

6 直流变换器

6.1 斩波原理和控制方式

6.2 直流变换器的基本电路

6.3 负载为直流电动机的斩波器结构

6.4 输入与输出隔离的直流变换器

6.5 直流PWM的控制

6 直流变换器

❖ 引入

DC-DC的方式；斩波的基本原理

❖ 非隔离的DC-DC电路

Buck, Boost, Buck-boost (重点)

其他(Cuk, Sepic)

❖ 带隔离的DC-DC电路

单端正激式，单端反激式，推挽式

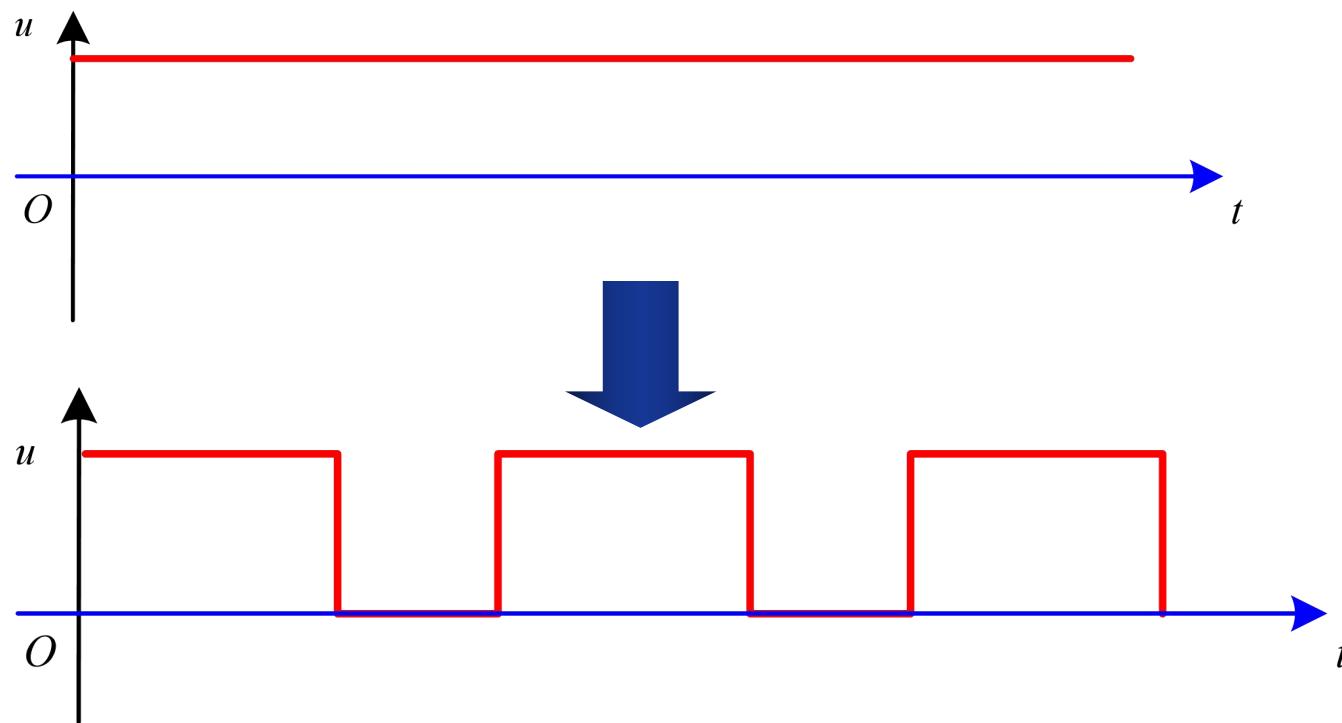
❖ 复合斩波电路多象限运行

两象限运行，四象限运行(重点)

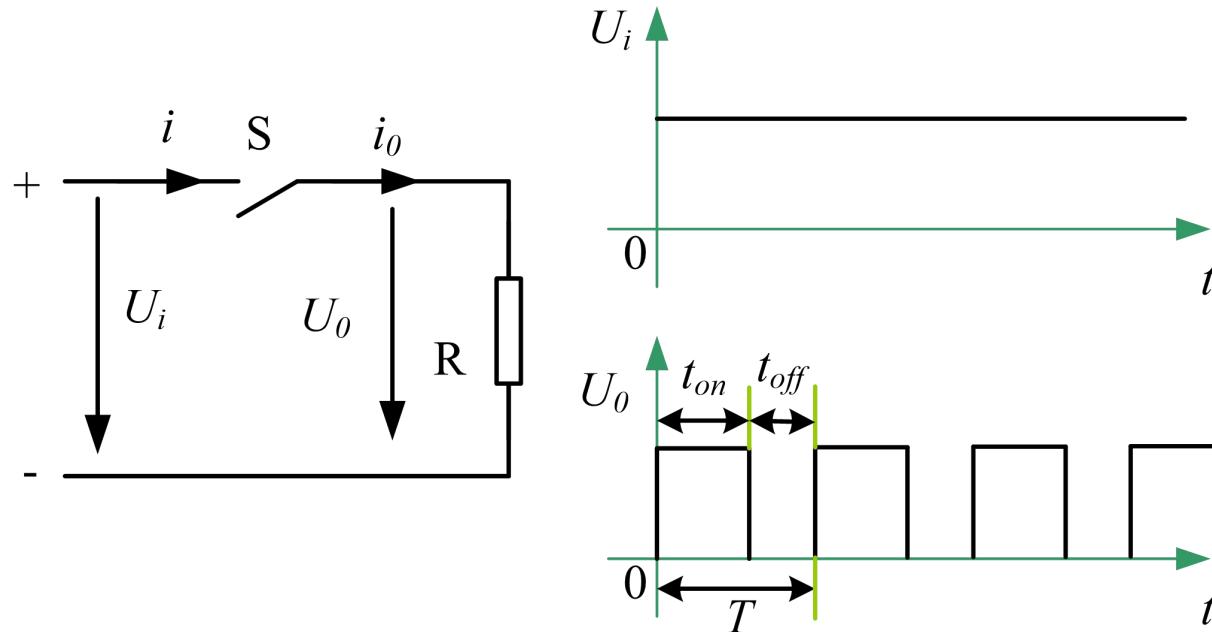
❖ 直流PWM控制

直流变换器

- 将一种直流电压幅值转换成另一种固定或可调的直流电压幅值称为**直流变换**（DC/DC变换）
- 应用例：蓄电池供电的机动车辆的无级变速

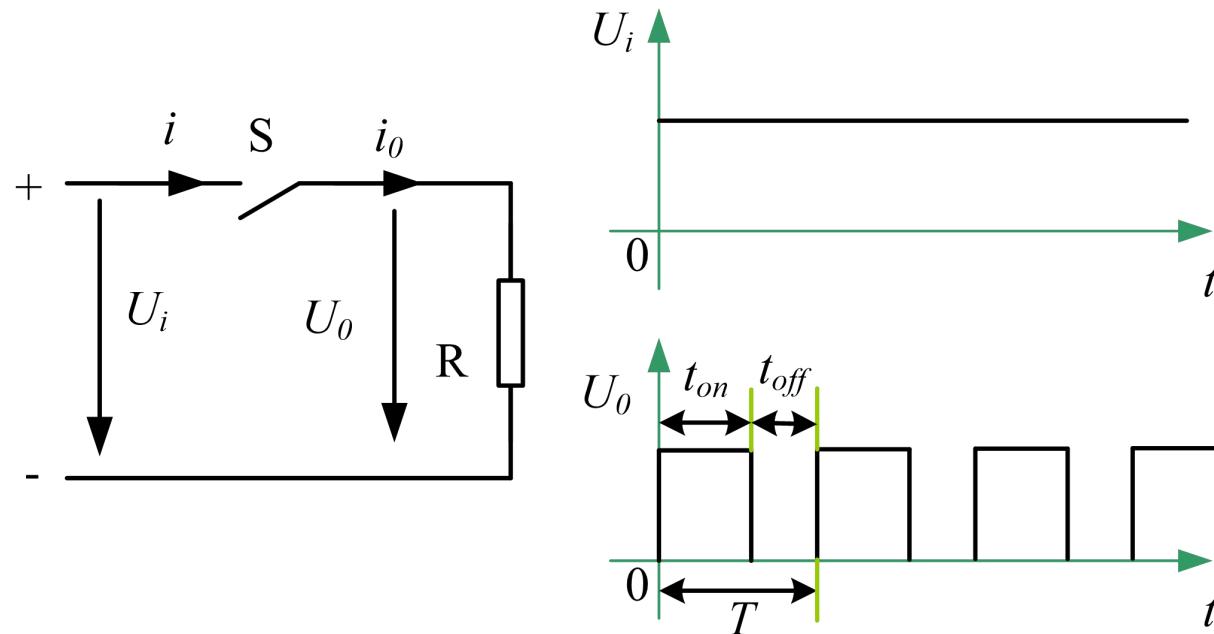


6.1 斩波原理和控制方式



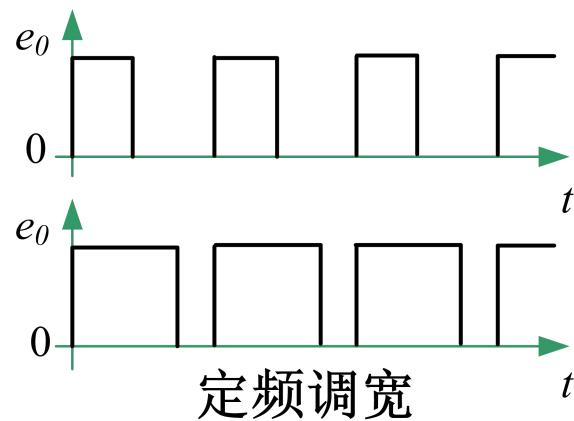
- S是开关，由电力电子器件构成
- S合上 (t_{on}) , $U_0 = U_i$
- S切断 (t_{off}) , $U_0 = 0$
- $T = t_{on} + t_{off}$, 工作周期
- 占空比 $\rho = t_{on}/T$

