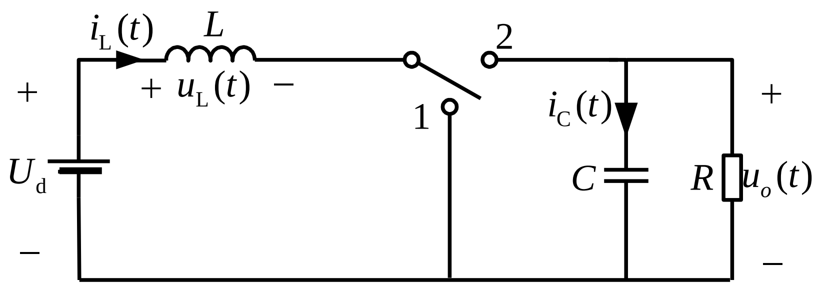
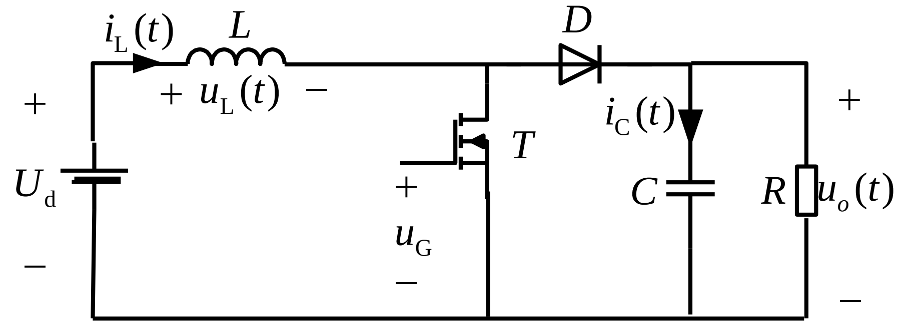
2.3 直流升压变换电路（Boost电路）

➢ Boost变换器是另一DC-DC变换电路，能产生高于直流输入电压幅值的直流输出电压



（a）采用理想开关



（b）采用实际器件MOSFET和二极管

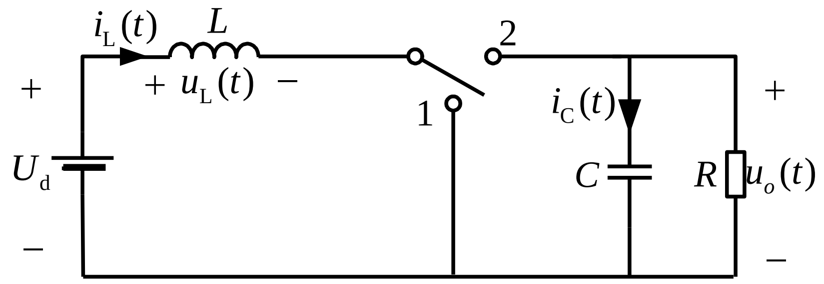
➢ Boost变换器电感电流连续时的工作情况

➢ Boost变换器电感电流断续时的工作情况

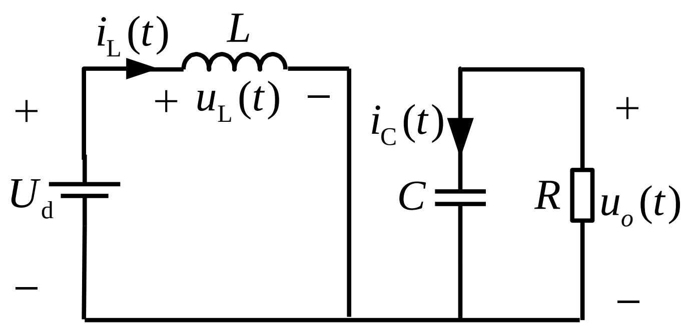
HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

