

开关电源原理与设计（五）：反转式串联开关电源

1-3. 反转式串联开关电源

1-3-1. 反转式串联开关电源的工作原理

图 1-7 是另一种串联式开关电源，一般称为反转式串联开关电源。这种反转式串联开关电源与一般串联式开关电源的区别是，这种反转式串联开关电源输出的电压是负电压，正好与一般串联式开关电源输出的正电压极性相反；并且由于储能电感 L 只在开关 K 关断时才向负载输出电流，因此，在相同条件下，反转式串联开关电源输出的电流比串联式开关电源输出的电流小一倍。

在一般电路中大部分都是使用单极性电源，但在一些特殊场合，有时需要两组电源，其中一组为负电源。因此，选用图 1-7 所示的反转式串联开关电源作为负电源是很方便的。

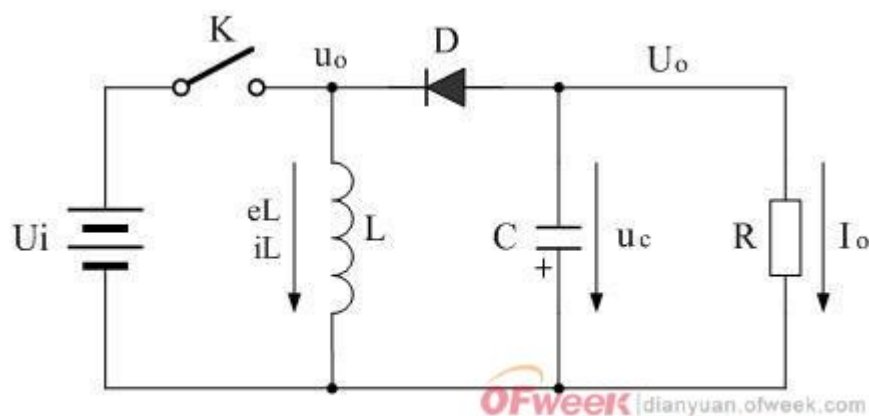


图1-7 电源网

图 1-7 中， U_i 为输入电源， K 为控制开关， L 为储能电感， D 为整流二极管， C 为储能滤波电容， R 为负载电阻。当控制开关 K 接通的时候，输入电源 U_i 开始对储能电感 L 加电，流过储能电感 L 的电流开始增加，同时电流在储能电感中也要产生磁场；当控制开关 K 由接通转为关断的时候，储能电感会产生反电动势，使电流继续流动，并通过整流二极管 D 进行整流，再经电容储能滤波，然后向负载 R 提供电流输出。控制开关 K 不断地反复接通和关断过程，在负载 R 上就可以得到一个负极性的电压输出。

