

降压转换器开关节点高频振荡抑制方法二

引言

在降压转换器中，MOSFET 开通与关断瞬间，由于 MOSFET 自身的寄生参数以及 PCB 走线的寄生参数，如寄生电感和寄生电容等存在的原因，开关节点在开关动作瞬间会产生高频振荡，如图 1 所示。过高的振荡会增加损耗、加重 EMI 干扰，甚至击穿芯片影响系统的稳定工作。本文介绍了另一种抑制开关节点高频振荡的方法。

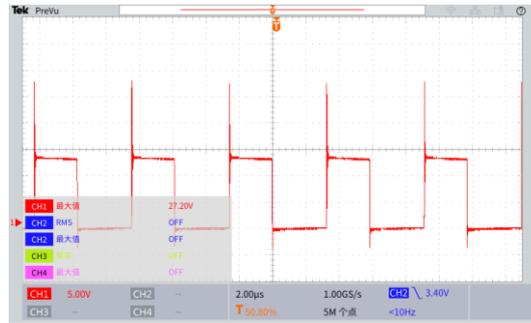


图 1.常见的降压转换器的开关波形

RC 缓冲电路的引入

为了尽可能的抑制高频震荡，添加 RC 缓冲电路为最常用的方法之一。图 2 展示了包含主要寄生电感和电容的异步降压转换电路，RC 缓冲电路放置在开关节点和 GND 节点之间。该电路主要用来抑制 Q1 开通瞬间的高频振荡，而该高频振荡也是绝大多数过压问题和 EMI 问题的源泉。

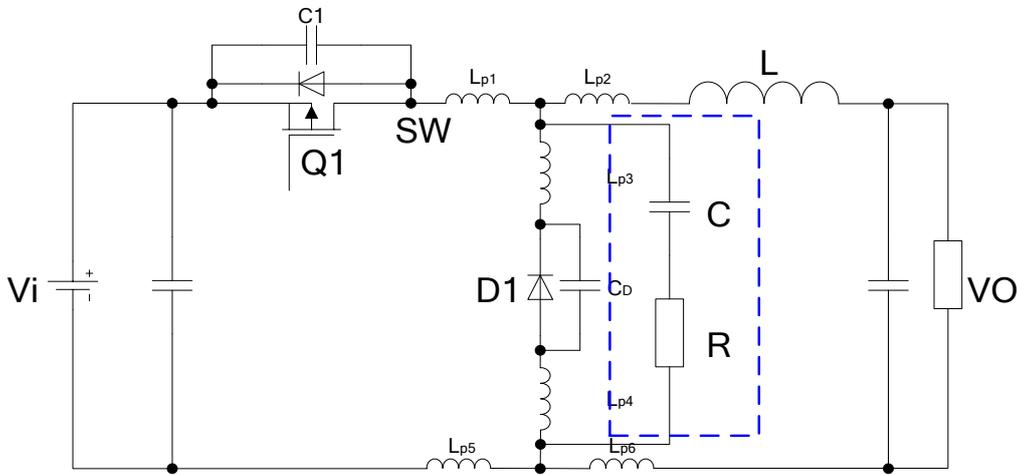


图 2.包含主要寄生电感和电容的异步降压转换电路

首先由于开关过程在极短时间（从数个纳秒至数十个纳秒）完成，在此过程中电感 L 上的电流可以认为几乎不变，所以 L 和 L_{p2}以及串联的 L_{p6}不参与振铃。其次，在高频振荡使得 SW 处的幅值超过 V_i后，上管 MOSFET 的沟道已完全打开，C1 被短路，也不参与高频振荡。因此最终参与高频震荡的只有 L_{p1}，L_{p3}，L_{p4}，L_{p5}，C_D这些寄生参数。

RC 缓冲电路的等效模型及参数计算

上述图 2 参与高频振荡的回路可等效成下图 3 中的 LC 谐振电路，L_R和 C_R为 L_{p1}，L_{p3}，L_{p4}，L_{p5}，C_D所有参与振铃的寄生电感和寄生电容的复合值；通常 RC 缓冲电路中的 C 取值在数 nF 左右，在高频振荡的频率 f_R（加了 RC 缓冲电路后）下的阻抗很小，因此图 3 可以进一步近似等效为图 4。由图 4 的等效电路，可得到，

$$V_i = L_R C_R \frac{d^2 U_C}{dt^2} + \frac{L_R}{R} \frac{dU_C}{dt} + U_C \quad (1)$$

(根据图 4 所示等效电路, 其中 UC 为 R 两端的电压), 故为使图 4 电路为临界阻尼振荡, R 的取值为

$$R = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L_R}{C_R}} \quad (2)$$

同时, C 越大, 意味着同样的阻尼电阻对高频振荡的抑制效果越好。但是当电容达到一定程度至后, 电容的增加而高频振荡抑制的效果提供却并不显著, 究其原因, 在 RC 缓冲电路支路, 电路电抗为

$$R + \frac{1}{(j * 2\pi * f_R * C)}$$

当 C 达到使得

$$\frac{1}{(j * 2\pi * f_R * C)} \ll R$$

时, 此后 C 的进一步增大对电路可以忽略。同时 C 越大, BUCK 电路的损耗会越大, 效率会越差, 且 RC 缓冲电路中电阻的损耗与 C 的大小有关, 电阻的损耗计算公式为