斩波原理

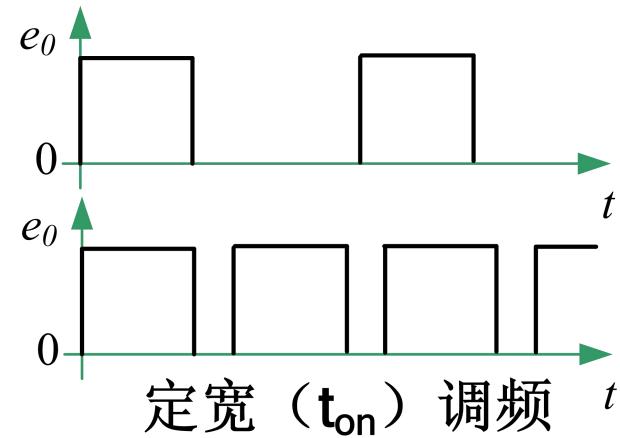


- 输出电压平均值
- 输出电压有效值
- 输入功率
- 直流侧等效电阻
- 均随占空比 ρ 变化而变化

控制方式

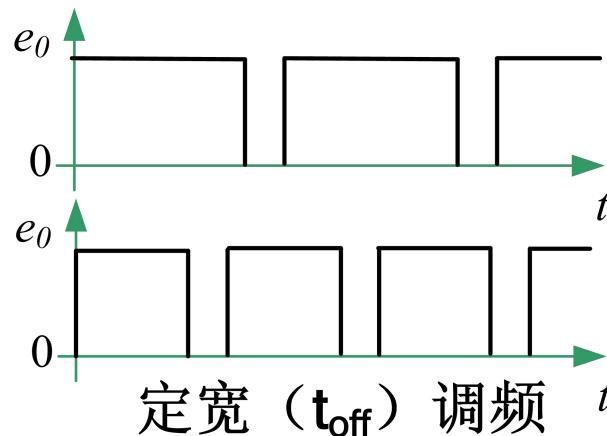


定频调宽

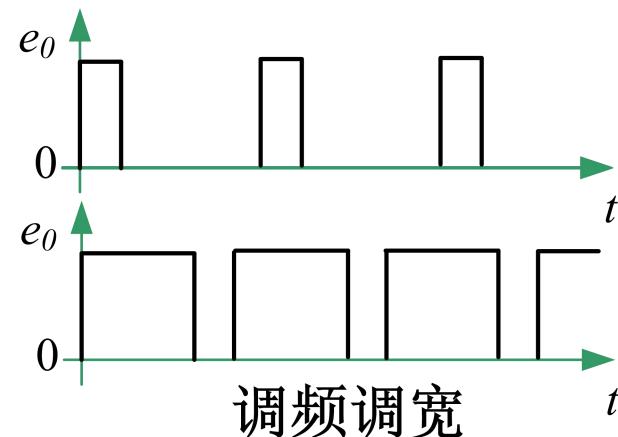


定宽 (t_{on}) 调频

多数情况



定宽 (t_{off}) 调频

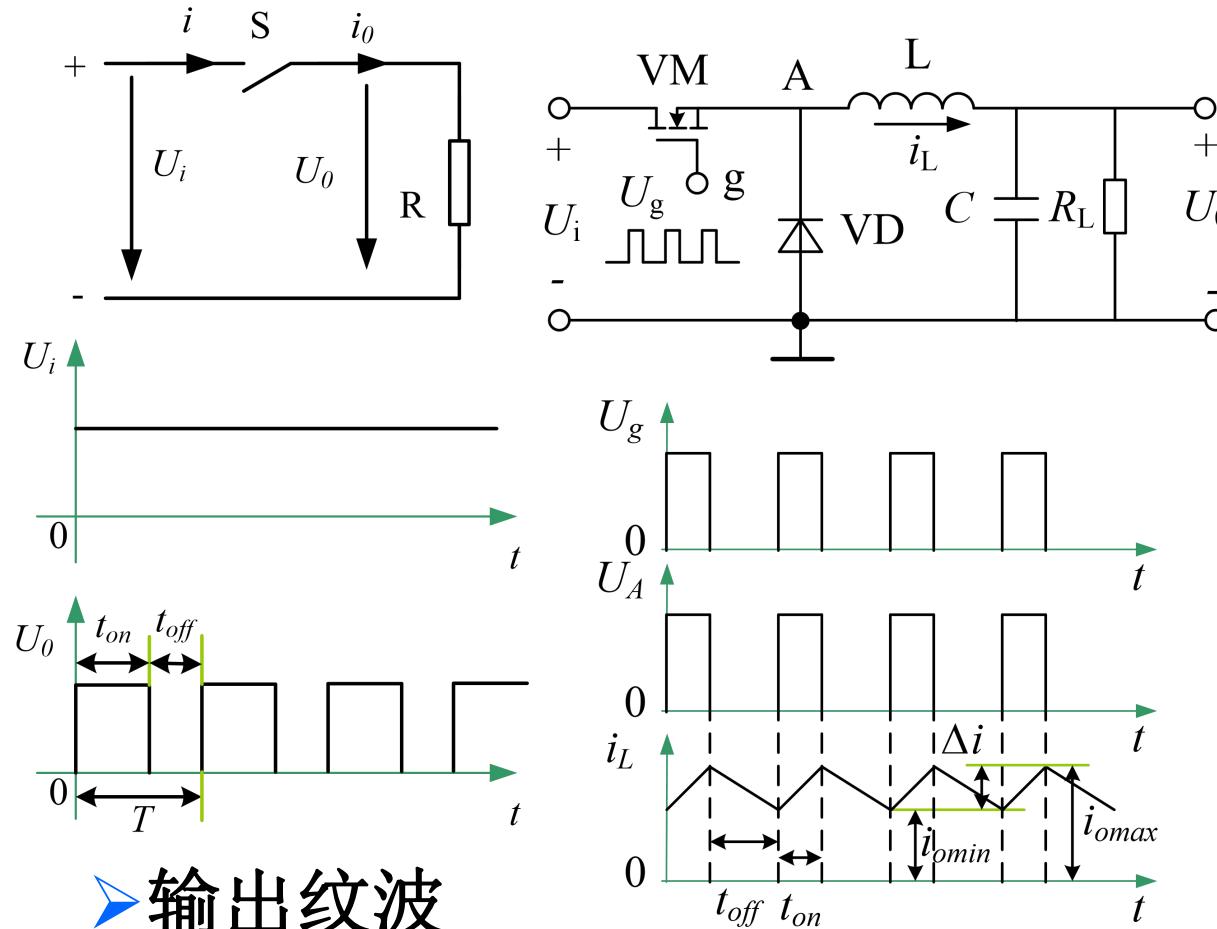


调频调宽

6.2 直流变换器的基本电路

- 降压式
- 升压式
- 升/降压式
- 其他形式

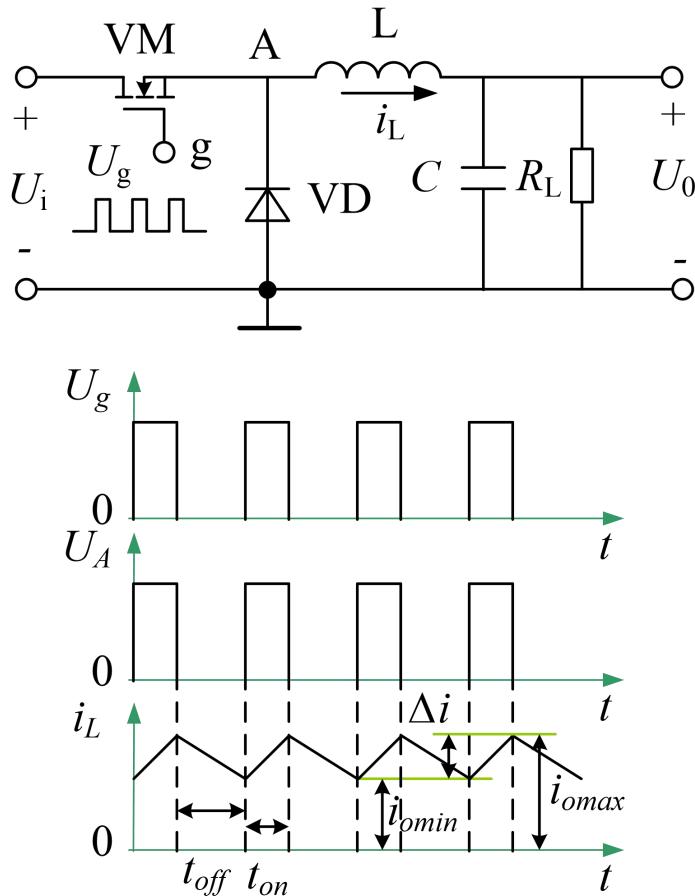
6.2.1 降压式(buck)变换器



➤ 输出纹波较大

- 在输出端接入L、C滤波
- 用P-MOSFET作开关
- 用VD为续流管
- 输出电压平均值 $U_0 = \rho U_i, \rho < 1$, 降压
- 电流是否连续, 取决于开关频率、L、C的值

