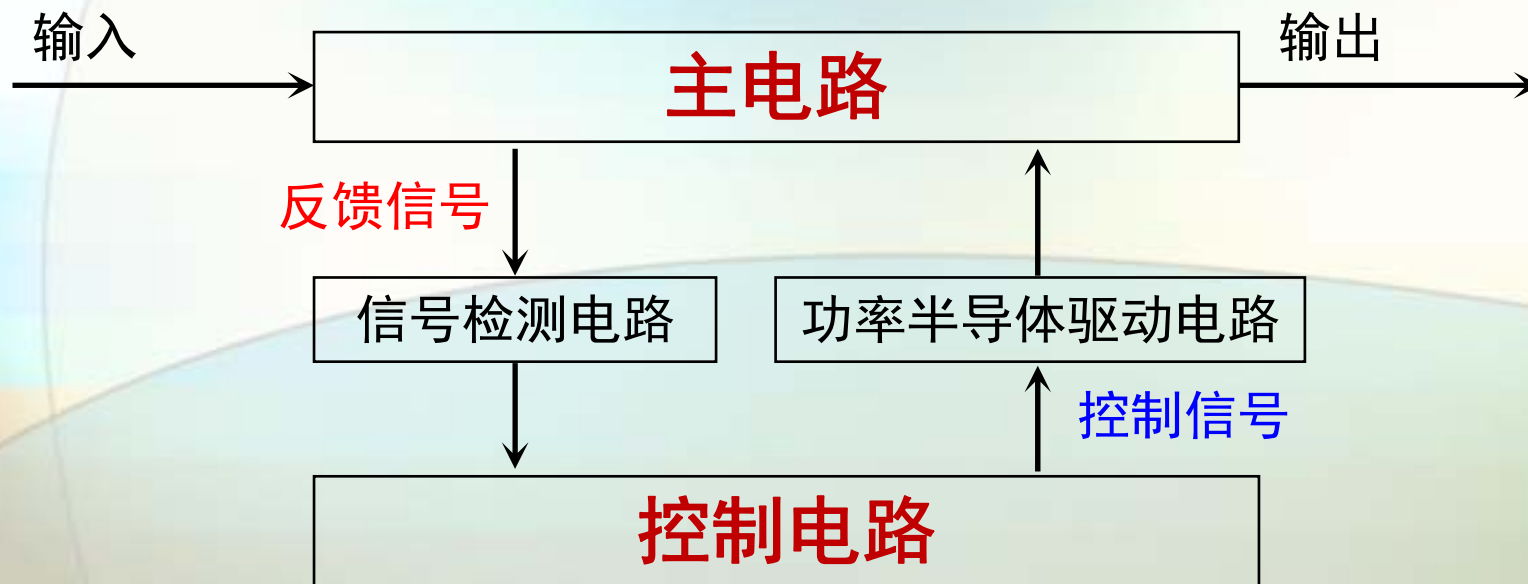
缺点：
高频有干扰。



电力变换类型



二、开关电源



开关变换器基本结构



■**主电路**：由**功率半导体器件**、二极管、电容、磁性元件组成的**强电电路**，不同的电能变换有不同的电路形式（电路拓扑），主要是通过对功率半导体器件的**开关控制**完成电能形式的变换。

■**控制电路**：主要由集成电路及其外围元件组成的**弱电电路**，将来自**检测电路**的**反馈信号**按照**电能形式变换**的要求，运用**相应的控制规则和算法**进行处理，产生功率半导体器件的开关控制信号，以完成电能的正确变换。

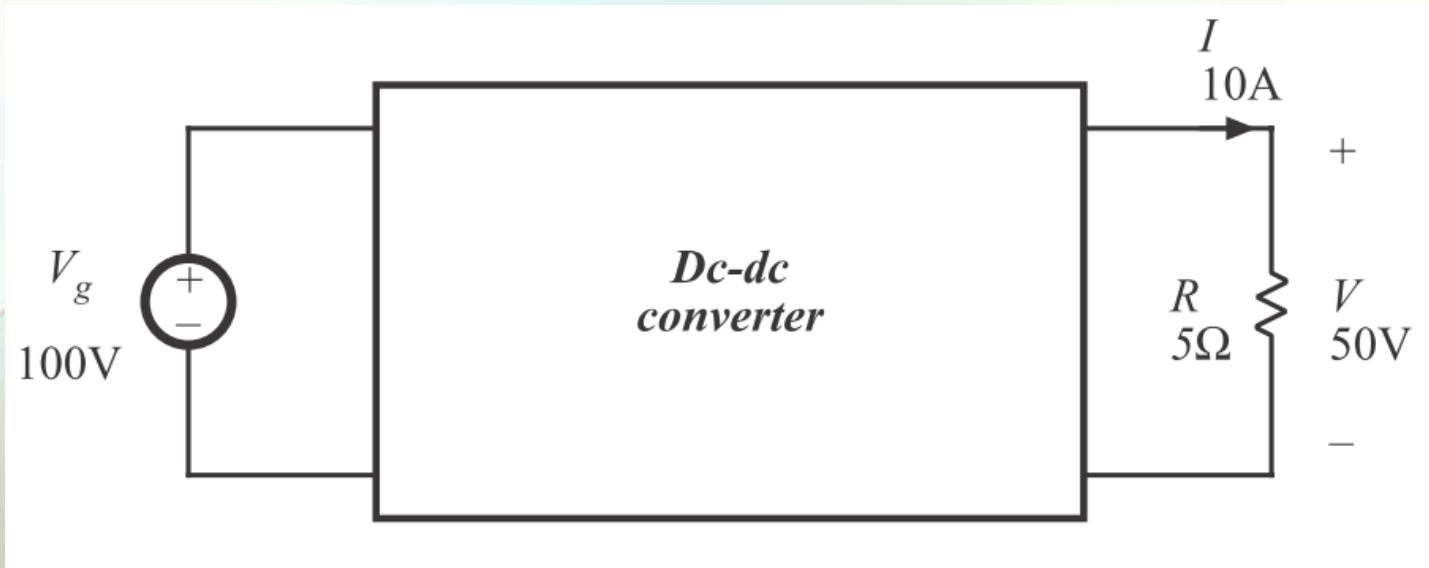
■**信号检测电路**：按照控制目标的要求，将电力变换主电路的输入/输出电压、电流信号或者电路内部的状态信号转换成控制电路可以接收和处理的信号。

