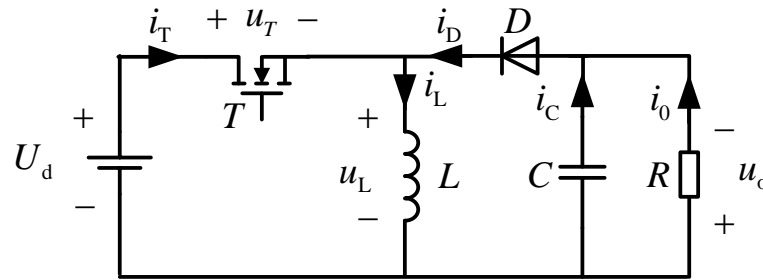
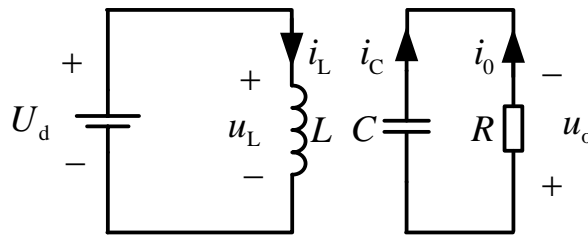


2.4 降压-升压式变换电路(Buck-Boost电路)

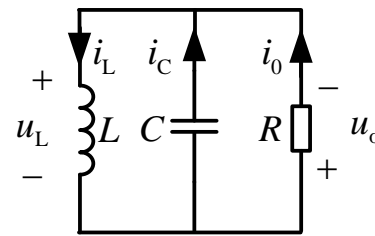
Buck-Boost电路示于图2.26(a)，因为其输出电压平均值 U_0 可以大于也可以小于输入电压 U_d ，它是一种升降压斩波电路。



(a)



(b)



(c)

(a) Buck-Boost电路

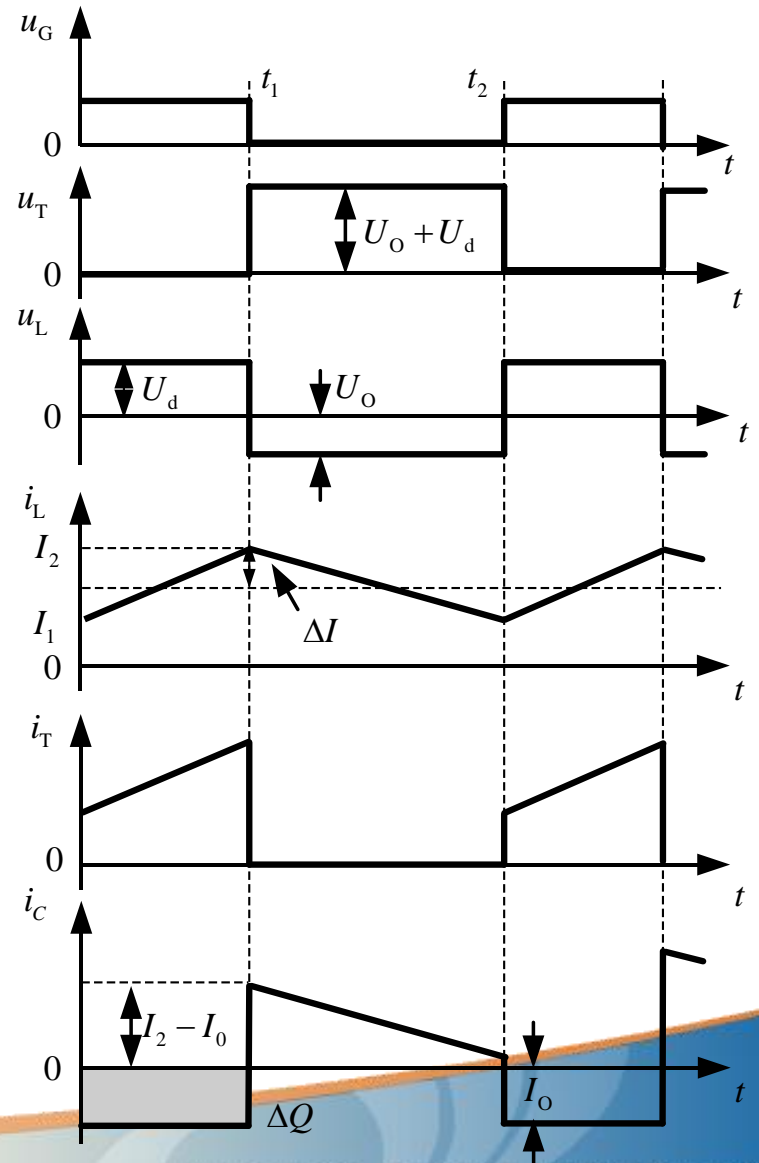
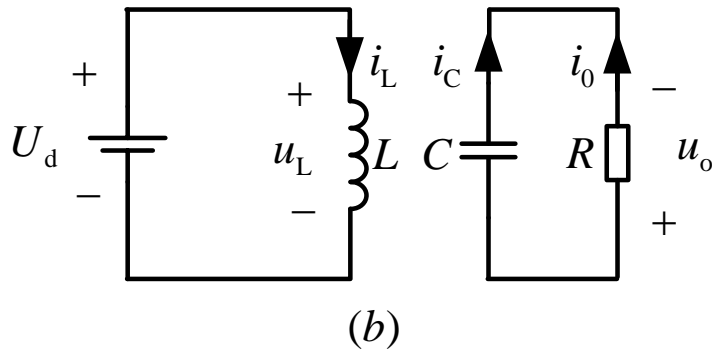
(b) 晶体管T导通时的等效电路 (c) 晶体管T关断时的等效电路

2.4 降压-升压式变换电路(Buck-Boost电路)

