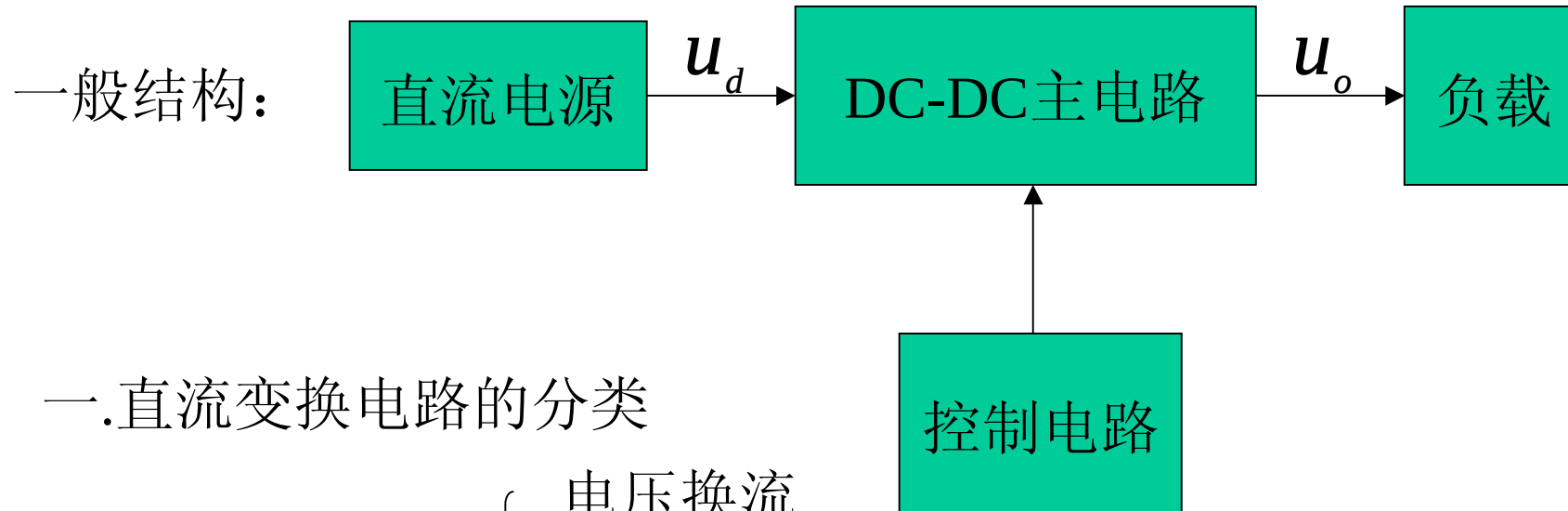


BUCK电路分析

- Made By [嘟@嘟](#)
2007年4月28日

第一节：概述

定义DC-DC：只对直流参数进行变换的电路



一.直流变换电路的分类

1.换流过程分为：

- 电压换流
- 电流换流

2. $\left\{ \begin{array}{ll} \text{降压电路} & u_o < u_d \\ \text{升压电路} & u_o > u_d \\ \text{升降压电路} & u_o < u_d \text{ 或 } u_o > u_d \end{array} \right.$

3. $\left\{ \begin{array}{ll} \text{单向限电路} & \bar{U}_0, \bar{I}_0 \text{ 均为一个方向} \\ \text{双向限电路} & \bar{U}_0 \text{ 和 } \bar{I}_0 \text{ 其中之一改变方向} \\ \text{四象限电路} & \bar{U}_0, \bar{I}_0 \text{ 均改变方向} \end{array} \right.$
4. $\left\{ \begin{array}{l} \text{单相电路: 只有一个电路} \\ \text{m相电路: 有m个基本电路, 采用时分复用的方法} \end{array} \right.$