2.3 直流升压变换电路（Boost电路）

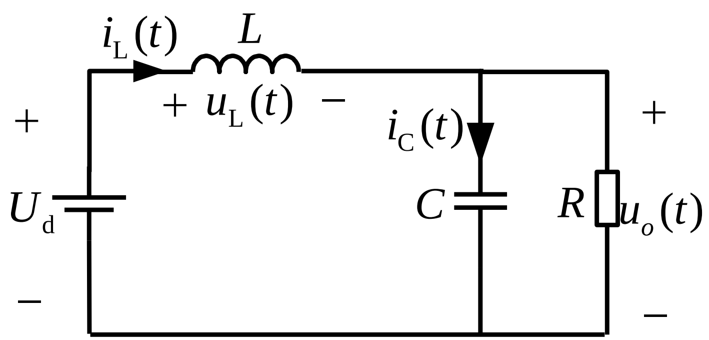
2.3.1 Boost变换器电感电流连续时的工作情况



（a）采用理想开关



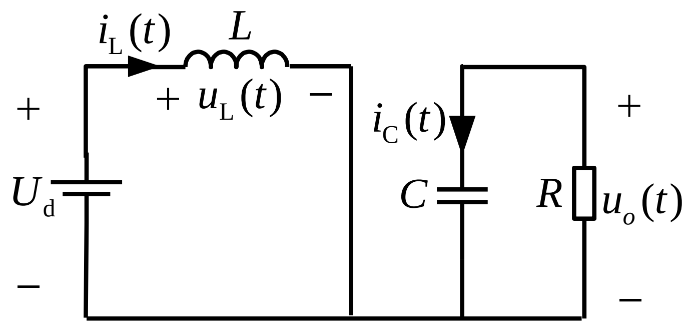
（a）开关置于1时



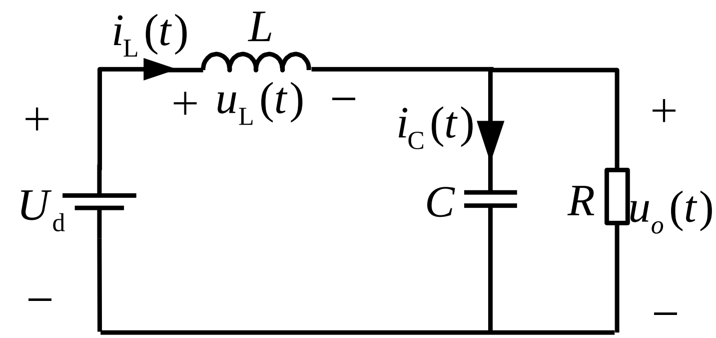
（b）开关置于2时

HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

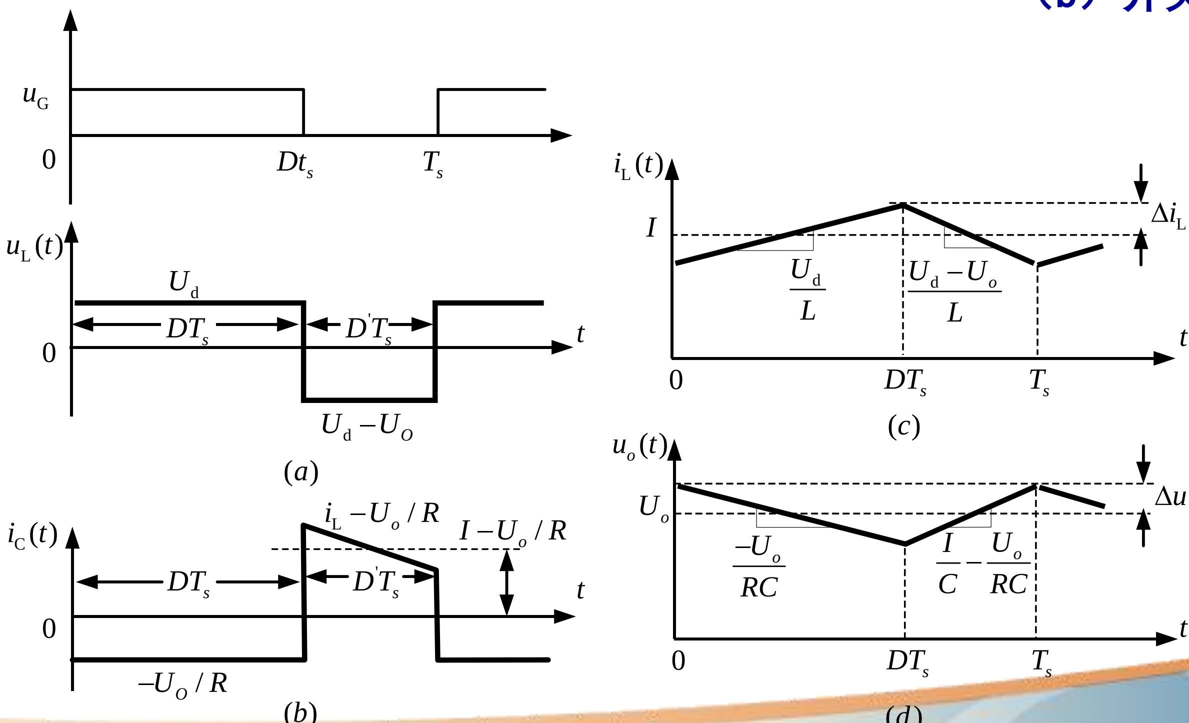
2.3 直流升压变换电路（Boost电路）



（a）开关置于1时



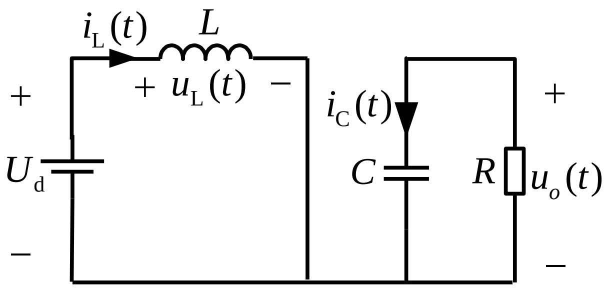
（b）开关置于2时



Boost 变换器电压和电流波形

HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

2.3 直流升压变换电路（Boost电路）



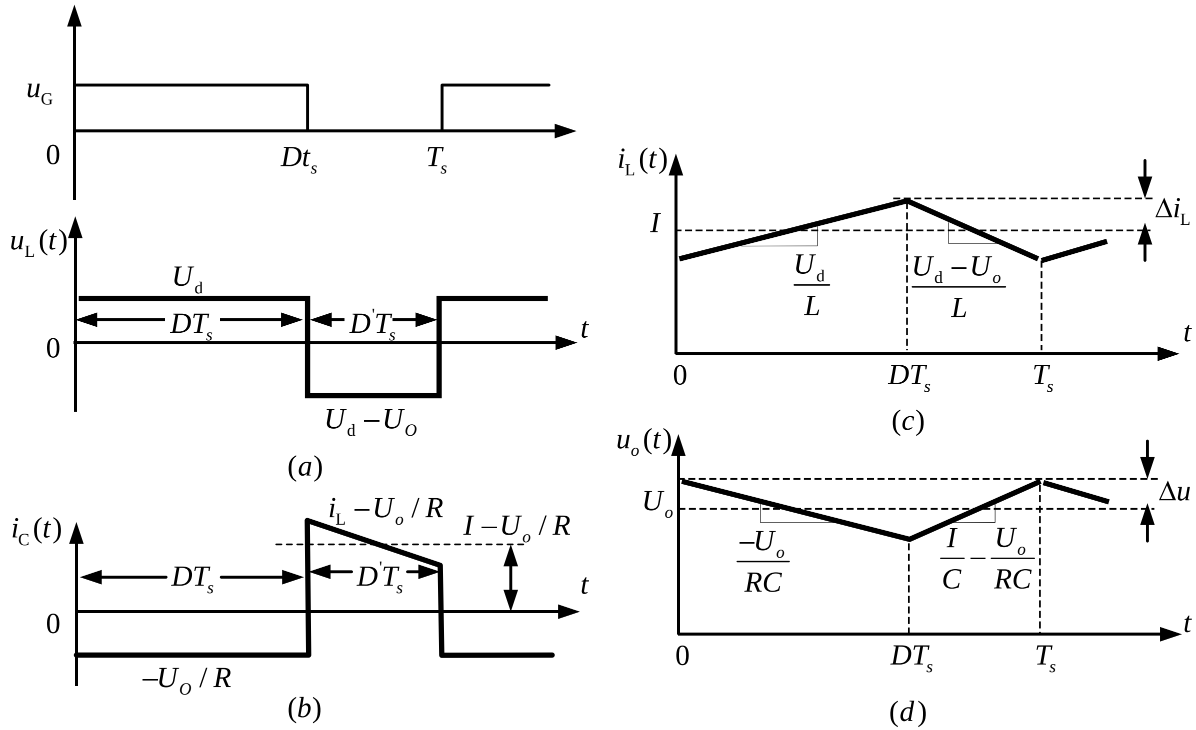
（a）开关置于1时

$$u_L = U_d$$

$$i_C = -\frac{u_o}{R}$$

采用小纹波近似 ：

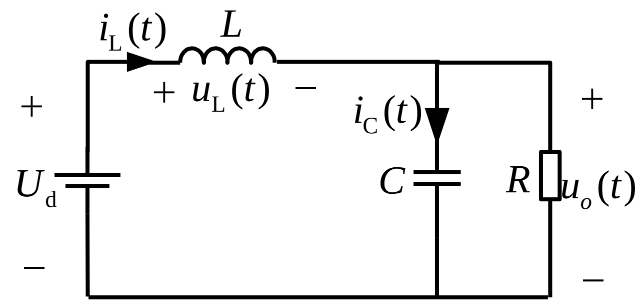
$$i_C = -\frac{U_o}{R}$$



Boost 变换器电压和电流波形

HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

2.3 直流升压变换电路（Boost电路）



（b）开关置于2时

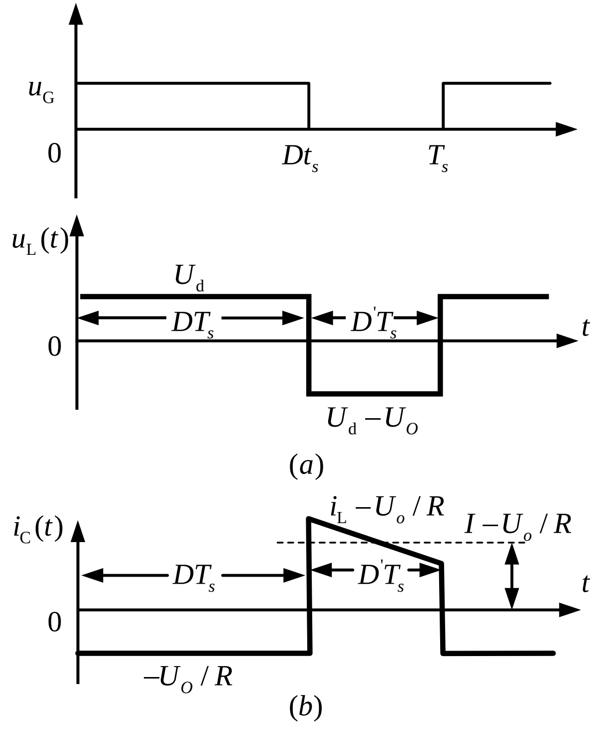
$$u_L = U_d - u_o$$

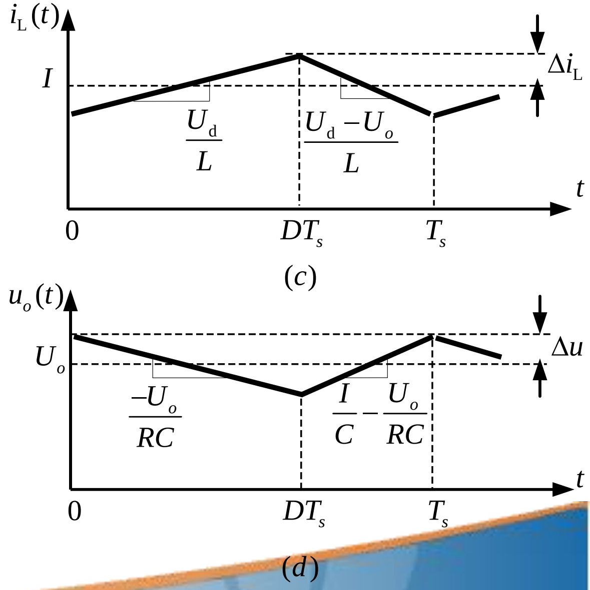
$$i_C = i_L - \frac{u_o}{R}$$

采用小纹波近似 ：

$$u_L = U_d - U_o$$

$$i_C = I - \frac{U_o}{R}$$



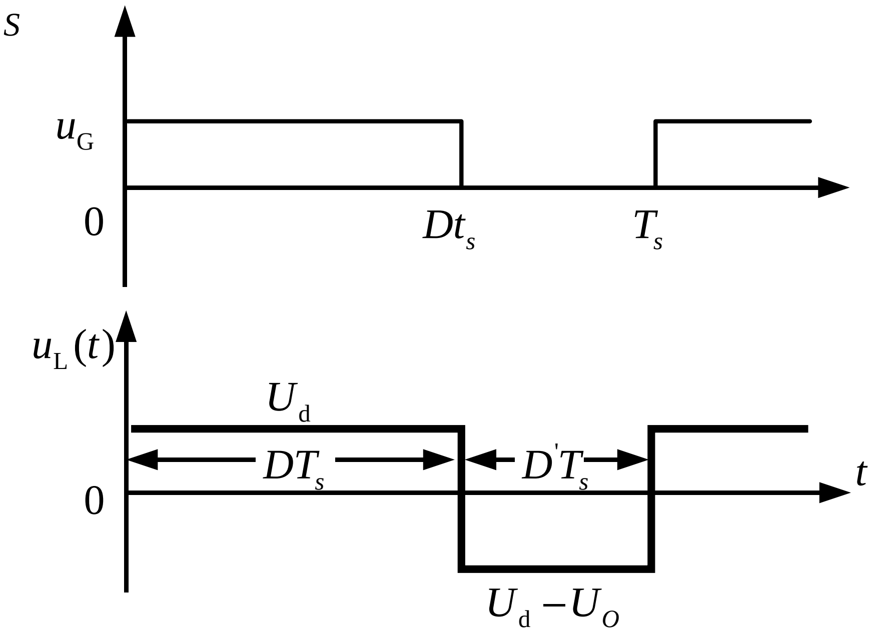


HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

Boost变换器的变换比

在一个开关周期，电感的总伏秒值为