■**功率半导体驱动电路**：将控制信号转换成符合功率半导体器件导通和关断控制的有效信号。



二、开关电源

一个简单的DC-DC变换器例子



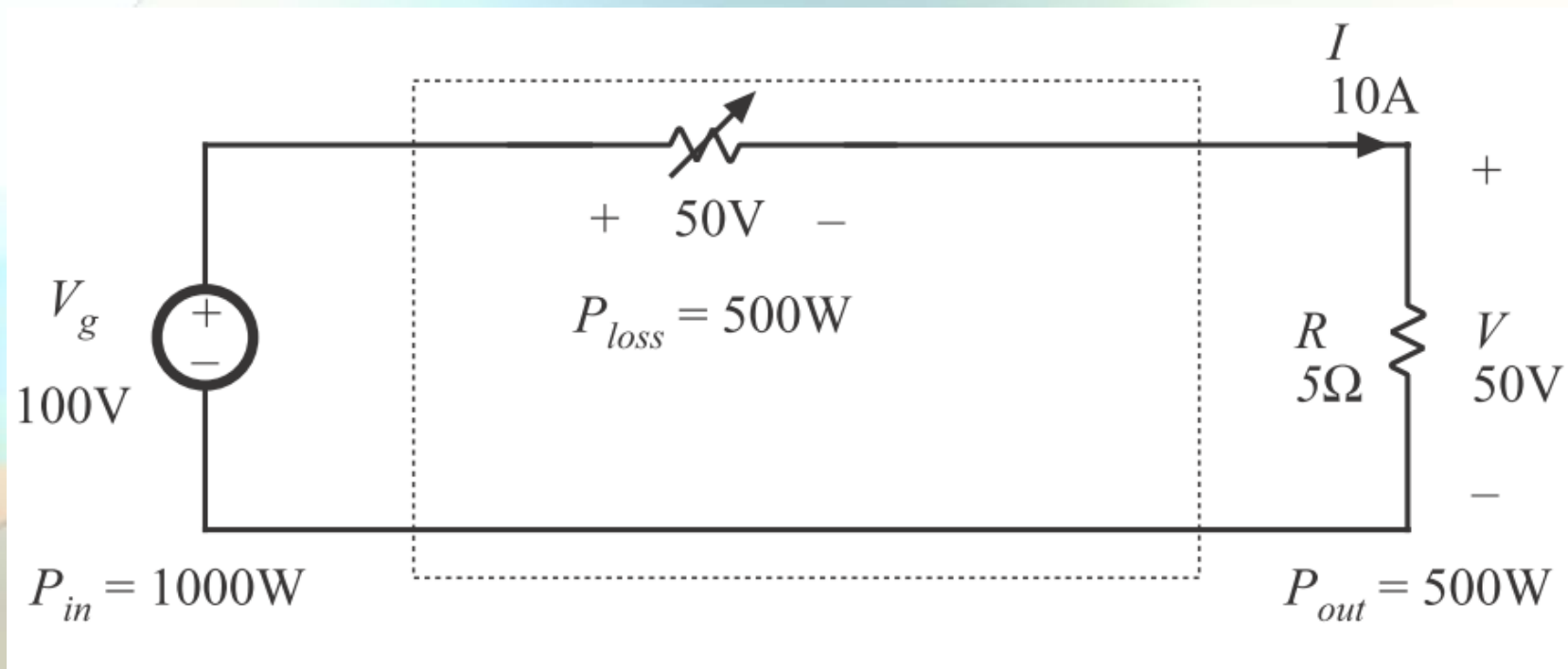
输入源: **100V**

输出负载: **50V, 10A, 500W**

怎样实现?



