

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

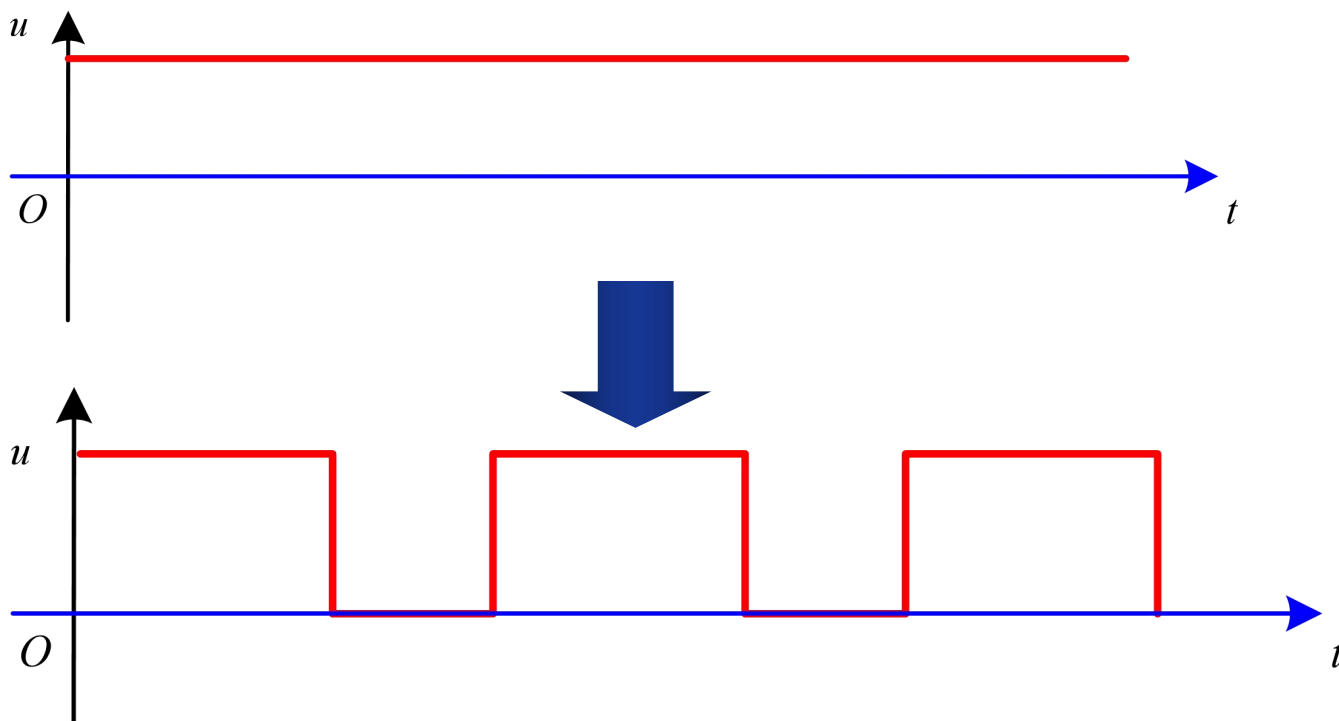
❖ 复合斩波电路多象限运行

两象限运行，四象限运行(重点)

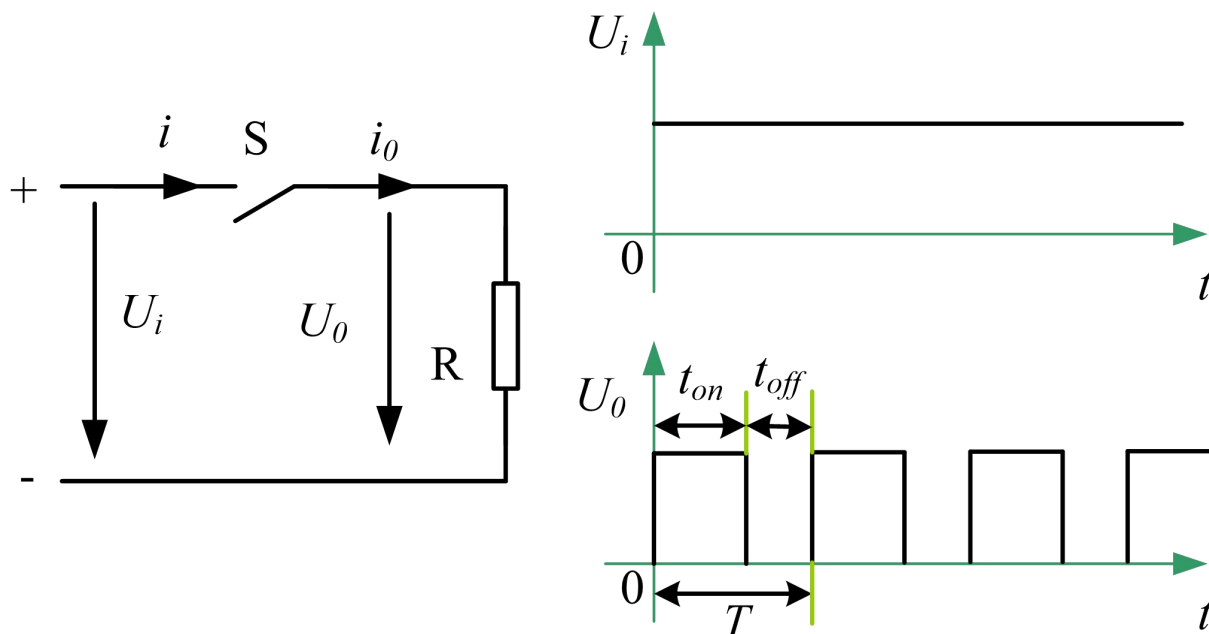
❖ 直流PWM控制

直流变换器

- 将一种直流电压幅值变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

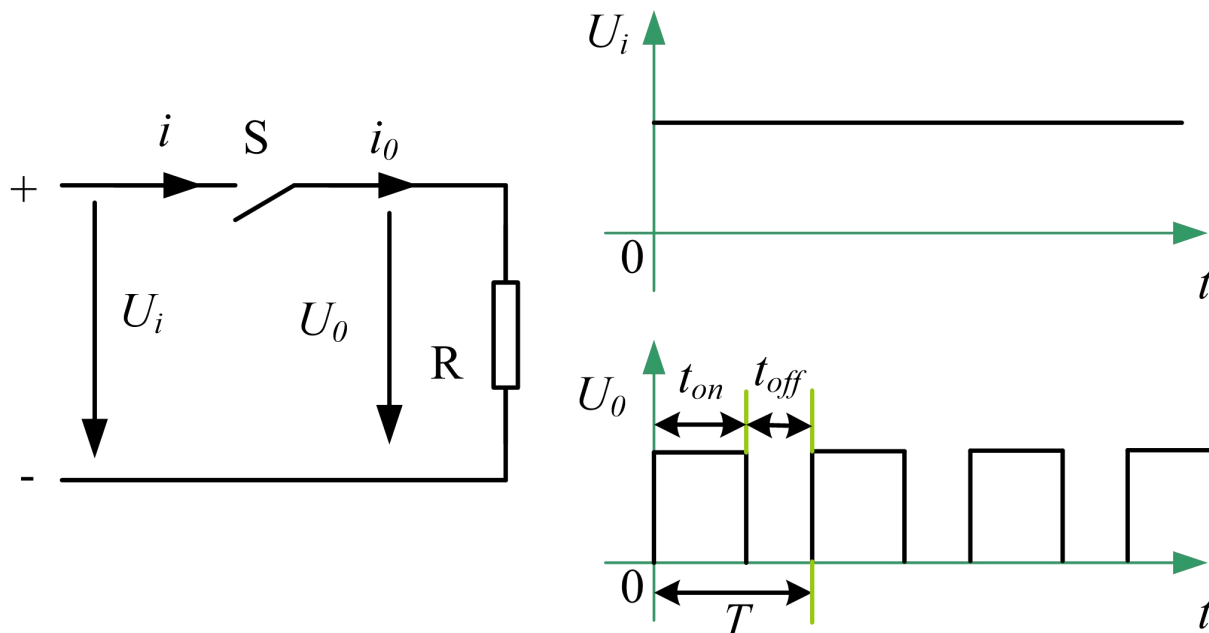


6.1 斩波原理和控制方式



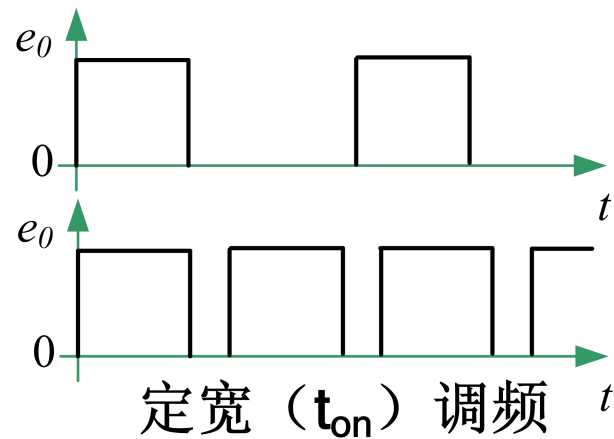
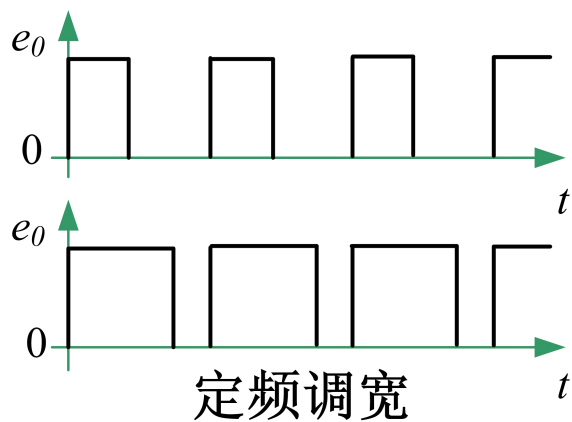
- S 是开关，由电力电子器件构成
- S 合上 (t_{on})， $U_0 = U_i$
- S 切断 (t_{off})， $U_0 = 0$
- $T = t_{on} + t_{off}$ ，工作周期
- 占空比 $\rho = t_{on}/T$

