

开关电源RCD电路参数的选择与计算

陶显芳

2012.11.10

开关电源电路设计

@

RCD保护电路参数的选择与计算

- @ 什么是RCD保护电路?
- @ RCD尖峰脉冲电压吸收电路原理分析
- @ RCD尖峰脉冲吸收电路参数计算举例
- @ 其它尖峰脉冲吸收电路的缺点

@1. 什么是RCD保护电路？

➤ 在开关管关断的瞬间，开关变压器铁芯中储存的能量会通过初级线圈的漏感产生很高的尖峰电压脉冲；此尖峰脉冲与输入电压，以及与次级线圈反射到初级线圈的反电动势电压迭加后，一起加到开关管的D-S极之间，将很容易把电源开关管击穿；因此，必须要在开关变压器初级线圈回路中设置一个RCD尖峰脉冲电压吸收电路，以保护开关管过压击穿。

➤ RCD电路参数选择不合适，一个是起不到对开关管的过压保护作用，开关管很容易因过压击穿；另一个是增加电源开关管的损耗，使开关管的温升提高，降低开关电源的工作效率。

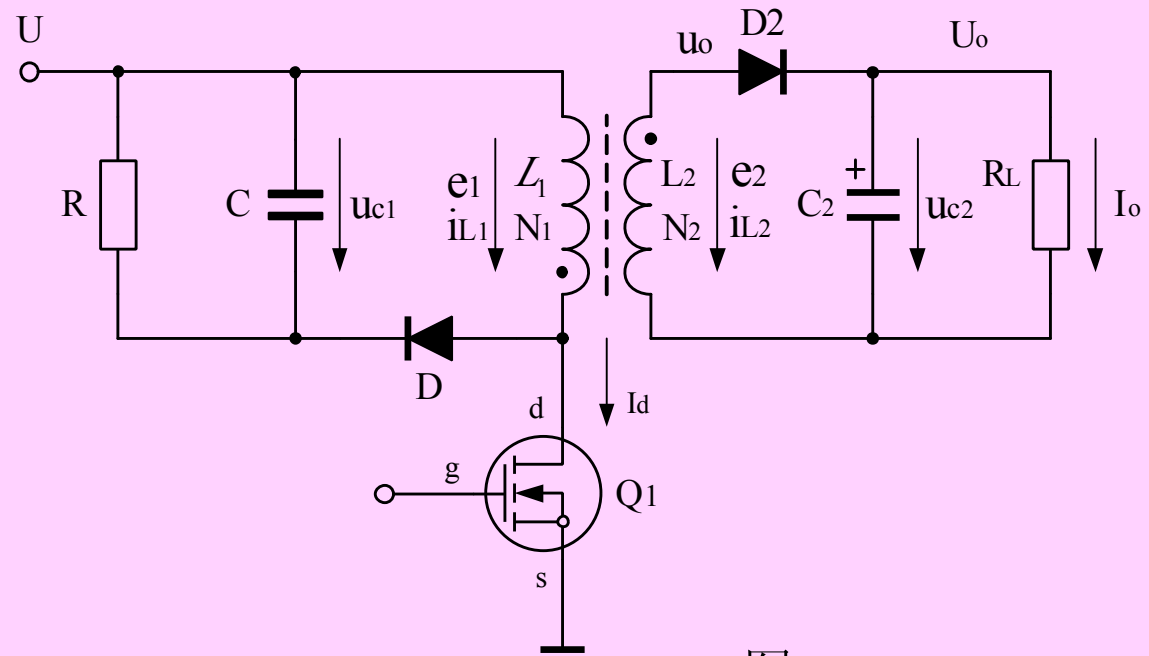
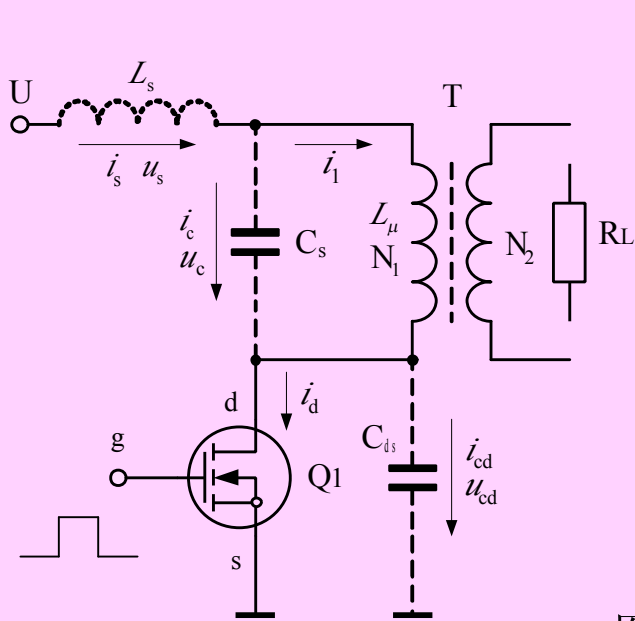
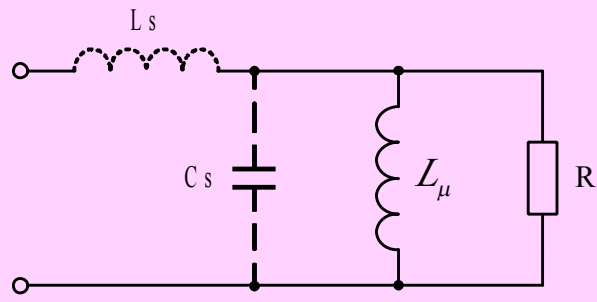