二、开关电源



用阻性分压网络实现，效率 $\eta=50\%$ ？

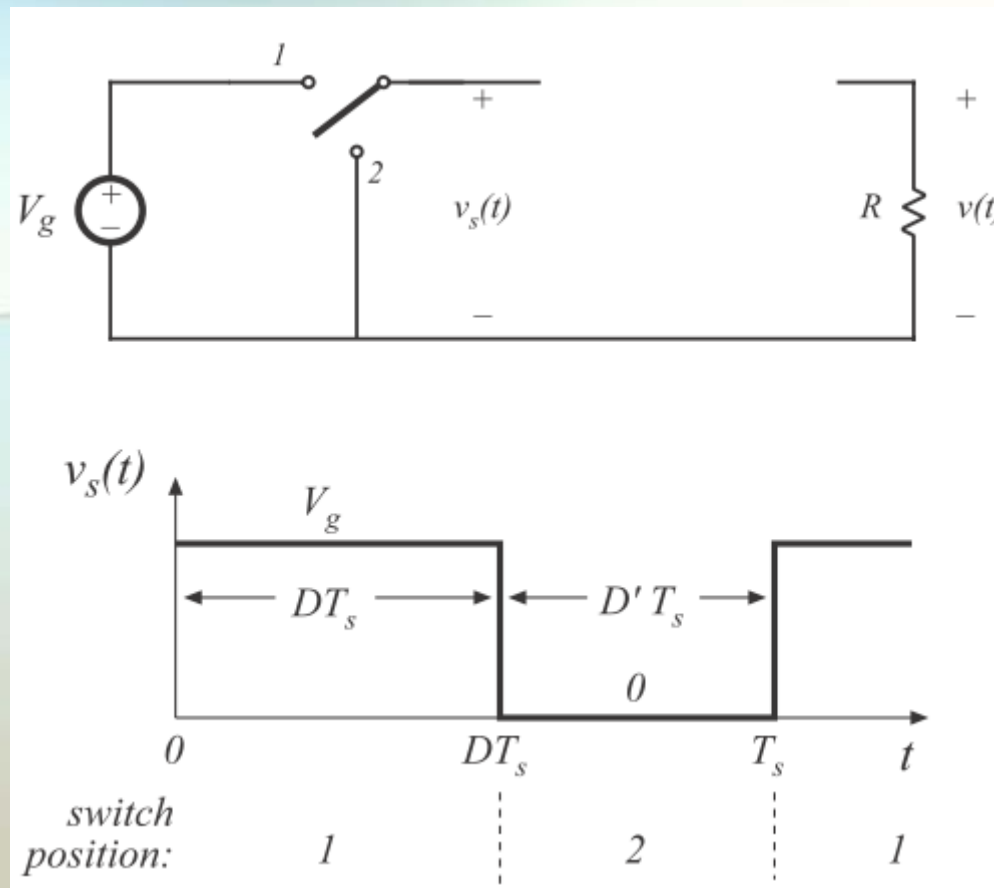


二、开关电源

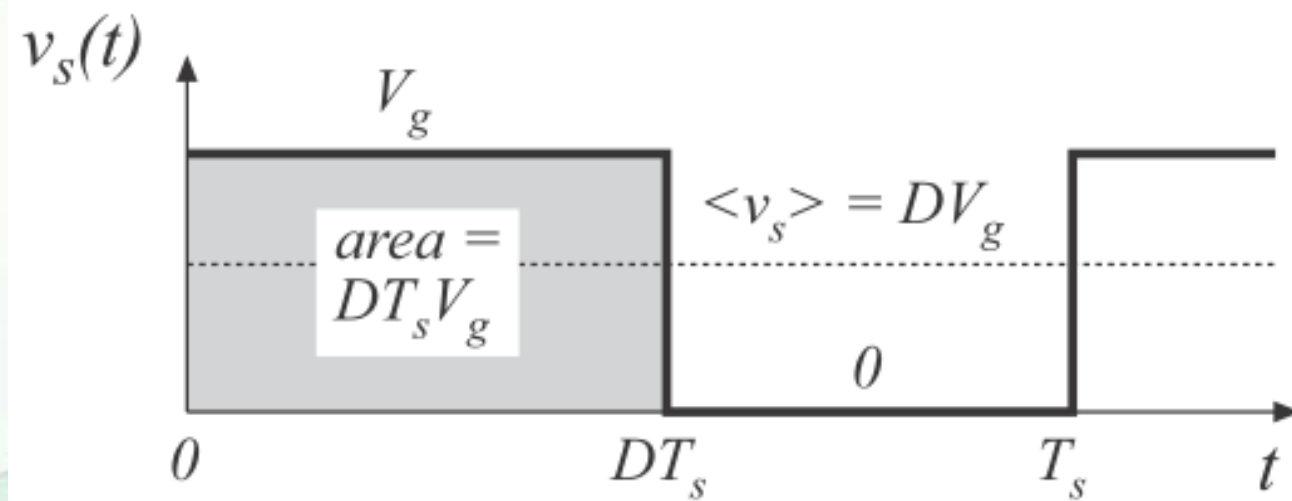
单刀双掷开关改变输出电压的直流成分

开关输出电压波形
占空比 D : $0 \leq D \leq 1$

$$D' = 1 - D$$



二、开关电源



傅里叶分析：直流成分 = 平均值

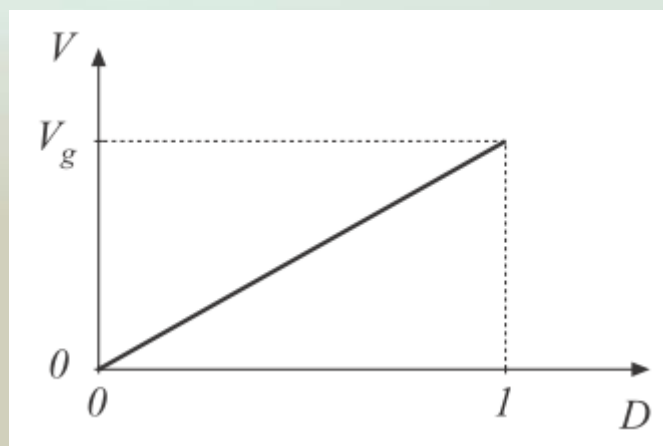
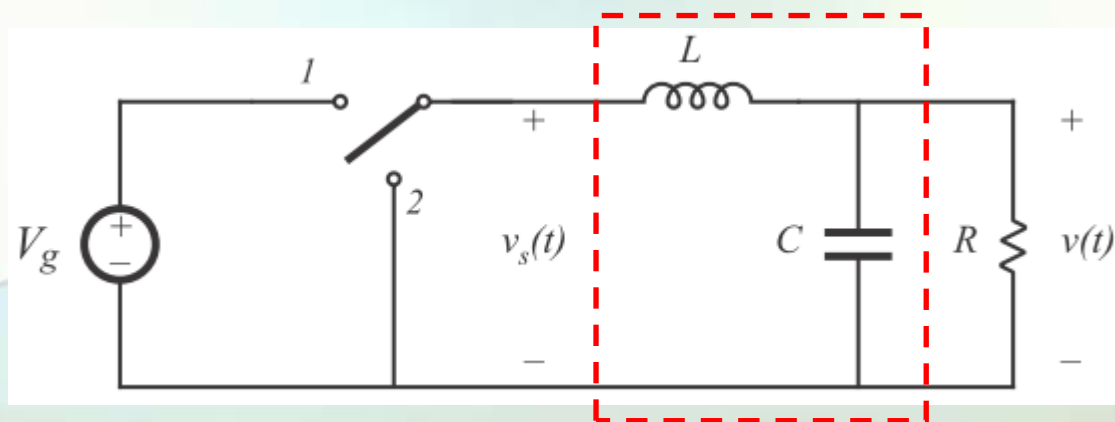
$$\langle v_s \rangle = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_s(t) dt$$