斩波原理

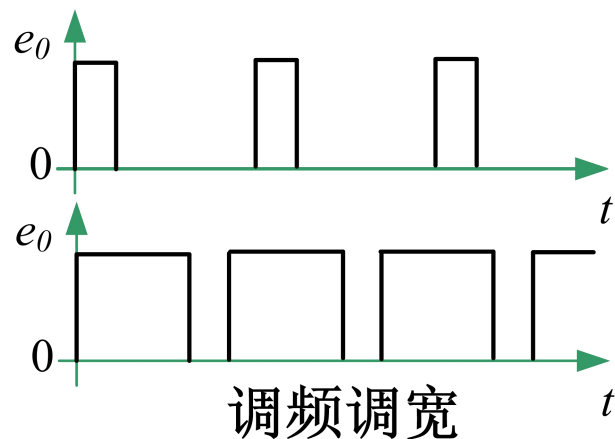
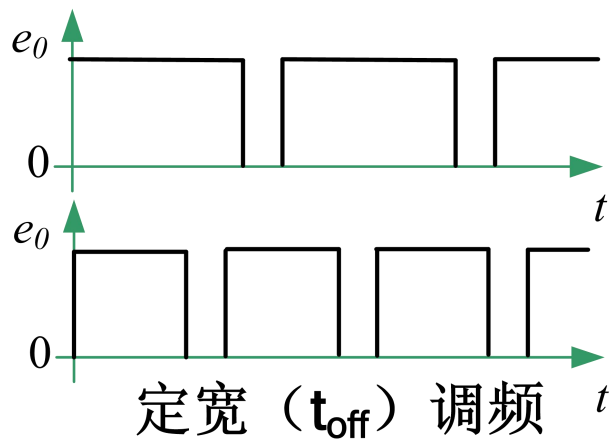


- 输出电压平均值
- 输出电压有效值
- 输入功率
- 直流侧等效电阻
- 均随占空比 ρ 变化而变化

控制方式



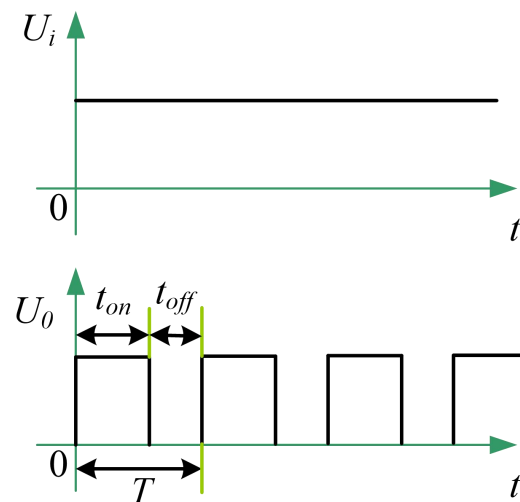
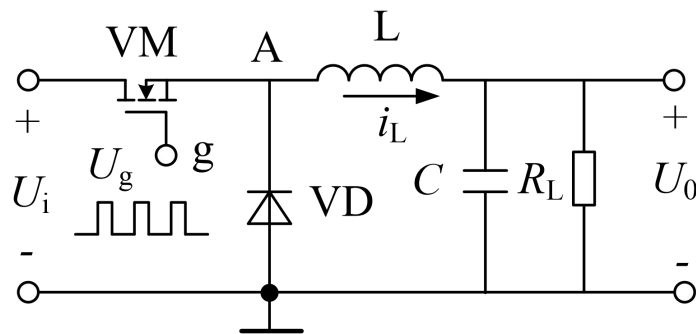
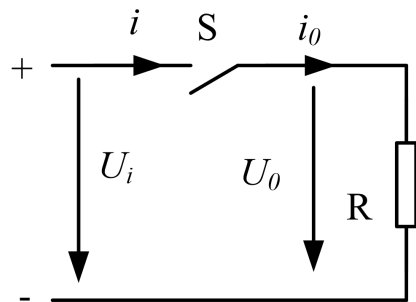
多数情况



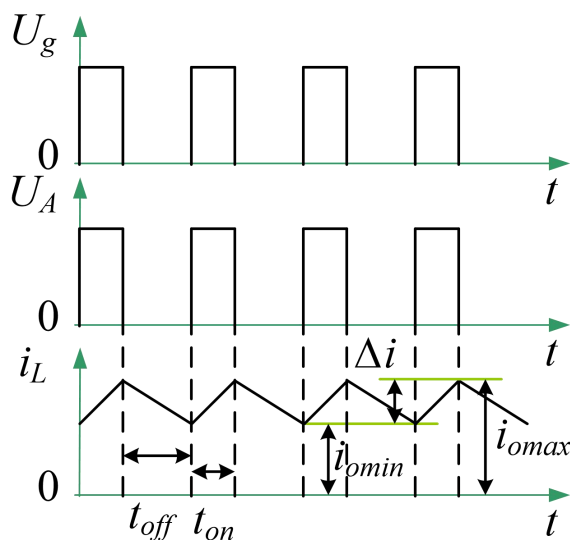
6.2 直流变换器的基本电路

- 降压式
- 升压式
- 升/降压式
- 其他形式

6.2.1 降压式 (buck) 变换器

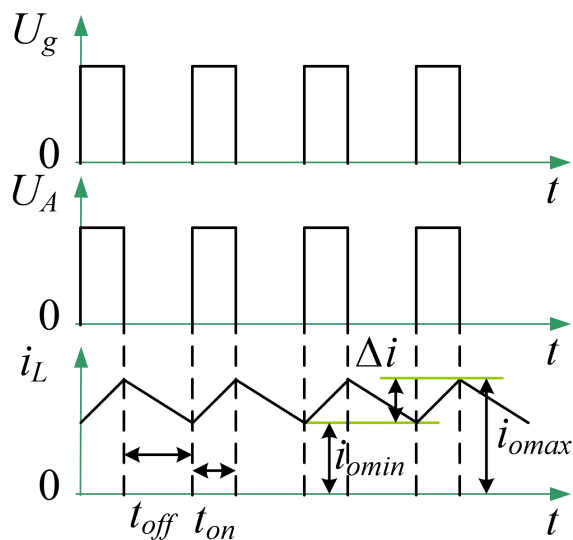
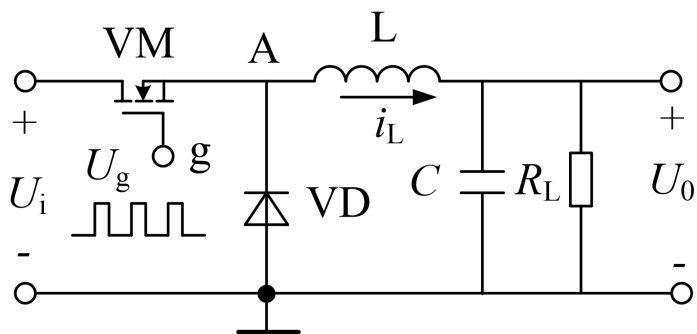


➤ 输出纹波较大



- 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

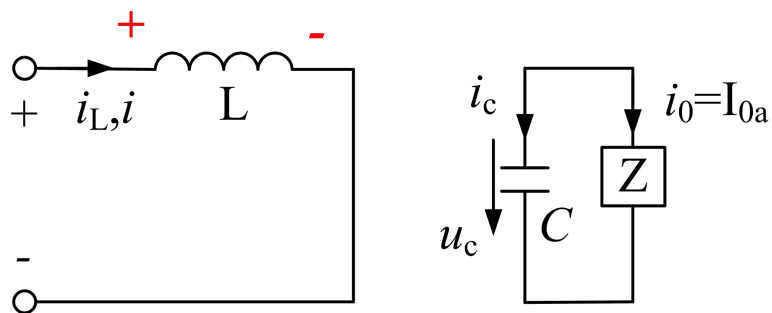
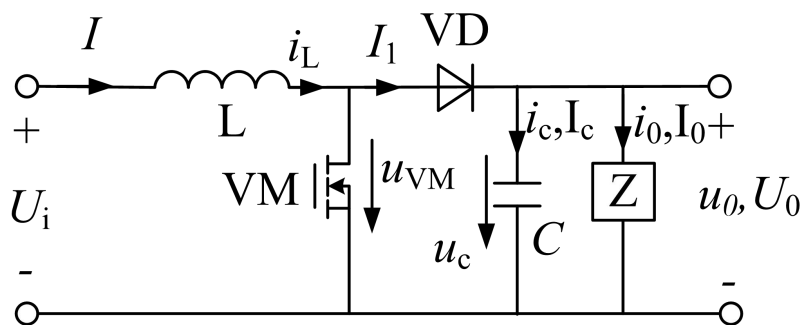
➤ VM 导通时，电感中电流线性上升