图1

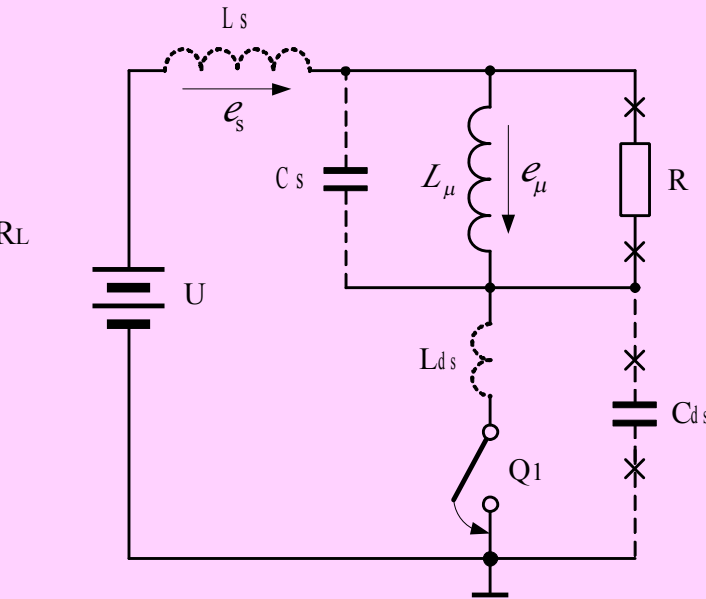
@2. 开关电源中的几个重要分布参数



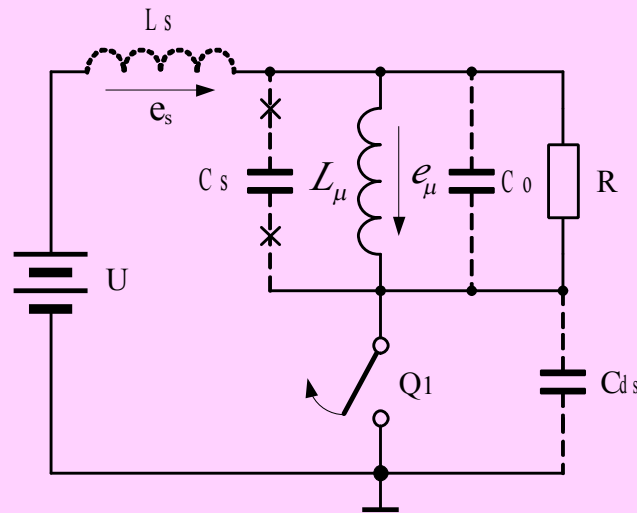
a 开关电源基本电路



b 开关变压器等效电路



c 开关管导通时



d 开关关断时

➤反激式开关电源中的几个重要分布参数：

- 1、变压器初级线圈的漏感 L_s
- 2、变压器初级线圈的分布电容 C_s
- 3、电源开关管关断瞬间的等效电容 C_{ds} （扩散电容）
- 4、变压器次级线圈反射到初级线圈的等效电容 C_o 和电阻 R

@3. 开关电源中的几个分布参数分析

- 图2-a为单激式开关电源基本电路。图中， U 为输入电压， L_s 为变压器初级线圈的漏感， C_s 为变压器初级线圈的等效分布电容（其中也包括次级线圈反射到初级线圈的分布电容）； C_{ds} 为开关管关断时，内部载流子的运动可等效成扩散电容； L_u 为变压器初级线圈的励磁电感， R_L 为变压器次级线圈的等效负载电阻。
- 图2-b为开关变压器的等效电路。图中， L_s 为变压器的漏感， L_u 为变压器初级线圈的励磁电感， C_s 为变压器初级线圈的等效分布电容， R 为变压器的等效负载电阻。
- 图2-c为Q1导通时，开关电源的等效电路。 L_{ds} 表示开关管内部的扩散电感，属于电阻性质，当开关管刚开始导通时，流过开关管的电流是由小变大，这个过程，与在电感两端加一方波电压时，流过电感的电流由小变大很相似，所以，当开关管刚导通的一瞬间，开关管的漏极和源极之间可以等效成一个电感 L_{ds} ，但实际上它是一个电阻（可变电阻），因为它损耗功率。
- 图2-d为Q1关断时，开关电源的等效电路。图中， C_{ds} 表示开关管内部的扩散电容，当开关管刚开始关断时，流过开关管的电流是由大变小，这个过程，与在电容两端加一方波电压时，流过电容的电流由大变小很相似，所以，当开关管刚导通的一瞬间，开关管的漏极和源极之间可以等效成一个电容 C_{ds} ，但实际上它属于电阻性质（可变电阻），因为它损耗功率。