二.理想直流变换应具备的性能

- 1.输入输出端的电压均为平滑直流,无交流谐波分量
- 2.输出阻抗为零
- 3.快速动态响应,抑制能力强
- 4.高效率小型化

三.Application

3.1.Driving:电车,地铁,电动汽车,火车

3.2.直流电机调速系统,

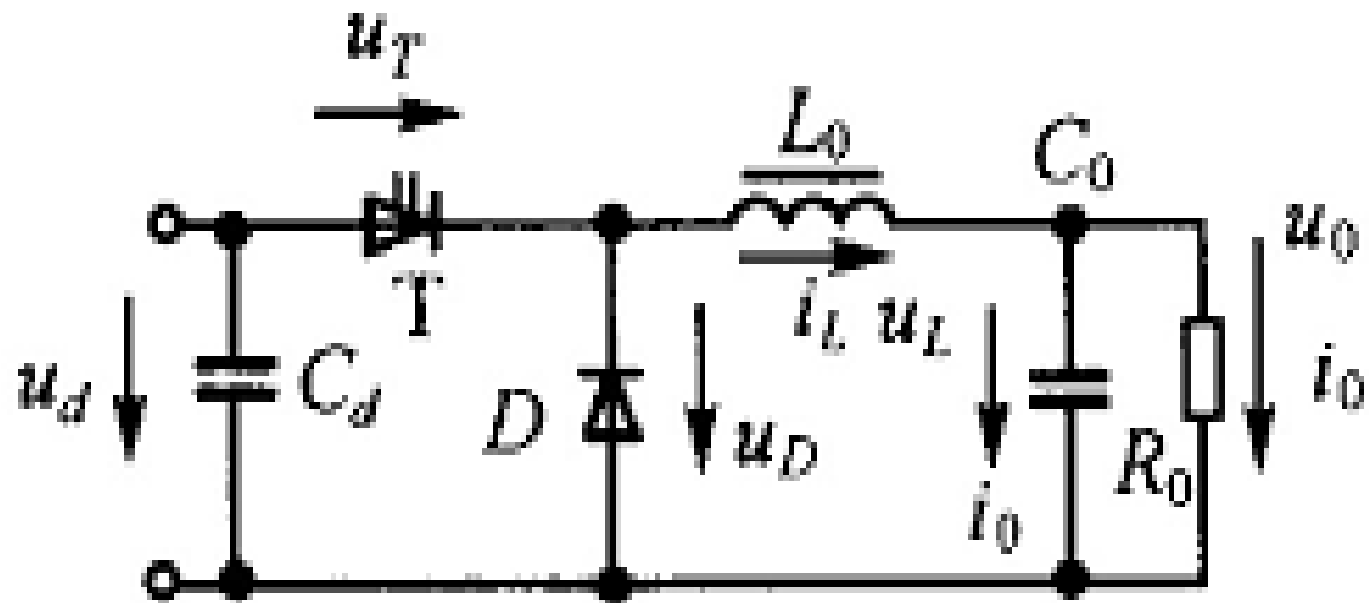
3.3.照明,氙灯ballast

3.4.switching power supply,Eg.Adapter,VRM

四.Typical topologies:Buck,Boost,Buck-Boost, Cuk

第二节:单象限降压型电路

一.电路



T是全控元件(GTR,GTO,MOSFET,IGBT),当 $t \in [0, DT]$ 时,T导通