6.2.1 降压式(buck)变换器

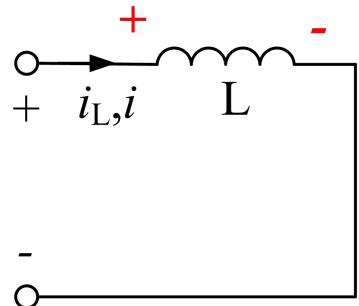
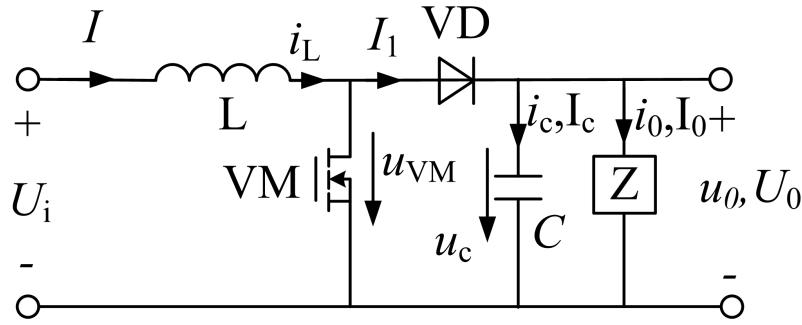


考虑频率较高、L、C容量足够大，电路进入稳态后，可认为输出电压为常数

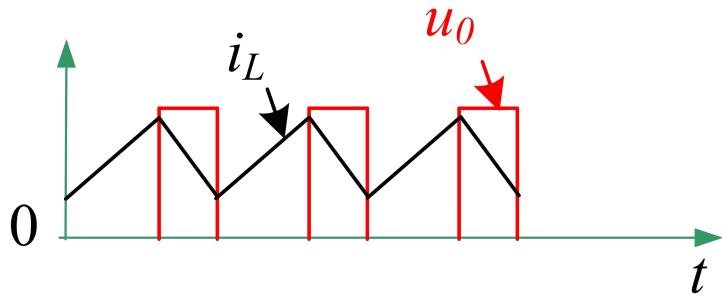
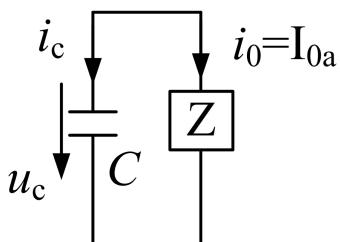
- VM导通时，电感中电流线性上升
- VM截止时，电感上感应电动势使二极管导通

- 电感越大，电流越连续、平直。
- 通过提高斩波器的开关频率，可使电感大大减小仍能维持电流连续且平直。

6.2.2 升压式(boost)变换器

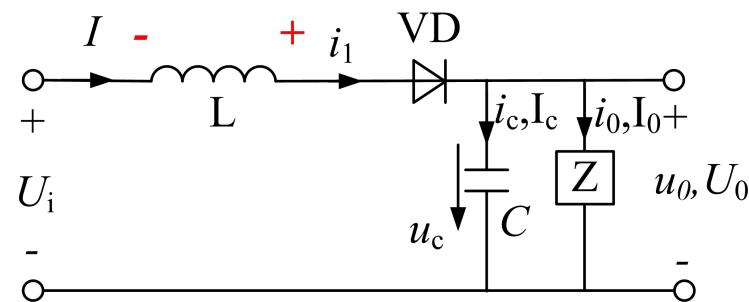
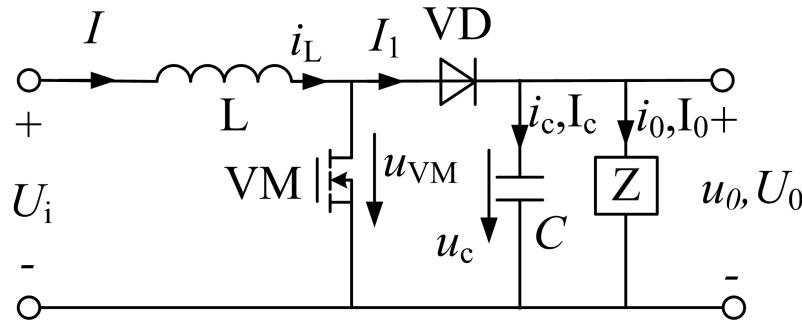


模式1 (VM导通)

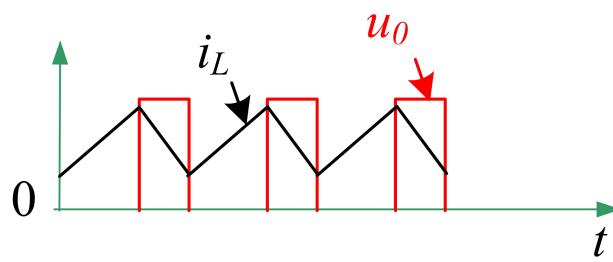


- 由MOS管VM、储能电感L、二极管VD及滤波电容C组成。
- VM导通时
 - ✓ 电源向电感储能
 - ✓ 电感电流增加
 - ✓ 感应电动势左正右负
 - ✓ 负载Z由电容C供电

6.2.2 升压式（boost）变换器



模式2（VM截止）



➤ VM截止时

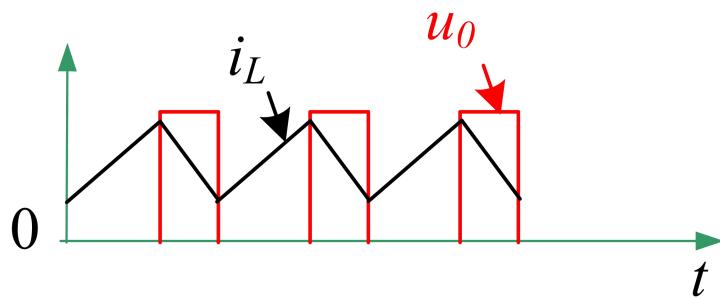
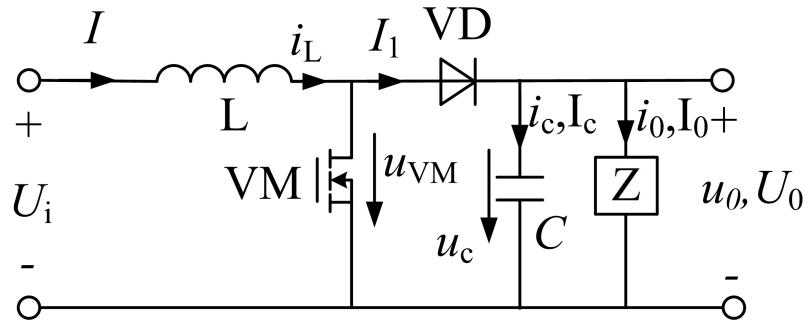
- ✓ 电感电流减小
- ✓ 感应电动势左负右正
- ✓ 电感中电能释放
- ✓ 经二极管向负载供电，同时向电容充电

➤ $U_0 = U_i / (1 - \rho)$

- ρ 从零趋近于1时，理论上 U_0 可任意大
- 升压

电感储存电能在短时间释放

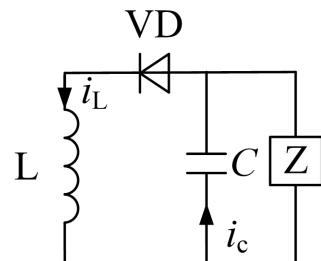
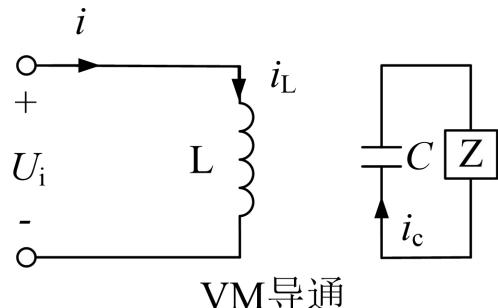
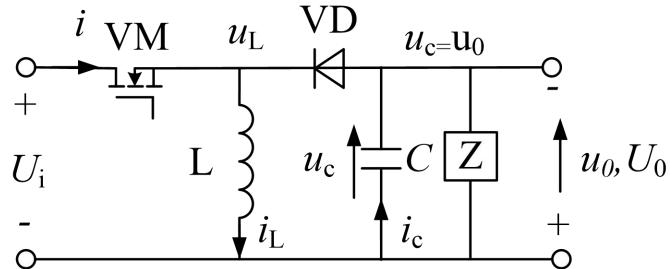
6.2.2 升压式（boost）变换器



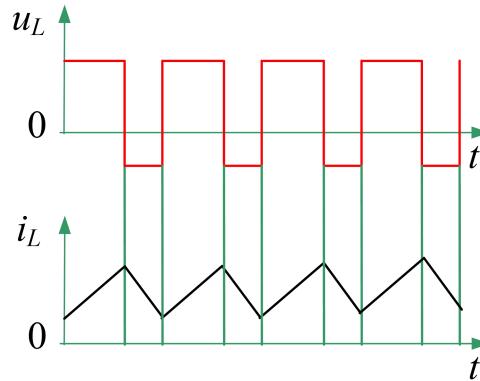
本质：

- 电感储能之后具有使电压泵升的作用
- 电容将输出电压保持住
电感储存电能在短时间释放

6.2.3 升/降压式(buck-boost)变换器

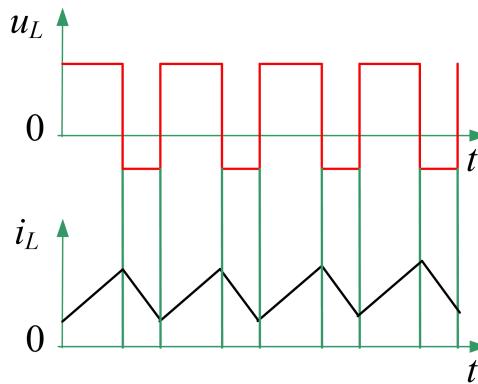
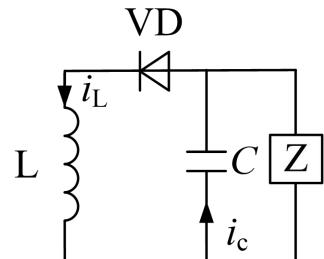
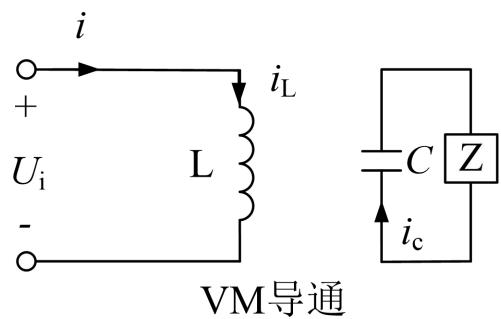
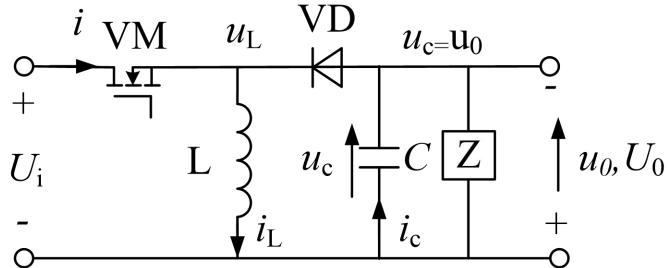