➤ VM 截止时，电感上感应电动势使二极管导通

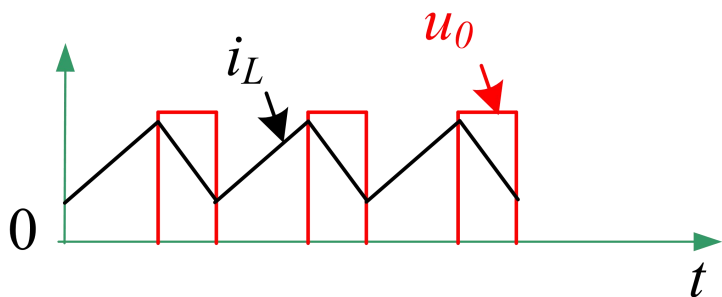
➤ 电感越大，电流越连续、平直。

➤ 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)

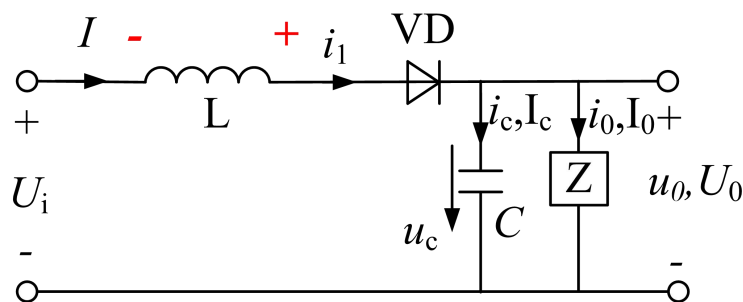
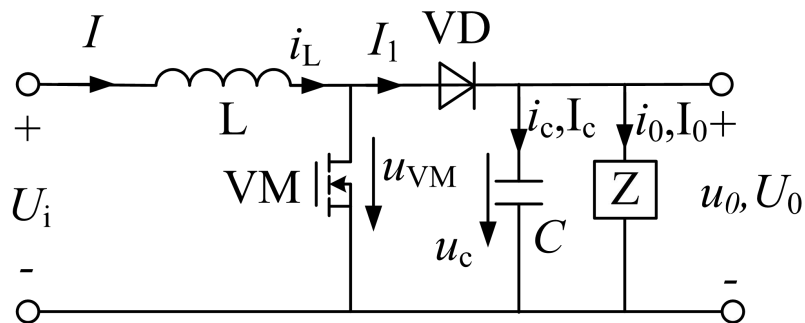


➤ 由MOS管VM、储能电感L、二极管VD及滤波电容C组成。

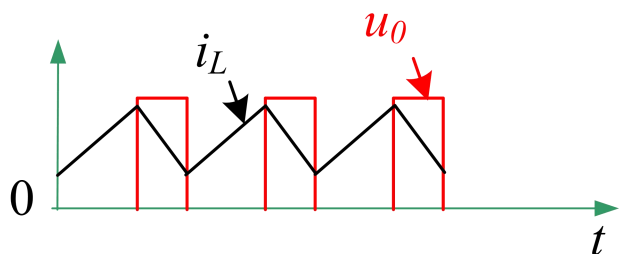
➤ VM导通时

- ✓ 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

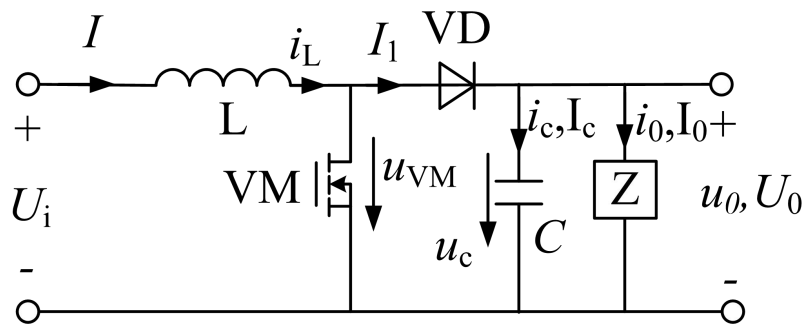
➤ $U_0 = U_i / (1 - \rho)$

➤ ρ 从零趋近于1时，理论上 U_0 可任意大

➤ 升压

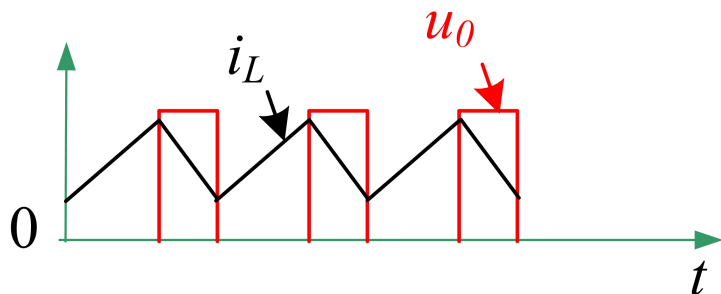
电感储存电能短时间释放

6.2.2 升压式 (boost) 变换器

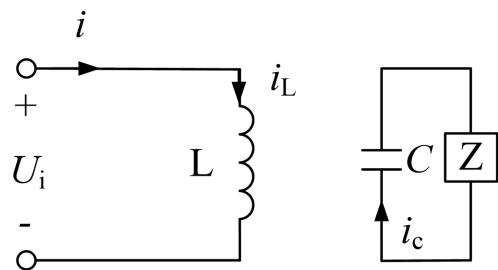
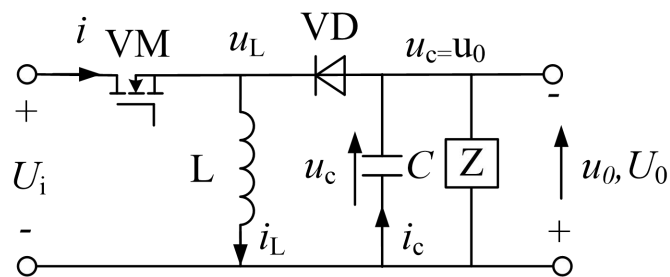


本质:

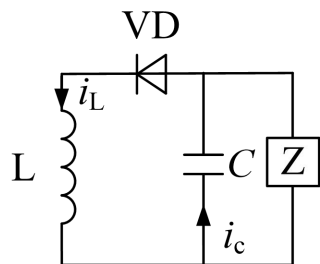
- 电感储能之后具有使电压泵升的作用
 - 电容将输出电压保持住
- 电感储存电能短时间释放



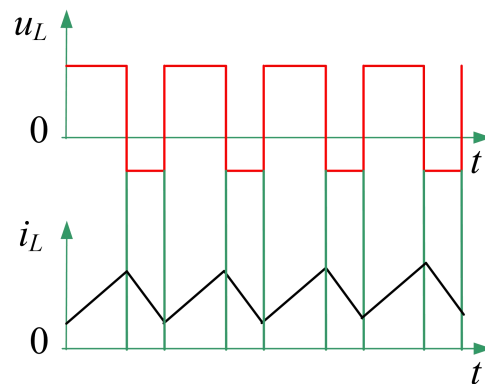
6.2.3 升/降压式 (buck-boost) 变换器



VM导通

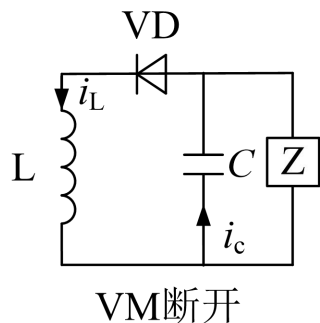
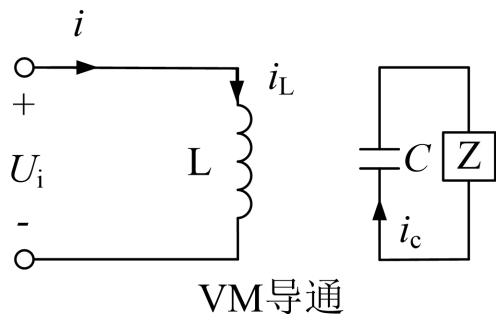
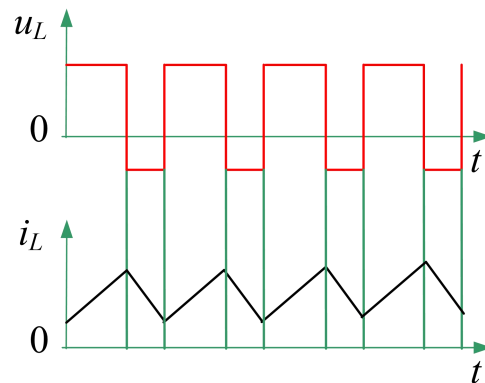
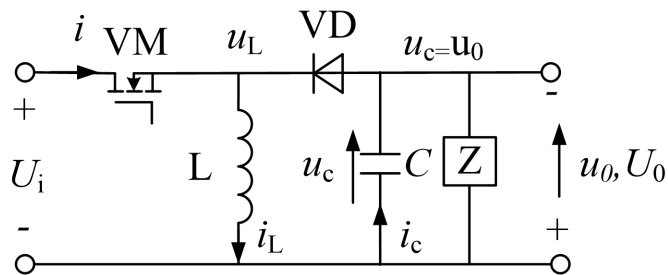