$$\int_0^{T_S} u_L(t)\mathrm{d}t = (U_d) DT_S + (U_d - U_o) D'T_S$$



稳态时，电感伏秒平衡：

$$U_d(D+D') - U_o D' = 0$$

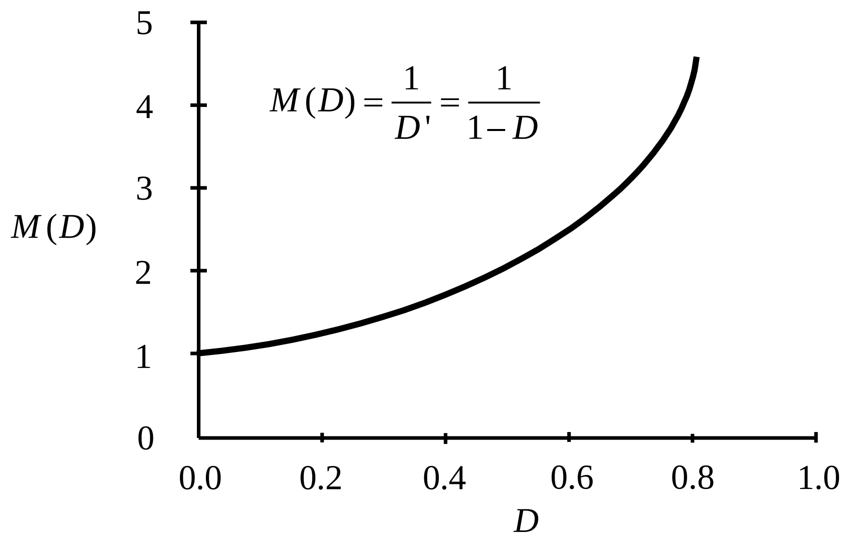
由于 $D + D' = 1$ 得 $U_o = \dfrac{U_d}{D'}$

Boost变换器的电压变换比为

$$M(D) = \frac{U_o}{U_d} = \frac{1}{D'} = \frac{1}{1-D}$$

2.3 直流升压变换电路（Boost电路）

Boost变换器的变换比



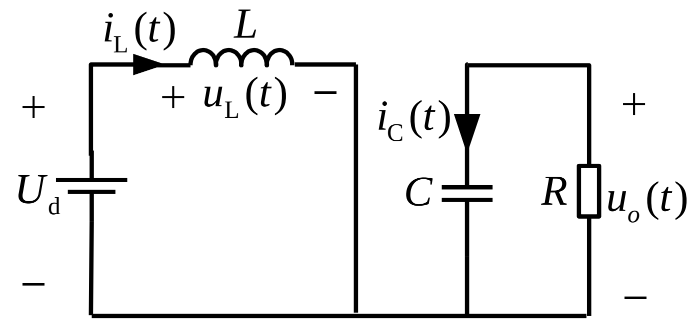
Boost变换器直流变换比M（D）

- 在D=0时U_0=Ud，当D增大时输出电压上升，在理想情况当D趋于1时输出电压趋于无穷大。所以，理想的 Boost变换器可以产生任何高于输入电压的输出电压。当然，实际的 Boost变换器的输出电压是有限的。

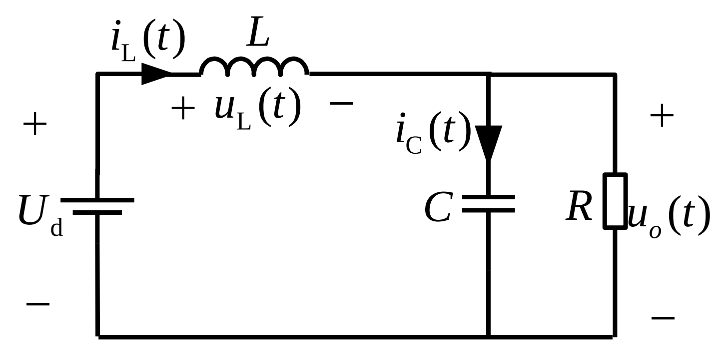
HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

电感电流的直流成分

- 应用电容安秒平衡原理可以推导电感电流的直流成分。在第一个子区间，电容提供负载电流，电容部分放电。在第二个子区间，电感电流提供负载电流，另外给电容再充电。经过一个开关周期，电容电荷的总改变量是图2.19(b)的ic(t)波形的积分



（a）开关置于1时

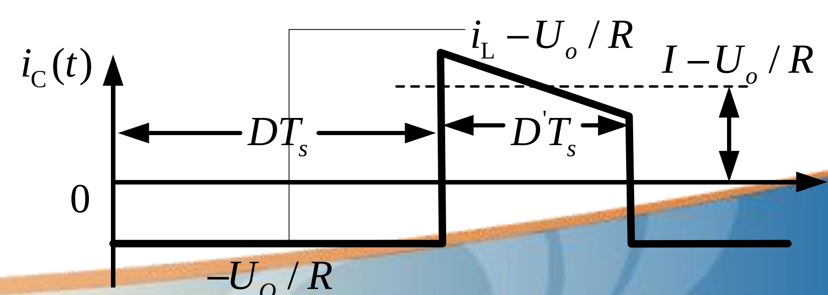


（b）开关置于2时

$$\int_0^{T_S} i_C(t)dt = \left(-\frac{U_o}{R}\right)DT_S + \left(I - \frac{U_o}{R}\right)D'T_S$$

应用电容充电平衡原理

$$-\frac{U_o}{R}(D+D') + ID' = 0$$

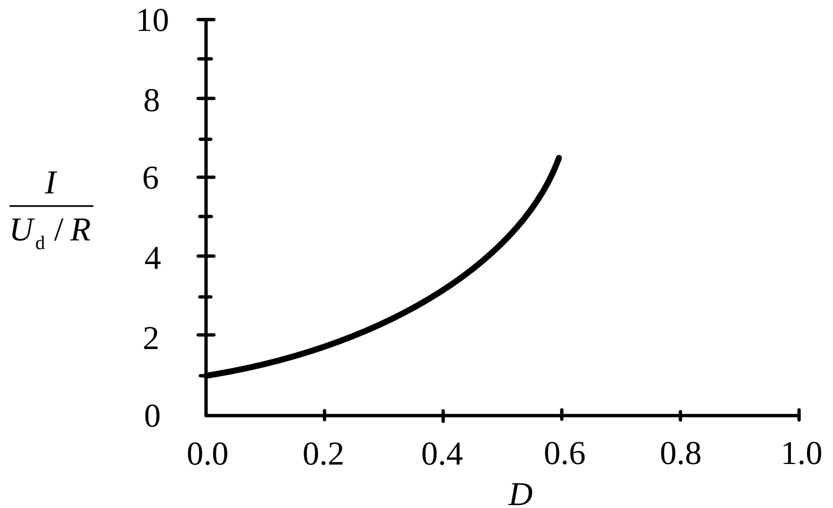


2.3　直流升压变换电路（Boost电路）

电感电流的直流成分

又由于 $D+D'=1$　　得　$I=\dfrac{U_o}{D'R}$　　$I=\dfrac{U_d}{D'^2R}$

- 当D趋于1时电感电流变得很大。此电感电流与 Boost变换器的直流输入电流一致，大于负载电流。若变换器元件为理想元件，则变换器的输入与输出功率相等。因为变换器输出电压高于输入电压，所以输入电流必然大于输出电流。