@4. 输出电压的半波平均值

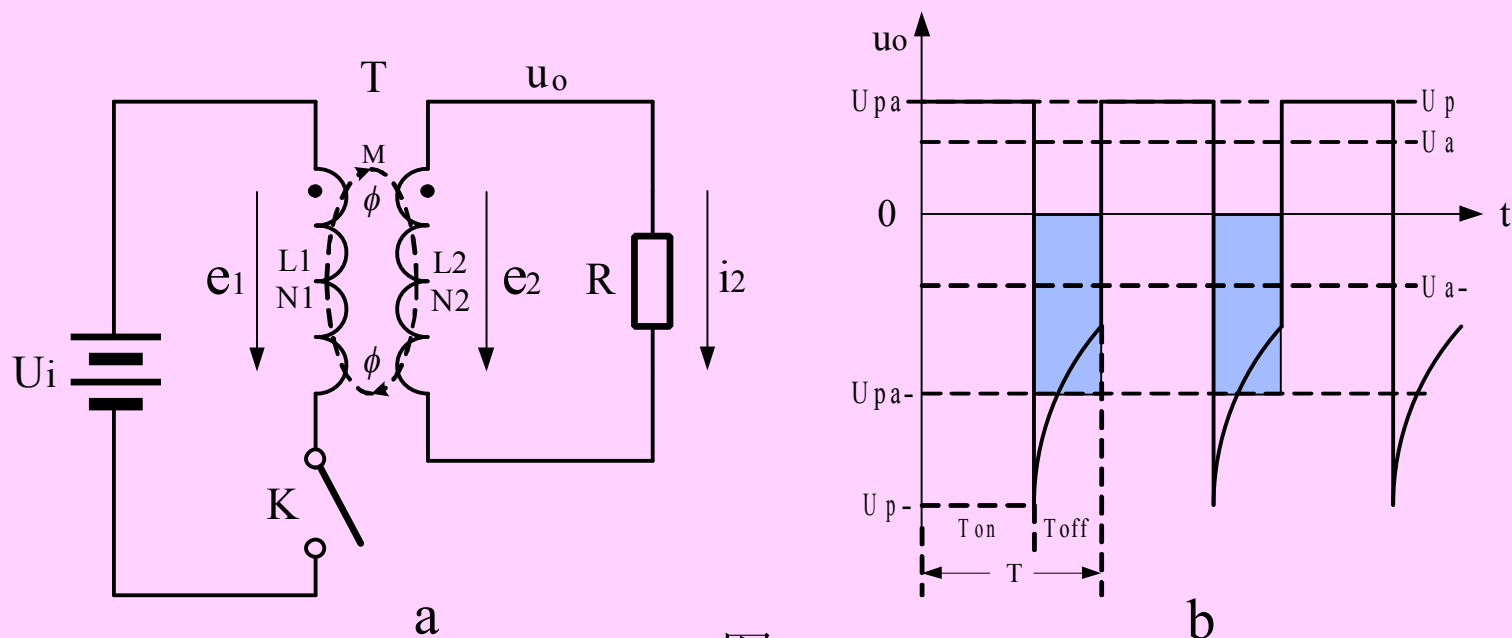


图3

➤ 把输出电压 u_o 的正、负半波分别用平均值 U_{pa} 、 U_{pa-} 来表示，则有：

$$\text{正半波平均值: } U_{pa} = \frac{1}{T_{on}} \int_0^{on} u_o dt \quad \text{——K接通期间} \quad (1)$$

$$\text{负半波平均值: } U_{pa-} = \frac{1}{T_{off}} \int_{on}^{off} u_o dt \quad \text{——K关闭期间} \quad (2)$$