电感电流连续条件下的波形如右图所示。

(1) 晶体管T导通工作模式 ($0 \leq t \leq t_1 = DT_s$)

$$U_d = L \frac{I_2 - I_1}{DT_s} = L \frac{2\Delta I}{DT_s} \quad \Delta I = \frac{U_d DT_s}{2L}$$



2.4 降压-升压式变换电路 (Buck-Boost电路)

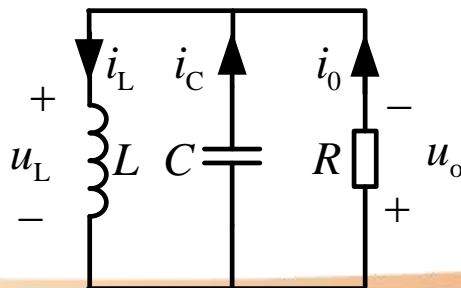
电感电流连续条件下的波形如右图所示。

(2) 二极管D导通工作模式 ($t_1 \leq t \leq t_2 = T_s$)

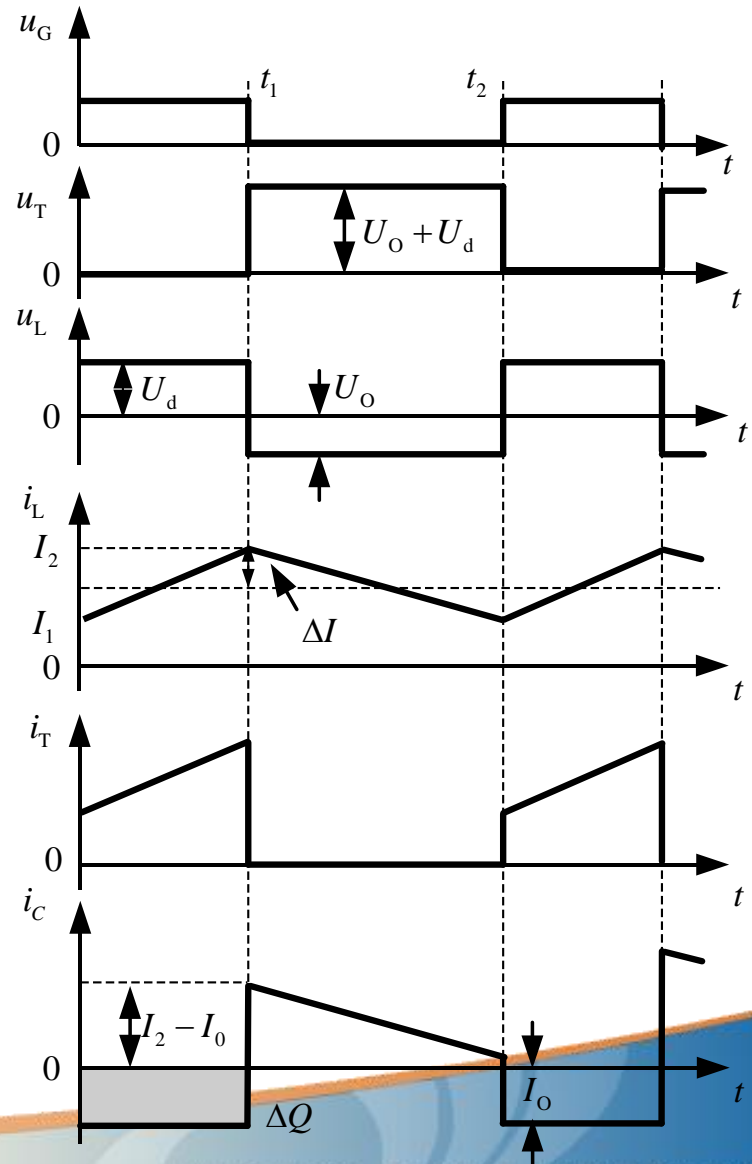
$$U_0 = L \frac{2\Delta I}{T_s - DT_s} \quad \Delta I = \frac{T_s(1-D)U_0}{2L}$$

由 (1) (2) 可得: $\Delta I = \frac{U_d DT_s}{2L} = \frac{U_0 T_s (1-D)}{2L}$

求得 $U_0 = \frac{DU_d}{1-D}$



(c)



2.4 降压-升压式变换电路 (Buck-Boost电路)