VM断开



- VM导通时，电能储于电感中，负载由电容供电
- VM断开时，电感产生感应电势，维持原电流方向，电感电流向负载供电，同时向电容充电

6.2.3 升/降压式(buck-boost)变换器

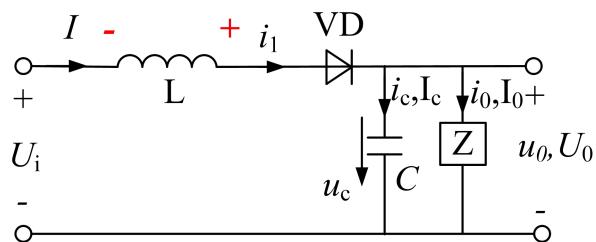
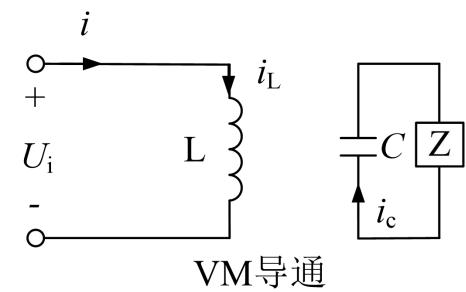
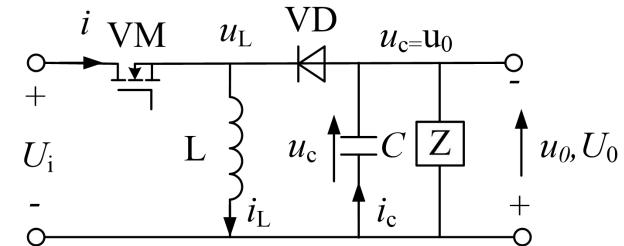
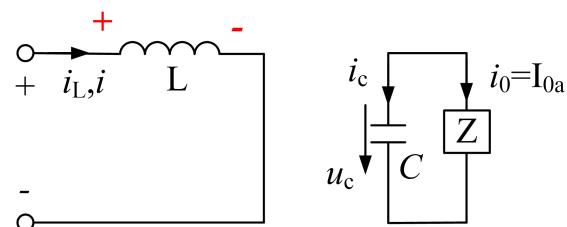
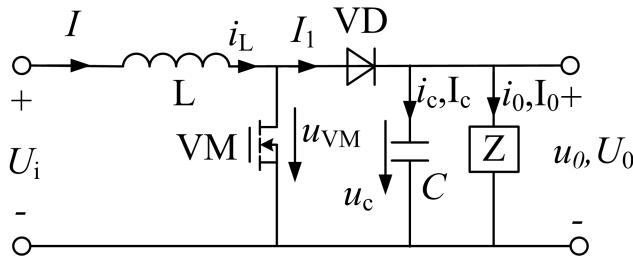
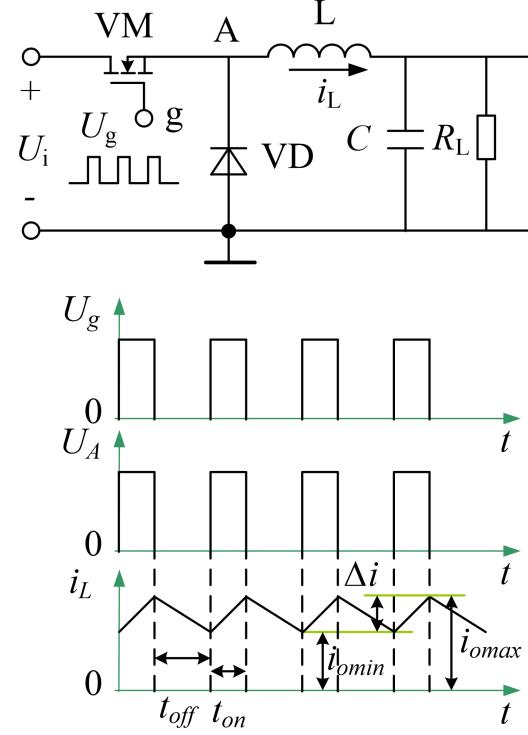


$$U_0 = -\frac{\rho}{1-\rho} U_i$$

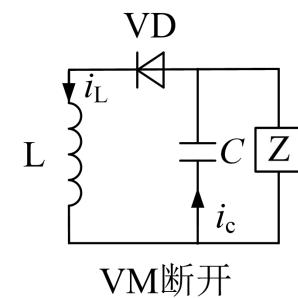
$\rho < 0.5$ 时, $|U_o| < |U_i|$, 电路为降压式;

$\rho > 0.5$ 时, $|U_o| > |U_i|$, 电路为升压式。

比较



模式2 (VM截止)



6.4 输入与输出隔离的直流变换器

❖ 非隔离的DC-DC电路

Buck, Boost, Buck-boost (重点)

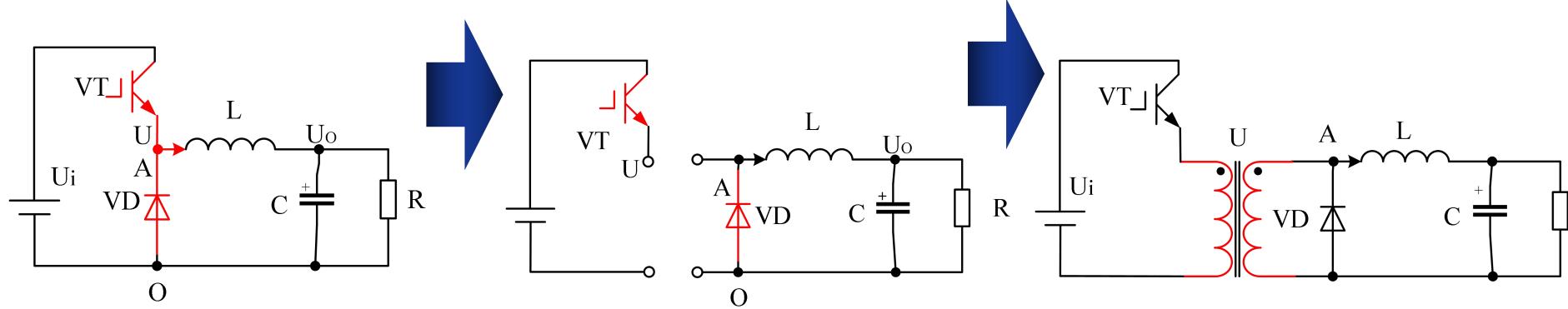
其他(Cuk, Sepic)