@5. 开关管工作时电流与电压的关系

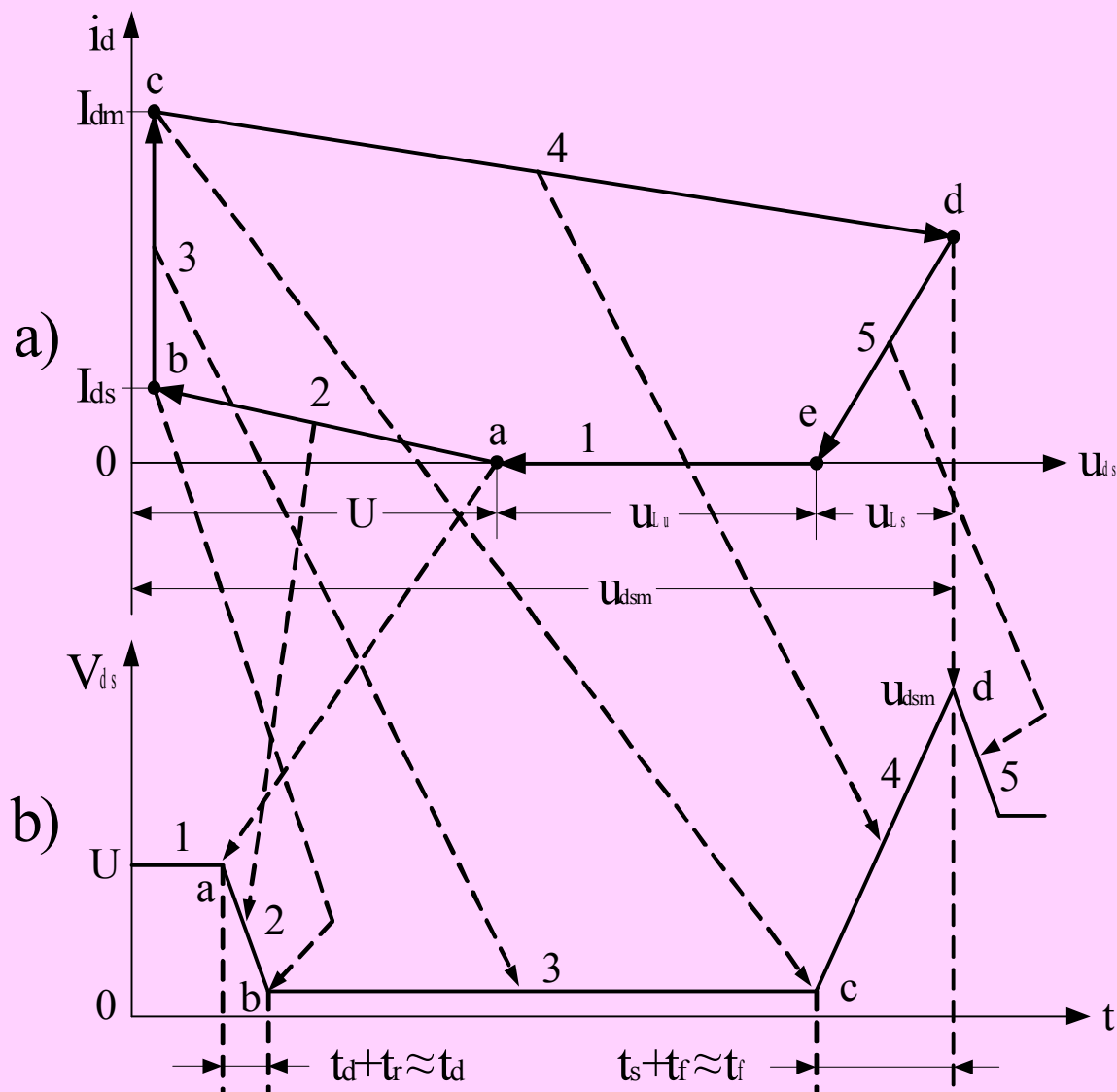


图4

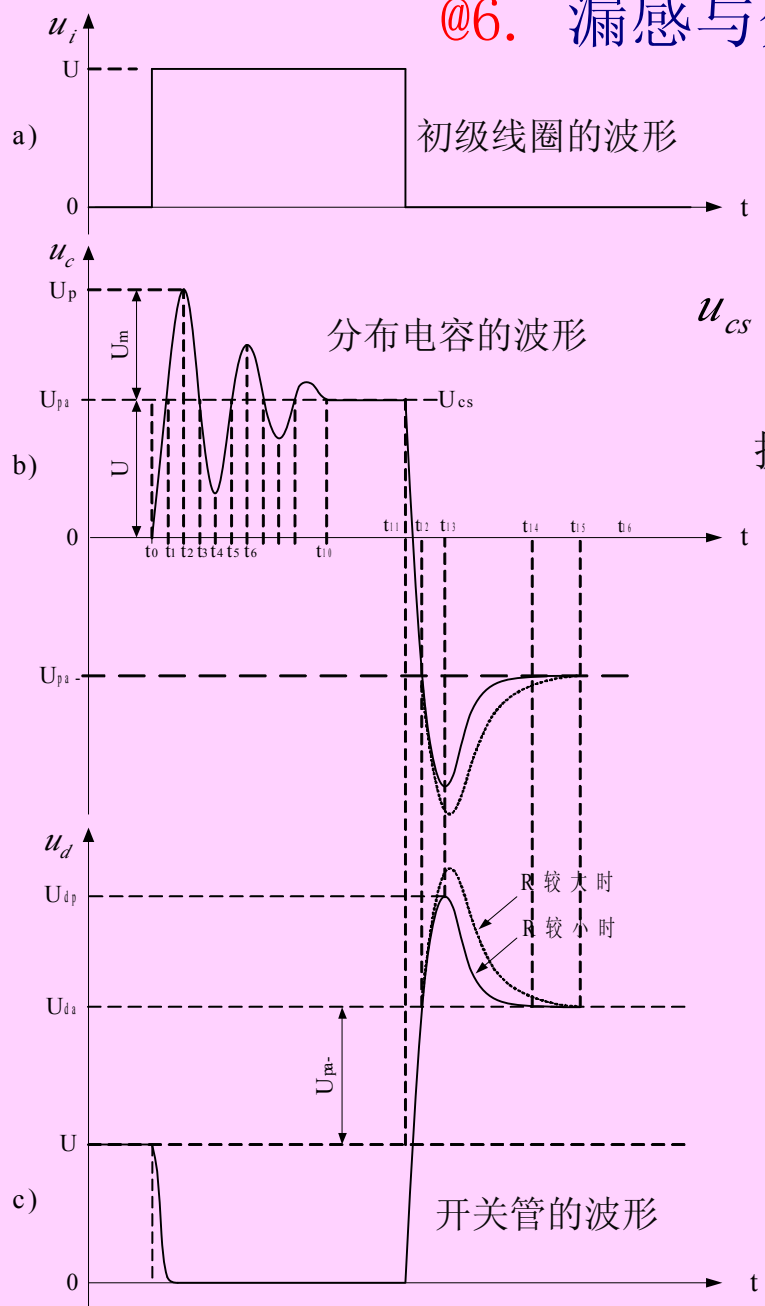
➤ 开关管的工作过程:

- 1、开关管导通前，漏极电压等于工作电压 U ，电流等于 0；
- 2、开关管开始导通时，可等效成一个电感 L_{ds} ；
- 3、开关管完全导通后，开关管工作于饱和区，漏极电流主要由负载决定；
- 4、开关管开始关断前一刻，漏极电流达到最大值 I_{dm} ；
- 5、开关管开始关断的瞬间，漏极电压达到最大值 U_{dsm} ；

$$u_{dsm} = U + u_{Lu} + u_{Ls}$$

—— Q1关断时 (3)

@6. 漏感与分布电容对变压器输出波形的影响



Q1导通时:

$$u_{cs} = U_{cs} e^{-\alpha t} \sin \omega t + U_{cs} = \frac{L_{\mu}}{L_s + L_{\mu}} U (e^{-\alpha t} \sin \omega t + 1)$$

振荡频率: $\omega \approx \frac{1}{\sqrt{L_s C_s}}$; 衰减因子: $\alpha = \frac{1}{2RC_s}$

$$u_{cs} \approx U (e^{-\alpha t} \sin \omega t + 1) \quad \text{—— Q1导通} \quad (4)$$

Q1关断时:

$$u_{dc} \approx U (e^{-\alpha t} \sin \omega t + 2) \quad \text{—— Q1关断} \quad (5)$$

振荡频率: $\omega \approx \frac{1}{\sqrt{L_s C_{ds}}}$; 衰减因子: $\alpha = \frac{R}{2L}$

图5

@7. 漏感与分布电容产生振荡波形分析①

- 图5-a为Q1导通和关断时，输入电压U加到变压器初级线圈两端的电压波形；当Q1导通时，相当于在开关变压器初级线圈两端加一幅度等于输入电压的方波。
- 图5-b为Q1导通和关断时，分布电容 C_s 两端电压的波形。由于 L_s 和 C_s 的时间常数相对于变压器初级线圈励磁电感 L_u 的时间常数小非常多，因此，流过 L_s 和 C_s 的电流速率，相对要比流过 L_u 的电流速率高很多，当Q1导通或关断时，输入电压或电流的改变，都会使 L_s 和 C_s 、 C_{ds} 组成的电流回路产生高频谐振，这种高频谐振不但会产生很强的EMI电磁辐射干扰。
- 在图5-c为Q1导通和关断时，开关管D、S极分布电容 C_{ds} 两端电压的波形。由于 C_{ds} 为扩散电容，属于电阻性质，当电容 C_{ds} 被充满电后，即Q1完全关断后，电容 C_{ds} 不会对漏感 L_s 进行放电，因此，电容 C_{ds} 与漏感 L_s 两者之间也不会产生阻尼振荡；但此时，漏感 L_s 与励磁电感 L_u 产生的反电动势，经串联后再与输入电压迭加，三者一起加到开关管D、S极的两端，在D、S极两端将会产生很高的尖峰脉冲电压，如不采取保护措施，很容易将开关管击穿。

@7. 漏感与分布电容产生振荡波形分析②

- (4) 式为图2-c中开关管导通时，漏感 L_s 与分布电容 C_s 产生谐振，分布电容 C_s 两端谐振电压波形的数学表达式；(5) 式为图2-d中开关管关断时，开关管分布电容 C_{ds} 两端谐振电压波形的数学表达式。
- 由于 C_{ds} 为开关管内部的扩散电容，属于电阻性质，当开关管完全关断之后，阻值为无限大，漏感 L_s 产生的反电动势 e_s 只会对 C_{ds} 进行充电（通过开关管的内阻释放能量），而 C_{ds} 不会对漏感 L_s 进行反充电；因此，当漏感 L_s 储存的能量释放完后，其后续振荡过程不会再发生。所以，(5) 式表示的是 C_{ds} 为纯电容时的波形，它仅表示振荡波形中电容 C_{ds} 充电时的一部分，电容 C_{ds} 放电的过程，在实际应用中不存在，因为 C_{ds} 充电时，实际上是一个阻值由小变大的电阻。
- 当开关变压器次级线圈为纯电阻负载时，开关管D、S两端的电压波形也是一个振荡波形，但其数学表达式不能用完全用(5) 式来表示，因为谐振回路和参数有差异。
- 当开关管完全关断时，加到开关管D、S两端的电压正好是输入电压 U 与漏感产生的反电动势电压 e_s 和励磁电感产生的反电动势电压 e_u 三者之和，此时，会在开关管的D、S极之间会产生很高的尖峰脉冲电压。