设Buck-Boost电路中除负载外
没有损耗，可得输入平均电流为：

$$I = \frac{DI_O}{1-D}$$

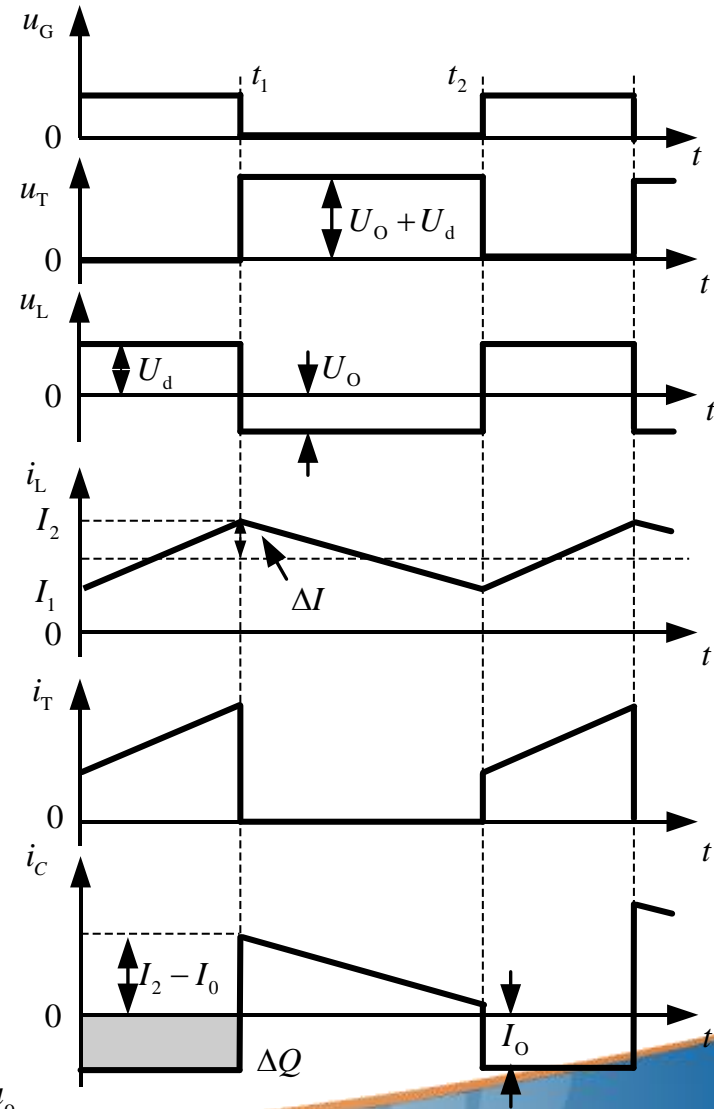
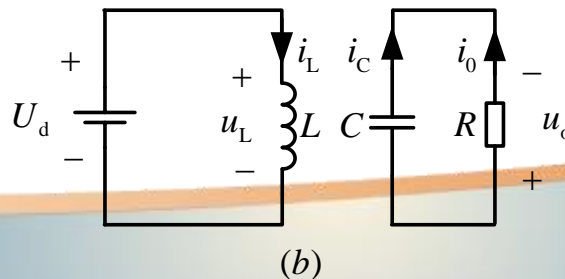
可得电感电流脉动量：

$$\Delta I = \frac{U_d DT_S}{2L}$$

电容电压的脉动量为

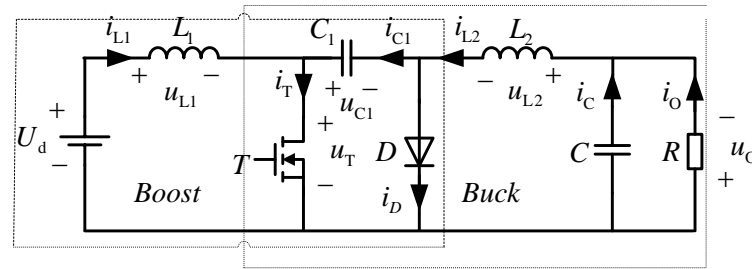
$$\Delta U_C = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} i_c dt = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} I_O dt = \frac{I_O t_1}{C}$$

$$\Delta U_C = \frac{I_O DT_S}{C}$$

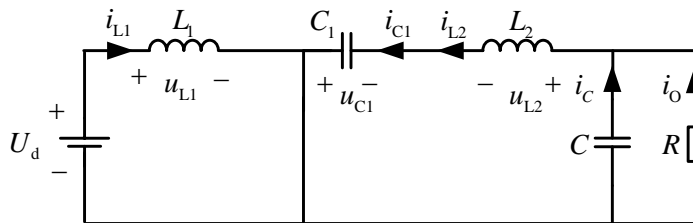


2.5 升压-降压式变换电路 (Cuk电路)

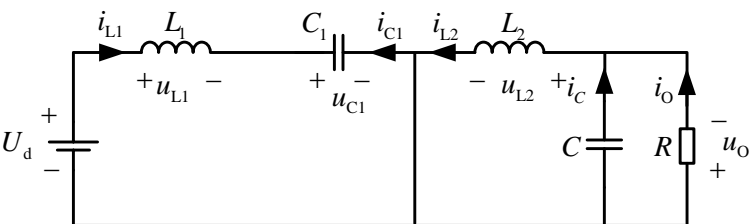
Cuk电路，其输出电压平均值 U_o 可以大于也可以小于输入电压 U_d ，它也是一种升降压斩波电路。可以看作是Buck电路和Boost电路的组合。保持了Buck电路输出电流连续和Boost电路输入电流连续的优点。与Buck-Boost电路相比，Cuk电路的输入和输出电流连续，具有输出电压脉动小和对输入电源影响小的特点。



(a)



(b)

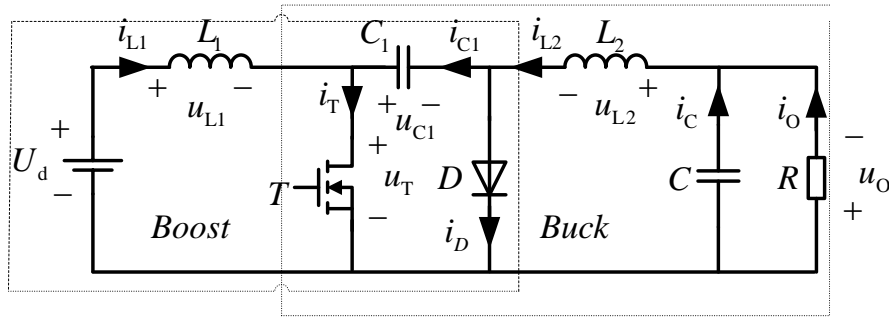


(c)