$$\langle v_s \rangle = \frac{1}{T_s} (DT_s V_g) = DV_g$$



二、开关电源

加入**LC**低通滤波，消除开关谐波，获得直流分量

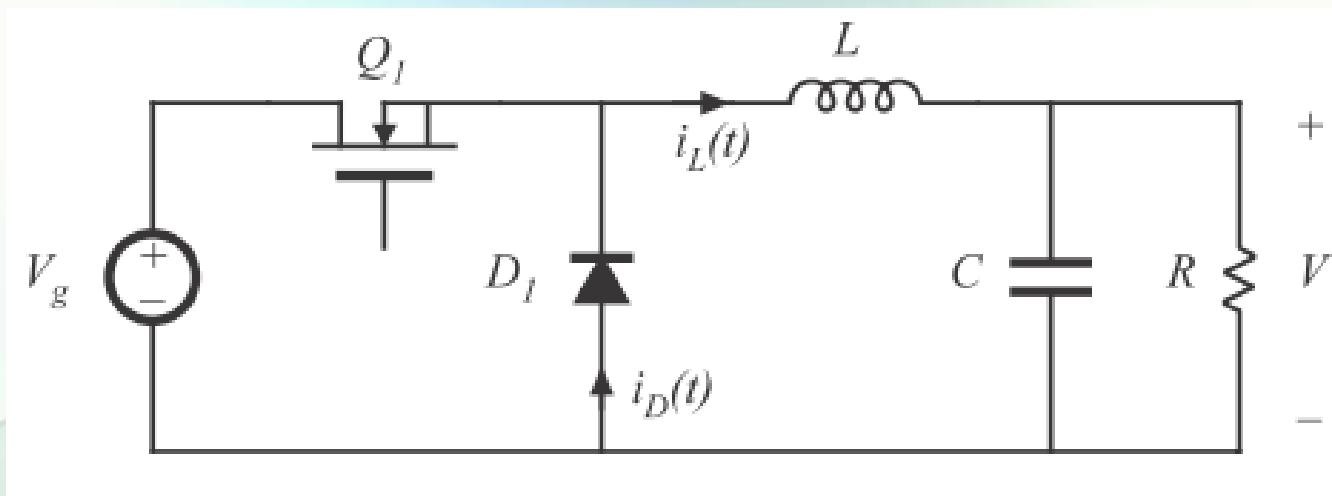


$$v \approx \langle v_s \rangle = DV_g$$

$$0 \leq D \leq 1$$



二、开关电源



用**Mosfet**和**二极管**替代单刀双掷开关，
得到基本的**Buck**变换器

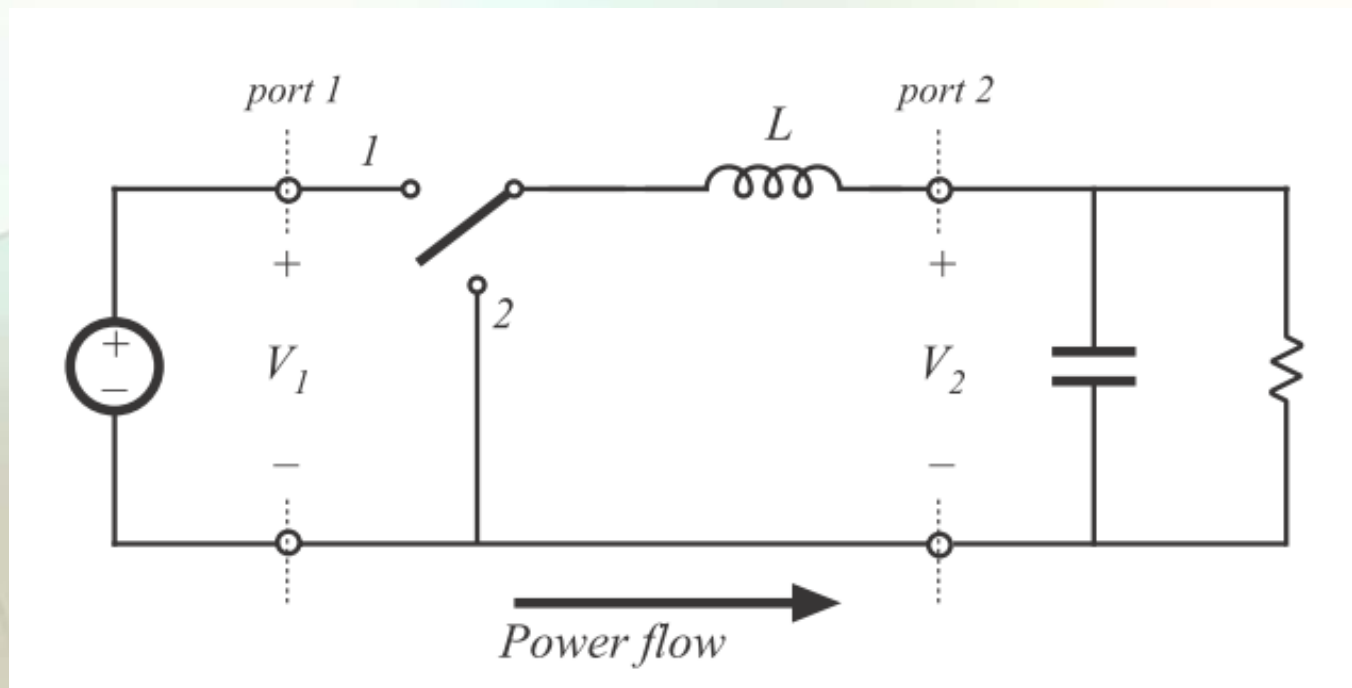
$$V = DV_g$$



二、开关电源