Boost变换器电感电流直流成分随占空比的变化情况

2.3 直流升压变换电路（Boost电路）

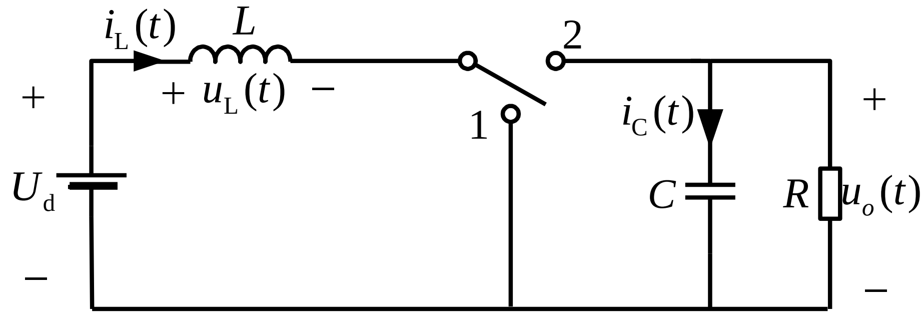
电感电流纹波

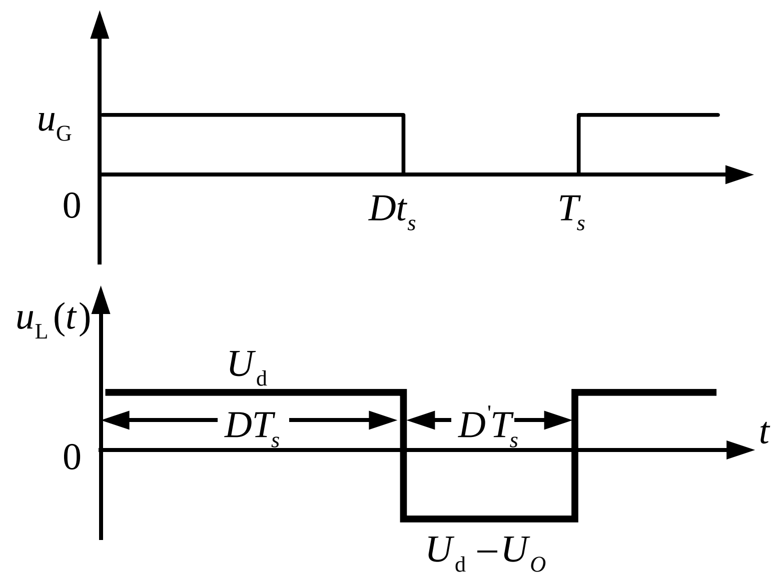
（a）开关置于1时，电感电流的斜率为

$$\frac{\mathrm{d}i_{\mathrm{L}}(t)}{\mathrm{d}t}=\frac{u_{\mathrm{L}}(t)}{L}=\frac{U_{\mathrm{d}}}{L}$$

（b）开关置于2时，电感电流的斜率为

$$\frac{\mathrm{d}i_{\mathrm{L}}(t)}{\mathrm{d}t}=\frac{u_{\mathrm{L}}(t)}{L}=\frac{U_{\mathrm{d}}-U_{o}}{L}$$





在第一个子区间电感电流的变化量2△i$_{\mathrm{L}}$等于斜率乘子区间的长度

$$2\Delta i_{\mathrm{L}}=\frac{U_{\mathrm{d}}}{L}DT_{S}$$

所以

$$\Delta i_{\mathrm{L}}=\frac{U_{\mathrm{d}}}{2L}DT_{S}$$

可用于给定△i$_{\mathrm{L}}$时选择电感值L

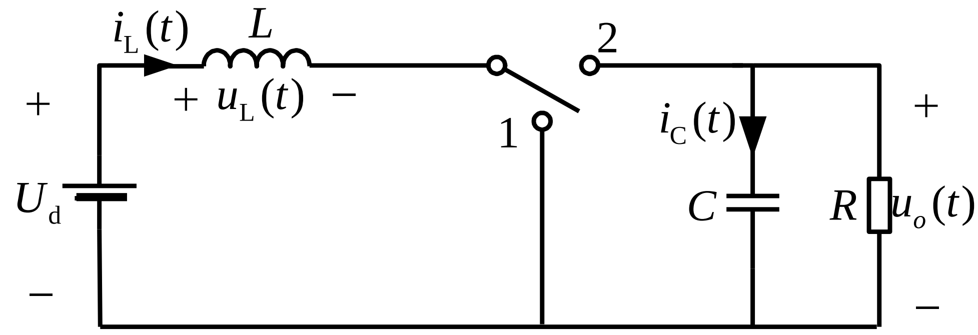
HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

2.3 直流升压变换电路（Boost电路）

输出电压纹波

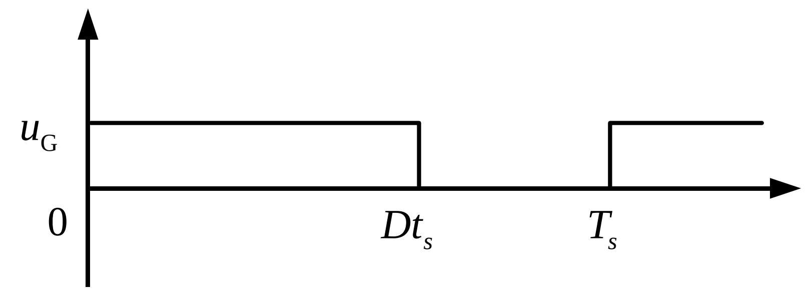
(a)开关置于1时，电容电压波形u(t)的斜率为

$$\frac{\mathrm{d}u_C(t)}{\mathrm{d}t}=\frac{i_C(t)}{C}=\frac{-U_o}{RC}$$



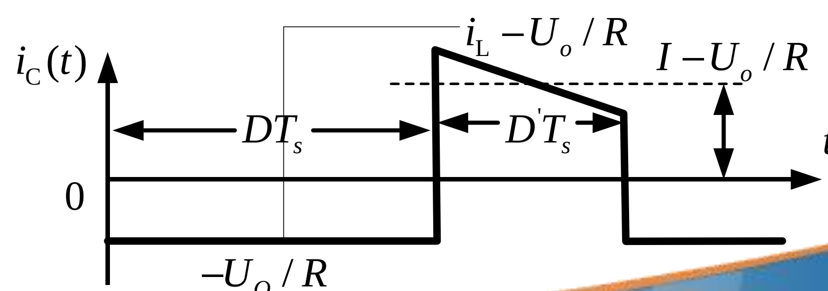
(b)开关置于2时，电容电压波形u(t)的斜率为

$$\frac{\mathrm{d}u_C(t)}{\mathrm{d}t}=\frac{i_C(t)}{C}=\frac{I}{C}-\frac{U_o}{RC}$$