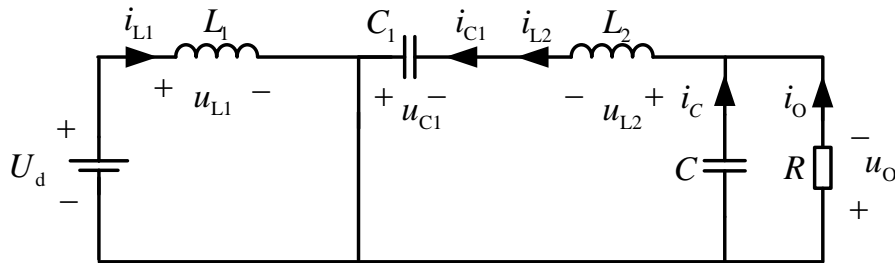
(a) Cuk电路 (b) 晶体管T导通时的等效电路

(c) 晶体管T关断时的等效电路

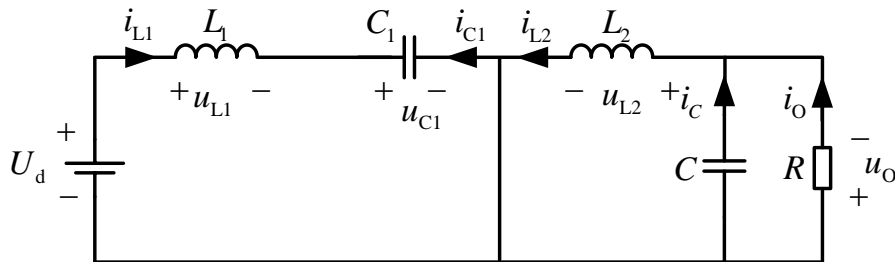
2.5 升压-降压式变换电路 (Cuk电路)



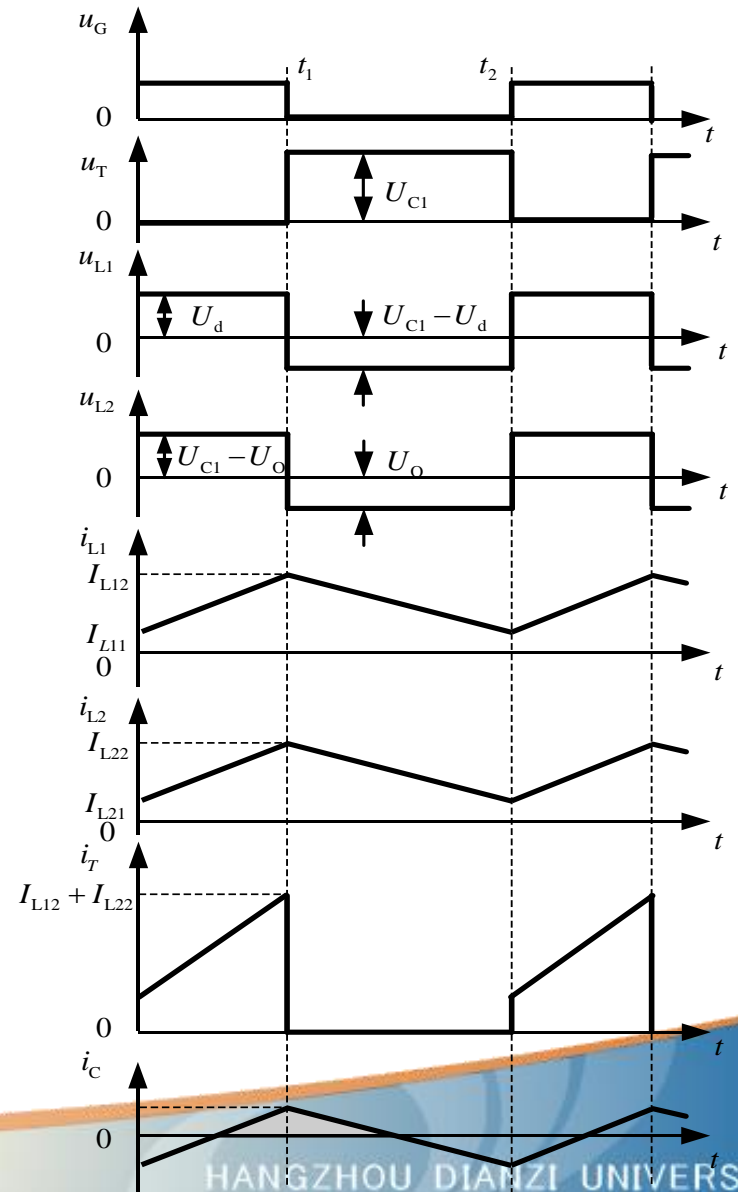
(a)



(b)



(c)



(a) Cuk电路 (b) 晶体管T导通时的等效电路
(c) 晶体管T关断时的等效电路

2.5 升压-降压式变换电路 (Cuk电路)

电感电流连续条件下的波形如右图所示。

(1) 晶体管T导通工作模式 ($0 \leq t \leq t_1 = DT_S$)

对电感 L_1 有:

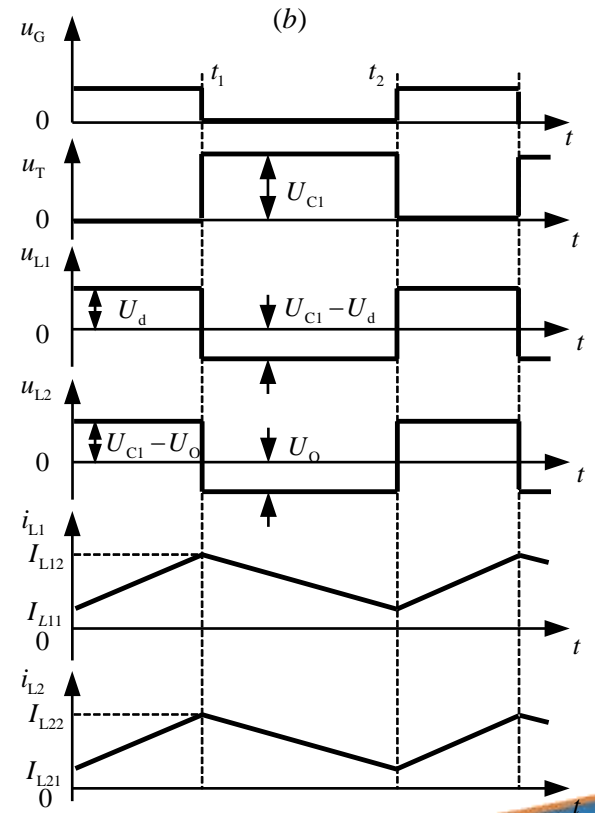
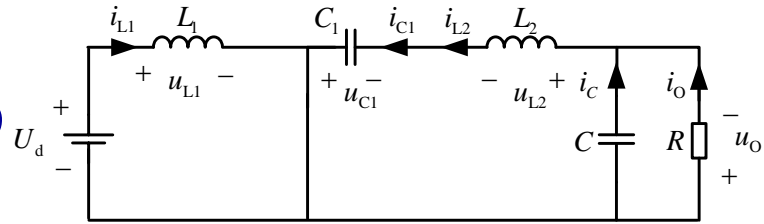
$$U_d = L_1 \frac{I_{L12} - I_{L11}}{t_1} = L_1 \frac{2\Delta I_1}{t_1}$$