❖ 带隔离的DC-DC电路

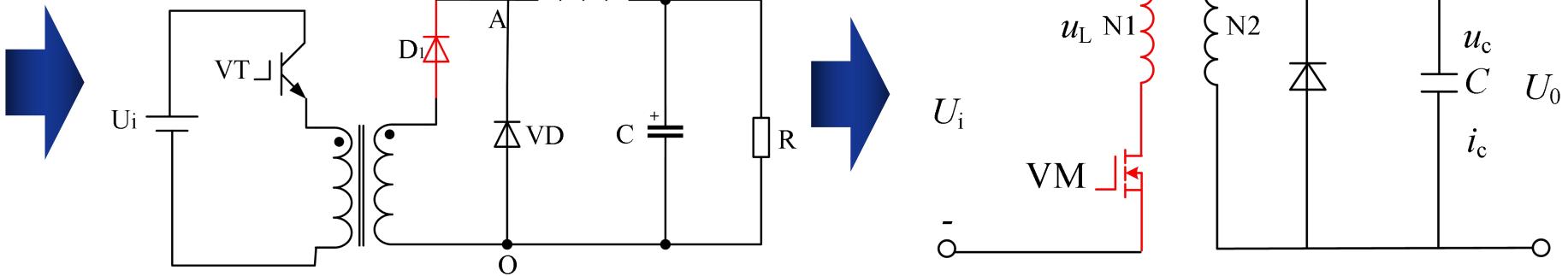
单端正激式，单端反激式，推挽式

带隔离的DC-DC电路:单端正激式

拓展: 拓扑演化



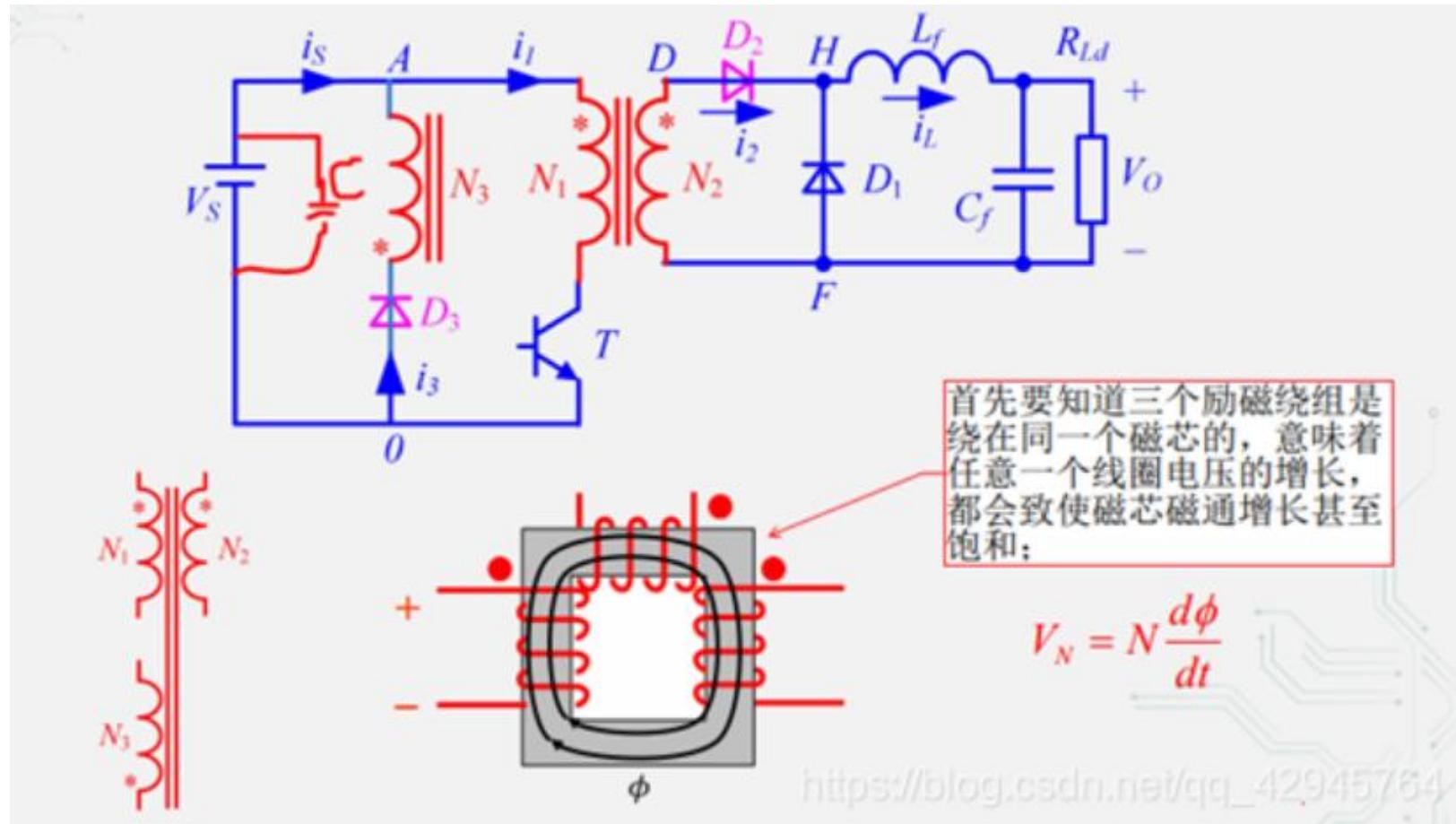
Buck



单端正激式(Forward)