Boost变换器的由来

$$V_2 = DV_1$$



交换Buck变换器的输入和输出端

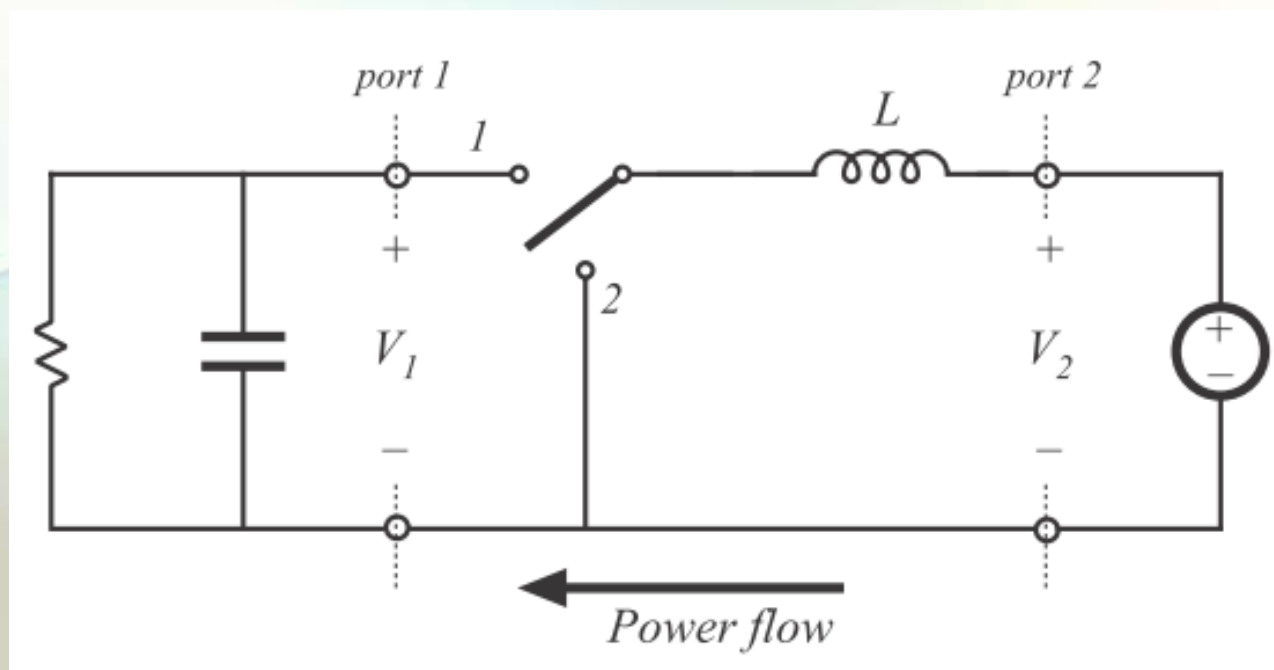


二、开关电源

Boost变换器的由来

$$V_2 = DV_1$$

$$V_1 = V_2 / D$$



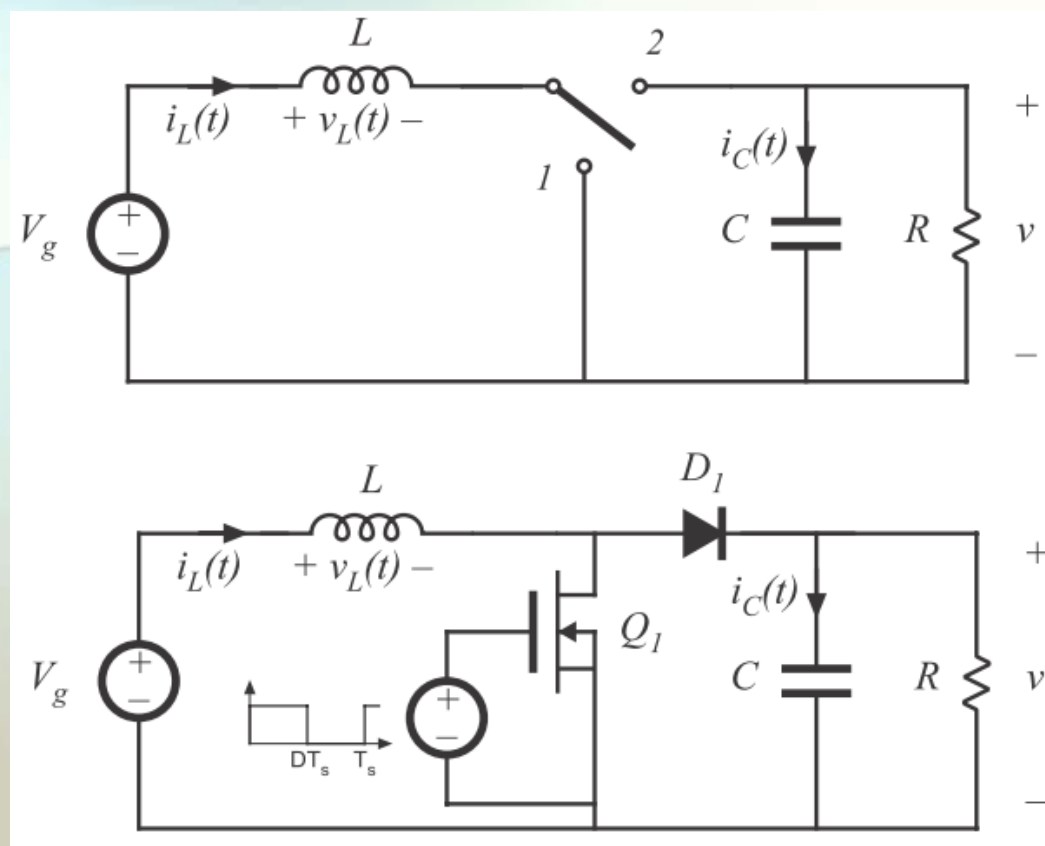
电源和负载交换位置



二、开关电源

Boost变换器的由来

$$V = V_g / D'$$

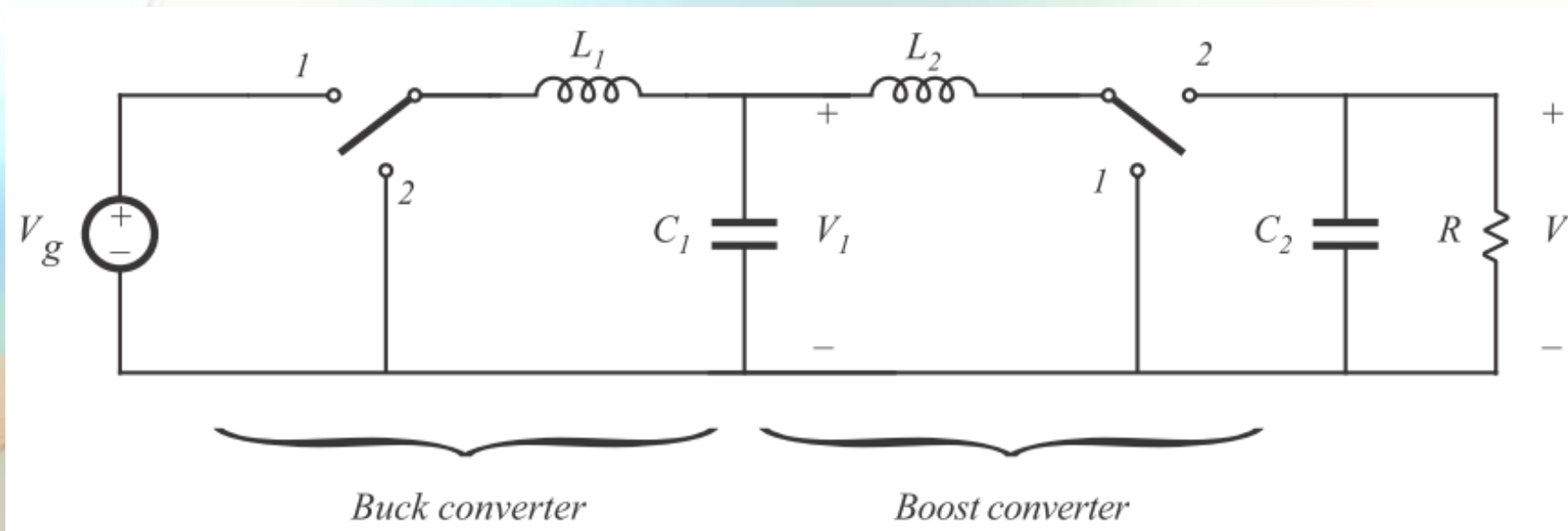


Buck变换器反向后产生**Boost**变换器