VM断开



- 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

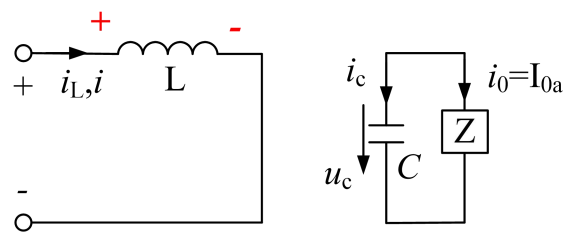
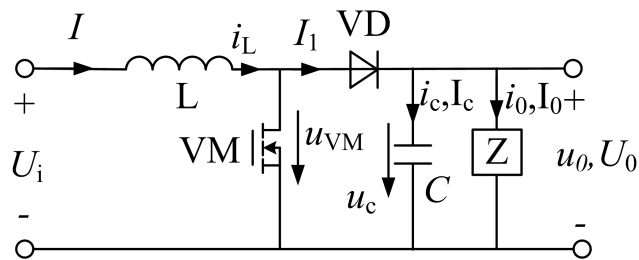
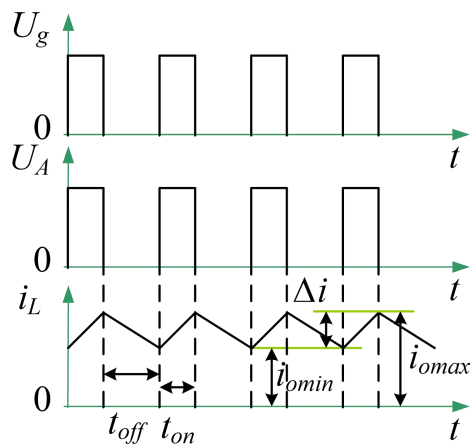
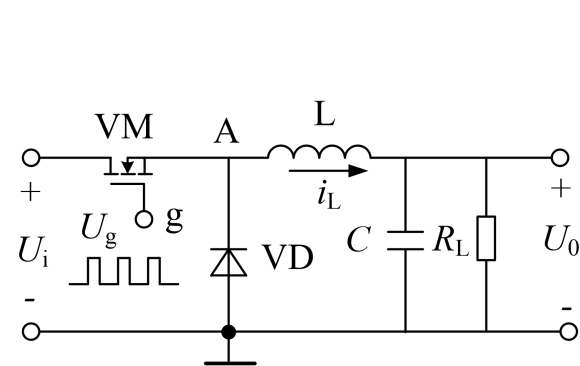


$$U_0 = -\frac{\rho}{1-\rho} U_i$$

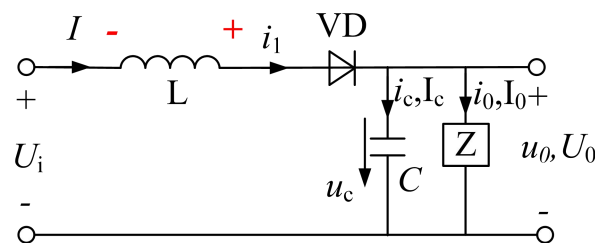
$\rho < 0.5$ 时, $|U_o| < |U_i|$, 电路为降压式;

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

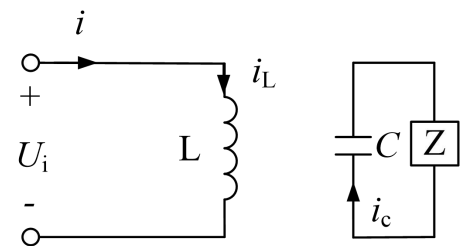
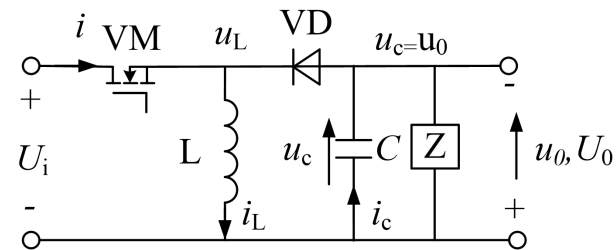
比较



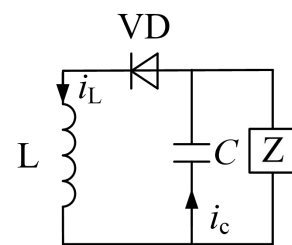
模式1 (VM导通)



模式2 (VM截止)



VM导通



VM断开

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)

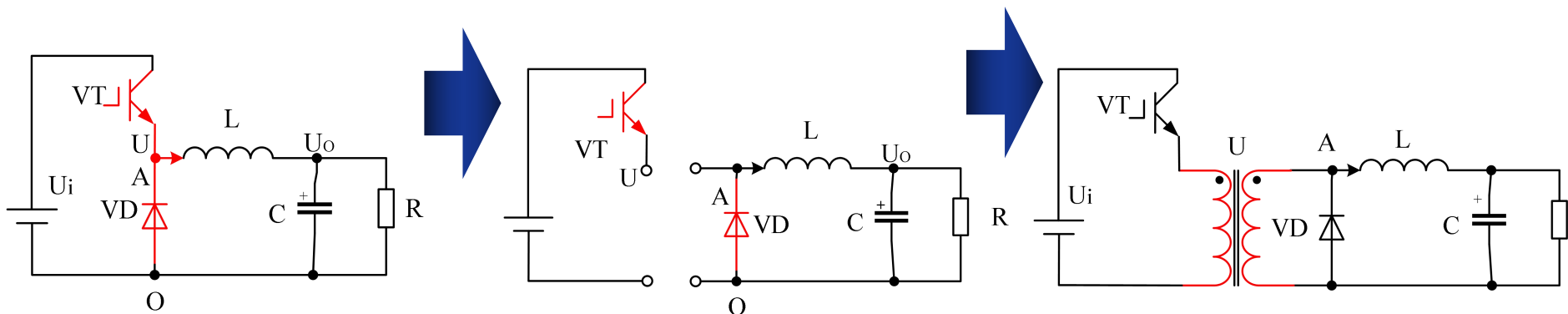
其他(Cuk, Sepic)