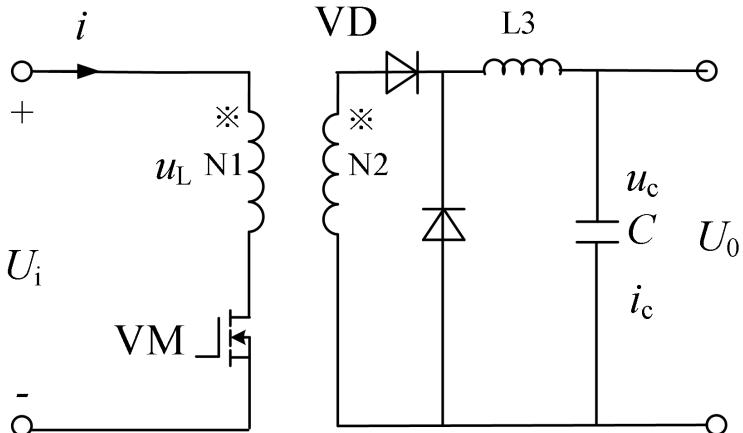
带隔离的DC-DC电路:单端正激式

磁复位电路

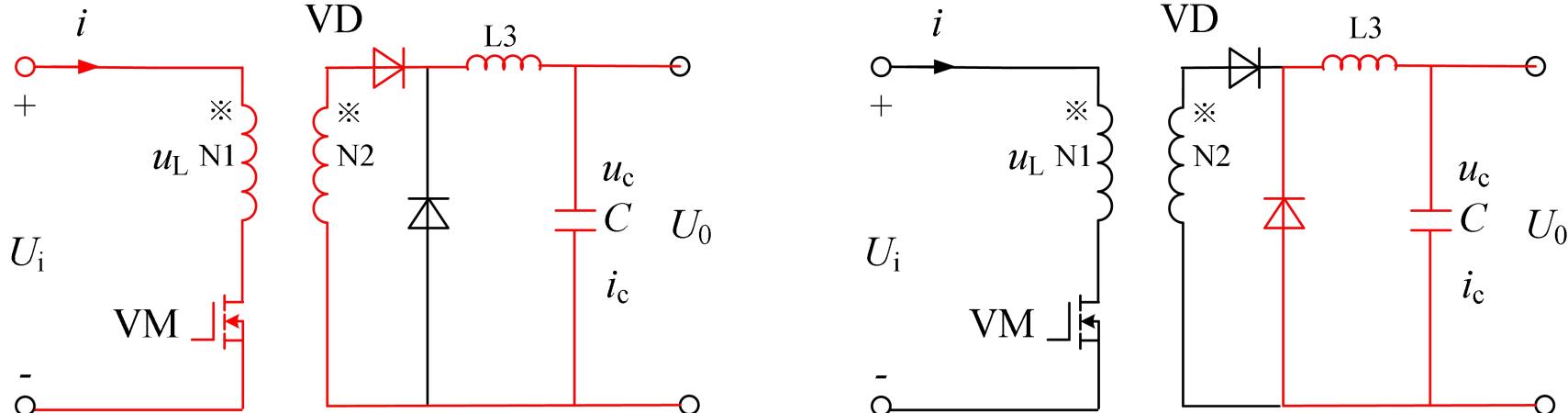


带隔离的DC-DC电路:单端正激式

电路拓扑

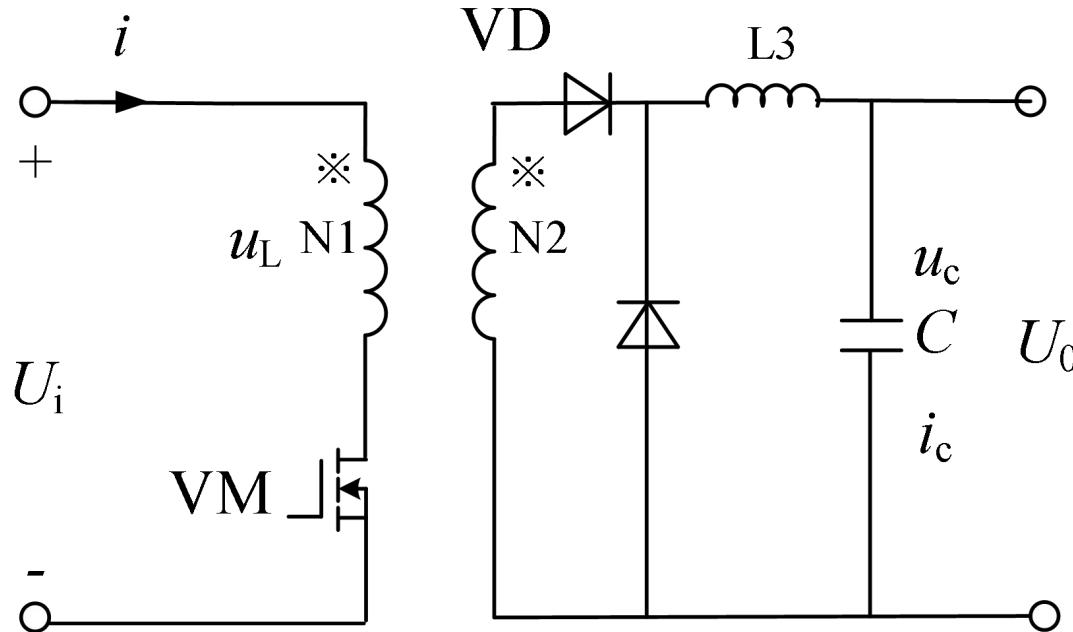


工作模态



带隔离的DC-DC电路:单端正激式

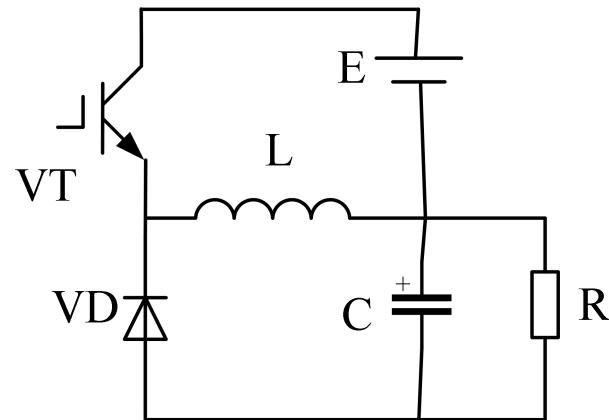
工作模态



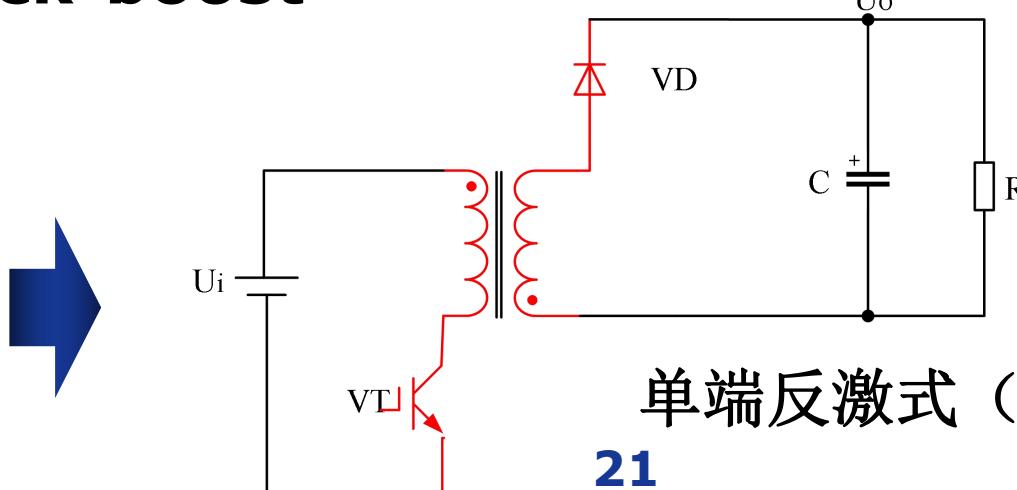
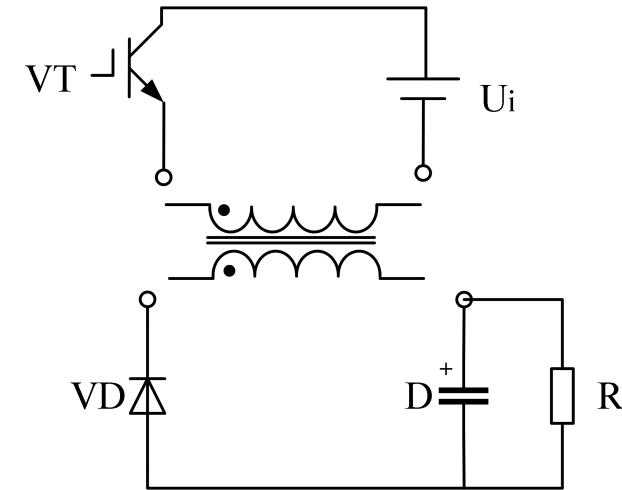
$$U_0 = \rho U_i \frac{N_2}{N_1}$$

带隔离的DC-DC电路:单端反激式

拓展: 拓扑演化



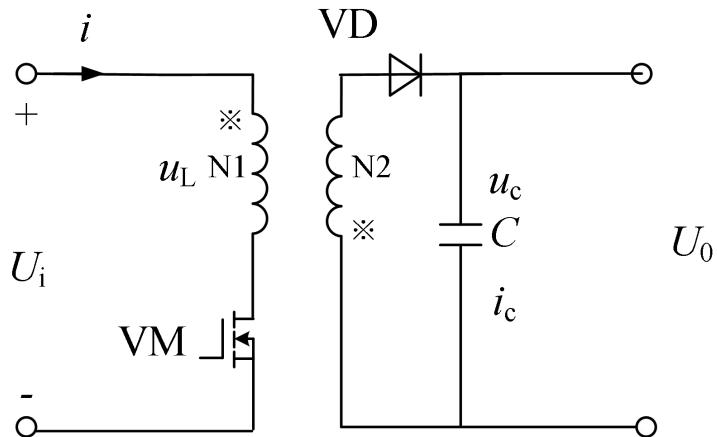
Buck-boost



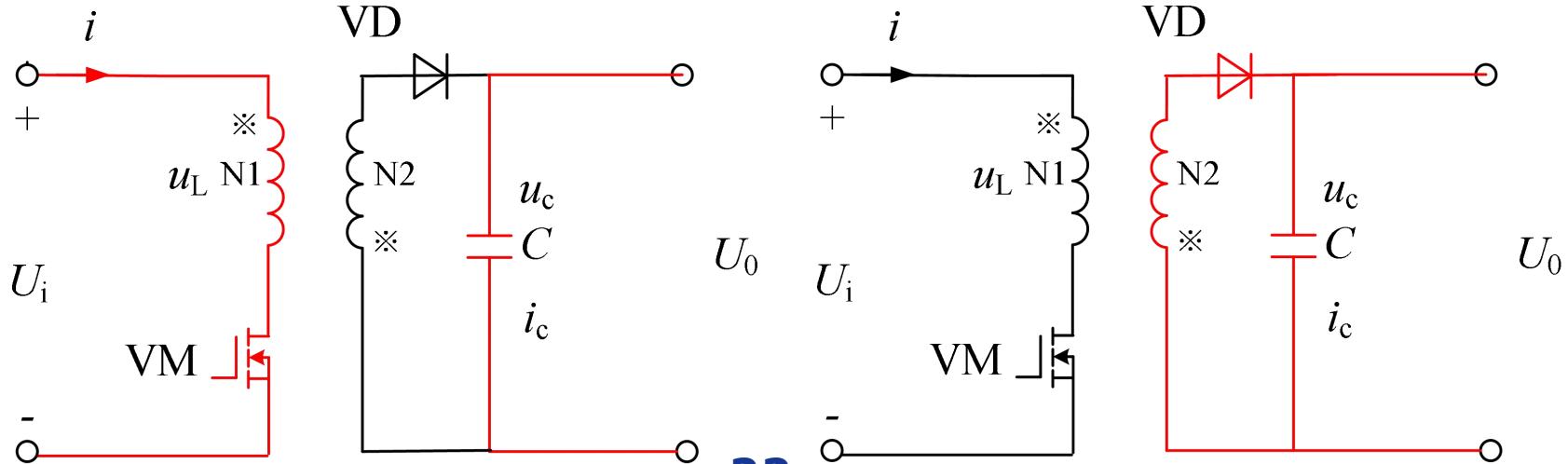
单端反激式 (flyback)