$$\Delta I_1 = \frac{U_d DT_S}{2L_1}$$

对电感 L_2 有:

$$U_{C1} - U_O = L_2 \frac{I_{L22} - I_{L21}}{t_1} = L_2 \frac{2\Delta I_2}{t_1}$$

$$\Delta I_2 = \frac{(U_{C1} - U_O) DT_S}{2L_2}$$



2.5 升压-降压式变换电路 (Cuk电路)

(2) 二极管D导通工作模式 ($t_1 \leq t \leq t_2 = T_S$)

对电感 L_1 有:

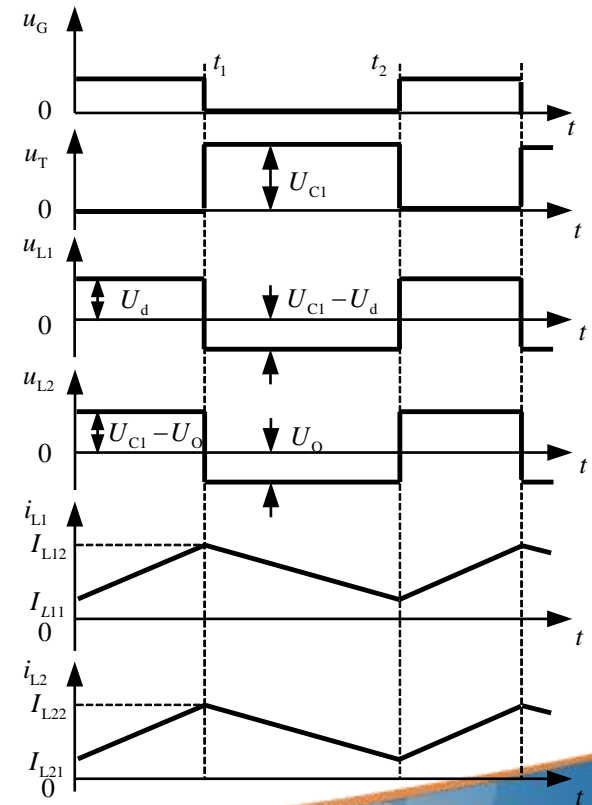
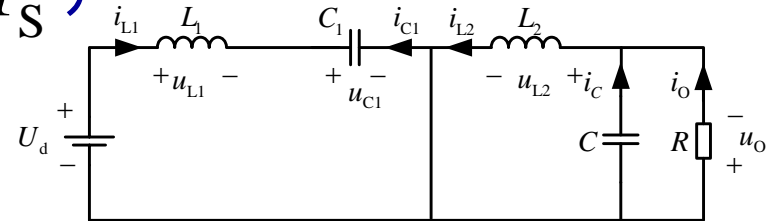
$$U_{C1} - U_d = L_1 \frac{I_{L12} - I_{L11}}{(t_2 - t_1)} = L_1 \frac{2\Delta I_1}{(1-D)T_S}$$

$$\Delta I_1 = \frac{(1-D)T_S (U_{C1} - U_d)}{2L_1}$$

对电感 L_2 有:

$$U_O = L_2 \frac{I_{L22} - I_{L21}}{t_2 - t_1} = L_2 \frac{2\Delta I_2}{(1-D)T_S}$$

$$\Delta I_2 = \frac{U_O (1-D)T_S}{2L_2}$$



2.5 升压-降压式变换电路 (Cuk电路)

晶体管T导通工作模式

$$\Delta I_1 = \frac{U_d D T_s}{2L_1}$$

$$\Delta I_2 = \frac{(U_{C1} - U_O) D T_s}{2L_2}$$

二极管D导通工作模式

$$\Delta I_1 = \frac{(1-D) T_s (U_{C1} - U_d)}{2L_1}$$

$$\Delta I_2 = \frac{U_O (1-D) T_s}{2L_2}$$

稳态平衡时，一个开关周期中电感电流净变化量为零。
由上述求得，

$$U_O = \frac{D U_d}{1-D}$$

表明，Cuk电路是一个升降压斩波电路。当D从零趋近于1时， U_O 从零变到任意大。

2.5 升压-降压式变换电路 (Cuk电路)

