

开关电源原理与设计（四）：串联式开关电源储能滤波电容的计算

1-2-4. 串联式开关电源储能滤波电容的计算

我们同样从流过储能电感的电流为临界连续电流状态着手，对储能滤波电容 C 的充、放电过程进行分析，然后再对储能滤波电容 C 的数值进行计算。

图 1-6 是串联式开关电源工作于临界连续电流状态时，串联式开关电源电路中各点电压和电流的波形。图 1-6 中， U_i 为电源的输入电压， u_o 为控制开关 K 的输出电压， U_o 为电源滤波输出电压， i_L 为流过储能滤波电感电流， I_o 为流过负载的电流。图 1-6-a) 是控制开关 K 输出电压的波形；图 1-6-b) 是储能滤波电容 C 的充、放电曲线图；图 1-6-c) 是流过储能滤波电感电流 i_L 的波形。当串联式开关电源工作于临界连续电流状态时，控制开关 K 的占空比 D 等于 0.5，流过负载的电流 I_o 等于流过储能滤波电感最大电流 i_{Lm} 的二分之一。

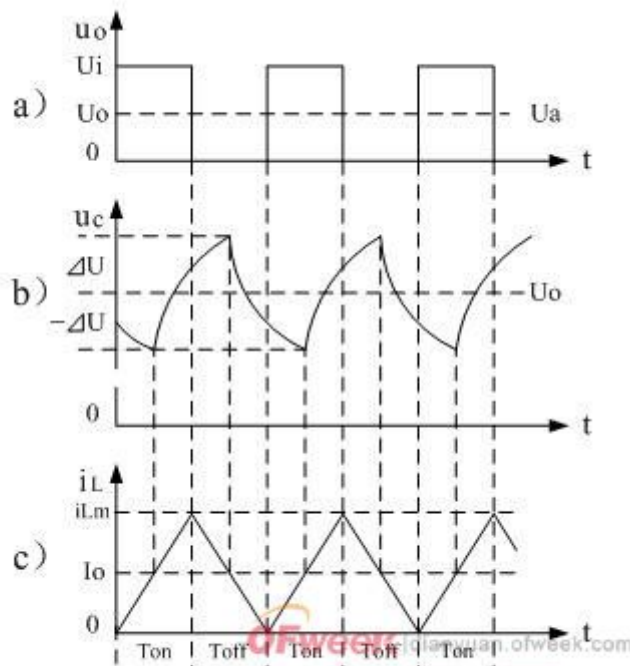


图1-6

在 T_{on} 期间，控制开关 K 接通，输入电压 U_i 通过控制开关 K 输出电压 u_o ，在输出电压 u_o 的作用下，流过储能滤波电感 L 的电流开始增大。当作用时间 t 大于二分之一 T_{on} 的时候，流过储能滤波电感 L 的电流 i_L 开始大于流过负载的电流 I_o ，所以流过储能滤波电感 L 的电流 i_L 有一部分开始对储能滤波电容 C 进行充电，储能滤波电容 C 的两端电压开始上升。

当作用时间 t 等于 T_{on} 的时候，流过储能滤波电感 L 的电流 i_L 为最大，但储能滤波电容 C 的两端电压并没有达到最大值，此时，储能滤波电容 C 的两端电压还在继续上升，因为，流过储能滤波电感 L 的电流 i_L 还大于流过负载的电流

I_o ; 当作用时间 t 等于二分之一 T_{off} 的时候, 流过储能滤波电感 L 的电流 i_L 正好等于负载电流 I_o , 储能滤波电容 C 的两端电压达到最大值, 电容停止充电, 并开始从充电转为放电。

可以证明, 储能滤波电容进行充电时, 电容两端的电压是按正弦曲线的速率变化, 而储能滤波电容进行放电时, 电容两端的电压是按指数曲线的速率变化, 这一点后面还要详细说明, 请参考后面图 1-23、图 1-24、图 1-25 的详细分析。