带隔离的DC-DC电路:单端反激式

电路拓扑

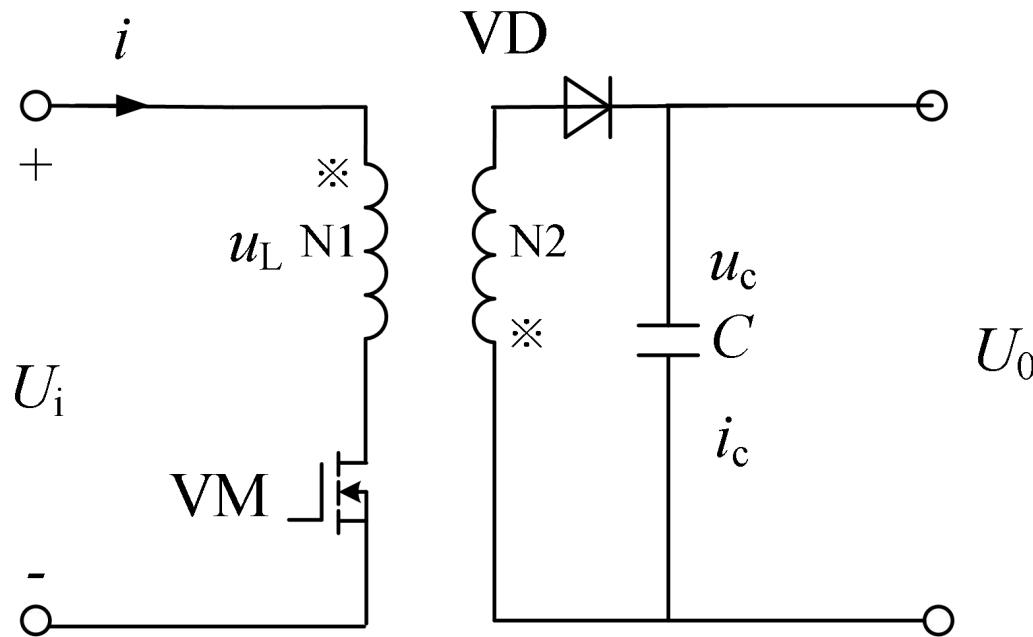


工作模态



带隔离的DC-DC电路:单端反激式

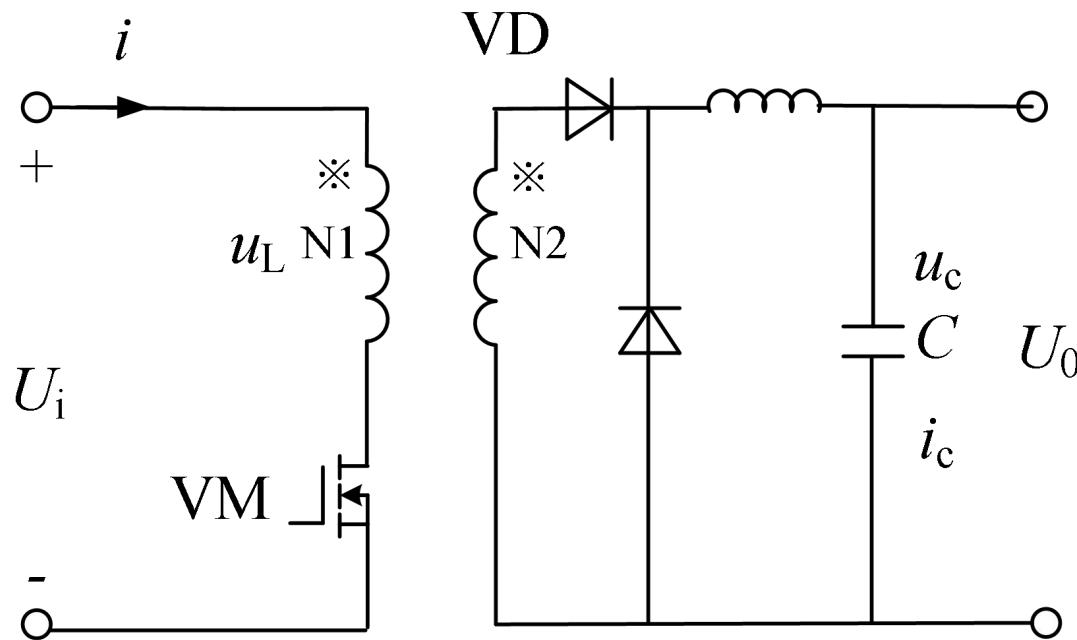
电路拓扑



$$U_0 = \frac{N_2 \rho}{N_1 (1 - \rho)} U_i$$

带隔离的DC-DC电路:单端正激式

电路拓扑



6.3 负载为直流电动机时的斩波器结构

斩波器向直流电动机供电。

要求（**想象一下电动车**）：

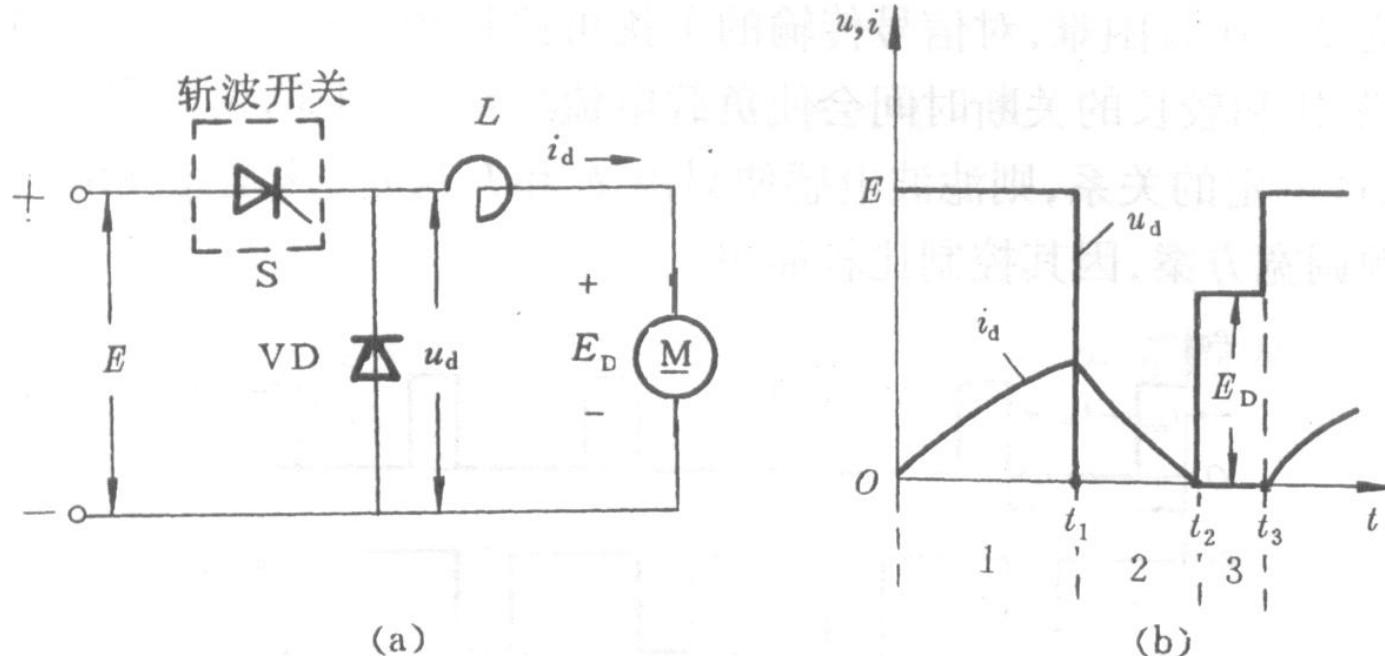
- 调速（加速、减速）。调节电枢电压。
- 再生制动（电能回馈到直流电源）
- 正反转（电压反向）

可满足不同要求的三类斩波器：

- 单象限斩波器
- 两象限斩波器
- 四象限斩波器

6.3.1 单象限斩波器

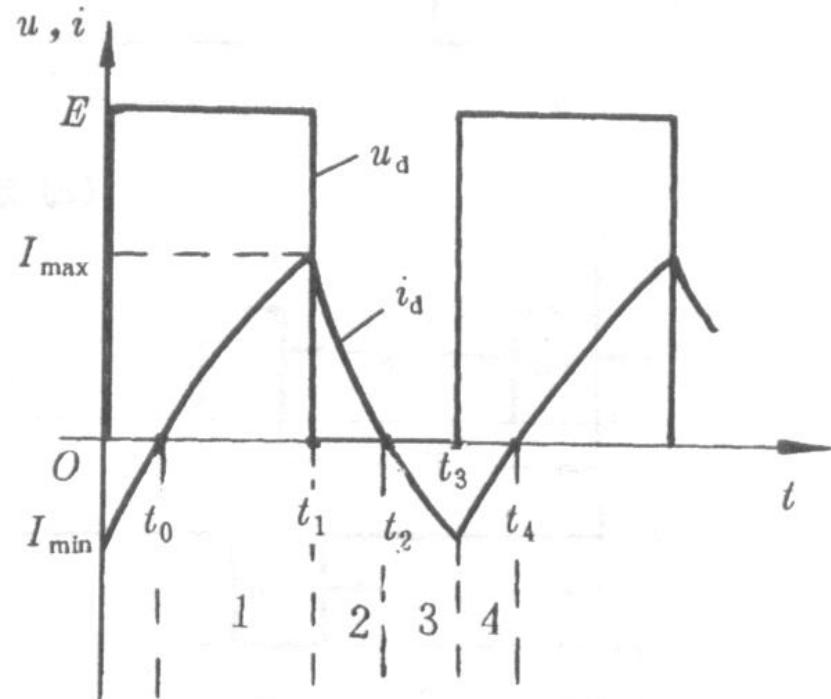
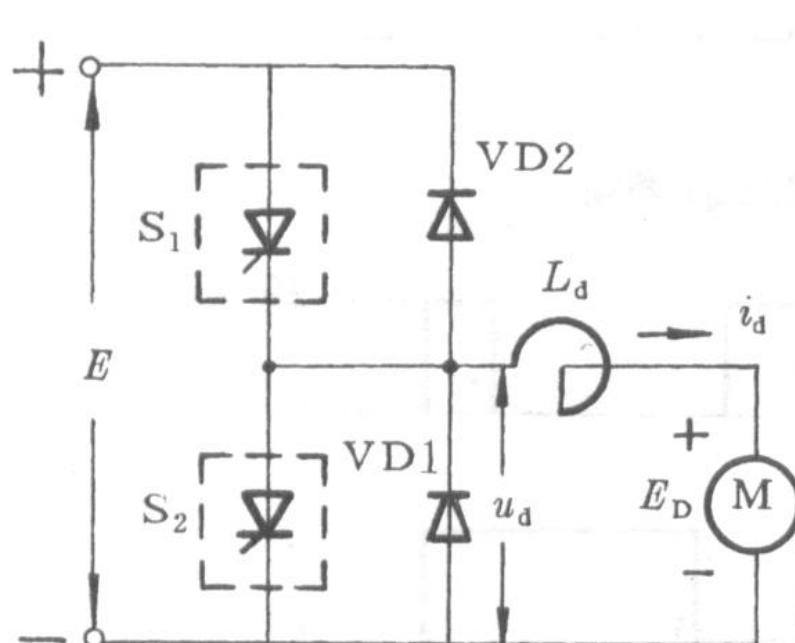
单象限斩波器（一般降压式斩波器）