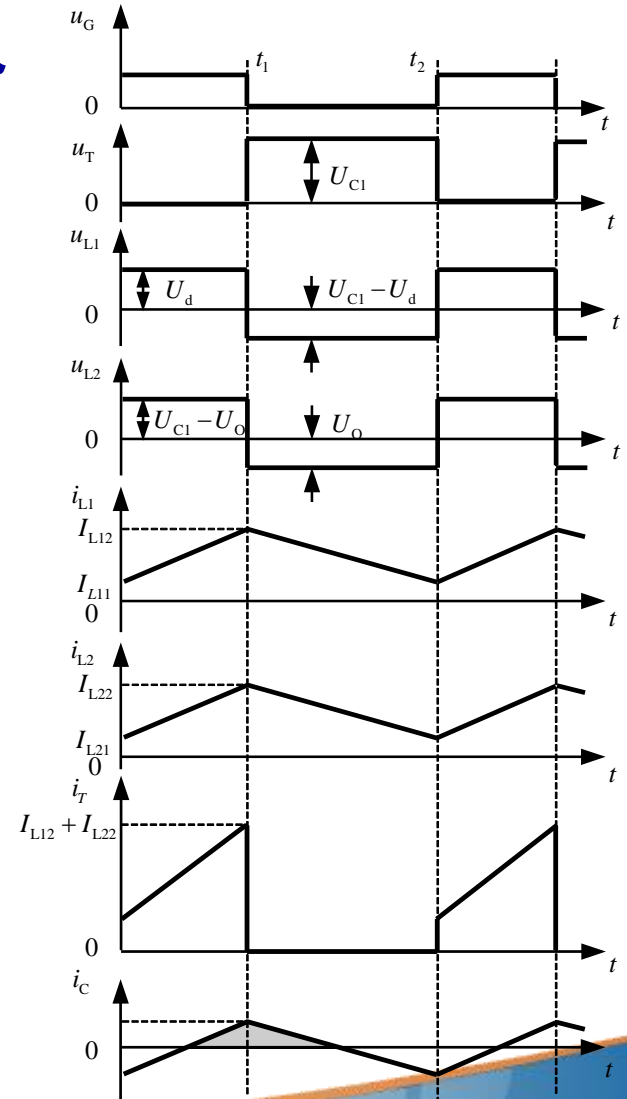
设Cuk电路中除负载外没有损耗，可得输入平均电流为：

$$I = \frac{DI_o}{1-D}$$

电感 L_1 电流脉动量： $\Delta I_1 = \frac{U_d D}{2f_s L_1}$

电感 L_2 电流脉动量： $\Delta I_2 = \frac{U_o(1-D)}{2f_s L_2} = \frac{U_d D}{2f_s L_2}$

电容 C_1 电压的脉动量为： $\Delta U_{C1} = \frac{I_o D}{2f_s C_1}$



2.5 升压-降压式变换电路 (Cuk电路)

因为 $i_{L2} = i_c + i_o$ ，若假定负载电流 i_o 的脉动很小而可忽略，则

$\Delta i_{L2} = \Delta i_c$ 。因为电容电流一周期的平均值为零，那么在

$\frac{T_s}{2}$ 时间内，电容充电或放电的电荷量为

$$\Delta Q = \frac{\Delta I_2}{2} \cdot \frac{T_s}{2}$$

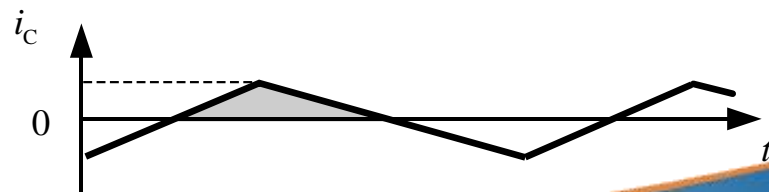
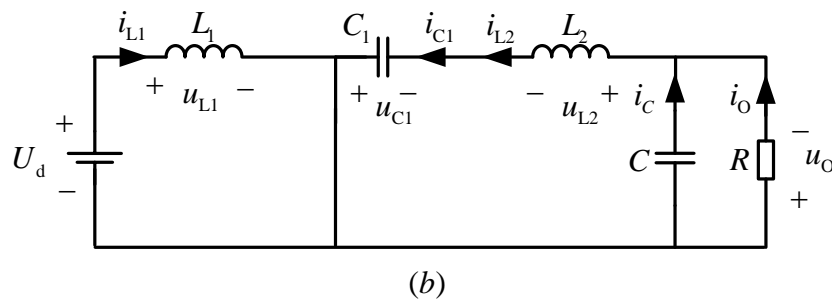
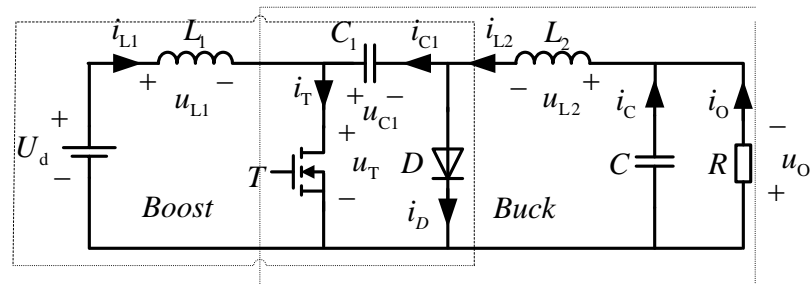
因此，电容C上电压峰-峰脉动值为