$$P_c = C * V_{SW-peak}^2 * f_{SW}$$

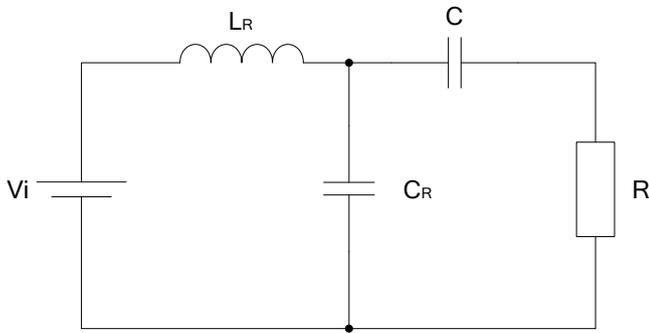


图 3. 等效 LC 谐振电路

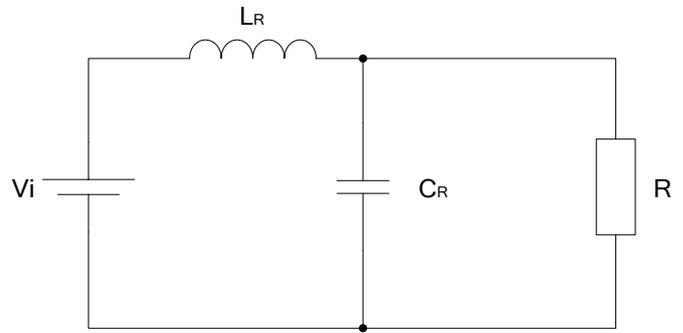


图 4. RLC 等效电路

结论

根据上文的等效模型, 我们可以得出一个实用快捷的 RC 缓冲电路设计方法。第一步, 需要确定图 4 中的 LR 和 CR。首先测量初始高频振荡频率, 初次测得的频率的表达式为:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_R * C_R}} \quad (3)$$

然后在缓冲电路的位置上放置一个 C2, 如图 5 所示, 因此新的可测量的高频振荡频率表达式为

$$f_2 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_R * (C_R + C_2)}} \quad (4)$$

联立 (3)(4) 两式, 可解得 LR 和 CR;

第二步选取合适的 R 值, 使得 R 值近似于

$$R = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L_R}{C_R}} \quad (5)$$

第三步, 选择合适的电容值 C, 可以根据式 (6) 为起点, 根据损耗和振幅抑制效果进行进一步的调整。

$$C = \frac{4}{2\pi * f_1 * R} \quad (6)$$

以芯龙 DEMO 板为例, 测试条件为 VIN=12V, VOUT=5V, IOU=1A。第一步, 通过示波器读出开关上升沿波形, 如图 6, 可知 f1=79MHz; 第二步, 在 DEMO 板开关节点位置处对 GND 增加一个新的 100pF 的电容, 新的开关上升沿波形如图 7, 可知 f2=68MHz, 故可解得 LR=15.3pH, CR=263.3nF。再根据式 (5) 算出 R=3.8mΩ, 故可取 R=4mΩ, 再由式 (6) 选择接近的 C=2.2nF。最后得到的振铃如图 8 所示, 可见振铃幅度大大减弱。由于 RC 缓冲电路放置在开关节点

和 GND 节点之间，在上电瞬间 RC 电路上是会产生一个高的瞬态冲击电流的，为了减小此处的瞬态冲击电流，通常情况下我们推荐选择阻值较大的电阻。图 9 为 DEMO 板开关节点处添加 $R=10\Omega$ ， $C=2.2nF$ 后的开关波形。

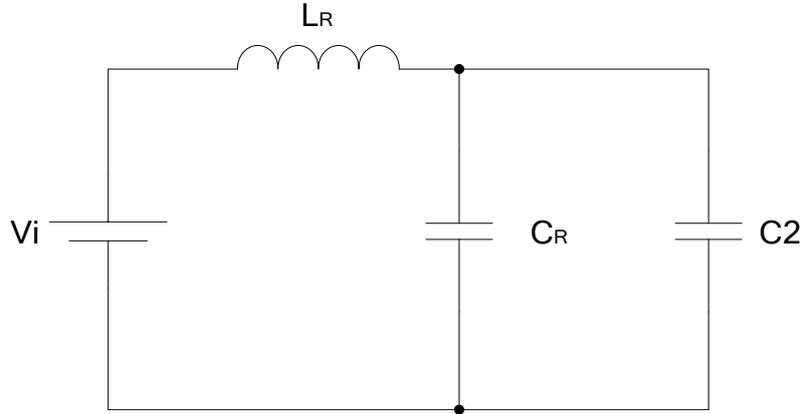


图 5.在缓冲电路位置放置 C2

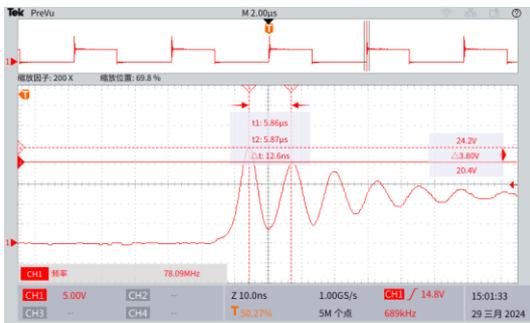


图 6.开关上升沿波形



图 7.缓冲位置放置 100pF 电容后开关上升沿波形



图 8.添加 2.2nF，4mΩ 的 RC 后开关上升沿波形



图 9.添加 2.2nF，10Ω 的 RC 后开关上升沿波形