❖ 带隔离的DC-DC电路

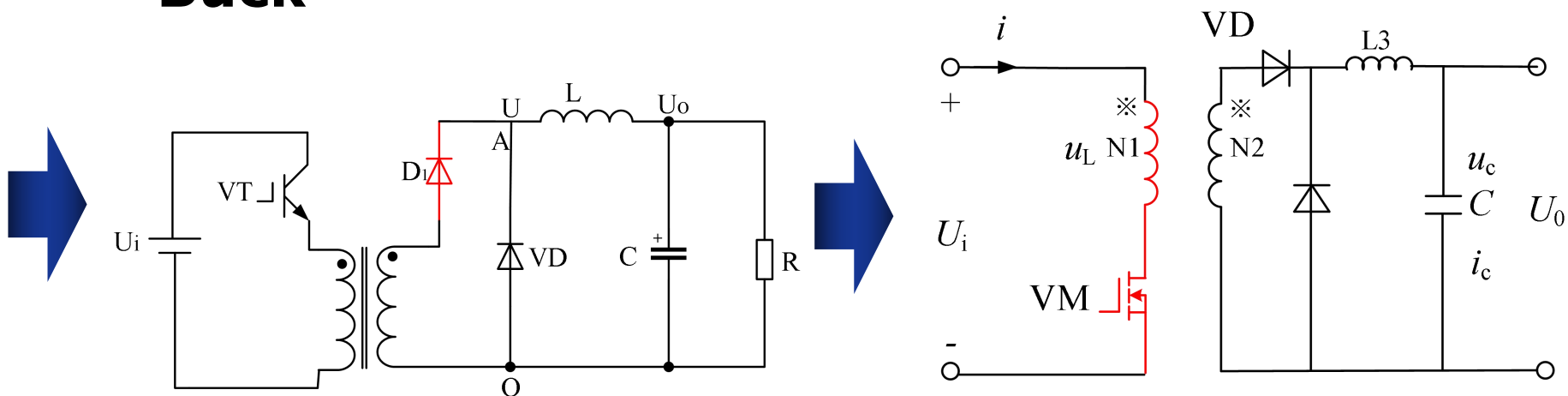
单端正激式, 单端反激式, 推挽式

带隔离的DC-DC电路:单端正激式

拓展: 拓扑演化

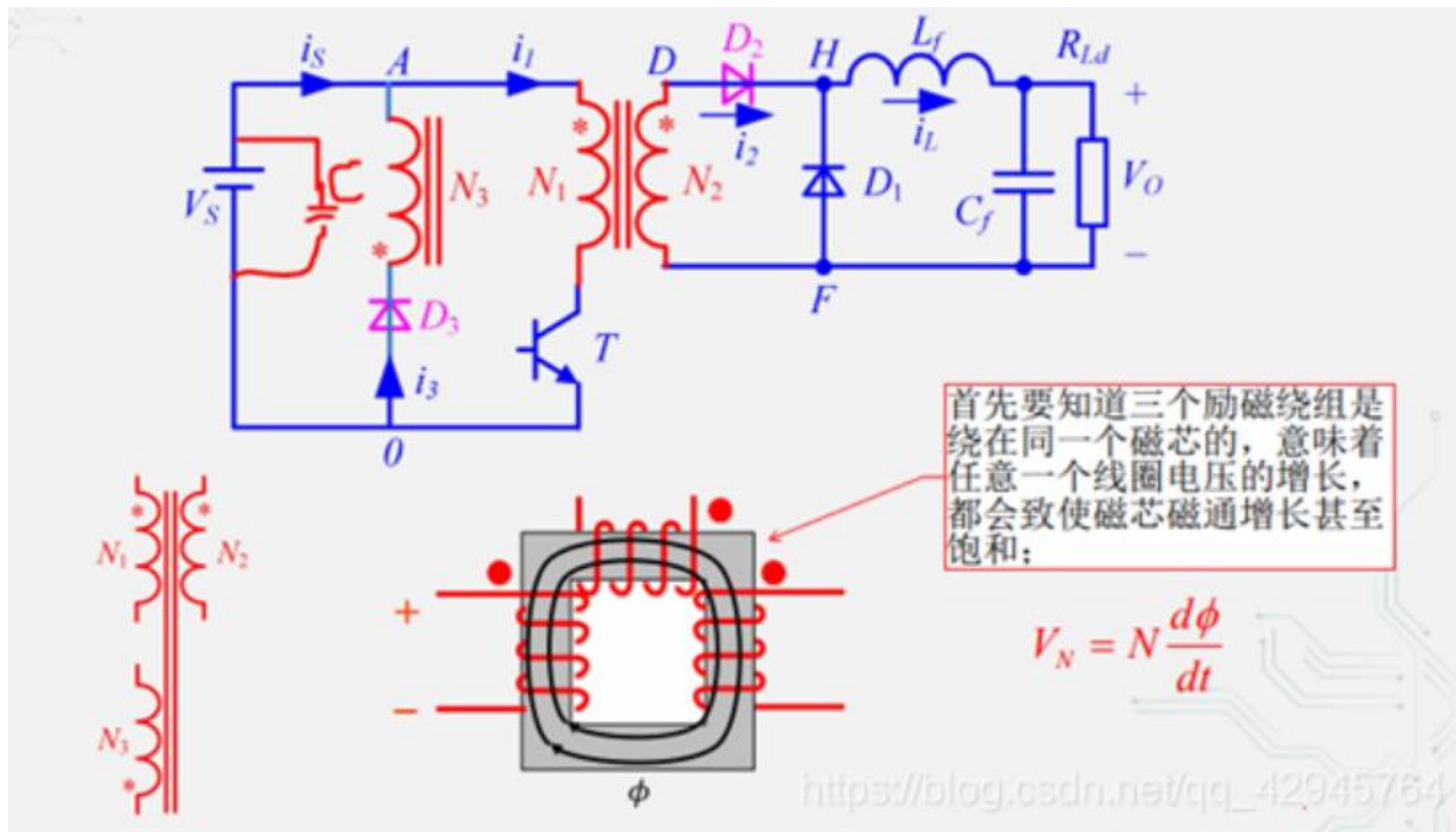


Buck



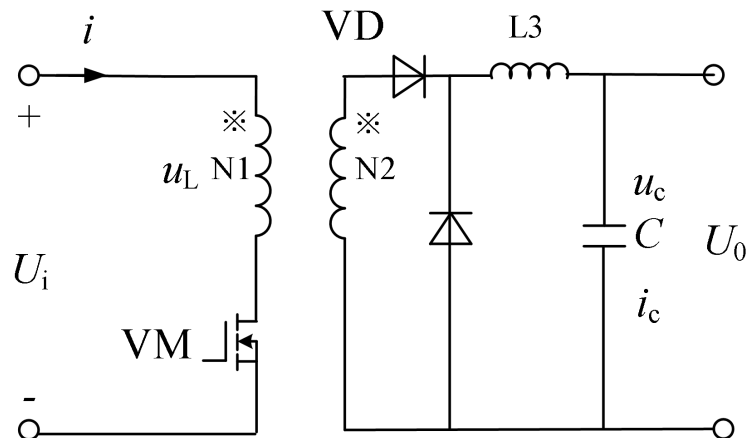
单端正激式(Forward)

带隔离的DC-DC电路:单端正激式 磁复位电路

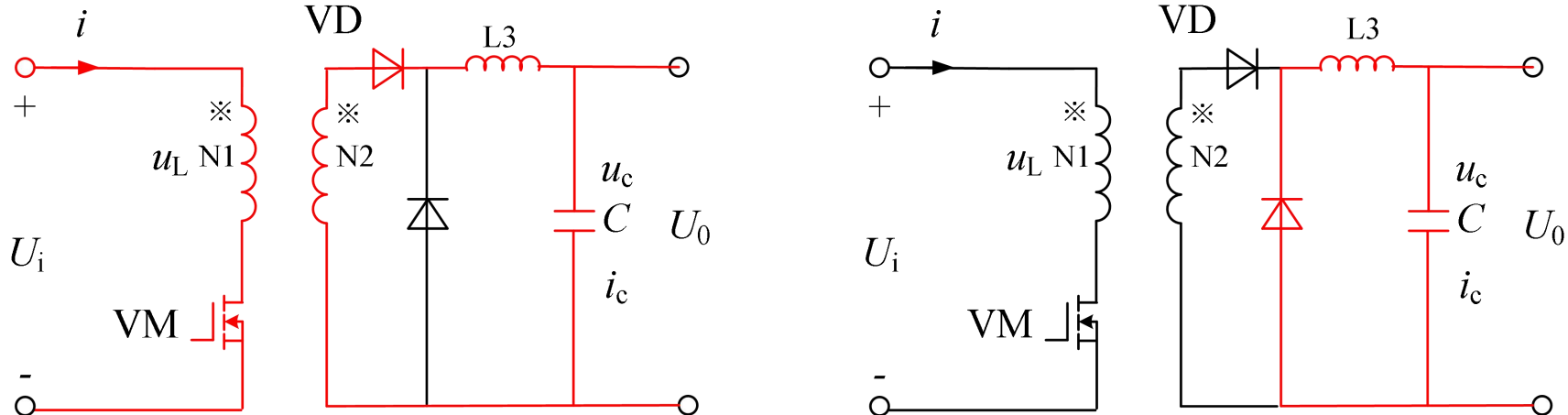


带隔离的DC-DC电路:单端正激式

电路拓扑

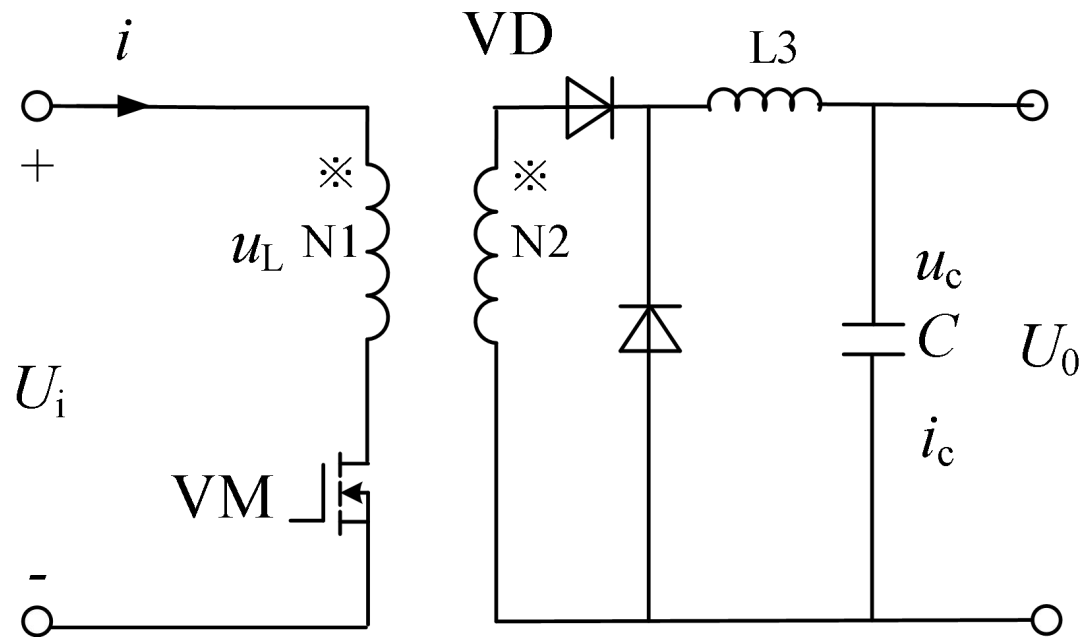


工作模态



带隔离的DC-DC电路:单端正激式

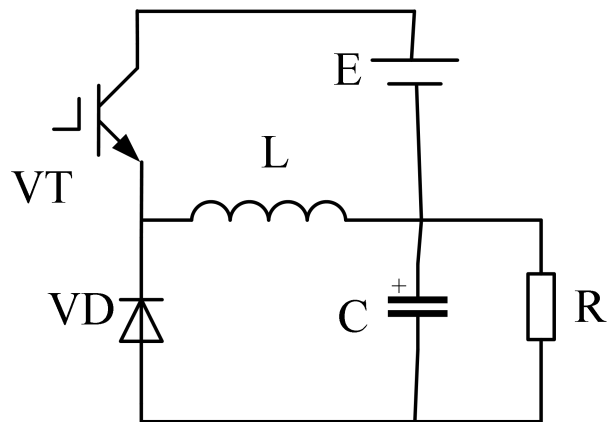
工作模态



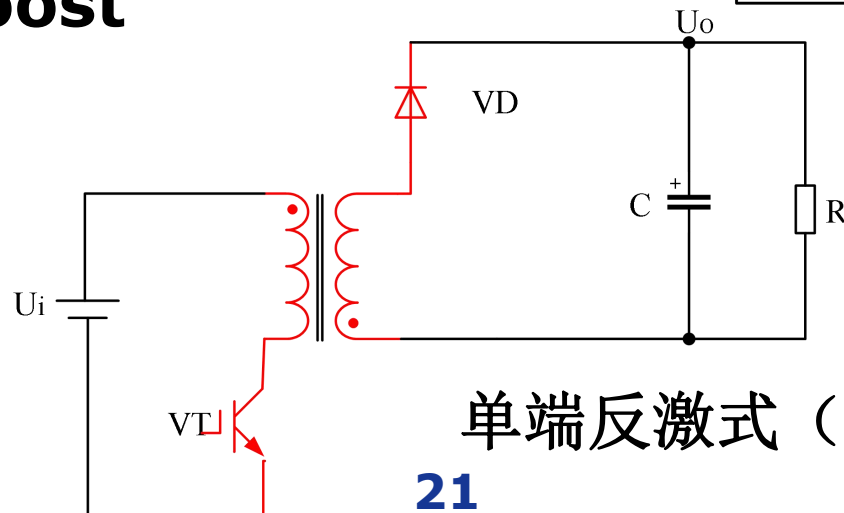
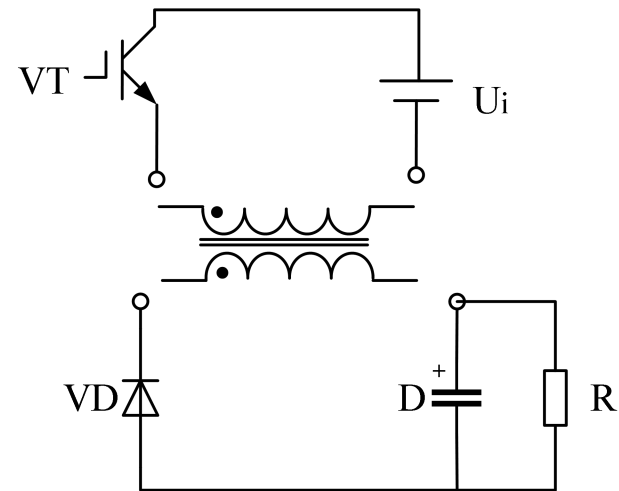
$$U_0 = \rho U_i \frac{N_2}{N_1}$$