@8. RCD尖峰脉冲电压吸收电路原理分析

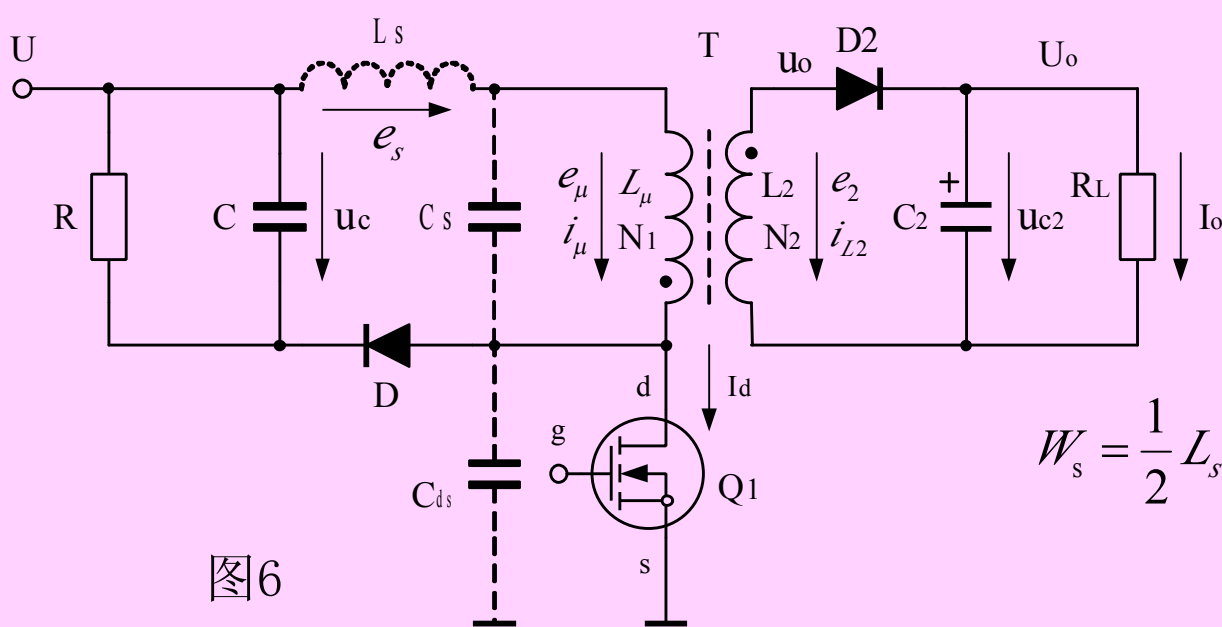


图6

$$I_m = \frac{U}{L} T_{on} + i(0) \quad (6)$$

$$W_\mu = \frac{1}{2} L_\mu I_m^2 \quad (7)$$

$$L = L_s + L_\mu \quad (8)$$

$$W_s = \frac{1}{2} L_s I_m^2 = W_c + W_r + W_{ds} \quad (9)$$

$$W_c \approx \frac{1}{2} C \Delta U_c^2 \quad (10)$$

➤ 图6为RCD尖峰脉冲电压脉冲吸收保护电路工作原理图。(6)式为流过变压器初级线圈电流的最大值 I_m ；(7)式为变压器励磁线圈储存的能量 W_μ ，(8)式为变压器初级线圈的总电感 L ，(9)为漏感 L_s 储存的能量 W_s ，其中 W_c 为电容器储存的能量， W_r 为电阻 R 损耗的能量， W_{ds} 为 $Q1$ 在关断过程中损耗的部分能量； ΔU_c 为电容 C 两端的纹波电压。当用RCD电路来吸收开关变压器初级线圈产生的反激尖峰脉冲时，只能吸收变压器初级线圈漏感 L_s 储存的能量，而变压器励磁线圈储存的能量最好不要吸收，否则会降低工作效率。

@9. RCD尖峰脉冲吸收电路参数计算①

➤ 根据（9）式，如果忽视电阻R对电容器C充电时的分流作用，以及开关管由导通到完全关断期间，漏极电流（逐步减小）对电容器C充电时的分流作用（即 C_{ds} 的分流作用），则（9）式可以改写为：

$$W_s \approx W_c \approx \frac{1}{2} C \Delta U_c^2 \quad \text{—— Q1关断期间} \quad (11)$$

➤ 把（6）式代入（11）式，并注意，当占空比 $D \leq 0.5$ 时， $i(0)=0$ ，由此可求得电容C容量的最大值和两端纹波电压的最大值：

$$C_m = L_s \left(\frac{I_m}{\Delta U_c} \right)^2 = L_s \left(\frac{U \times T_{on}}{L \times \Delta U_c} \right)^2 \quad \text{—— Q1关断期间} \quad (12)$$

$$\Delta U_{Cm} = I_m \sqrt{\frac{L_s}{C_m}} = \frac{U \times T_{on}}{L_\mu + L_s} \sqrt{\frac{L_s}{C_m}} = \frac{U \times T_{on}}{L} \sqrt{\frac{L_s}{C_m}} \quad \text{—— Q1关断期间} \quad (13)$$

➤ （12）和（13）式中，U为输入电压； ΔU_c 为电容器吸收尖峰脉冲电压后，增加的电压增量（即纹波电压）； I_m 为流过变压器初级线圈励磁电流的最大值； L_s 为变压器初级线圈的漏感， L_μ 为变压器初级线圈的励磁电感，L为变压器初级线圈的总电感； T_{on} 为开关管的导通时间（变压器铁心储存能量的时间）。

