

MOS 损耗分析-以同步整流 BUCK 芯片为例

引言

同步整流 BUCK 芯片是一种高效降压 DC-DC 转换器，通过高边和低边 MOS 管的交替导通实现电能转换，而 MOS 损耗分析是其中比较关键的环节，同步整流 BUCK 芯片中的 MOS 损耗主要来源于 MOS 管的导通电阻、寄生参数和开关过程中的能量转换等，损耗大小会直接影响到系统温升、系统稳定性及寿命等。本文将以图 1 所示的同步整流 BUCK 芯片为例对 MOS 损耗做分析。

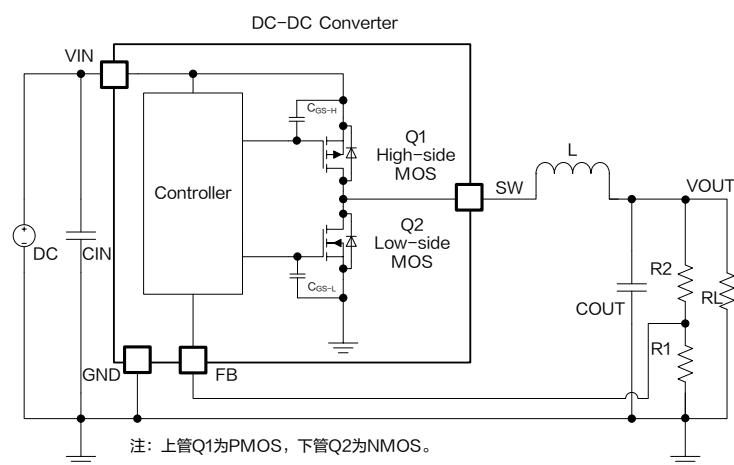


图 1. 同步整流 BUCK 拓扑电路图

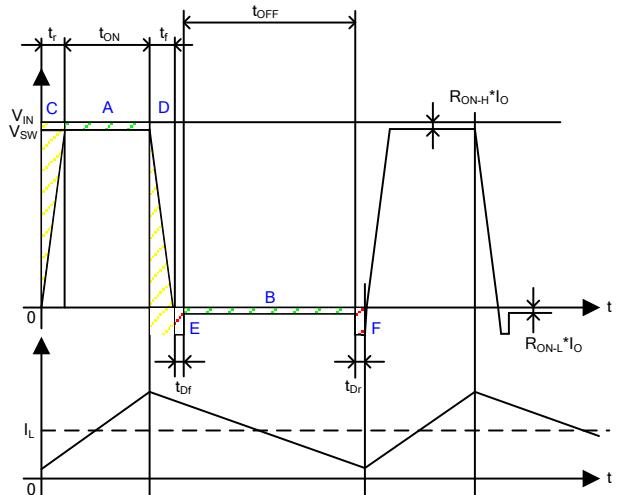


图 2. 开关节点波形与损耗示意图

导通损耗 P_{ON-H} 、 P_{ON-L}

MOS 管导通时，电流流过其导通电阻产生的损耗，如图 2 中所示 A、B 区域，可分为上管导通损耗 P_{ON-H} 、下管导通损耗 P_{ON-L} ：

$$P_{ON-H} = I_o^2 * R_{ON-H} * V_o / V_{IN} \quad P_{ON-L} = I_o^2 * R_{ON-L} * (1 - V_o / V_{IN})$$

V_{IN} ：输入电压； V_o ：输出电压； I_o ：输出电流； R_{ON-H} ：上管导通电阻； R_{ON-L} ：下管导通电阻。

开关损耗 P_{SW-H}

开关损耗 P_{SW-H} 在这指上管的开关损耗，图 2 中所示 C、D 区域分别为上管的开启损耗及关断损耗。下管导通前，电感电流通过体二极管续流，下管漏源极电压为体二极管正向导通压降；下管导通后，下管漏源极电压为下管导通电阻上产生的压降，直到下一个栅极控制信号来时，控制下管关断；故下管漏源极电压始终极小，开关损耗极少（公式中默认 t_r 、 t_f 相等）。

$$P_{SW-H} = 0.5V_{IN} * I_o * (t_r + t_f) * f_{SW}$$

V_{IN} ：输入电压； I_o ：输出电流； t_r ：上管导通上升时间； t_f ：上管关断下降时间； f_{SW} ：开关频率。

死区损耗 P_D

同步整流 BUCK 拓扑中存在死区时间，设置死区时间可以防止上下管同时导通出现短路，同时也给控制信号一个发生的时间；在死区时间内，上下管同时关闭，电感电流通过下管的体二极管进行续流，这里的死区损耗 P_D 指的就是电流流经下管体二极管产生的损耗。即图 2 中 E、F 区域（公式中默认 t_{DR} 、 t_{DF} 相等）。

$$P_D = V_D * I_o * (t_{DR} + t_{DF}) * f_{SW}$$

I_o ：输出电流； V_D ：下管体二极管正向压降； t_{DR} 、 t_{DF} ：一个周期内的两段死区时间； f_{SW} ：开关频率。

栅极驱动损耗 P_G

栅极驱动损耗，也可称作 MOS 的 Gate 电荷损耗，该损耗与 MOS 管的栅极电荷、寄生电容有关。

$$P_G = (C_{ISS-H} * V_{GS-H}^2 + C_{ISS-L} * V_{GS-L}^2) * f_{SW}$$

V_{GS-H} : 上管栅极驱动电压; V_{GS-L} : 下管栅极驱动电压; C_{ISS-H} : 上管输入电容; C_{ISS-L} : 下管输入电容; f_{SW} : 开关频率。

结合上述分析，同步整流 BUCK 电路中的 MOS 损耗主要有导通损耗、开关损耗、死区损耗，栅极驱动损耗，对应计算公式整理如表 1 所示 (公式中默认 t_r 、 t_f 相等, t_{Dr} 、 t_{Df} 相等)。

损耗类型	计算公式	参数含义
导通损耗 P_{ON-H} 、 P_{ON-L}	$P_{ON-H} = I_o^2 * R_{ON-H} * V_o / V_{IN}$ $P_{ON-L} = I_o^2 * R_{ON-L} * (1 - V_o / V_{IN})$	V_{IN} : 输入电压; V_o : 输出电压; I_o : 输出电流; R_{ON-H} : 上管导通电阻; R_{ON-L} : 下管导通电阻; t_r : 上管导通上升时间; t_f : 上管关断下降时间; f_{SW} : 开关频率;
开关损耗 P_{SW-H}	$P_{SW-H} = 0.5 V_{IN} * I_o * (t_r + t_f) * f_{SW}$	V_D : 下管体二极管正向压降; t_{Dr} 、 t_{Df} : 一个周期内的两段死区时间; C_{ISS-H} : 上管输入电容; C_{ISS-L} : 下管输入电容;
死区损耗 P_D	$P_D = V_D * I_o * (t_{Dr} + t_{Df}) * f_{SW}$	V_{GS-H} : 上管栅极驱动电压; V_{GS-L} : 下管栅极驱动电压。
栅极驱动损耗 P_G	$P_G = (C_{ISS-H} * V_{GS-H}^2 + C_{ISS-L} * V_{GS-L}^2) * f_{SW}$	

表 1. 同步整流 BUCK 电路中的 MOS 损耗计算公式汇总表