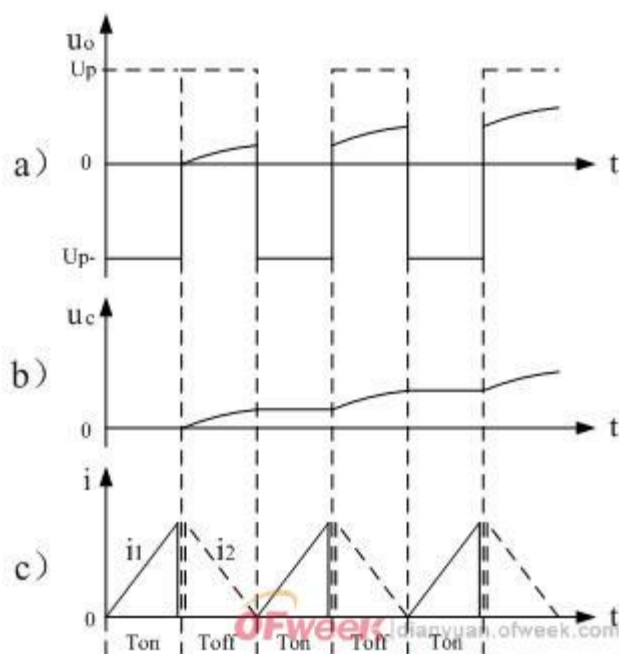


图 1-23 电源网

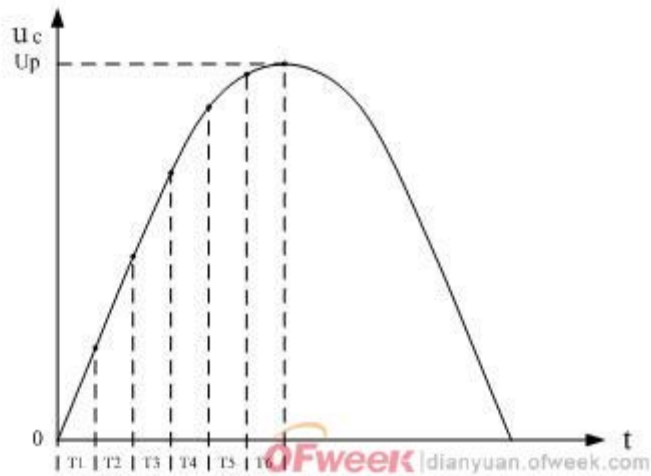


图1-24 电源网

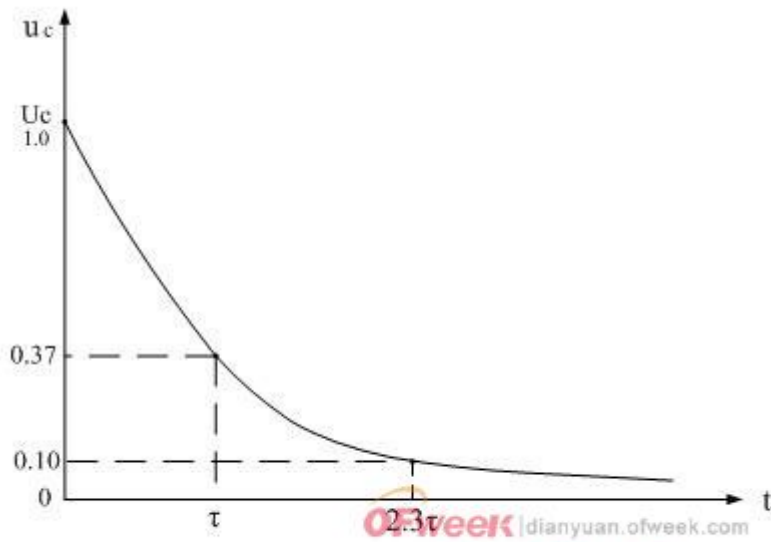


图1-25 电源网

图 1-6 中，电容两端的充放电曲线是有意把它的曲率放大的了，实际上它们的变化曲率并没有那么大。因为储能滤波电感 L 和储能滤波电容构成的时间常数相对于控制开关的接通或关断时间来说非常大（正弦曲线的周期：

$$\Delta Q = I_o \times T_{on} = \frac{I_o}{2} T \quad \text{--- } D = 0.5 \text{ 时} \quad (1-15)$$

电容器充电的电压增量 $2\Delta U_c$ 为：

$$2\Delta U_c = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I_o}{2C} T \quad \text{--- } D = 0.5 \text{ 时} \quad (1-16)$$

由此求得：

$$C = \frac{I_o}{4\Delta U_c} T = \frac{I_o}{2\Delta U_{p-p}} T \quad \text{--- } D = 0.5 \text{ 时} \quad (1-17)$$

或：

$$C > \frac{I_o}{2\Delta U_{p-p}} T \quad \text{--- } D = 0.5 \text{ 时} \quad (1-18)$$

(1-17) 和 (1-18) 式，就是计算串联式开关电源储能滤波电容的公式 ($D = 0.5$ 时)。式中： I_o 是流过负载的电流， T 为控制开关 K 的工作周期， ΔU_{P-P} 为输出电压的波纹。电压波纹 ΔU_{P-P} 一般都取峰-峰值，所以电压波纹正好等于电容器充电或放电时的电压增量，即： $\Delta U_{P-P} = 2\Delta U_c$ 。

顺便说明，由于人们习惯上都是以输出电压的平均值为水平线，把电压纹波分成正负两部分，所以这里遵照习惯也把电容器充电或放电时的电压增量分成两部分，即： $2\Delta U_c$ 。

同理，(1-17) 和 (1-18) 式的计算结果，只给出了计算串联式开关电源储能滤波电容 C 的中间值，或平均值，对于极端情况可以在平均值的计算结果上再乘以一个大于 1 的系数。

当储能滤波电容的值小于 (1-17) 式的值时，串联式开关电源滤波输出电压 U_o 的电压纹波 ΔU_{P-P} 会增大，并且当开关 K 工作的占空比 D 小于 0.5 时，由于流过储能滤波电感 L 的电流 i_L 出现不连续，电容器放电的时间大于电容器充电的时间，因此，开关电源滤波输出电压 U_o 的电压纹波 ΔU_{P-P} 将显著增大。因此，最好按 (1-17) 式计算结果的 2 倍以上来选取储能滤波电容的参数。