@9. RCD尖峰脉冲吸收电路参数计算②

➤ 如果考虑电阻R对电容器C充电时的分流作用，以及开关管由导通到完全关断期间漏极电流（逐步减小）对电容器C充电时的分流作用，则（12）和（13）式可以改写为：

$$C = L_s \left(r \frac{I_m}{\Delta U_c} \right)^2 = L_s \left(r \frac{U \times T_{on}}{L \times \Delta U_c} \right)^2 \quad \text{—— Q1关断期间} \quad (14)$$

$$\Delta U_c = r I_m \sqrt{\frac{L_s}{C}} = r \frac{U \times T_{on}}{L_\mu + L_s} \sqrt{\frac{L_s}{C}} = r \frac{U \times T_{on}}{L} \sqrt{\frac{L_s}{C}} \quad \text{—— Q1关断期间} \quad (15)$$

➤ （14）和（15）式中，r为一个与电阻R大小有关和与开关管D-S极之间分布电容 C_{ds} 参数有关的分流系数， $0 \leq r \leq 1$ 。分流系数r表示：当考虑电阻R对电容器C充电的分流作用，以及开关管由导通到完全关断期间，漏极电流对电容器C充电的分流作用时，R和D-S极分布电容 C_{ds} 对电容器C充电产生的分流作用为（1-r）倍。当r=1时，相当于R开路和D-S极分布电容 C_{ds} 等于0；此时，相当于计算得到的结果已经预留了（1-r）倍的余量。

➤ 如果令（14）和（15）式中的分流系数r=1，即：当R开路和D-S极分布电容 C_{ds} 等于0时，则（14）和（15）就等同于（12）和（13）式，其结果就是求电容C和纹波电压 ΔU_c 的极限值。

@9. RCD尖峰脉冲吸收电路参数计算③

- 由（15）式可以看出：开关管每关断一次，电容器C两端的电压就要增加一个电压增量 ΔU_c ；为了不让电容器C的两端电压不断增加，必须要在开关管导通期间，把电容器每次充电新增的电荷通过R释放掉；即，在开关管每次关断之前，电容器C两端的电压都要通过电阻R释放掉一部分，使下降这部分的电压正好与电容器C充电时新增的电压在数值上相等，符号相反（ $-\Delta U_c$ ）。
- 由此可知：电容器C容量的选取，对于开关管第一次关断时所吸收的能量多少，至关重要，如果容量选得太小，电容器第一次充电产生的电压增量与输入电压迭加后，很可能就会超过电源开关管的耐压值；开关管导通之后，电容器C开始对电阻R放电，其后电容器每次充、放电的电压增量多少，才由电阻R的阻值来决定。
- 由图6可以看出，电容器C两端电压的最大值 U_{cm} ，等于变压器初级线圈励磁电感产生的感应电动势 e_u 和漏感 L_s 产生的感应电动势 e_s 两者之和（即变压器初级线圈反激输出电压的半波平均值），与电容器C充电时产生的电压增量 ΔU_c 的二分之一，三者迭加。即：

$$U_{cm} = U_{pa\mu} + U_{pas} + \frac{1}{2} \Delta U_c = U_{paL} + \frac{1}{2} \Delta U_c \quad \text{—— Q1关断期间 (16)}$$

@9. RCD尖峰脉冲吸收电路参数计算④

➤ (16) 式中, U_{cm} 为电容器两端电压的最大值, ΔU_c 为吸收尖峰脉冲电容C两端的纹波电压 U_{paL} , U_m 为开关变压器初级线圈反激输出电压的半波平均值。

➤ 如果忽略整流二极管D的正向压降, Q1开关管D-S极两端的最高电压 U_{mds} 则由下式决定:

$$U_{dsm} = U_m + U_{cm} = U_m + U_{paL} + \frac{1}{2} \Delta U_c \quad \text{—— Q1关断期间} \quad (17)$$

➤ (17) 式中, U_{dsm} 为开关管D-S极两端的最高电压, U_m 为电源输入电压的最大值。初级线圈反激输出电压的半波平均值 U_{paL} 可由下式求得:

$$U_{paL} = \frac{UT_{on}}{T_{off}} = \frac{UD}{1-D} \quad \text{—— Q1关断期间} \quad (18)$$

➤ 当开关管由关断转为接通时, 电容器C两端的电压将通过电阻R按指数衰减规律进行放电:

$$u_c = U_{cm} e^{-\frac{t}{RC}} = (U_{paL} + \frac{1}{2} \Delta U_c) e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{—— Q1接通期间} \quad (19)$$

@9. RCD尖峰脉冲吸收电路参数计算⑤

➤ 在电源开关管Q1由导通转为关断的瞬间，电容器C两端的电压应该为最小值 U_{cx} 。其结果可由下式求得：

$$U_{cx} = U_{cm} e^{-\frac{T_{on}}{RC}} = \left(U_{paL} + \frac{1}{2} \Delta U_c \right) e^{-\frac{T_{on}}{RC}} \quad \text{—— Q1接通期间} \quad (20)$$

➤ 当 $\Delta U_c = -\frac{1}{2} U_c$ 在数值上完全相等时，还可以写成：

$$U_{cx} = U_{cm} e^{-\frac{T_{on}}{RC}} = \left(U_{paL} - \frac{1}{2} \Delta U_c \right) \quad \text{—— Q1接通期间} \quad (21)$$

➤ 对 (20) 和 (21) 式进行求解：

$$\left(U_{paL} + \frac{1}{2} \Delta U_c \right) e^{-\frac{T_{on}}{RC}} = \left(U_{paL} - \frac{1}{2} \Delta U_c \right) \quad \text{—— (22)}$$

或：

$$e^{-\frac{T_{on}}{RC}} = \frac{\left(U_{paL} - \frac{1}{2} \Delta U_c \right)}{\left(U_{paL} + \frac{1}{2} \Delta U_c \right)} \quad \text{—— (23)}$$

@9. RCD尖峰脉冲吸收电路参数计算⑥

➤ (23) 式还可以进一步改写为:

$$\frac{T_{on}}{RC} = -\ln \frac{(U_{paL} - \frac{1}{2} \Delta U_c)}{(U_{paL} + \frac{1}{2} \Delta U_c)} \quad \text{—— (24)}$$

➤ (23) 和 (24) 就是我们用来求解RCD尖峰脉冲吸收电路: 电阻R、电容C、纹波电压 ΔU_c , 以及变压器初级线圈反激输出电压的半波平均值 U_{paL} 的关系式。