D:续流二极管

L_0 和 C_0 组成LPF

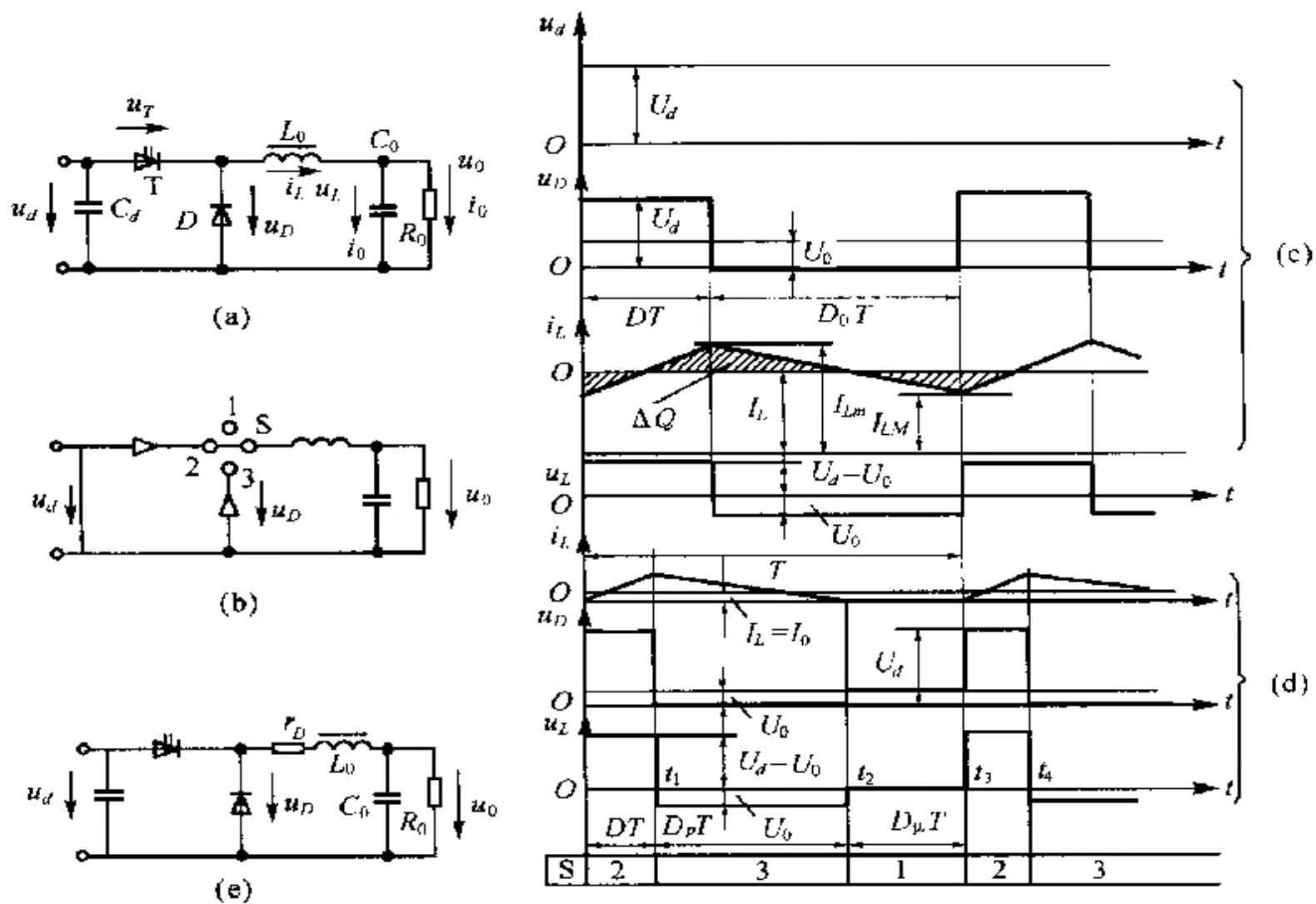


图 3-3 单象限降压型电路 (Buck 电路)

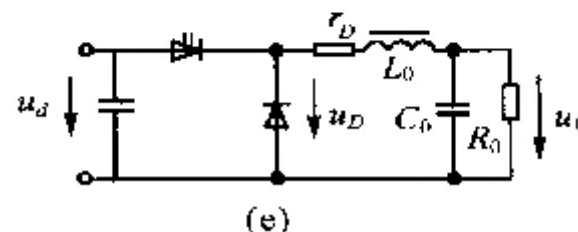
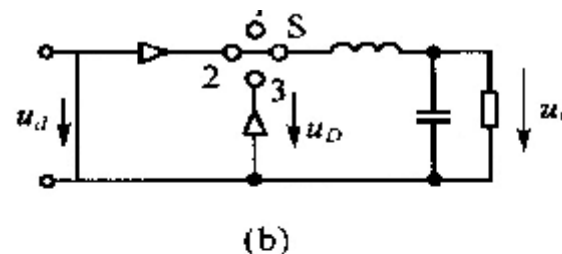
二.工作原理

当 $t \in [0, DT]$ 时,控制信号使得T导通,D截止,向 L_0 充磁,向 C_0 充电

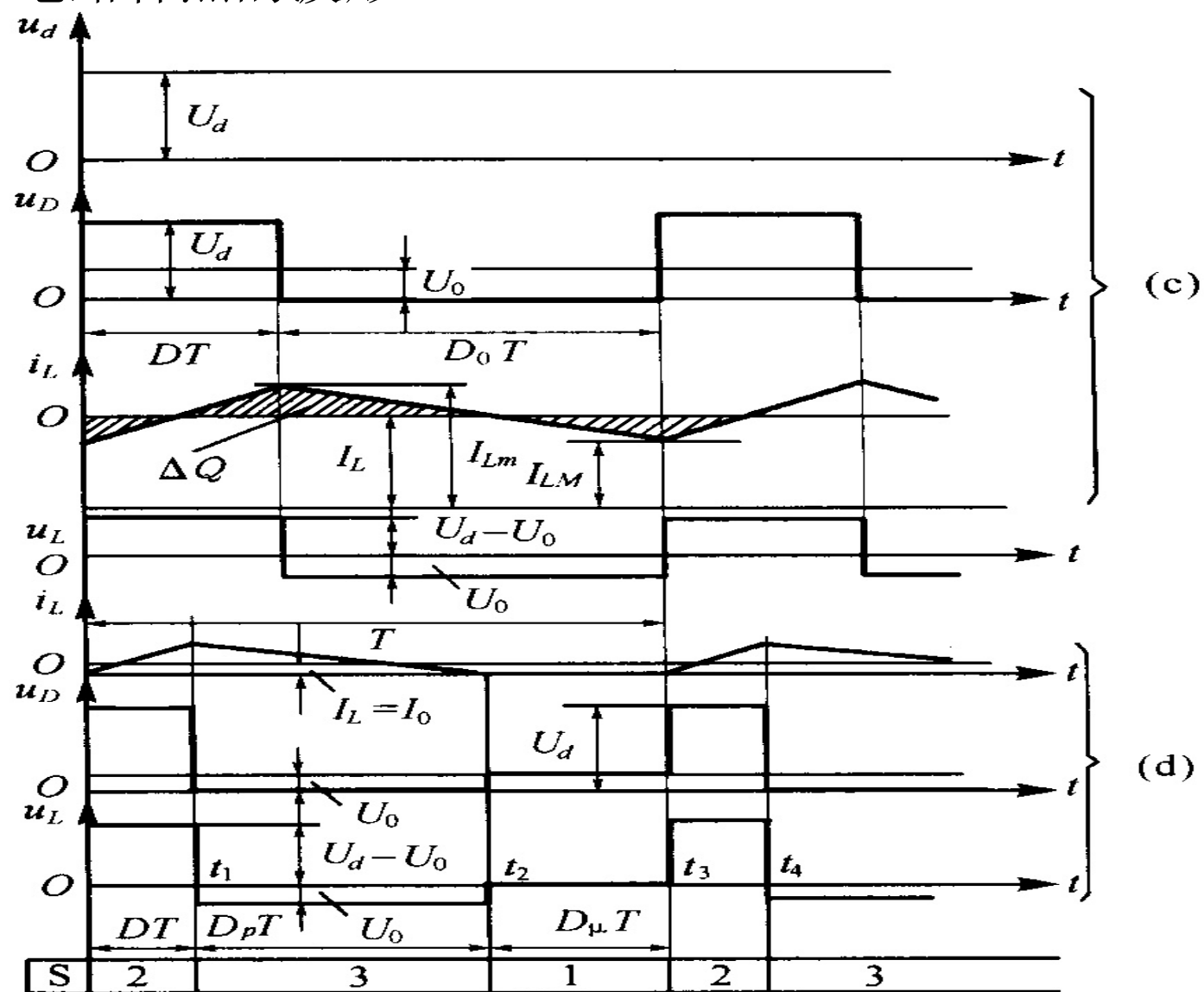
当 $t \in [DT, T]$ 时,T截止,D续流, U_0 靠 C_0 放电和 L_0 中电流下降维持