带隔离的DC-DC电路:单端反激式

拓展: 拓扑演化



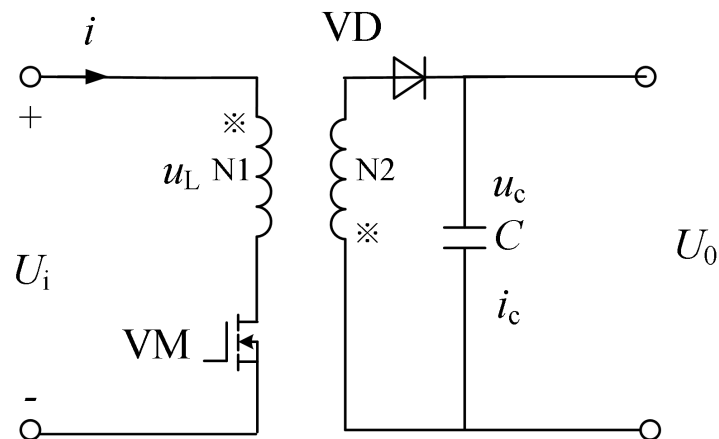
Buck-boost



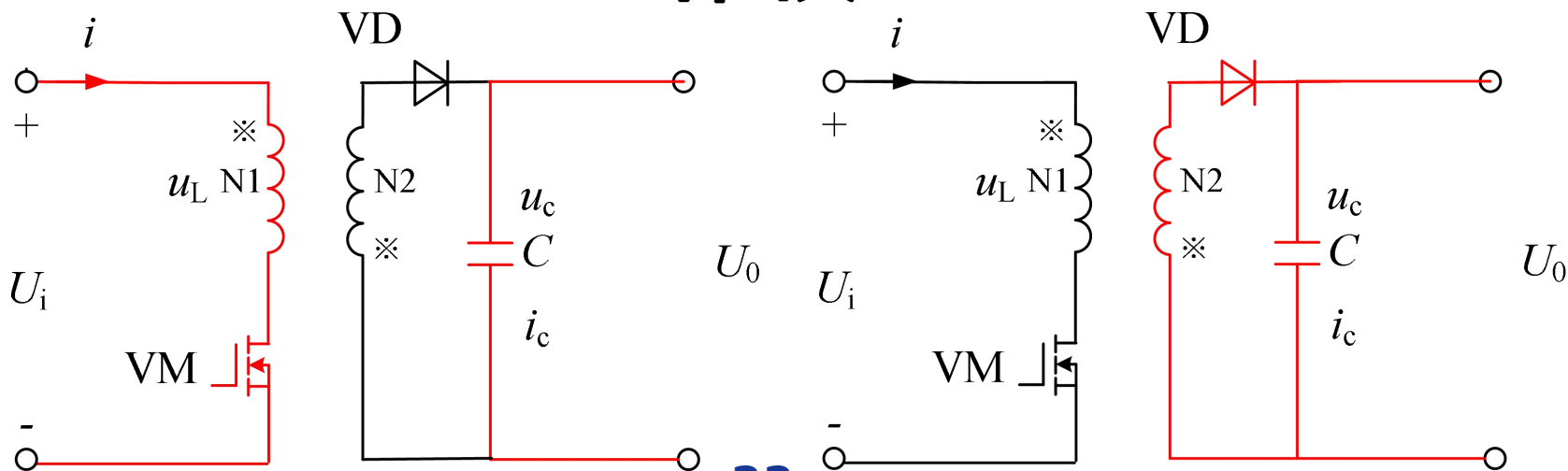
单端反激式 (**flyback**)