在第一个子区间，电容电压的变化量$2\triangle u_0$等于斜率乘子区间长度，即

$$-2\Delta u_o=\frac{-U_o}{RC}DT_S$$

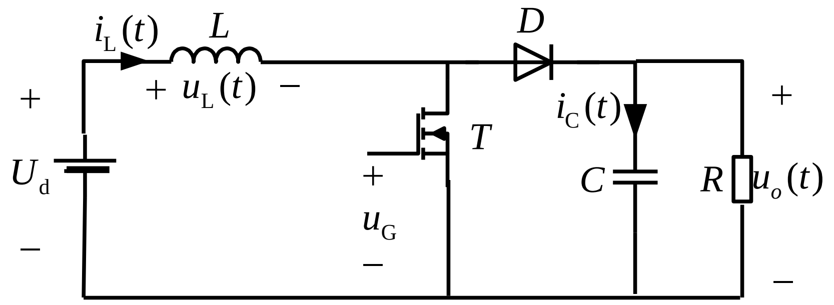


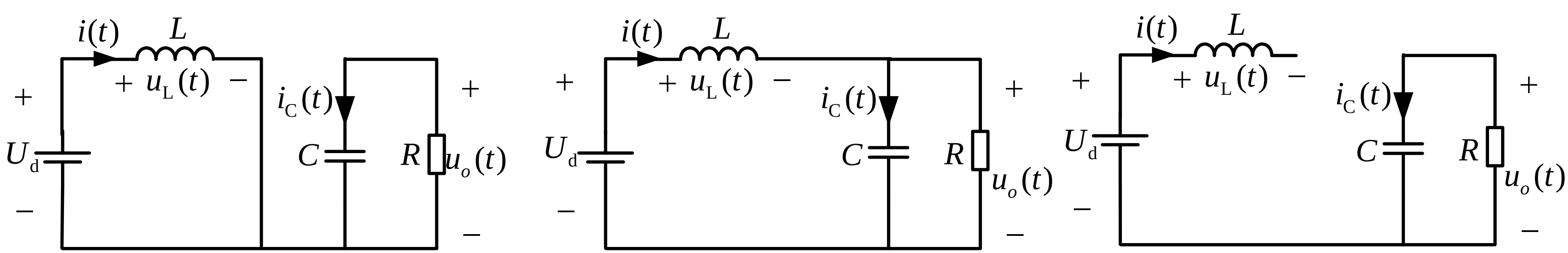
所以

$$\Delta u_o=\frac{U_o}{2RC}DT_S$$

此表达式可用于给定输出电压纹波峰值时选择电容值

2.3.2　Boost变换器电感电流断续时的工作情况

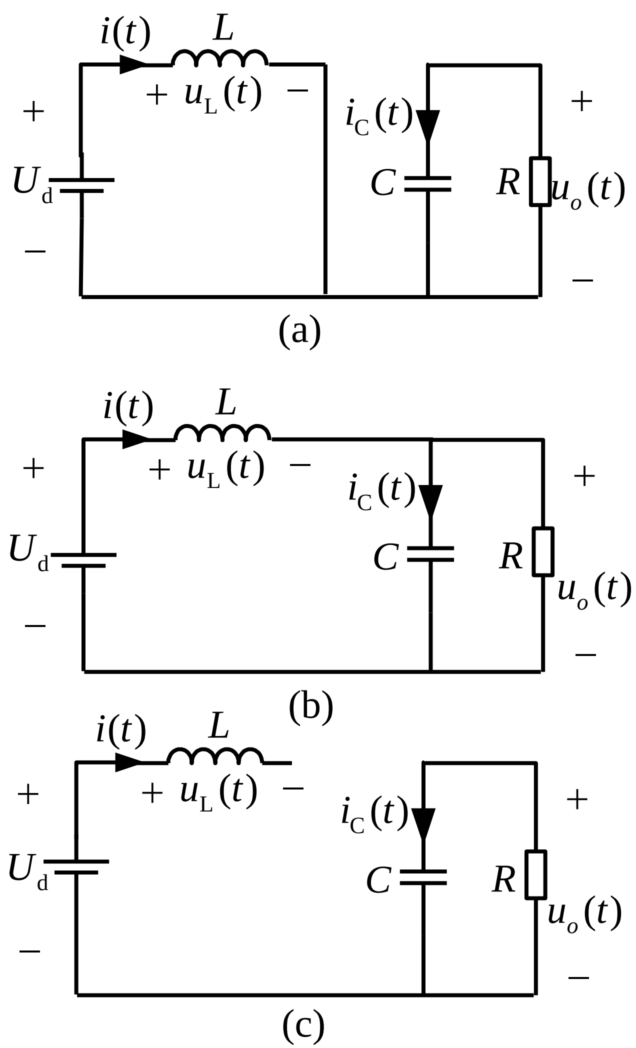


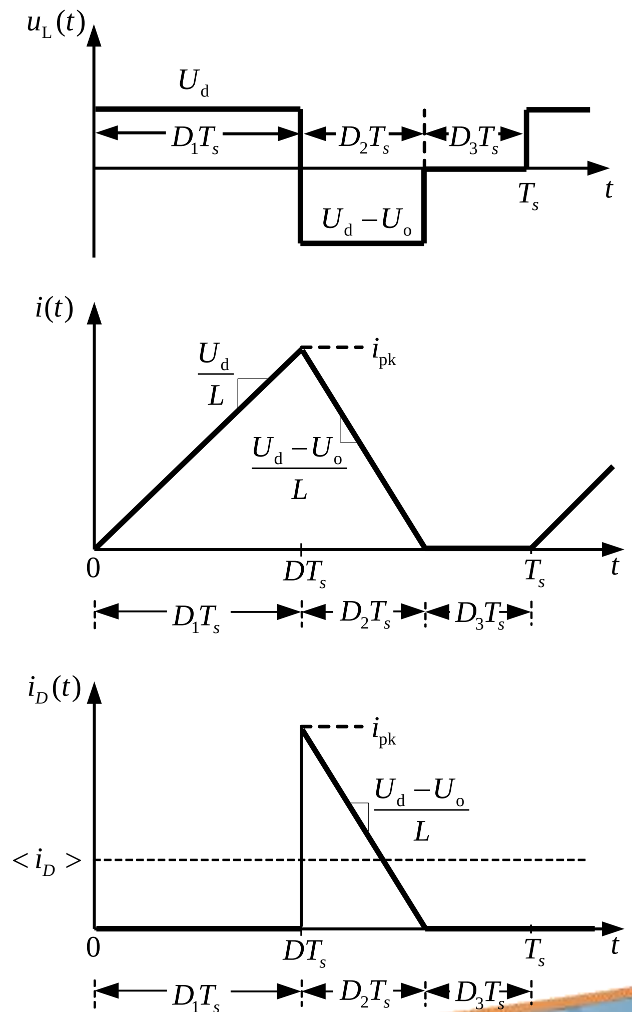


(a)　(b)　(c)