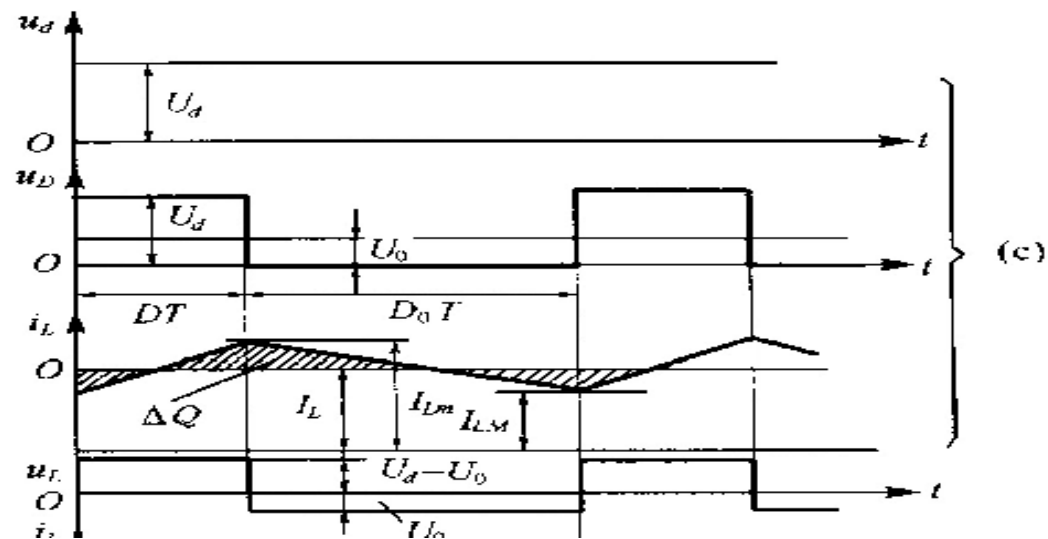
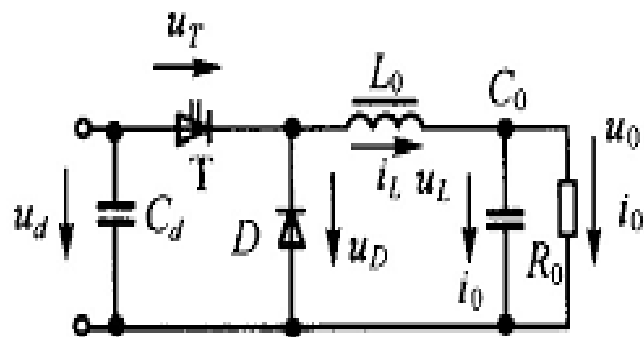
三.假设:

- 1.T,D均为理想器件
2. L_0 较大,使得在一个周期内电流连续且无内阻
- 3.直流输出电压 U_0 为恒定
- 4.整个电路无功耗
- 5.电路已达稳态



四.电路各点的波形





五.电路分析

1.电感电流 i_L 表达式

当 $t \in [0, DT]$, $i_L(t) = I_L(0) + \frac{U_d - U_0}{L_0}t$ $t \uparrow, i_L \uparrow$ 储能 (1)

当 $t = DT$ 时, $i_L(t)$ 达到最大值, $\hat{I}_L = I_L(0) + \frac{U_d - U_0}{L}DT$ (2)