带隔离的DC-DC电路:单端反激式

电路拓扑

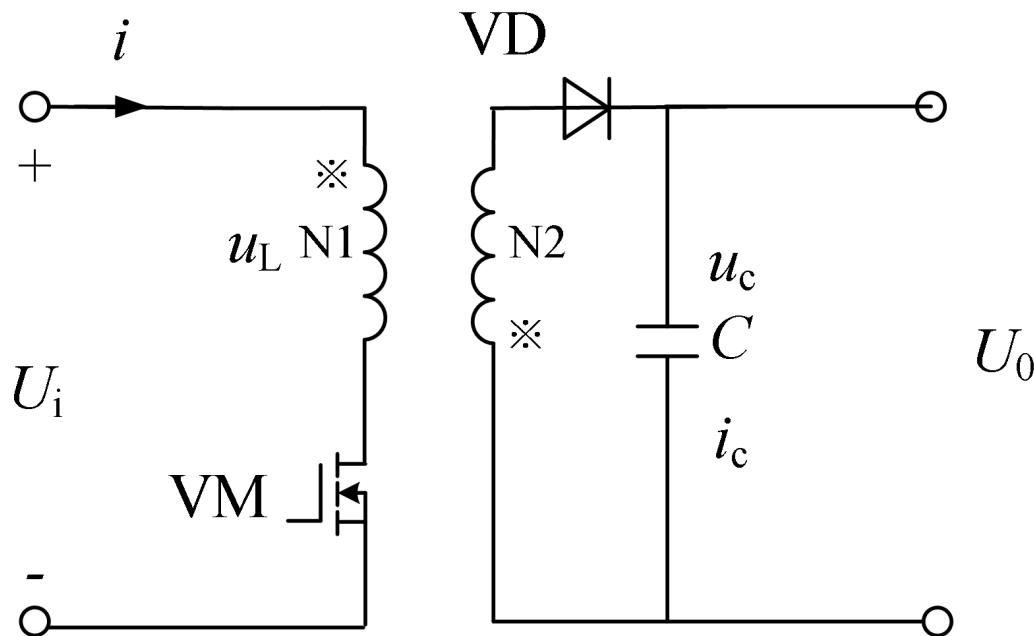


工作模态



带隔离的DC-DC电路:单端反激式

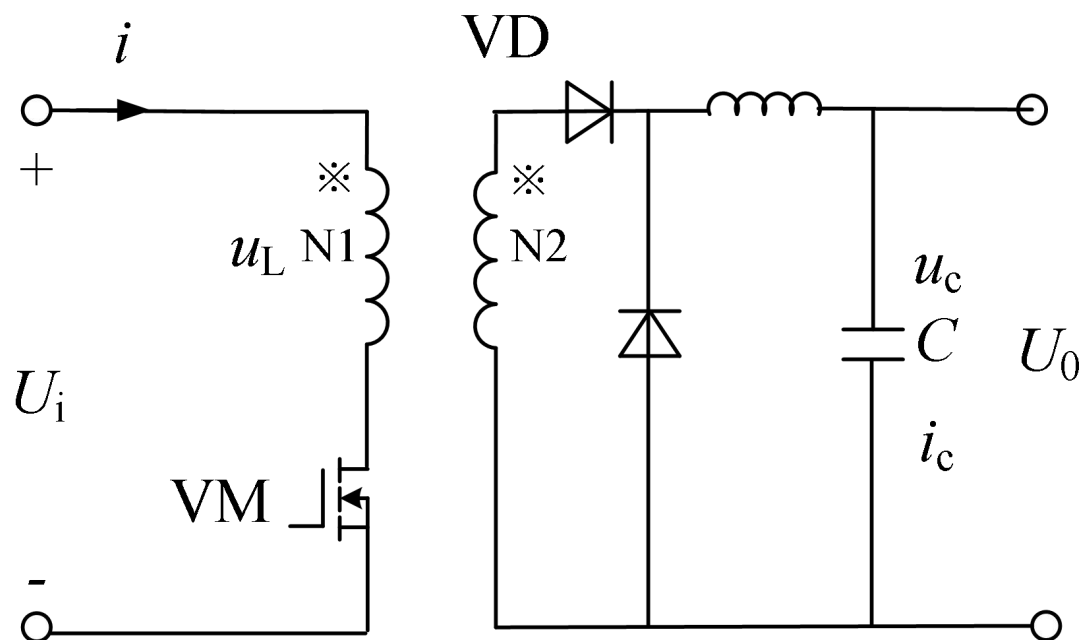
电路拓扑



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

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**）：

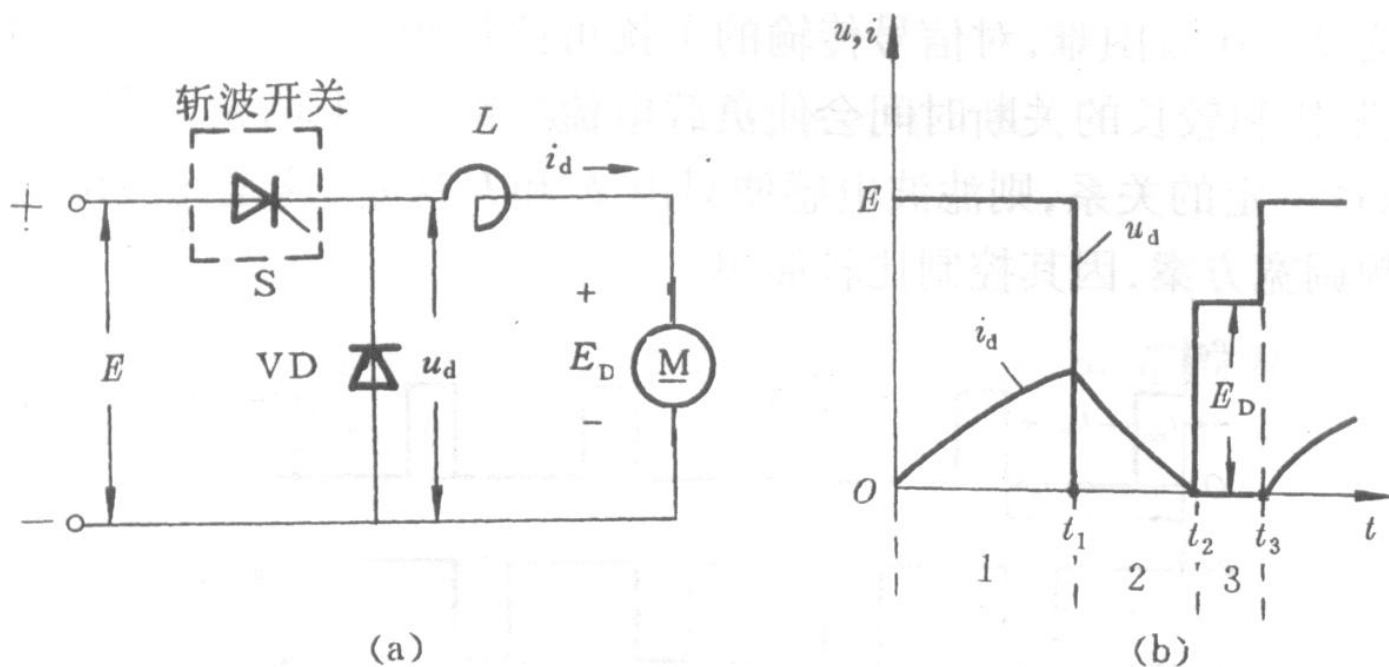
- 调速（加速、减速）。调节电枢电压。
- 再生制动（电能回馈到直流电源）
- 正反转（电压反向）

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

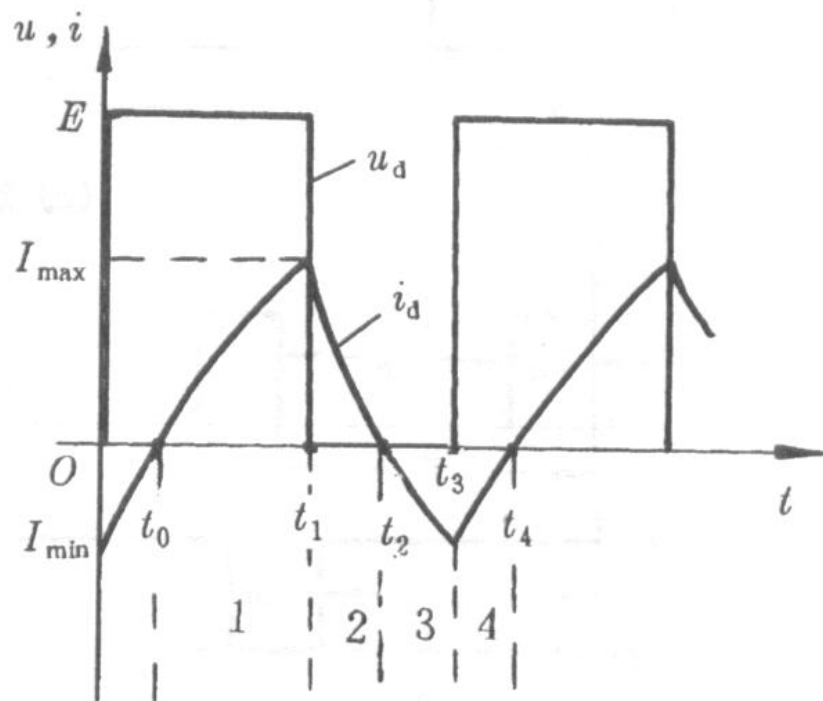
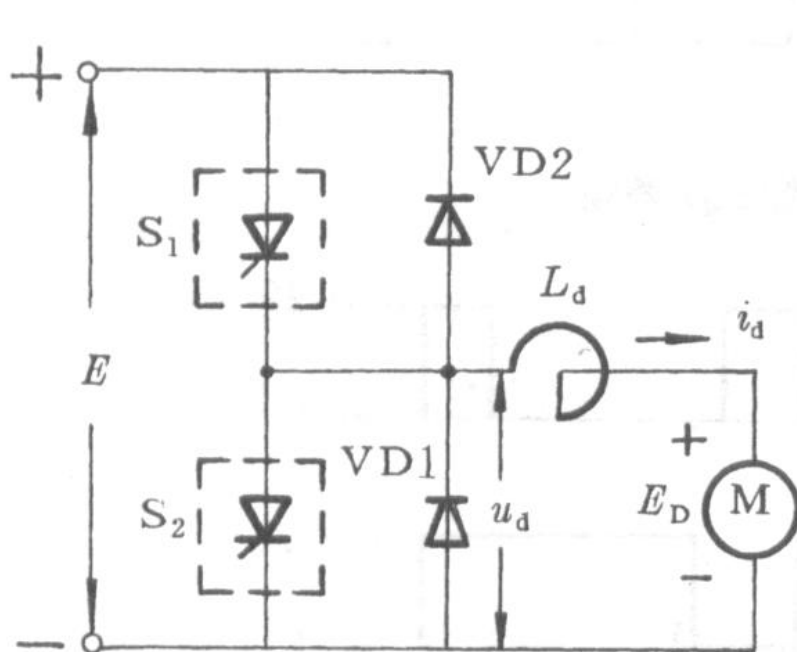
单象限斩波器（一般降压式斩波器）