2.3 直流升压变换电路（Boost电路）

2.3.2 Boost变换器电感电流断续时的工作情况





2.3 直流升压变换电路（Boost电路）

临界条件

Boost变换器工作于连续和断续导通模式的条件为：

$I > \Delta i_{\mathrm{L}}$ 对于CCM

$I < \Delta i_{\mathrm{L}}$ 对于DCM

这与Buck变换器的结论相同。将CCM时I和△i_{L}的结论式(2.71)和式(2.75)代入，得

$$\frac{U_{\mathrm{d}}}{D'^2 R} > \frac{DT_S U_{\mathrm{d}}}{2L}$$ **对于CCM**

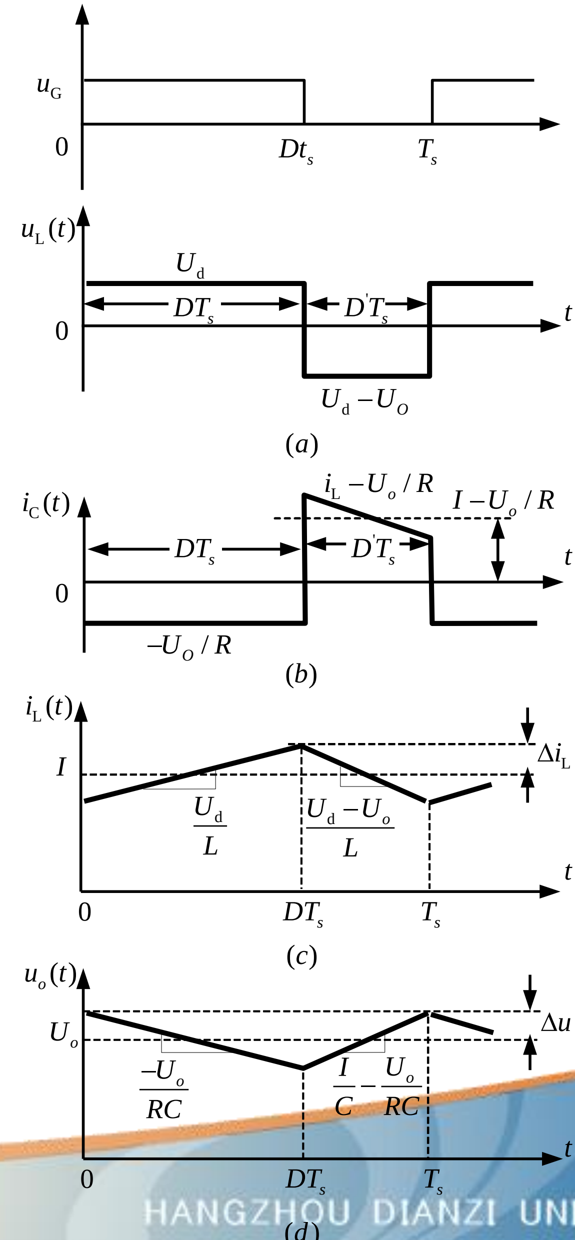
$$\frac{2L}{RT_S} > DD'^2$$ **对于CCM**

得到标准形式为：

$K > K_{\mathrm{crit}}(D)$ 对于CCM

$K < K_{\mathrm{crit}}(D)$ 对于DCM

$$K = \frac{2L}{RT_S} \quad 和 \quad K_{crit}(D) = DD'^2$$



2.3　直流升压变换电路（Boost电路）

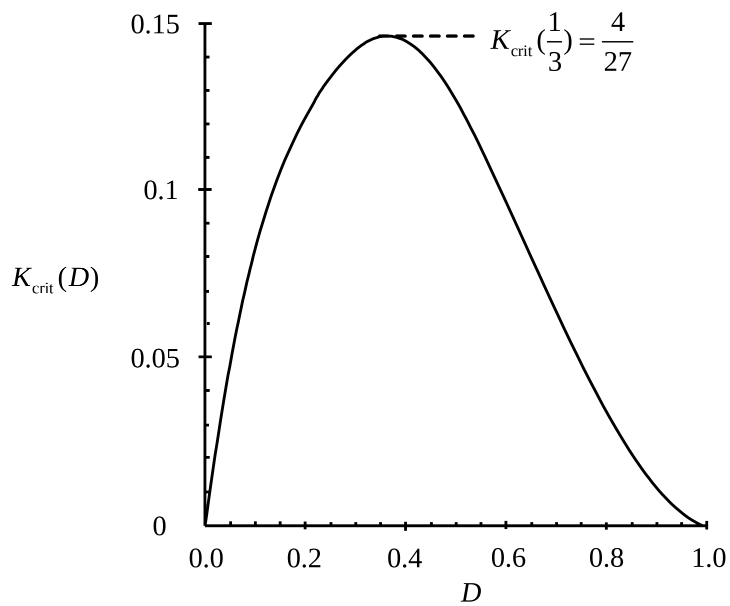


图2.22（a）　Boost变换器的 $K_{crit}(D)$

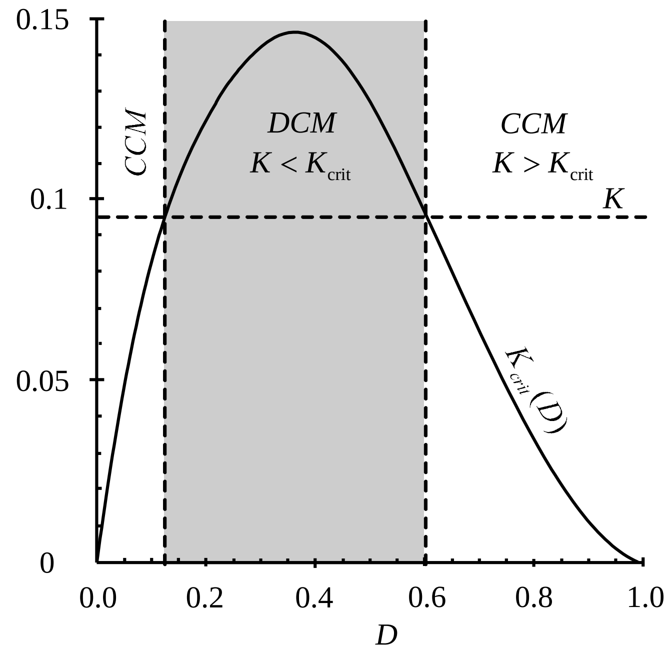
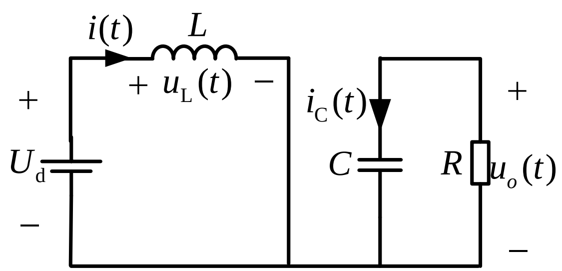


图2.22（b）　K与 $K_{crit}(D)$ 的比较

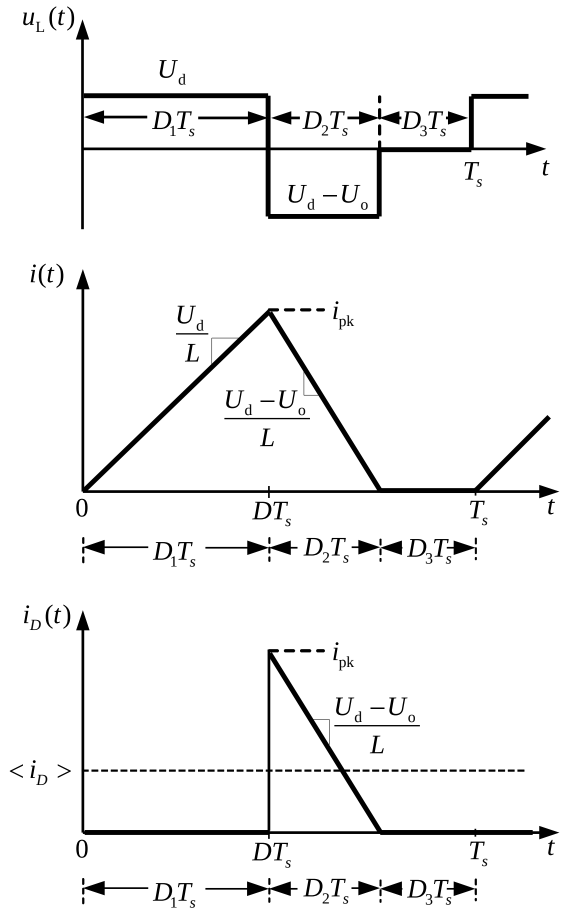
K_{crit}=(D)与占空比D的关系绘于图2.22(a)在D=0和D=1时K_{crit}(D)为零,在D=1/3时为最大值4/27。因此,如果K大于4/27,则对于所有的D变换器均工作于连续导通模式。图2.22(b)说明了当K小于4/27时的情况。在D=1/3附近的D值范围,变换器工作于断续导通模式但是,在D=0和D=1附近,变换器工作于连续导通模式。由于Boost变换器在D=0时纹波峰值趋近于零而其直流成分不趋于零,因此工作于连续导通模式。

2.3 直流升压变换电路（Boost电路）

Boost变换器的变换比



(a)



（a）子区间1，$0 < t < D_1T_S$ ，晶体管导通

$$u_{\mathrm{L}}(t) = U_{\mathrm{d}}$$

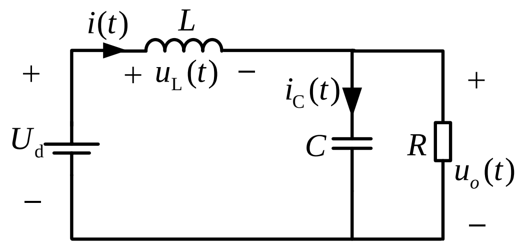
$$i_{\mathrm{C}}(t) = -\frac{u_{\mathrm{o}}(t)}{R}$$

采用线性纹波近似，忽略输出电容电压纹波，得到：

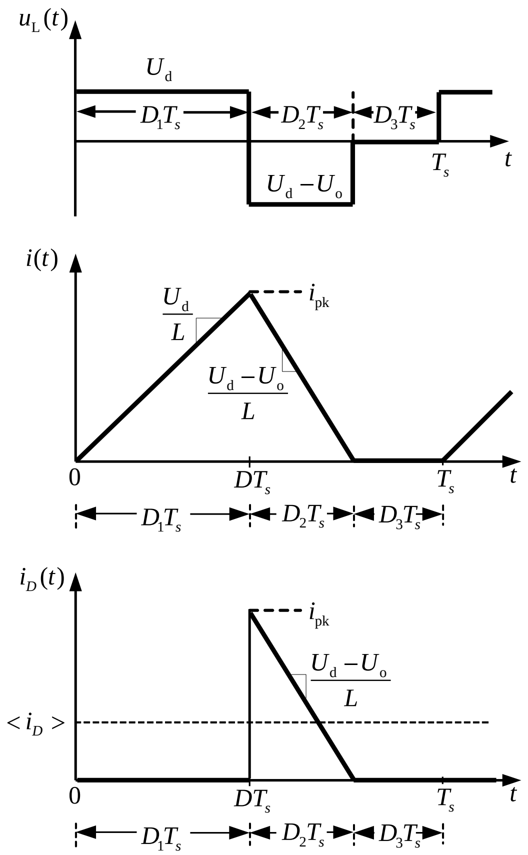
$$u_{\mathrm{L}}(t) \approx U_{\mathrm{d}}$$

$$i_{\mathrm{C}}(t) \approx -\frac{U_{\mathrm{o}}}{R}$$

2.3 直流升压变换电路（Boost电路）



(b)