当 $t \in [DT, T]$ 时, $i_L(t) = \hat{I}_L - \frac{U_0}{L_0}(t - DT)$, $t \uparrow, C$ 和 L 放能 (3)

当 $t = T$ 时, $i_L(t)$ 达到最小值 $\check{I}_L$ $\check{I}_L = \hat{I}_L - \frac{U_0}{L_0}(T - DT)$ (4)

由于电路达到了稳态, $\check{I}_L = I_L(0)$

所以(2)式改写为:
$$\hat{I}_L = \check{I}_L + \frac{U_d - U_0}{L_0} DT \quad (5)$$

2.伏秒平衡定律的证明:

电流增量:
$$\Delta I = \hat{I}_L - \check{I}_L = \frac{U_d - U_0}{L_0} DT$$

由式 (4) 得到:
$$\Delta I = \hat{I}_L - \check{I}_L = \frac{U_0}{L_0} (T - DT) \quad (6)$$

所以有
$$\frac{U_d - U_0}{L_0} DT = \frac{U_0}{L_0} (T - DT) \quad (7)$$

得:
$$(U_d - U_0)DT = U_0(T - DT) \quad (8)$$

这就是电感的伏秒平衡, 实际是对 u_L 的积分, 即平均值为零

平均电流
$$I_0 = \frac{\hat{I}_L + \check{I}_L}{2} \quad (9)$$

3.输出电压增益

$$A_v = \frac{U_o}{U_d}$$

输出电压平均值