- 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）。

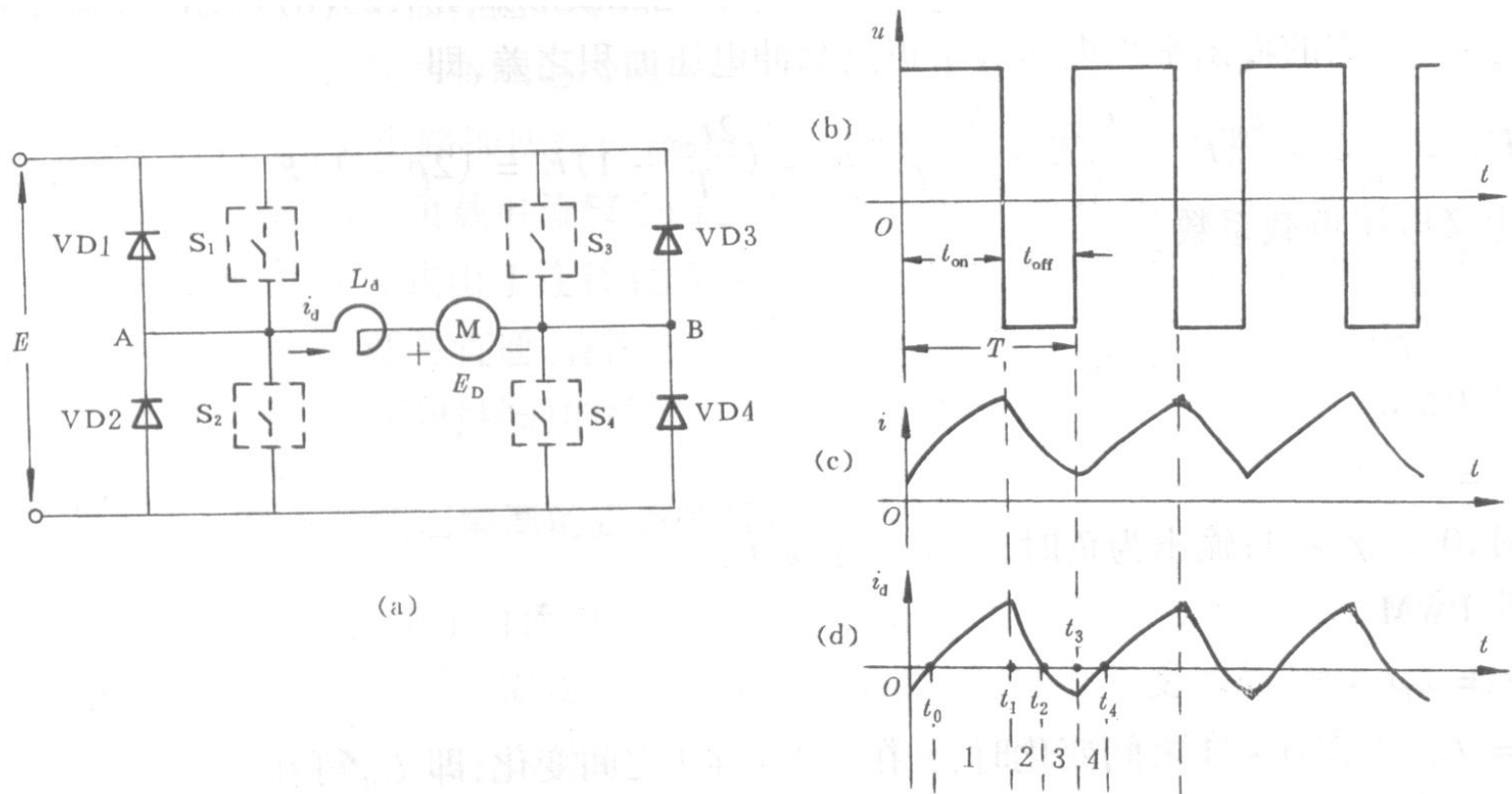
➤不可逆输出的直流变换电路：

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）。

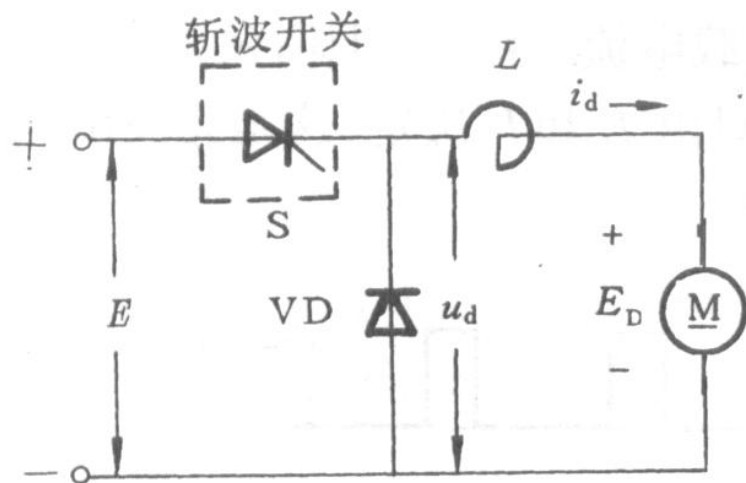
6.3.3 四象限斩波器



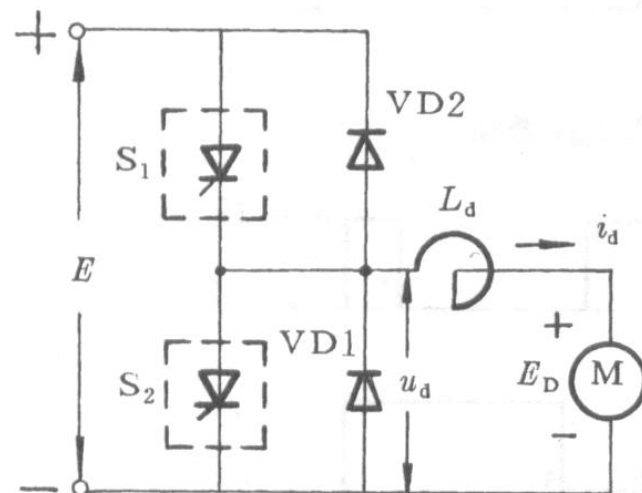
可实现电机的正反转和电动制动状态。

三种斩波器

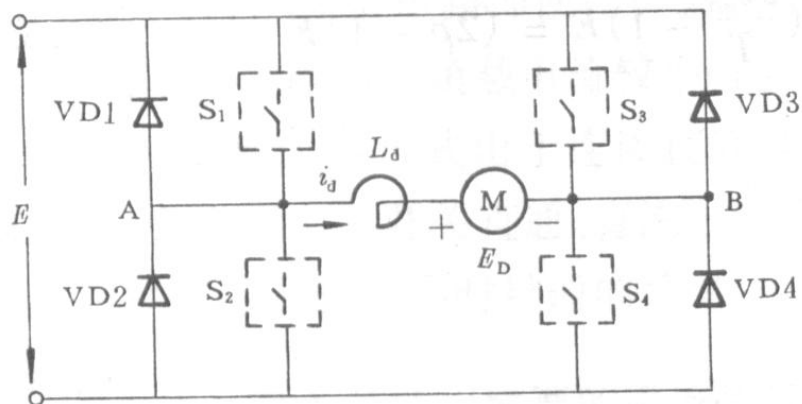
单象限斩波器



两象限斩波器



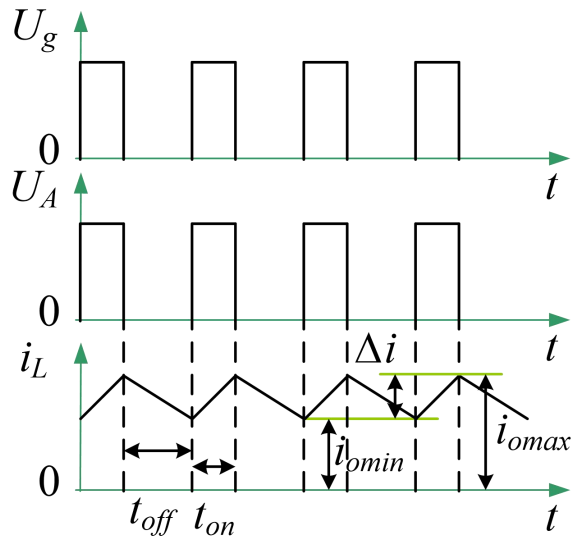
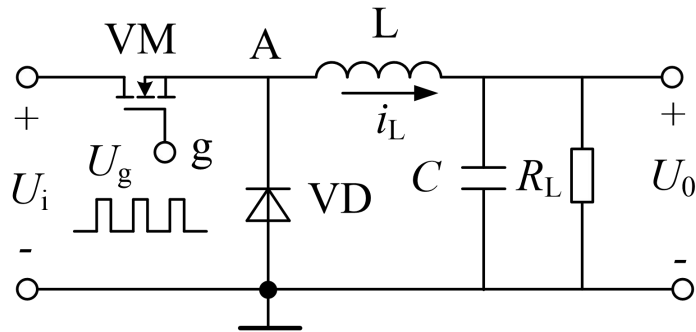
四象限斩波器



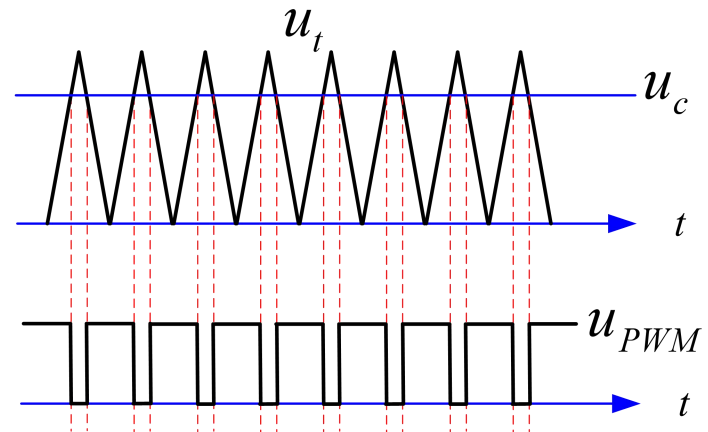
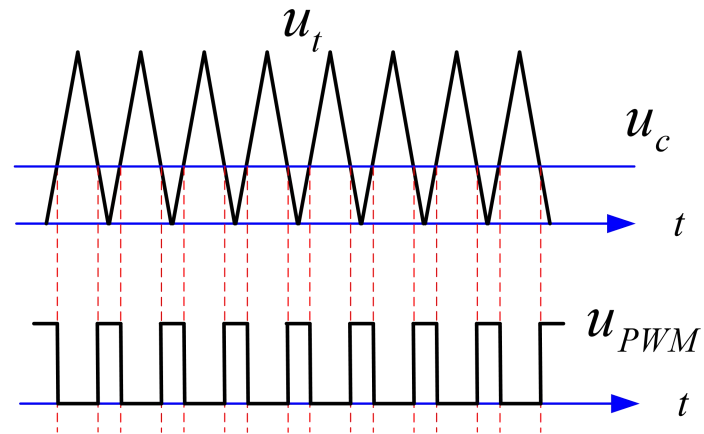
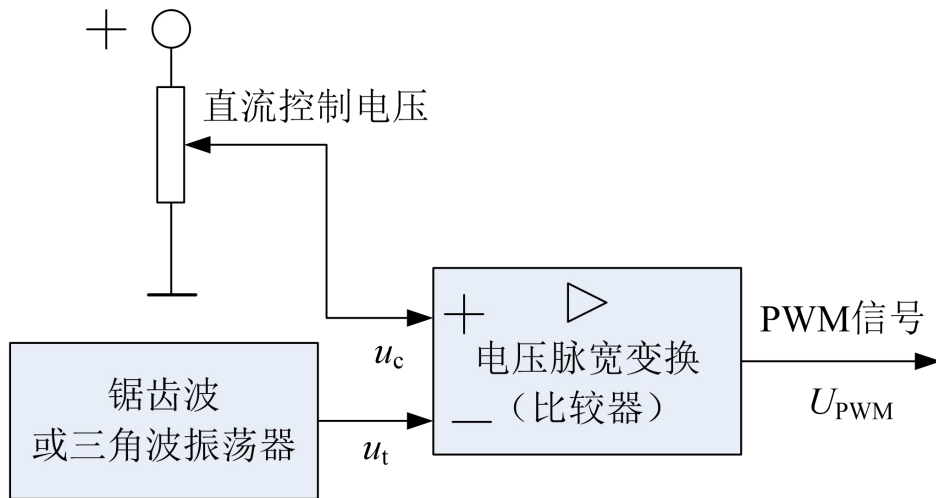
6.5 直流PWM的控制

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