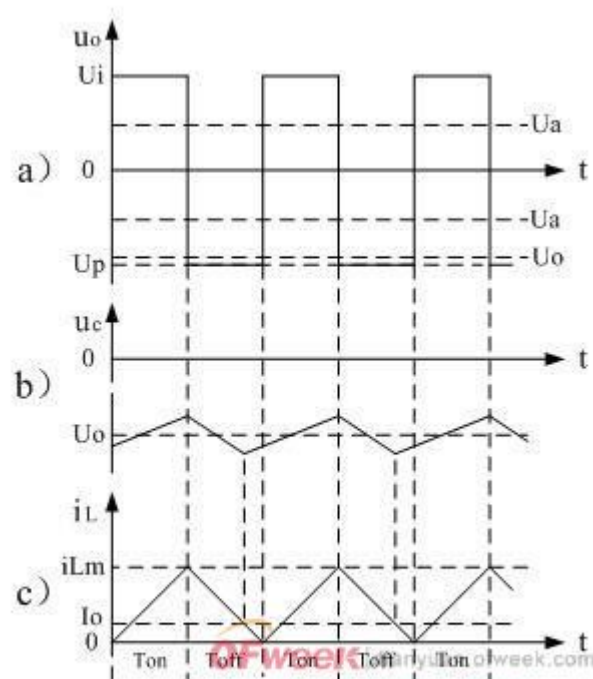


图 1-8

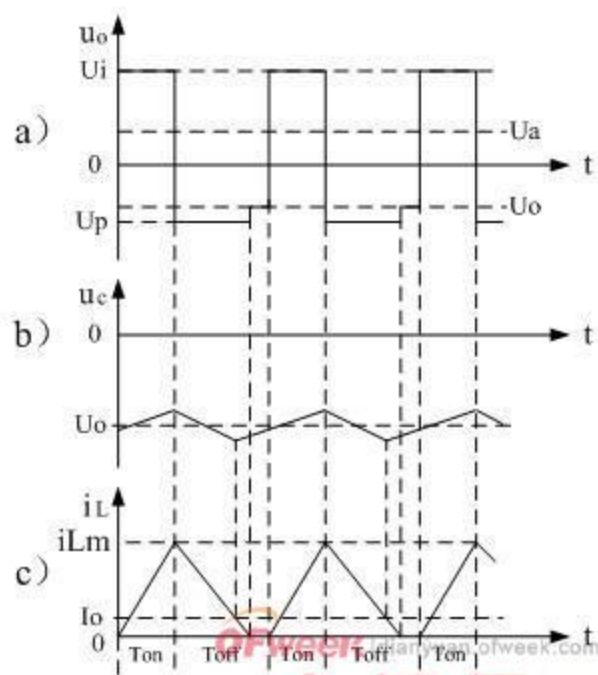


图 1-9

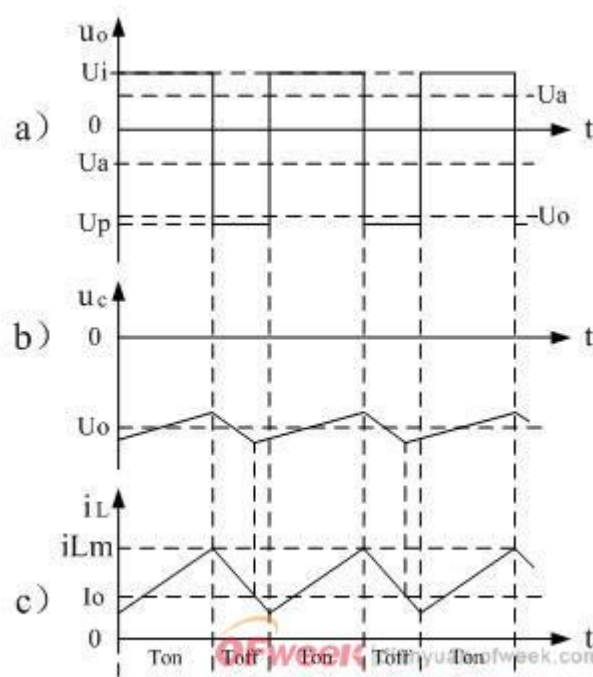


图1-10

图 1-8、图 1-9、图 1-10 分别是控制开关 K 的占空比 D 等于 0.5、 < 0.5 、 > 0.5 时，图 1-7 电路中几个关键点的电压和电流波形。图 1-8-a)、图 1-9-a)、图 1-10-a) 分别为控制开关 K 输出电压 u_o 的波形；图 1-8-b)、图 1-9-b)、图 1-10-b) 分别为储能滤波电容两端电压 u_c 的波形；图 1-8-c)、图 1-9-c)、图 1-10-c) 分别为流过储能电感 L 电流 i_L 的波形。应该特别注意的是，图 1-8-c)、图 1-9-c)、图 1-10-c) 中的电流波形按原理应该取负值，但取负值后与前面图 1-5 与图 1-6 对比反而觉得不好对比和分析，因此，当进行具体计算时，一定要注意电流和电压的方向。