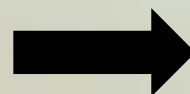
二、开关电源

Buck变换器与Boost变换器级联



$$\frac{V_1}{V_g} = D$$

$$\frac{V}{V_1} = \frac{1}{1-D}$$



$$\frac{V}{V_g} = \frac{D}{1-D}$$



二、开关电源

六种基本DC-DC变换器拓扑的比较

开关变换器	CCM电压增益	输入电流	输出电流
Buck	D	断续, 纹波大	连续, 纹波小
Boost	$1/(1-D)$	连续, 纹波小	断续, 纹波大
Buck-Boost	$-D/(1-D)$	断续, 纹波大	断续, 纹波大
Cuk	$-D/(1-D)$	连续, 纹波小	连续, 纹波小
SEPIC	$D/(1-D)$	连续, 纹波小	断续, 纹波大
Zeta	$D/(1-D)$	断续, 纹波大	连续, 纹波小



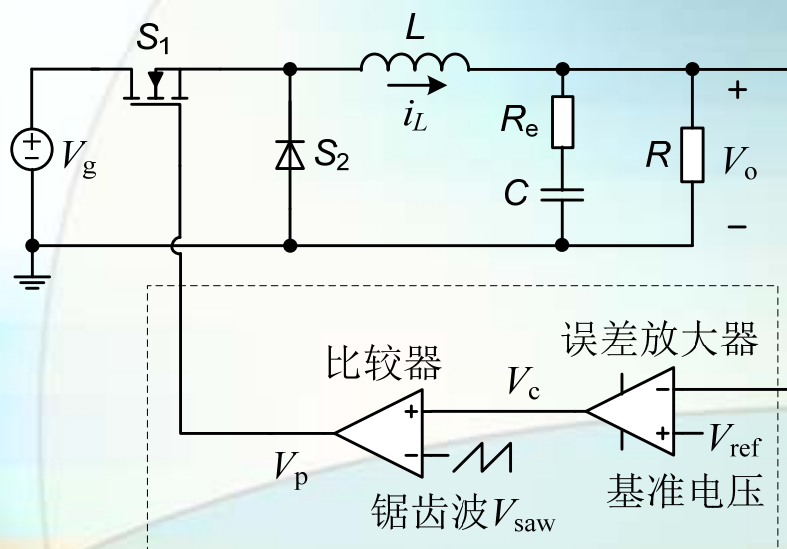
三、控制技术

电压型控制

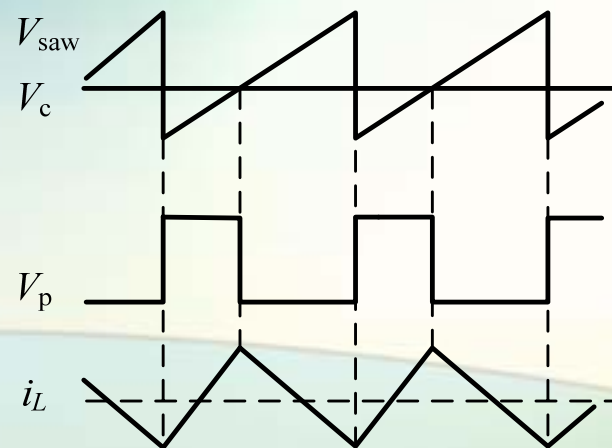
电流控制：峰值电流、平均电流



电压型控制常用控制芯片：TL494、SG3525等



电压型控制电路



电压型控制主要波形图

优点:

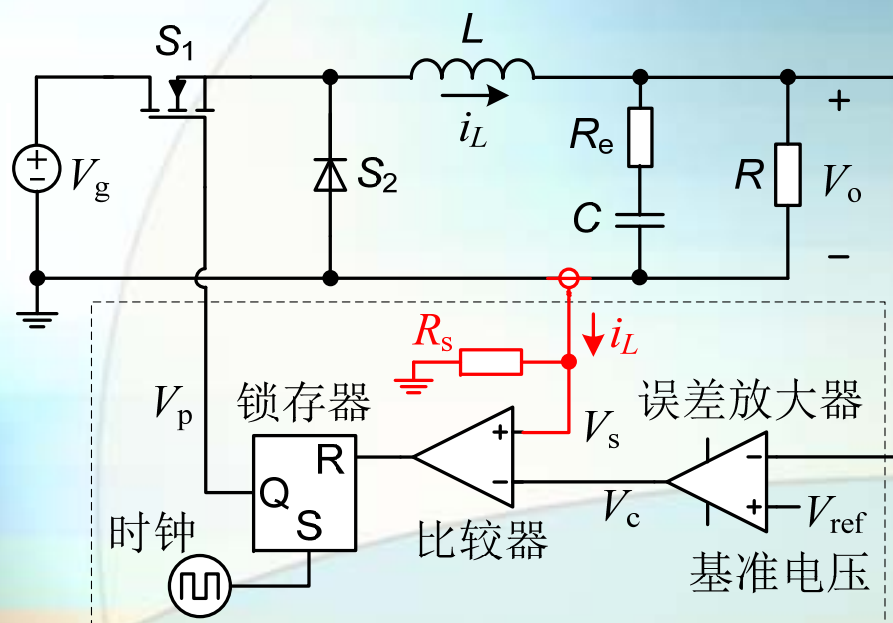
单环控制，设计和分析相对比较简单；锯齿波幅值比较大，抗干扰能力比较强

缺点:

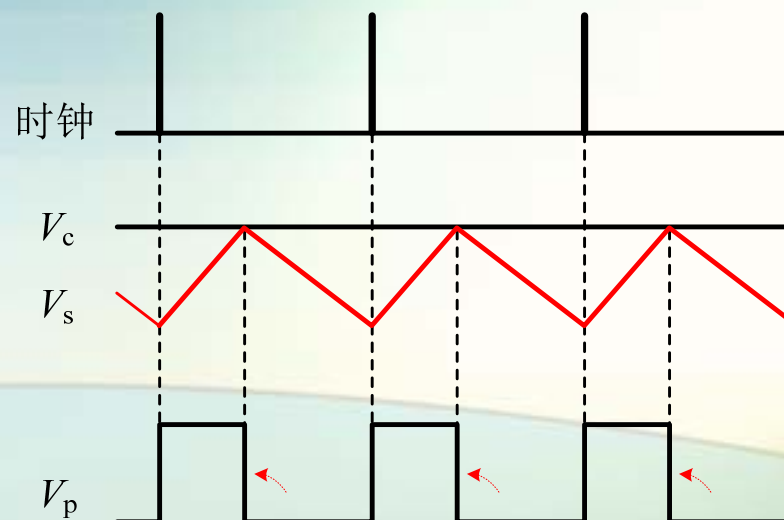
输入电压或输出电流的变化只能在输出电压改变时才能检测到并反馈回来进行纠正，因此响应速度比较慢；由于电压型控制对负载电流没有限制，因而需要额外的限流电路



峰值电流控制常用控制芯片：UC3842、UC3846等



峰值电流型控制电路



峰值电流型控制主要波形图

工作原理：

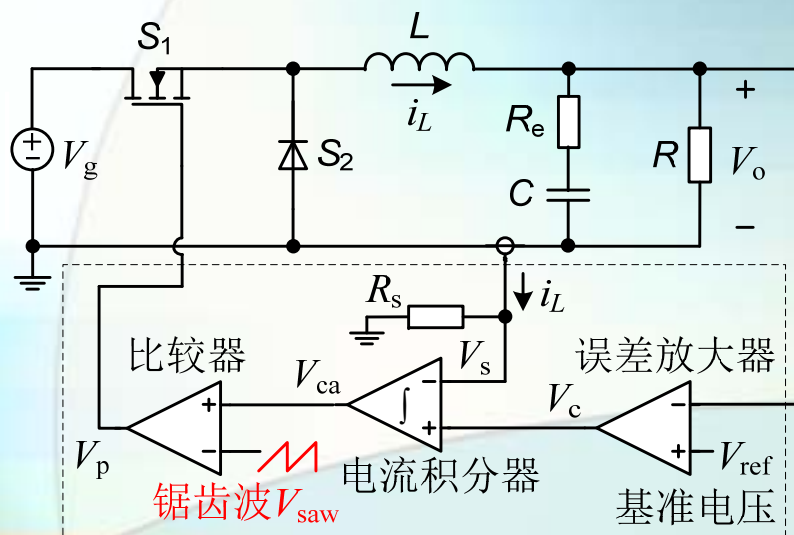
在每个周期开始时时钟信号使锁存器置位，开关管导通，电感电流由初始值线性增大，检测电阻 R_s 上的电压 V_s 也线性增大，当 V_s 增大到控制电压 V_c 时，比较器翻转，锁存器输出低电平，开关管关断，直到下一个时钟脉冲到来开始一个新的周期。

优点：

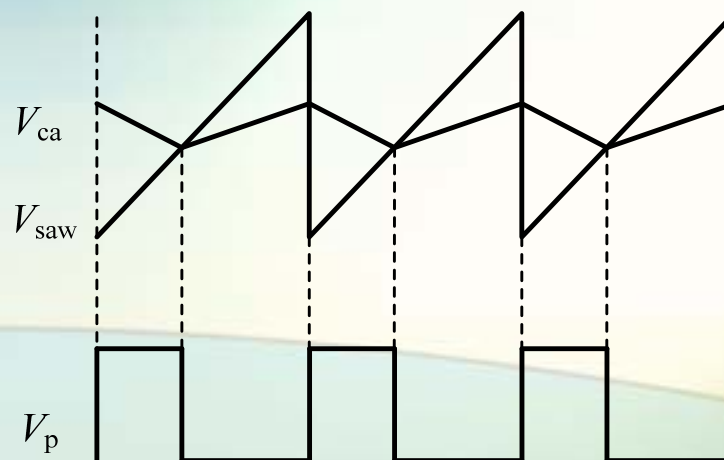
相对于电压型控制方法有**更快的输入**瞬态响应速度，提高了输出电压的稳压精度；自身具有限流的功能，易于实现变换器的过流保护，因而在多个电源并联时，更便于实现均流，得到了广泛应用。



平均电流控制常用控制芯片：UC3886、UC3854等



平均电流型控制电路



平均电流型控制主要波形图

工作原理:

检测电阻 R_s 上的电压 V_s 与误差电压 V_c 相减后，经电流积分器积分得到输出信号 V_{ca} ， V_{ca} 与锯齿波 V_{saw} 比较生成脉冲宽度信号 V_p ，控制开关管 S_1 导通或关断。

优点：提高了电流的**控制精度**，抗干扰性强

缺点：存在积分器和误差补偿器，**设计复杂**，且**响应速度比较慢**