- 只能使电动机运行于电动状态，调速
- 电压、电流不能反向，无法产生制动转矩

6.3.2 两象限斩波器

两象限斩波器（结合升、降压斩波器）



- 既可使电动机实现调压调速，又能实现再生制动。
- i_d 为负值时，电动机工作于再生制动状态。

两组概念（重要）

➤ **非受限式** 电路：

能始终保持电流连续的电路（如两象限斩波器）。

➤ **受限式** 电路：

不能保持电流连续（即电流断续）的电路
(如单象限式斩波器)。

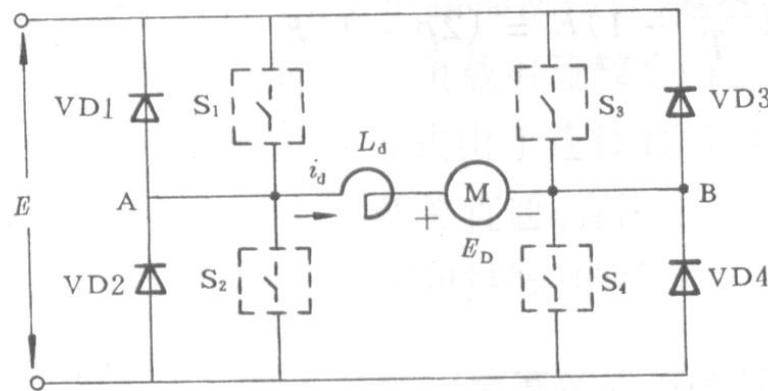
➤ **不可逆输出** 的直流变换电路：

只能使电动机在一个方向运转（如单、两象限斩波器）。

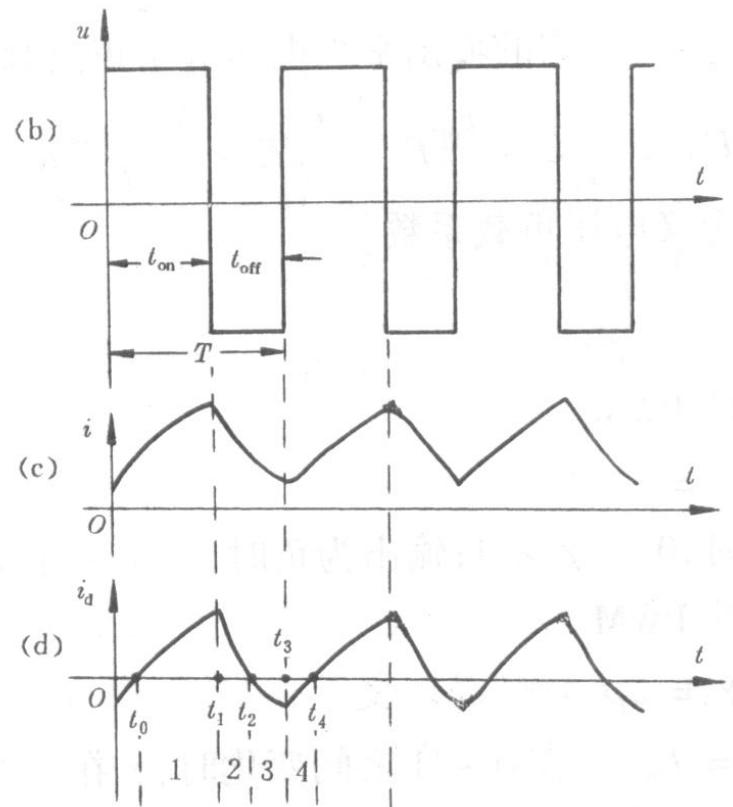
➤ **可逆输出** 的直流变换电路：

可以使电动机在两个方向运转（如四象限斩波器）。

6.3.3 四象限斩波器



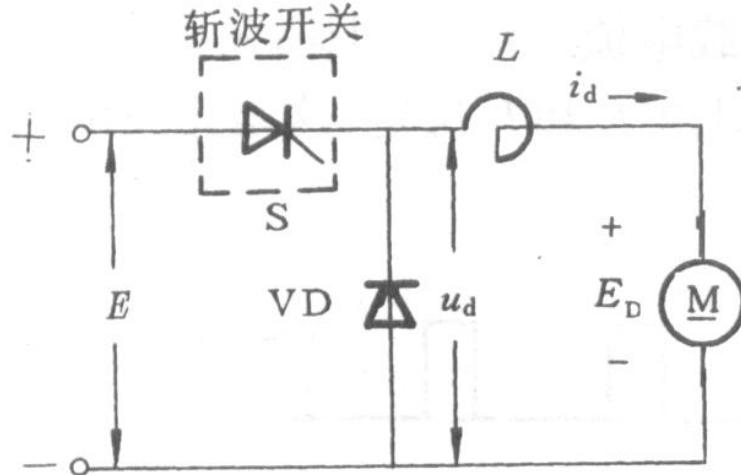
(a)



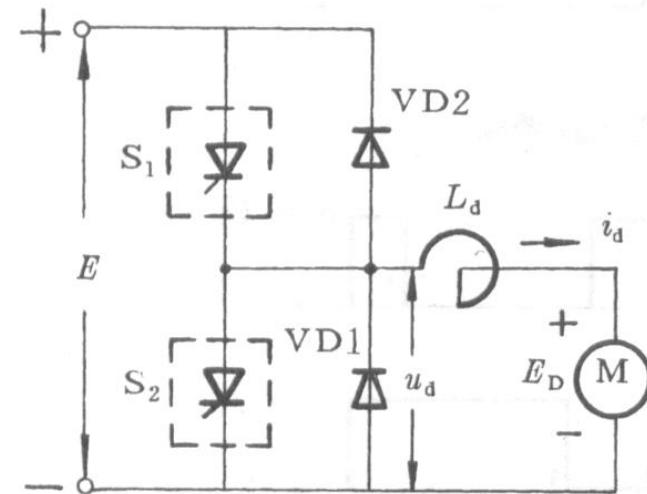
可实现电机的正反转和电动制动状态。

三种斩波器

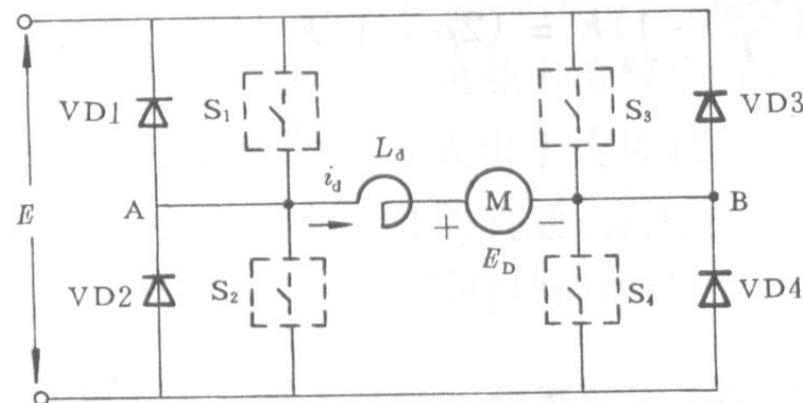
单象限斩波器



两象限斩波器

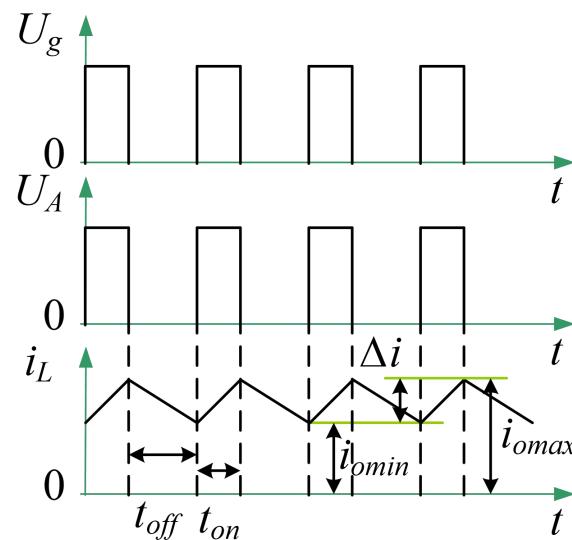
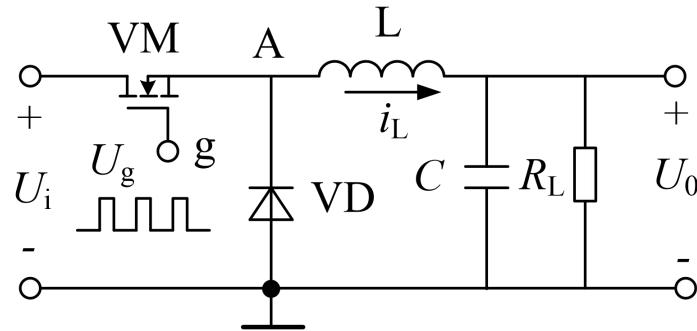


四象限斩波器

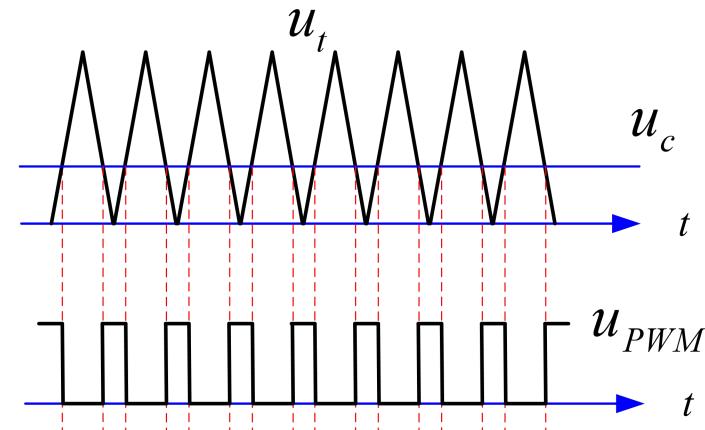
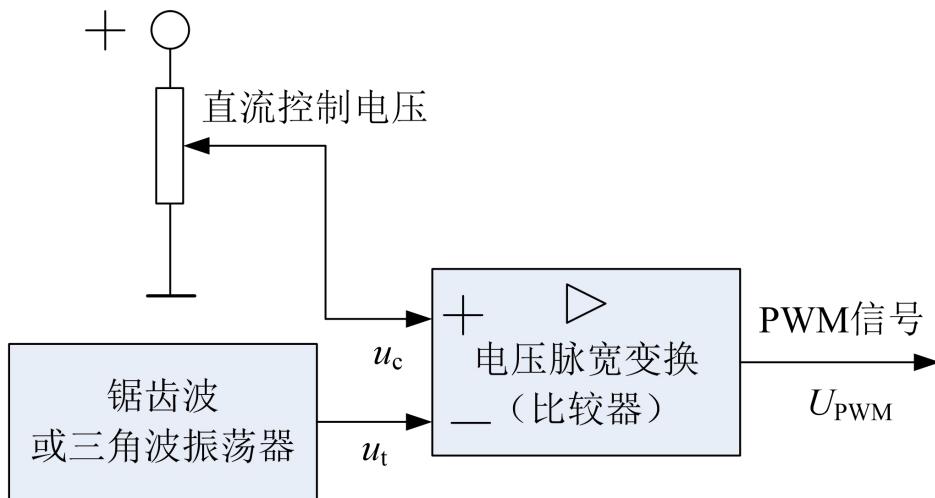


6.5 直流PWM的控制

问题的提出：
如何产生脉冲宽度可变的控制信号？



PWM信号的产生



- 单极性
- 双极性