由(8)式得: $A_v = \frac{U_o}{U_d} = D$

输入电压平均值

当D改变, U_o 改变

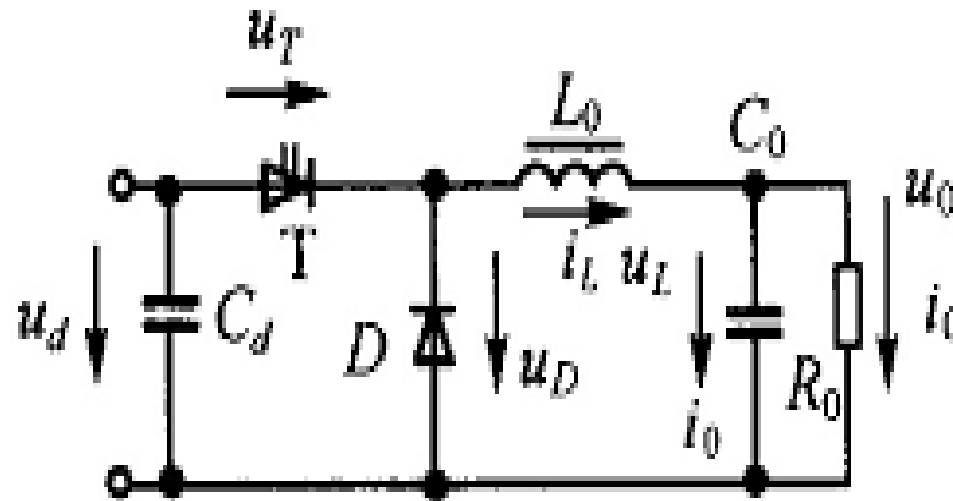
$$U_o = DU_d \quad (10)$$

4.输入电流平均值 I_d

$$P_d = I_d U_d = U_o I_o$$

输入功率 电流 输出电压 输出电流

$$I_o = \frac{1}{D} I_d$$



5. 输出电压纹波分析

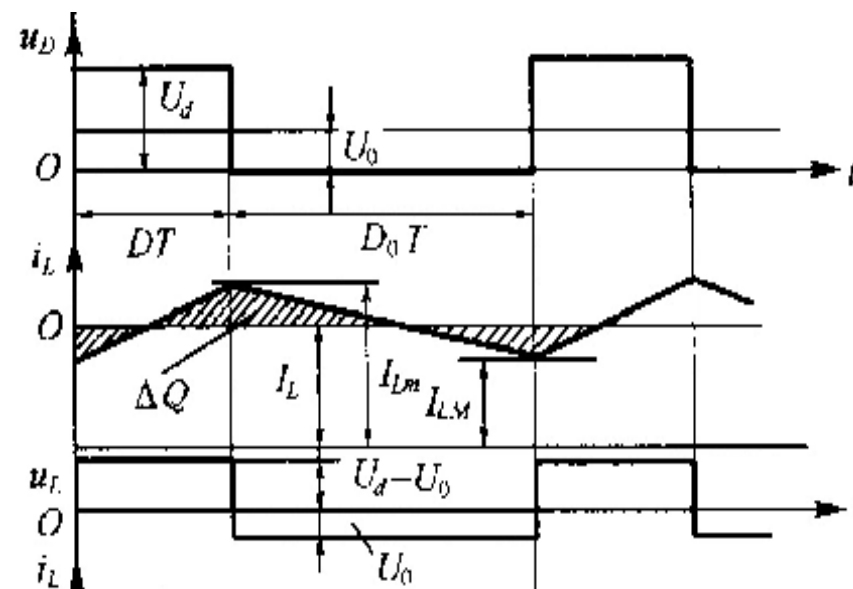
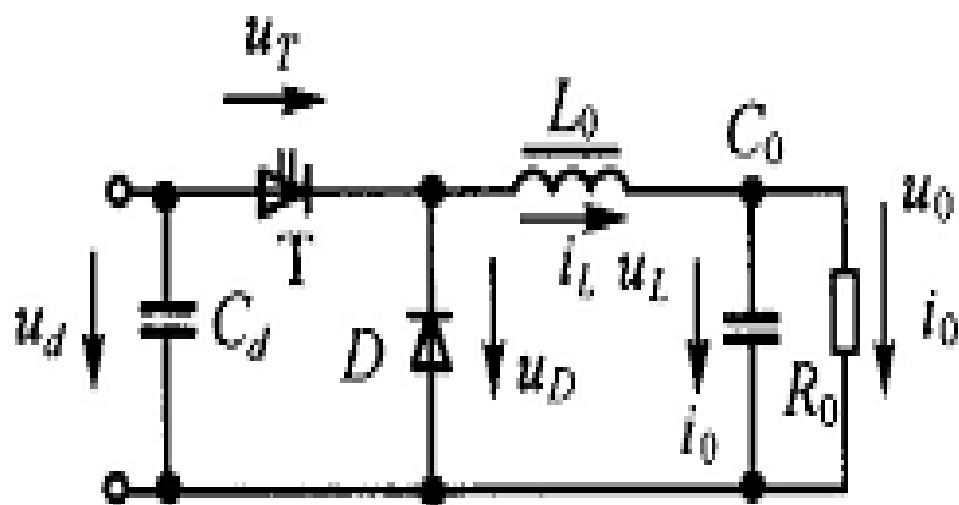
当 $C_0 \rightarrow \infty, U_0 = \text{const}$, 但 C_0 为有限值

$$i_L = i_C + I_0 \longrightarrow \text{负载电流} \quad i_C = i_L - I_0$$

电感电流
电容电流

情况1: $i_L > I_0, i_C > 0$, C充电

情况2: $i_L < I_0, i_C < 0$, C放电



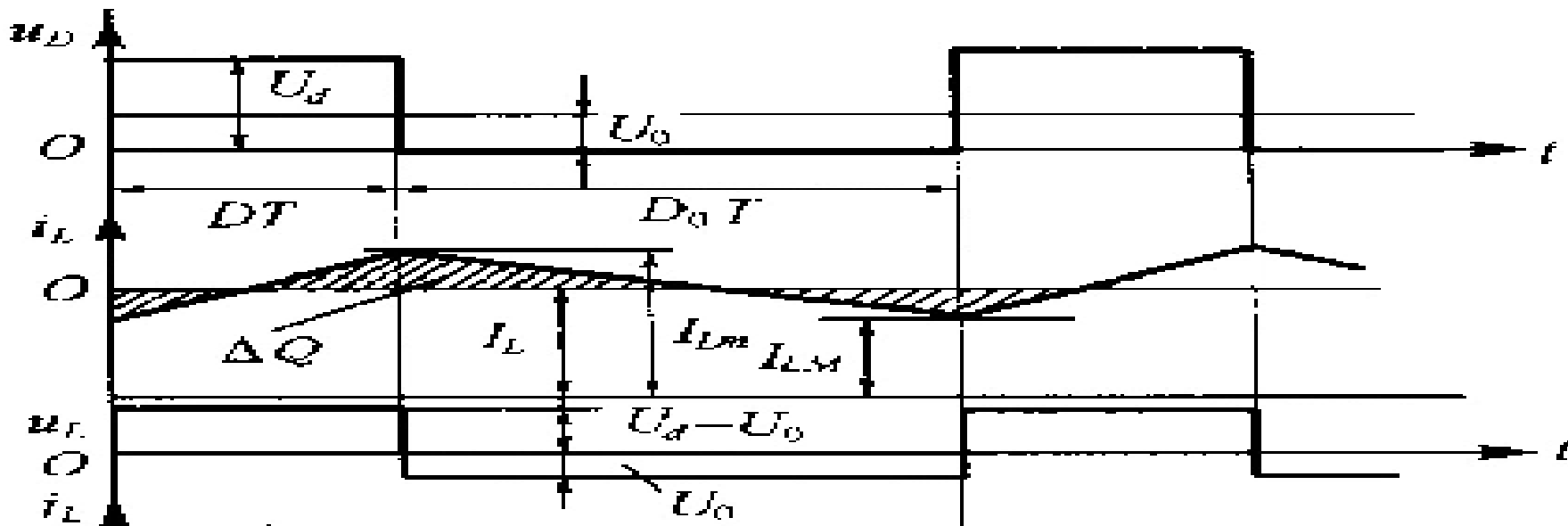
当 $t \in [\frac{1}{2}DT, DT + \frac{(1-D)}{2}T]$ 时,电容充电,其电荷量为Q

$$Q = \int_{\frac{1}{2}DT}^{DT + \frac{(1-D)}{2}T} i_L dt \quad \text{实际上就是图 } I_L \text{ 中的阴影部分的面积}$$