在开关接通 T_{on} 期间，控制开关 K 接通，电源 U_i 开始对储能电感 L 供电，在此期间储能电感 L 两端的电压 e_L 为：

$$e_L = L di/dt = U_i \quad \text{—— K 接通期间} \quad (1-19)$$

对(1-19)式进行积分得：

$$i_L = \int_0^t \frac{U_i}{L} dt = \frac{U_i}{L} t + i(0) \quad \text{—— K 接通期间} \quad (1-20)$$

式中 i_L 为流过储能电感 L 电流的瞬时值， t 为时间变量； $i(0)$ 为的初始电流，即：控制开关 K 接通瞬间之前，流过储能电感 L 中的电流。当开关电源工作于临界连续电流状态时， $i(0) = 0$ ，由此可以求得流过储能电感 L 的最大电流为：

$$i_{Lm} = U_i/L * T_{on} \text{ —— K 关断前瞬间 (1-21)}$$

在开关关断 T_{off} 期间，控制开关 K 关断，储能电感 L 把电流 i_{Lm} 转化成反电动势，通过整流二极管 D 继续向负载 R 提供能量，在此期间储能电感 L 两端的电压 e_L 为：

$$e_L = L di/dt = - U_o \text{ —— K 关断期间 (1-22)}$$

式中 $-U_o$ 前的负号，表示 K 关断期间电感产生电动势的方向与 K 接通期间电感产生电动势的方向正好相反。对 (1-22) 式进行积分得：

式中 $i(T_{on+})$ 为控制开关 K 从 T_{on} 转换到 T_{off} 的瞬间之前流过电感的电流， $i(T_{on+})$ 也可以写为 $i(T_{off}-)$ ，即：控制开关 K 关断或接通瞬间，之前和之后流过电感 L 的电流相等。实际上 (1-23) 式中的 $i(T_{on+})$ 就是 (1-21) 式中的 i_{Lm} ，即：

$$i_L = - \int_{T_{on}}^t \frac{U_o}{L} dt = - \frac{U_o}{L} t + i(T_{on+}) \text{ —— K 关断期间 (1-23)}$$

$$i(T_{on+}) = i_{Lm} \text{ —— K 关断前瞬间 (1-24)}$$

因此，(1-9) 式可以改写为：

$$i_L = (U_o/L) * t + i_{Lm} \text{ —— K 关断期间 (1-25)}$$

当 $t = T_{off}$ 时 i_L 达到最小值。其最小值为：

$$i_{LX} = (U_o/L) * T_{off} + i_{Lm} \text{ —— K 接通前瞬间 (1-26)}$$

反转式串联开关电源输出电压一般为负脉冲的幅值。当开关电源工作于临界连续电流状态时，流过储能电感的初始电流 $i(0)$ 等于 0 (参看图 1-8-a))，即：(1-26) 式中流过储能电感电流的最小值 i_{LX} 等于 0。因此，由 (1-21) 和 (1-26) 式，可求得反转式串联开关电源输出电压 U_o 为：

$$U_o = \frac{U_i \times T_{on}}{T_{off}} = \frac{U_i \times D}{1-D} \text{ (1-27)}$$

由 (1-27) 式可以看出，反转式串联开关电源输出电压与输入电压与开关接通的时间成正比，与开关关断的时间成反比。

另外，从图 1-8 可以看出，由于反转式串联开关电源，仅当控制开关 K 关断期间才产生反电动势向负载提供能量。因此，当占空比为 0.5 时，输出电流的平均值 I_o 为流过储能电感电流最大值的四分之一；当占空比小于 0.5 时，输出电流

的平均值 I_o 小于流过储能电感电流最大值的四分之一(图 1-9);当占空比大于 0.5 时,输出电流的平均值 I_o 大于流过储能电感电流最大值的四分之一(图 1-10)。

OFweek 电子工程网