

推挽电路 RC 吸收网络功耗分析

周建伟 2024.08.07

推挽电路为常见的隔离拓扑，由于该拓扑的功率管工作在硬开关状态，需要添加 RC 吸收网络，降低开关的电压应力。本文档定量分析推挽电路的 RC 网络损耗，可以用于 RC 吸收网络的选型。

1. 工作原理和电路等效

推挽拓扑的工作原理如图 Figure1-1 所示，原边开关管交替以开关频率 f_s 和 50% 占空比导通，经过副边全波整流后，可以得到需要的直流输出。

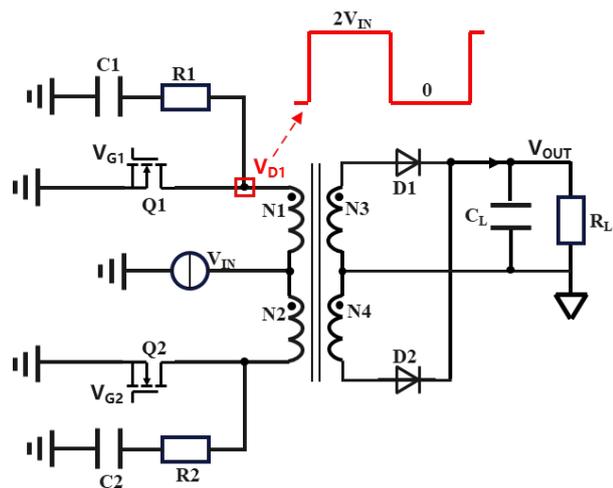


Figure 1-1 推挽电路工作示意图

由推挽拓扑知， V_{D1} 电压波形为频率 $f_s/2$ 占空比 50% 方波，方波峰值等于输入电压两倍 $2V_{IN}$ ，谷值为 0。

$$\begin{cases} V_{D1} = 2V_{IN}, & D \\ V_{D1} = 0, & 1 - D \end{cases}$$

分析电阻功耗，将 V_{D1} 电压波形等效为频率 $f_s/2$ 幅值为 $2V_{IN}$ 的方波信号 V_S 。

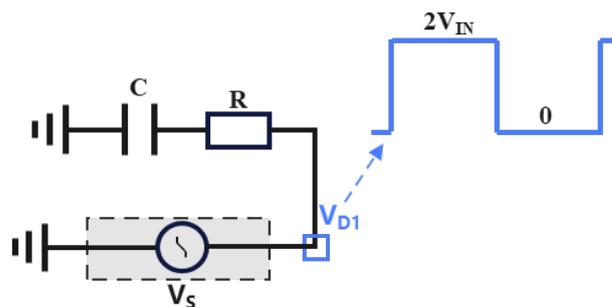


Figure 1-2 电路等效

2. 吸收电阻功耗计算

按照开通过程和关断过程，可以分别分析等效电路的时域特性，如下表所示。

响应特性	电容电压	电流	电阻损耗
开通过程	零状态响应 $V_C = 2V_{IN} \times (1 - e^{-t/RC})$	$I_C = C \times \frac{dV_C}{dt} = \frac{2V_{IN}}{R} \times e^{-t/RC}$	$P_{ON} = \int_0^{\infty} I_C^2 R dt = \frac{4V_{IN}^2}{R} \times \int_0^{\infty} [-\frac{RC}{R} e^{-t/RC}] dt = 2CV_{IN}^2$
关断过程	零输入响应 $V_C = 2V_{IN} \times e^{-t/RC}$	$I_C = C \times \frac{dV_C}{dt} = -\frac{2V_{IN}}{R} \times e^{-t/RC}$	$P_{OFF} = \int_0^{\infty} I_C^2 R dt = \frac{4V_{IN}^2}{R} \times \int_0^{\infty} [-\frac{RC}{R} e^{-t/RC}] dt = 2CV_{IN}^2$

综合开通过程和关断过程，可以得到吸收电阻损耗，分析可知 RC 吸收线路的损耗和吸收电阻不相关，只和吸收电容、输入电压和开关频率相关。

$$P_{loss} = (P_{ON} + P_{OFF}) = 4CV_{IN}^2 f_s$$

3. 应用案例

以下表所示工况，通过 LTspice 仿真验证该分析的有效性。

电阻	电容	供电电压	开关频率	电阻功耗
100R	1nF	5V	400kHz	计算值: 4.00mW 仿真值: 3.94mW

4. 结论

本文档，通过电路等效方式，给出推挽电路 RC 吸收电路的功耗计算。该计算方式，可以引申到驱动损耗、Buck RC 吸收电路功耗等场景。