在 $t \in [\frac{1}{2}DT, DT]$ 时,阴影部分的面积为:

$$S_1 = \frac{1}{2} [\frac{1}{2} \Delta I_L \times \frac{1}{2} DT] = \frac{1}{8} \Delta I_L DT$$

在 $t \in [DT, DT + \frac{1}{2}D_0T]$ 时,阴影部分的面积为:



$$S_2 = \frac{1}{2}[(\frac{1}{2}\Delta I_L) \times (\frac{1}{2}D_0 T)] = \frac{1}{8}\Delta I_L D_0 T$$

$$Q = S_1 + S_2 = \frac{1}{8}\Delta I_L D T + \frac{1}{8}\Delta I_L D_0 T = \frac{\Delta I_L}{8} T$$

$$\Delta U_0 = \frac{Q}{C_0} = \frac{\Delta I_L}{8C_0} T$$

把式(7) $\Delta I = \frac{U_0}{L_0}(1-D)T$ 代入上式得: $\Delta U_0 = \frac{\Delta I_L}{8C_0} T = \frac{U_0}{8C_0 L_0} D_0 T^2$

所以当 ΔU_0 与 U_0 给定后

$$C_0 = \frac{D_0}{8L_0 f^2} \cdot \frac{U_0}{\Delta U_0}$$

当 D_0 最大时,用 D_{0H} , C_0 的最大值 C_{OM} 为 $C_{OM} = \frac{D_{0H}}{8L_0 f^2} \cdot \frac{U_0}{\Delta U_0}$