（b）子区间2，$D_1T_S < t < (D_1+D_2)T_S$，二极管导通

$$u_L(t) = U_d - u_o(t)$$

$$i_C(t) = i(t) - \frac{u_o(t)}{R}$$

采用线性纹波近似，忽略输出电容电压纹波，得到：

$$u_L(t) \approx U_d - U_O$$

$$i_C(t) \approx i(t) - \frac{U_O}{R}$$

2.3　直流升压变换电路（Boost电路）

（c）子区间3，$(D_1+D_2)T_S<t<T_S$，

晶体管和二极管均处于截止态

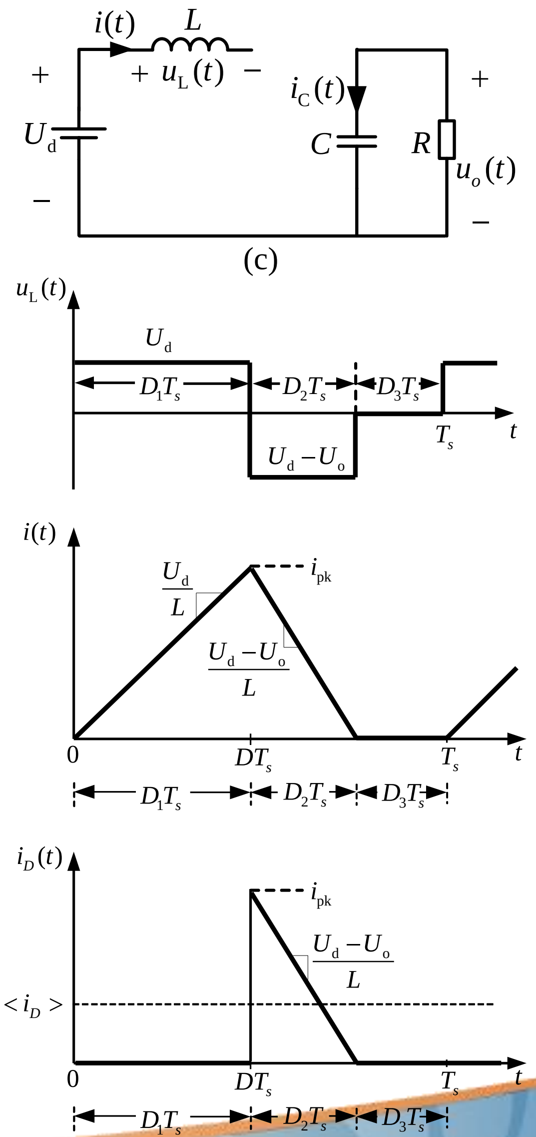
$$u_{\rm L}=0,\quad i=0$$

$$i_{\rm C}(t)=-\frac{u_{\rm o}(t)}{R}$$

采用线性纹波近似，忽略输出电容电压纹波，得到：

$$u_{\rm L}=0$$

$$i_{\rm C}(t)=-\frac{U_{\rm o}}{R}$$



2.3　直流升压变换电路（Boost电路）

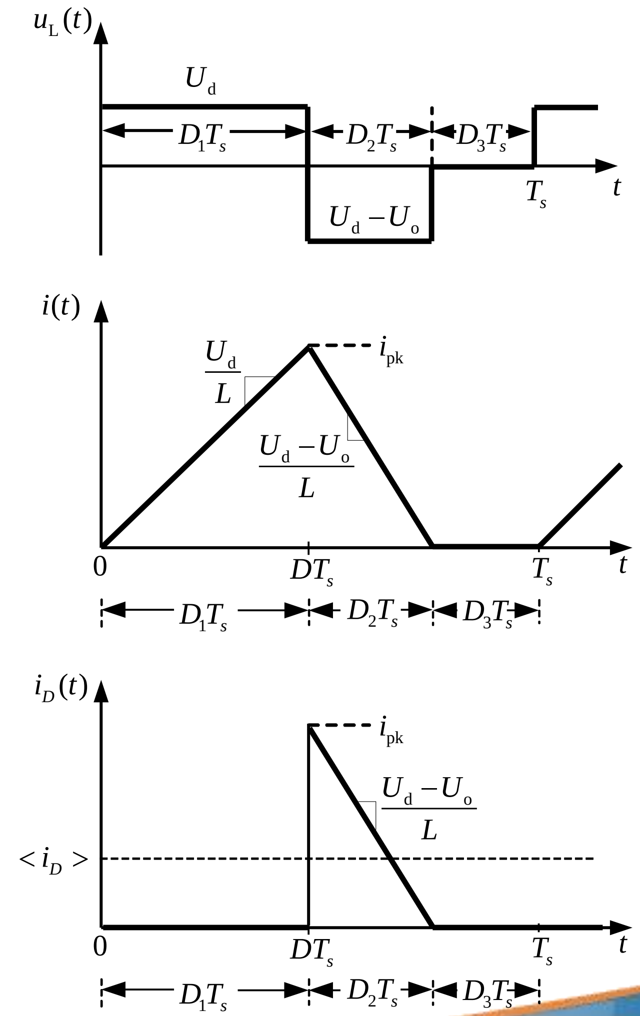
根据电感伏秒平衡原理，
稳态时此波形的直流成分必须为零。

$$D_1U_d+D_2(U_d-U_o)+D_3(0)=0$$

解得

$$U_o=\frac{D_1+D_2}{D_2}U_d$$

D_2=？



2.3 直流升压变换电路（Boost电路）

在Boost变换器中二极管的阴极与输出节点相连。输出节点的电流方程为

$$i_D(t)=i_C(t)+\frac{u_o(t)}{R}$$

根据电容安秒平衡，稳态时电容电流$i_c(t)$的直流成分必须为零。因此，二极管电流直流成分$\langle i_D\rangle$必须等于负载电流的电流成分

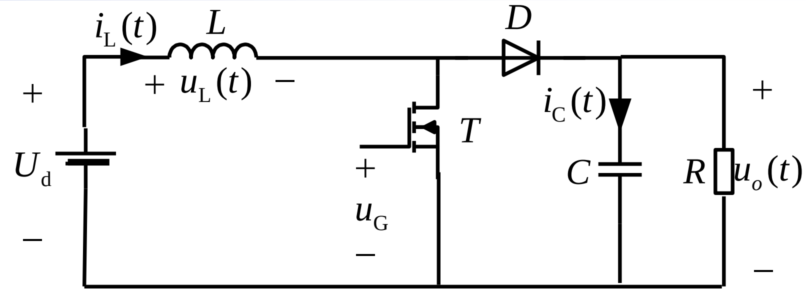
$$\langle i_D\rangle=\frac{U_o}{R}$$

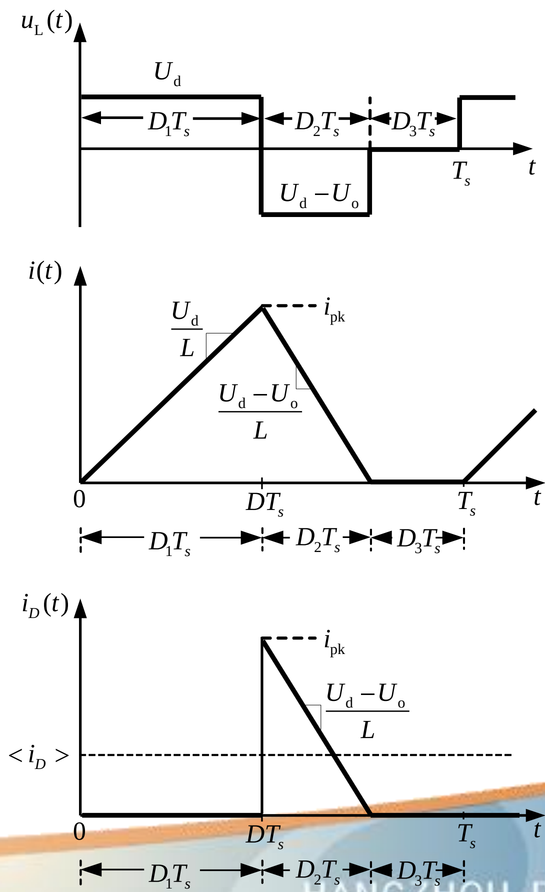
电感电流的峰值为：

$$i_{pk}=\frac{U_d}{L}D_1T_S$$

二极管电流的直流成分$\langle i_D\rangle$为

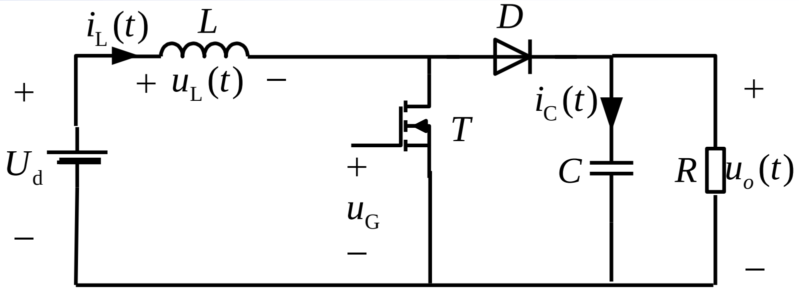
$$\langle i_D\rangle=\frac{1}{T_S}\int_0^{T_S}i_D(t)\mathrm{d}t$$





HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

2.3 直流升压变换电路（Boost电路）



即为：

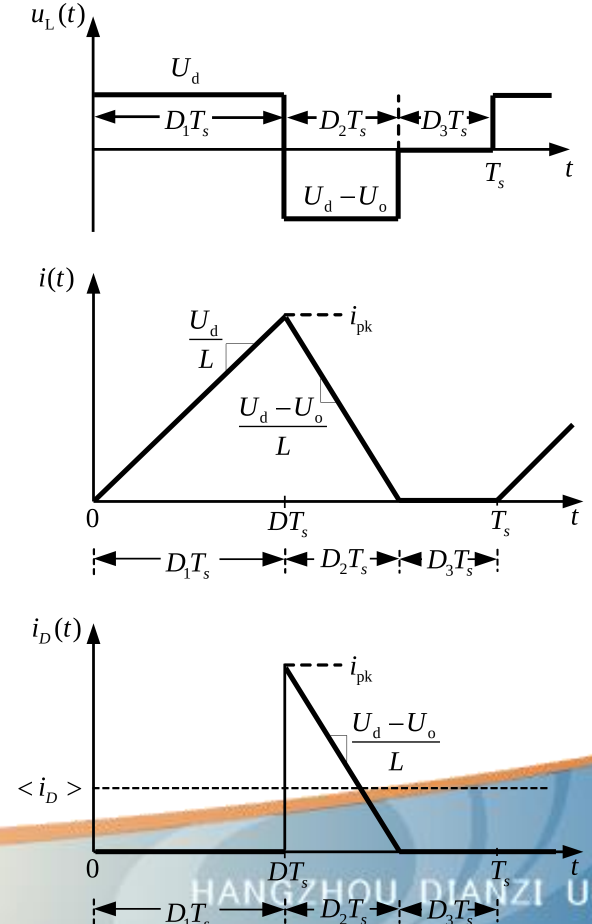
$$\int_0^{T_S} i_D(t)\mathrm{d}t = \frac{1}{2} i_{pk} D_2 T_S$$

得到：

$$\langle i_D \rangle = \frac{1}{T_S}\left(\frac{1}{2} i_{pk} D_2 T_S\right) = \frac{U_d D_1 D_2 T_S}{2L}$$

得到：

$$\frac{U_d D_1 D_2 T_S}{2L} = \frac{U_o}{R}$$



2.3 直流升压变换电路（Boost电路）

联立方程组：

$$U_o = \frac{D_1 + D_2}{D_2} U_d \qquad \frac{U_d D_1 D_2 T_S}{2L} = \frac{U_o}{R}$$

解得

$$\frac{U_o}{U_d} = \frac{1 \pm \sqrt{1 + \frac{4D_1^2}{K}}}{2}$$

取正值得

$$\frac{U_o}{U_d} = M\left(D_1, K\right) = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4D_1^2}{K}}}{2}$$

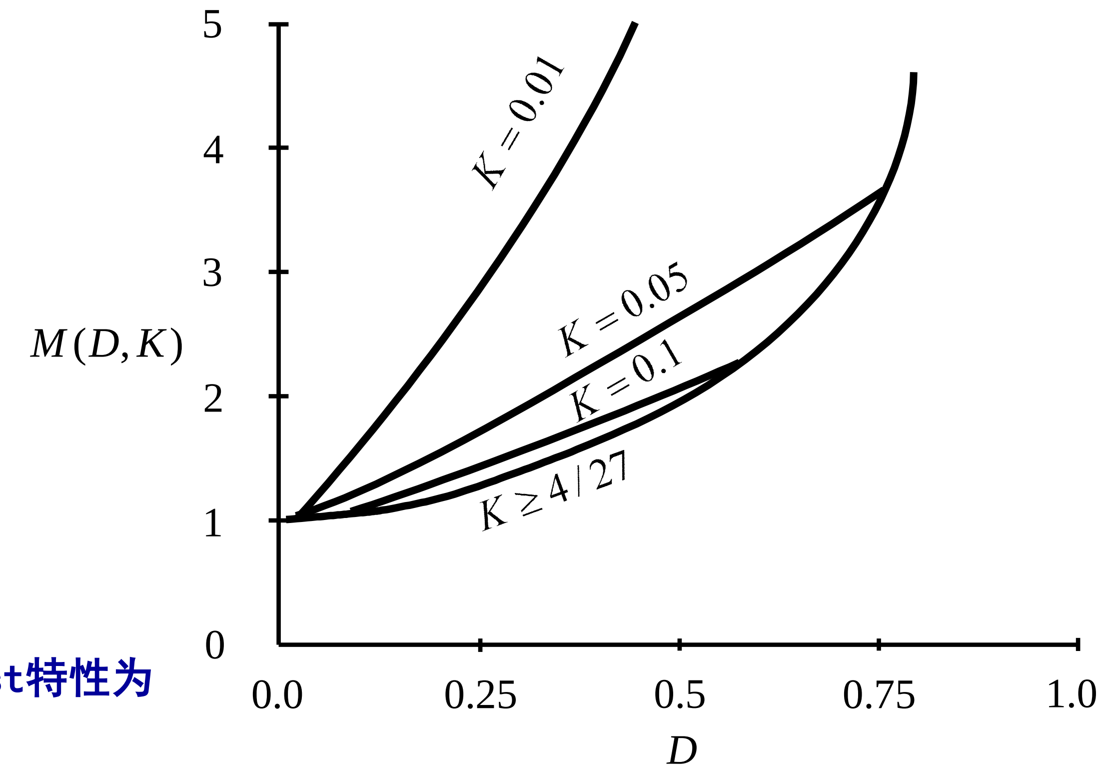
近似为

$$M \approx \frac{1}{2} + \frac{D}{\sqrt{K}}$$

其中 $K = 2L / RT_S$ **，对于**$K < K_{crit}(D)$ **成立。**

2.3　直流升压变换电路（Boost电路）

$$M=\begin{cases}\dfrac{1}{1-D} & \text{对于}K>K_{crit}\\[2ex] \dfrac{1+\sqrt{1+\dfrac{4D^2}{K}}}{2} & \text{对于}K<K_{crit}\end{cases}$$



包含连续和断续导通模式的完整Boost特性为

Boost变换器电压变换比M(D)

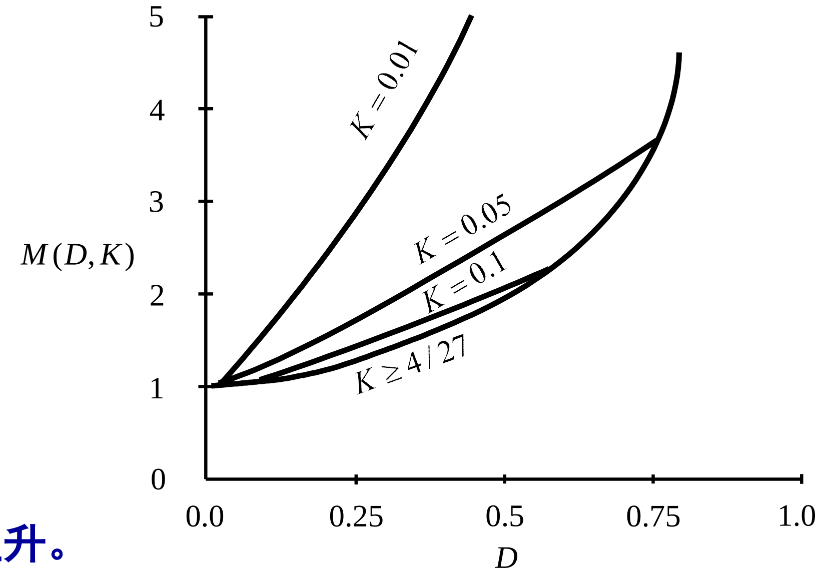
HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

2.3 直流升压变换电路（Boost电路）

包含连续和断续导通模式的完整Boost特性为

$$M=\begin{cases}\dfrac{1}{1-D} & \text{对于}K>K_{\text{crit}}\\[2ex] \dfrac{1+\sqrt{1+\dfrac{4D^2}{K}}}{2} & \text{对于}K<K_{\text{crit}}\end{cases}$$

与Buck变换器一样，断续导通模式引起输出电压上升。



Boost变换器电压变换比M(D)