➤ 在使用 (23) 和 (24) 式之前, 还需要先利用 (12) 和 (13) 式, 或 (14) 和 (15) 式计算出电容器C的容量, 以及定义好电压纹波电压 ΔU_c 的数值。

$$\Delta U_c = r I_m \sqrt{\frac{L_s}{C}} = r \frac{U \times T_{on}}{L_\mu + L_s} \sqrt{\frac{L_s}{C}} = r \frac{U \times T_{on}}{L} \sqrt{\frac{L_s}{C}} \quad \text{—— Q1关断期间 (15) *}$$

@10. RCD尖峰脉冲吸收电路参数计算举例

10.1 反激式开关变压器初级线圈电感 L 和漏感 L_s 的计算

- 反激式开关变压器的漏感一般都比较大，漏感与初级线圈电感之比，大多数都在2~8%之间。漏感的大小主要与变压器初、次级线圈的绕法、铁芯和骨架的结构，以及气隙大小等参数有关，还与磁通密度取值的大小有关，因为磁通密度取得越大，导磁率就会越小。
- 开关变压器初级线圈电感量的大小主要与开关电源的工作频率有关，还与工作电压和输出功率的大小有关。一般输出功率越大，工作频率就越低，电感量也越大；而工作电压越高，电感量也越大。漏感小于2%或大于15%的开关变压器，其结构一般都比较特殊。开关变压器初级线圈的电感 L 和漏感 L_s 的大小，可以用仪表直接进行测量。一般工作频率为30~50kHz，工作电压为AC110V~220V的开关变压器，其初级线圈的电感量大约为：300~1000微亨，漏感大约为：10~100微亨；计算时，可按3~6%的比例来取值进行估算。例如： $L=1000\mu\text{H}$ ，则可取 $L_s = 30\sim 60\mu\text{H}$ 。

10.2 流过变压器初级线圈最大电流 I_m 和电容器纹波电压 ΔU_c 的计算①

- 流过变压器初级线圈的最大电流 I_m ，可根据开关电源的最大输入功率 P_m 来进行估算。根据（6）和（7）式，当输入功率一定时，输入电压在一定的范围内，流过变压器初级线圈的最大电流 I_m 和输出电压 U_o 基本是稳定的；变压器初、次级线圈反激输出电压的半波平均值也基本是稳定的，与输入电压的大小无关，但对应不同的输入电压必须对应不同的占空比，参看（18）式。
- 大多数反激式开关电源的最大输出功率都在100W以下，因为用于反激式开关电源功率损耗大于10W的电源开关管种类很少，如需要较大输出功率，一般都选用半桥式或全桥式双激式开关电源。
- 假设开关电源的最大输入功率为50W，当占空比为0.5时，变压器初级线圈的反激输出电压的半波平均值 U_{paL} 与输入电压 U 相等，而流过变压器初级线圈的最大电流 I_m 等于平均电流的4倍。

10.2 流过变压器初级线圈最大电流 I_m 和电容器纹波电压 ΔU_c 的计算②

➤ 在实际应用中，纹波电压的取值与开关管的耐压参数大小有关。假设电源开关管的耐压 BV_m 为650V，如果预留20%的余量，那么，正常工作时，加到开关管D-S极之间的最高脉冲电压 U_{dsm} 只能达到520Vp。而在 U_{dsm} 电压520Vp之中，（17）式中的这一项是要首先考虑的。假设 $\Delta U_c/2$ 约等于 U_{dsm} 电压的10%，即：

$$\Delta U_c/2 = 52 \text{ (V)} \quad \text{或} \quad \Delta U_c = 104 \text{ (V)} \quad \text{——} \quad (25)$$

➤ 当最高输入电压为360V时（对应交流输入电压为AC253V），根据（17）式可求得：

$$U_{paL} = U_{mds} - U_m - \frac{1}{2} \Delta U_c = 520 - 360 - 52 = 108 \text{ (V)} \quad \text{——} \quad (26)$$

➤ 当占空比为0.5时，输入电压与开关变压器初级线圈反激输出电压的半波平均值相等，即： $U = U_{paL} = 108\text{V}$ ，由此可求得，最大输入电流 $I_m = 1.85\text{A}$ 。

10.3 尖峰脉冲吸收电容器容量的计算①

➤ 尖峰脉冲吸收电容器的容量与漏感的大小及纹波电压的大小有关，假设反激式开关变压器初级线圈的电感量 $L=1000\mu\text{H}$ ，漏感 $L_s=50\mu\text{H}$ 。把这些参数代入（12）和（14）式，可求得：

$$C_m = L_s \left(\frac{I_m}{\Delta U_c} \right)^2 = 50 \times 10^{-6} \left(\frac{1.85}{104} \right)^2 = 15821 \times 10^{-12} \quad (\text{F}) \quad \text{—— } r=1 \text{ 时} \quad (27)$$

$$C = L_s \left(r \frac{I_m}{\Delta U_c} \right)^2 = 50 \times 10^{-6} \left(0.5 \frac{1.85}{104} \right)^2 = 3955 \times 10^{-12} \quad (\text{F}) \quad \text{—— } r=0.5 \text{ 时} \quad (28)$$

➤ 上面（27）和（28）式的计算结果，可作为对RCD尖峰脉冲吸收电路进行试验时，选择电容器容量的上限和下限，最终结果需要通过电路试验来决定。

➤ 这里顺便说明一下，为什么（28）式中的分流系数取0.5，因为，分流系数 r 的取值范围是0~1，它是一个动态系数，它的大小，除了与RCD电路中的电容、电阻的大小有关外，还与开关管的关断时间（ $=t_s+t_f$ ）大小有关；按照平均值的概念，理所当然的是取中间值为好，但最终结果还要通过做实验来决定，因为，分流系数的大小，不但会影响开关管的关断损耗；同时也会影响开关电源的工作效率。

10.4 尖峰脉冲吸收电路释放电阻阻值的计算①

➤ 纹波电压 ΔU_c 的大小与释放电阻R的阻值大小还有关。一旦电容器的容量确定之后，释放电阻R阻值的大小就可以根据（21）～（24）式来计算。根据（17）式，电容器两端最高电压为：

$$U_{cm} = U_{paL} + \frac{1}{2} \Delta U_c = 108 + 52 = 160 \quad (\text{V}) \quad \text{—— 关断期间} \quad (29)$$