$$\Delta U_C = \frac{\Delta Q}{2C} = \frac{\Delta I_2}{8f_s C}$$

可解得

$$\Delta U_C = \frac{U_d D}{16L_2 C f_s^2}$$

根据 ΔI 、 ΔU_C 、 f 以及其他要求（输入和输出），依据上述公式，可大概地确定L和C值。



2.6 Sepic电路和Zeta电路

Sepic电路

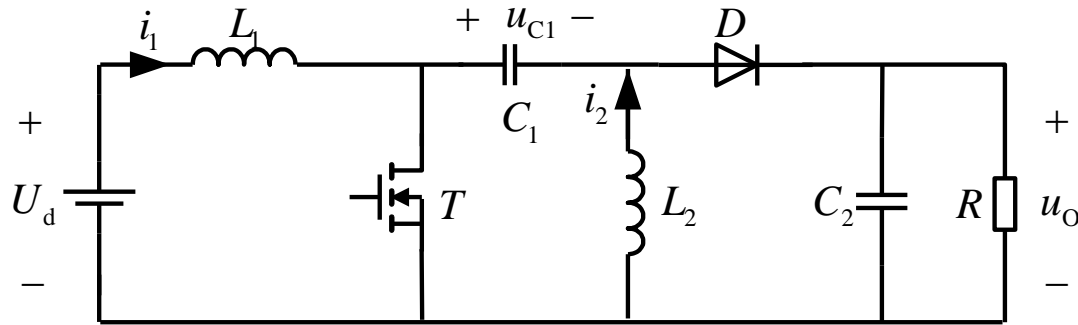


图2. 30给出了Sepic电路的原理图。当开关T导通时, 输入电源 U_d 经开关T给 L_1 充电, 同时 C_1 经开关T给 L_2 充电, L_1 和 L_2 储能。当开关T截止时, U_d 、 L_1 、 C_1 、 D 、负载(C_2 和 R)构成回路, U_d 和 L_1 既向负载供电, 也给 C_1 充电, 同时 L_2 经过D向负载回路释放能量。 Sepic电路的输入输出关系由下式给出:

$$U_O = \frac{D}{1-D} U_d$$

2.6 Sepic电路和Zeta电路

Zeta电路

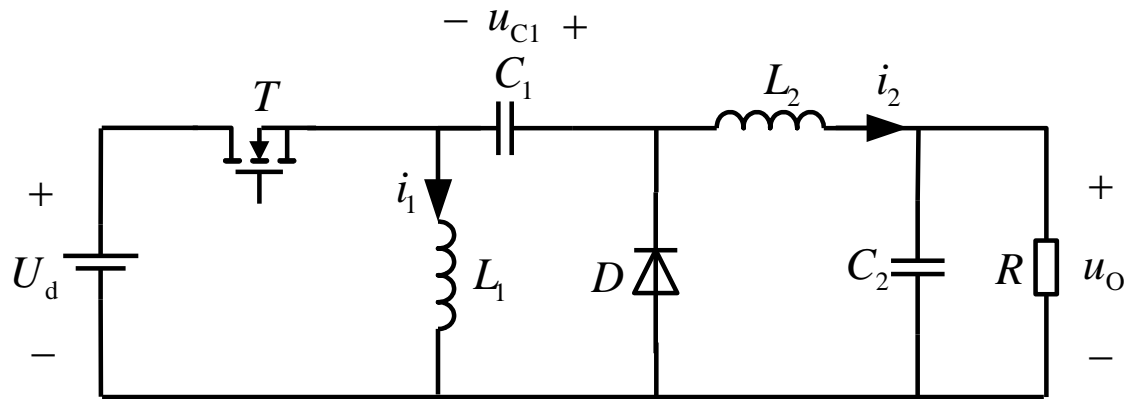
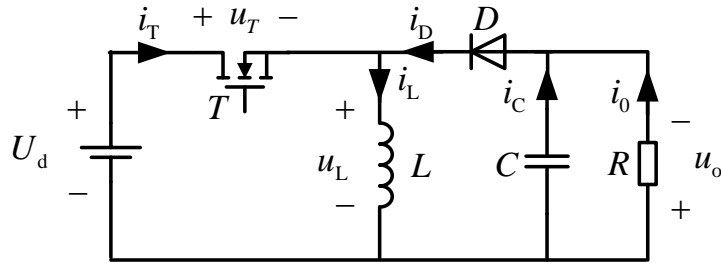


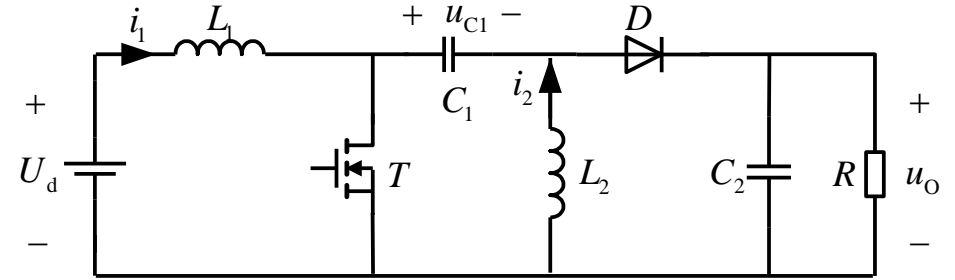
图2.31给出了Zeta电路的原理图。当开关T导通时, 电源 U_d 经过开关T给电感 L_1 储能, C_1 经过开关T放电并给电感 L_2 充电和给负载供电。当开关T截止时, L_1 经与 C_1 、 D 构成的回路, 给 C_1 充电, L_2 上的能量经 D 转移到负载上Zeta电路的输入输出关系为:

$$U_O = \frac{D}{1-D} U_d$$

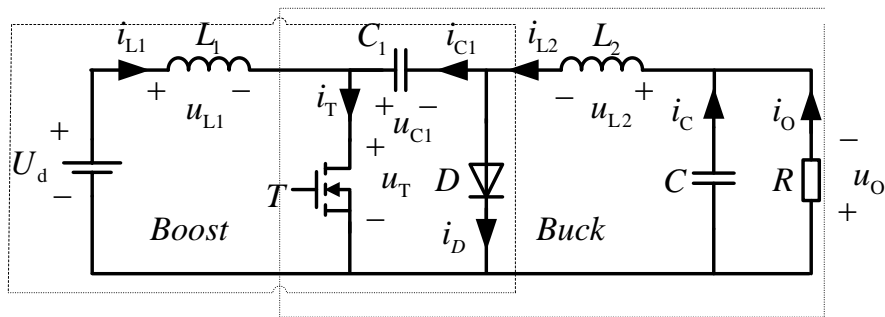
2.6 Sepic电路和Zeta电路



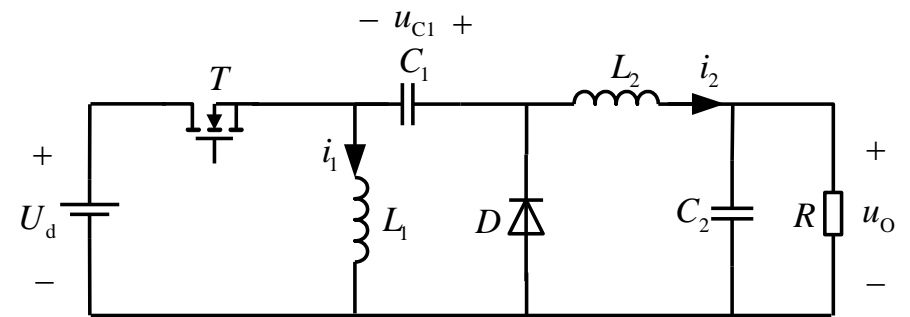
Buck—Boost电路



Sepic电路

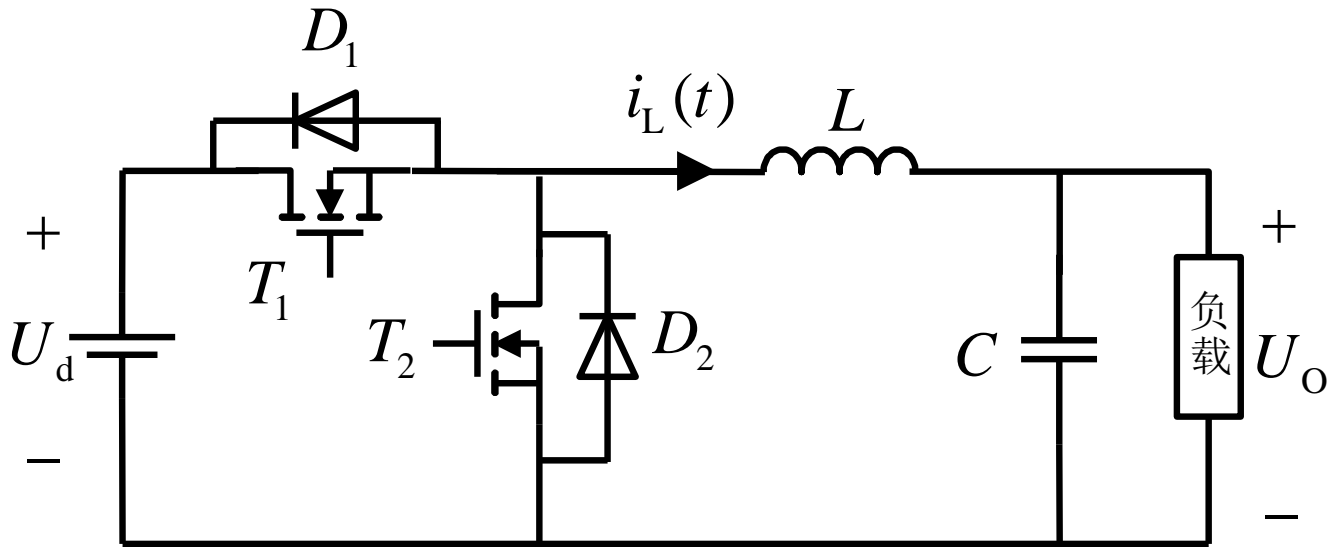


Cuk电路



Zeta电路

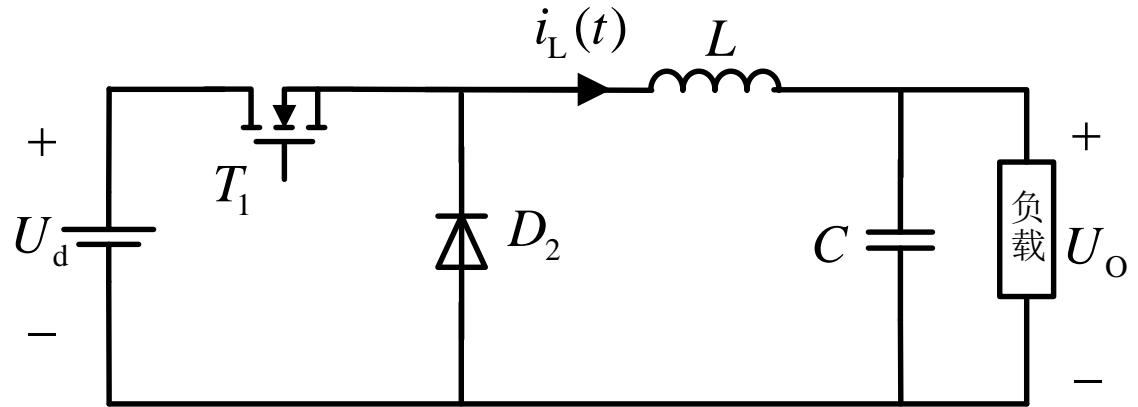
2.7 双向直流一直流变换电路



双向直流-直流变换电路的一种典型构成如图2.32所示。这种直流直流变换电路的能量可以双向流动。因为它具有将负载的能量馈送给电源的能力,在电动汽车等需要回馈能力的场合得到应用。

2.7 双向直流一直流变换电路

能量由电源 U_d 供给负载时, 器件 T_2 断开, 由器件 T_1 和二极管 D_2 起着降压变换器 (Buck) 的作用, 电流 i_L 方向与图2. 32所示一致。



负载侧向电源侧馈送能量时, 器件 T_1 断开, 由器件 T_2 和二极管 D_1 起着升压变换器 (Boost) 的作用, 电流 i_L 方向与图2. 32所示相反。通常要求保持 $U_o < U_d$ 的关系。