6.保持电流连续的临界电感值

由 i_L 的图形可知, 由(7)式可知

$$\check{I} = I_0 - \frac{\Delta I_L}{2} = I_0 - \frac{U_0}{2L_0} D_0 T$$

当 $\check{I} = 0$ 时, i_L 电流处于临界连续状态

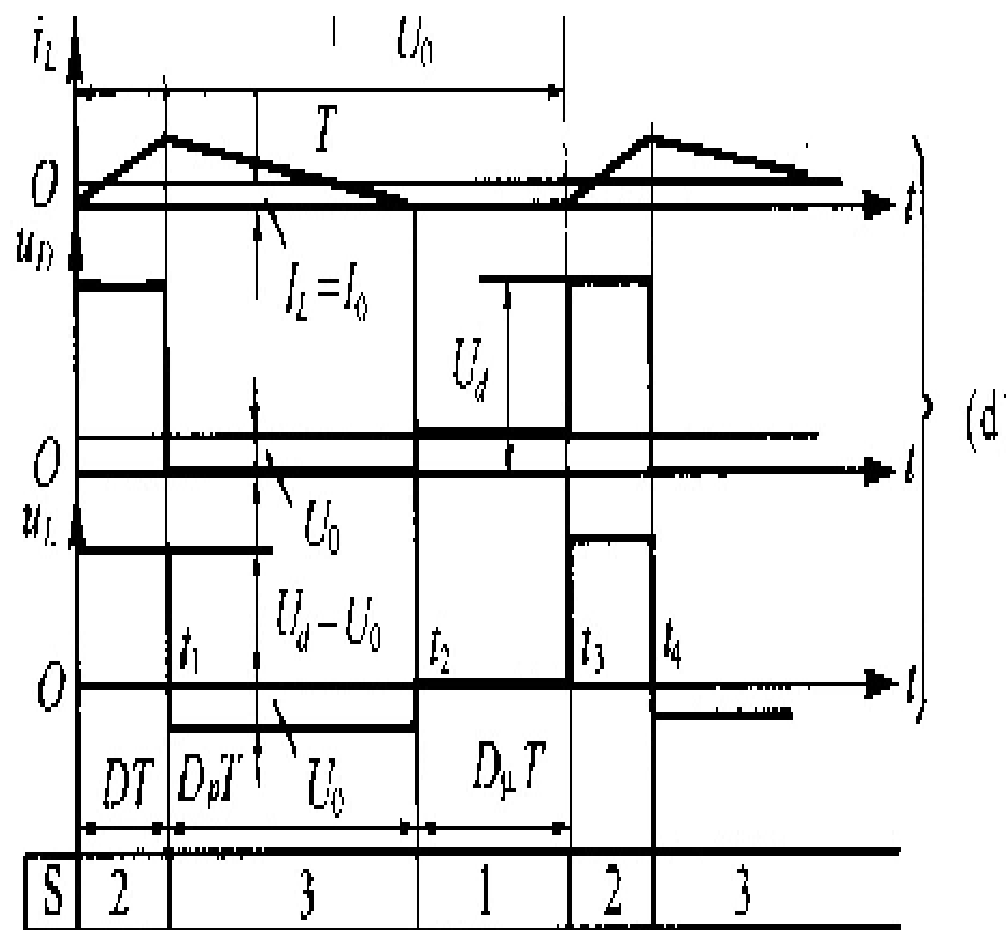
$$I_0 = \frac{U_0}{2L_{0K}} D_0 T$$

$$\therefore L_{0k} = \frac{U_0}{I_0} - \frac{D_0 T}{2} = \frac{R_0 D_0 T}{2}$$

当 D_0 取最大值时, $D_0 = D_{0H}$, $L_{0K} = L_{0km}$

$$L_{0km} = \frac{R_0 D_{0H} T}{2}$$

当 $L_0 > L_{0km}$ 时, i_L 处于连续状态



六.电流断续时的状况

1.求 A_V

根据伏秒平衡律:

$$(U_d - U_0)DT = U_0 D_p T$$

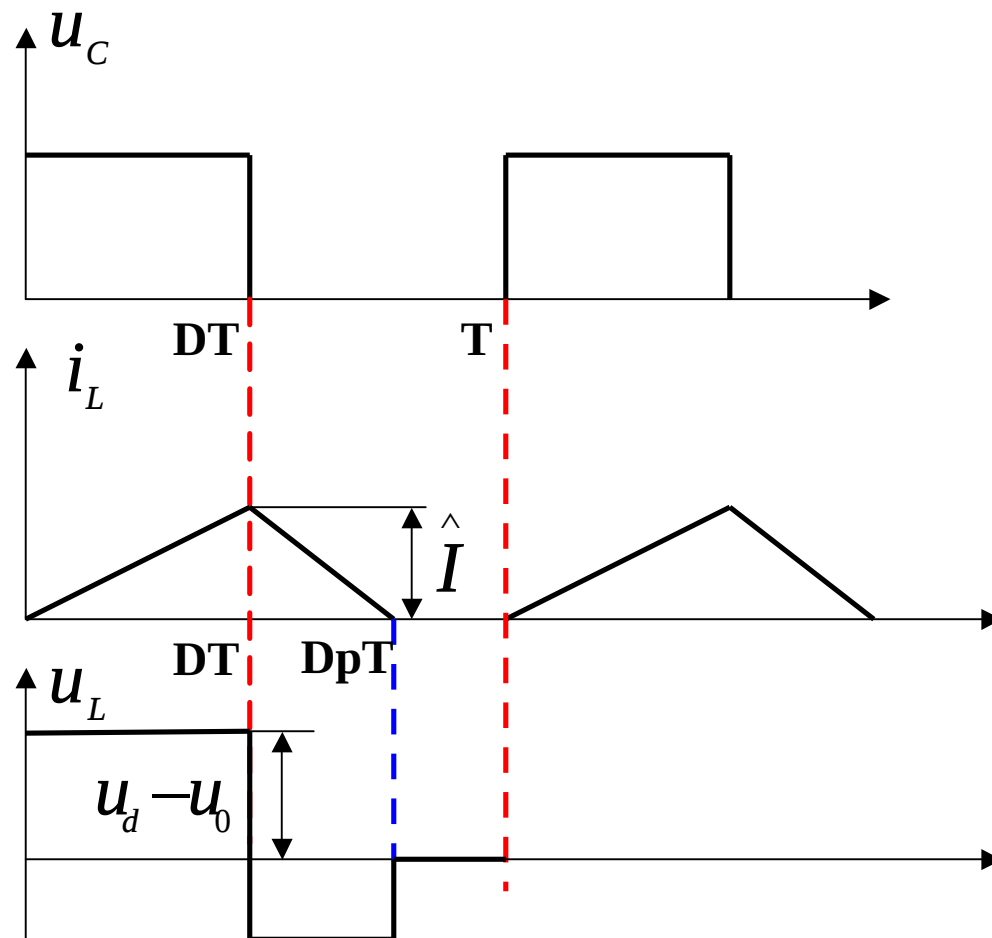
$$U_d D = (D + D_p)U_0$$

$$A_V = \frac{U_0}{U_d} = \frac{D}{D + D_p}$$

2.求 D_p

$$\hat{I} = \frac{U_0}{L_0} D_p T$$

$$\text{平均电流: } I_0 = \frac{\frac{1}{2} \hat{I} (D + D_p) T}{T} = \frac{1}{2} \hat{I} (D + D_p) = \frac{U_0}{2 L_0} D_p T (D + D_p)$$



$$I_0 = \frac{U_0}{2L_0} D_p T (D + D_p) = \frac{U_0}{R_0}$$

$$\frac{2L_0}{R_0 T} = D_p + D D_p^2$$

解得: $D_p = \frac{-D + \sqrt{D^2 + 8L_0 / R_0 T}}{2}$

$$A_v = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + 8L_0 / R_0 T D^2}}$$

七、Typical Applications