根据（4-34）式，电容器两端最低电压为：

$$U_{cx} = (U_{paL} - \frac{1}{2} \Delta U_c) = 108 - 52 = 56 \quad (\text{V}) \quad \text{—— 导通期间} \quad (30)$$

把（29）和（30）式的结果代入（24）式，即可求出RC的值：

$$\frac{T_{on}}{RC} = -\ln \frac{(U_{paL} - \frac{1}{2} \Delta U_c)}{(U_{paL} + \frac{1}{2} \Delta U_c)} = \frac{56}{160} = 0.35 \quad \text{——} \quad (31)$$

➤ 当RC的值与开关管导通时间 T_{on} 完全相等时，（24）式的值正好等于0.37，与（31）式的结果非常接近。或者，当纹波电压=100V时，由（30）式计算得到的结果正好等于0.37，此时，RC的值与开关管导通时间 T_{on} 完全相等。

10.4 尖峰脉冲吸收电路释放电阻阻值的计算②

➤ 根据 (31) 式可求得：

$$RC \approx T_{on} \quad \text{——} \quad (32)$$

➤ 把由 (27) 和 (28) 式求出C的结果，以及根据 (6) 式求出的 T_{on} 值，代入 (32) 式后即可求出电阻R的值。

➤ 由于，当占空比D小于0.5时，流过电感线圈的电流出现断流（平均值），这也会对分流系数产生很大的影响，使计算变得复杂；为了计算简单，我们在计算开关管的导通时间 T_{on} 时，还是以占空比等于0.5为例。换一句话来说，就是在一个周期内，电阻R对电容C分流的大小，其平均值基本是恒定的，与占空比的大小无关。

➤ 因此，当占空比等于0.5时，对应的输入电压U为108V，对应的最大电流 I_m 为1.85A，假设开关变压器初级线圈的电感量 $L=1000\mu\text{H}$ ，根据 (6) 式，可求得 T_{on} 的值为：

$$T_{on} = L \frac{I_m}{U_m} = 1 \times 10^{-3} \frac{1.85}{108} = 17 \times 10^{-6} \quad (\text{S}) \quad \text{——} \quad (33)$$

10.4 尖峰脉冲吸收电路释放电阻阻值的计算③

➤ 把（28）和（33）式求得的结果： $C=3955\text{P}$ ， $T_{on}=17\mu\text{S}$ ，代入（32）式可求得：

$$R = \frac{T_{on}}{C} = \frac{17 \times 10^{-6}}{3955 \times 10^{-12}} = 4298 \quad (\Omega) \quad \text{——} \quad (34)$$

➤ （32）式的结果是否有一定的代表性，这不能只看（31）式的结果，RC的值首先要根据（12）和（14）式来决定C的值，其后才能根据（32）式来计算电阻R的值。因为，电容器第一次充电时，电容器两端电压的幅度大小是最主要的，之后电容才通过电阻进行放电，而电容放电的速率大小，完全由电阻的大小来决定；即在RCD电路中，充电幅度主要由电容C的大小来决定，而放电幅度主要由电阻来决定，两者一定要平衡。一般都需要进行反复调试后，才能使RCD电路工作于最佳状态。

➤ （28）和（34）式的计算结果是否合理？是可以验证的。由于电容器C两端电压的半波平均值为108V，如果漏感的输出功率为2.5瓦（50x5%），则当漏感输出的功率完全被电阻R吸收时，此电阻的最佳值为4.7K；而（34）式的计算结果为4298 Ω （2.71W），这说明计算结果与理想值相差很小。在实际应用中，计算结果还只是一个保守值，因为，开关管在关断过程中也会损耗功率，漏感输出的功率不可能全部都损耗在电阻上。由此可知，要提高开关电源工作效率，必须要降低开关变压器的漏感

@11. 其它尖峰脉冲吸收电路的缺点

➤ 在反激式开关电源中，很多人用一个稳压二极管来代替RCD电路中的电阻和电容，用以对开关管进行过压保护，如图7所示。从原理上来说，这种方法对开关管的过压保护是非常有效的，但实践证明，这种保护方法可靠性很差。因为，当开关管关断时，1.85A（以上面计算结果为例）的电流流过150~200V的稳压二极管，其产生的瞬时功率高达280~370W，这么大的瞬时功率很容易使稳压二极管局部损伤，当损伤程度达到某个临界点后，就会产生热击穿，造成永久失效。

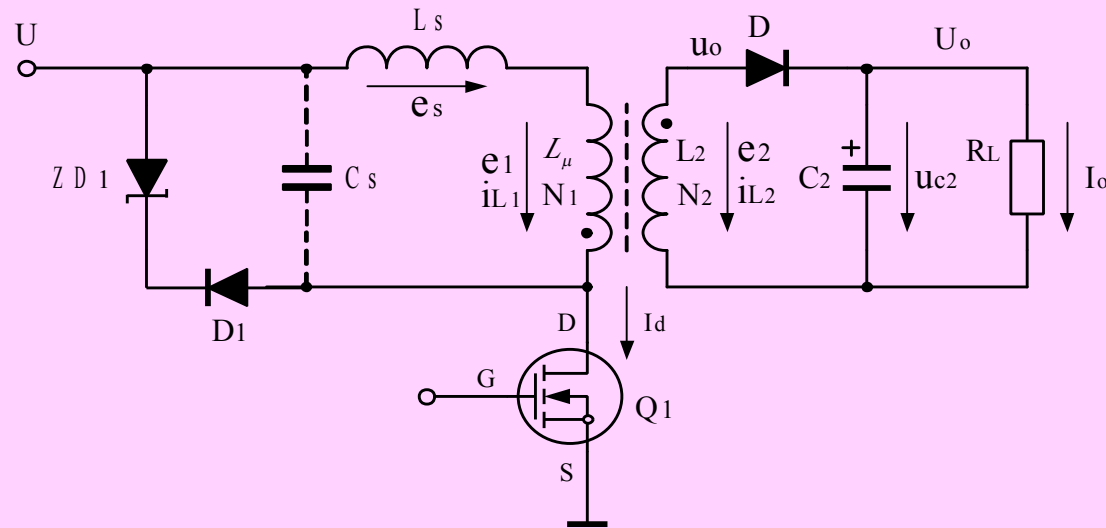


图7

www.csau.com

—— 半导体应用联盟

谢谢各位

陶显芳: taoxianfang@gmail.com

taoxianfang@hqew.com