

[短路保护]

基于IR2125S和MOSFET安全工作区的短路保护电路

文/杨圣敏 王益凡 毕庆生 何爱芹 韩祥鑫
贵州振华群英电器有限公司（国营第八九一厂）

基于IR2125S和MOSFET安全工作区的短路保护电路，采用功率回路检测电路判断功率回路状态并实时进行反馈控制，电路体积小，保护速度快，可广泛应用于低压DC28 V至高电压DC270 V的需要短路保护的功率回路中，具有良好的精准性、实时性和安全性。

电力系统中出现短路故障时，会破坏整个电力系统的稳定运行，对电力用户造成影响，发生严重情况时，还会危及人身和设备的安全。基于IR2125S和MOSFET安全工作区的短路保护电路为MOSFET高边开关电路，高边开关在恶劣环境应用下，常发生负载过电流、短路等故障，因此对高边开关进行短路保护非常重要，即在功率器件MOSFET损坏之前及时地将回路切断。

现有文献提出了一些短路保护电路。有的电路结构简单，但适用范围较小，如相关文献中保护电路只能在5~55 V电压范围内工作，无法为高电压驱动下的高边开关提供保护。有的能够实现快速检测，但成本高、体积大，无法在小型装置中使用。本文所描述的基于IR2125S和MOSFET安全工作区的短路保护电路通过功率回路采样电路将回路状态实时反馈给驱动电路，在MOSFET的安全工作区内进行及时有效的短路保护，从而保护后级用电设备。该保护电路为纯硬件电路，经实际试验，保护时间可达20 μ s，电路体积小，保护速度快，可应用于低电压DC28 V至高电压DC270 V的功率回路中。

电路设计

基于IR2125S和MOSFET安全工作区的短路保护电路原理如图1所示，正常启动时，可由外部自

配硬件开关电路或MCU控制电路进行IR2125S芯片中3引脚的上电控制，当3引脚上电时，14引脚会通过芯片内部自举电路上升至芯片VCC供电电源电压（该VCC供电电源与POWER功率电源为独立电源），一般选用12~20 V供电电源均可，使得MOSFET完全导通，以非常低的功率损失向负载提供电流。

图1中功率回路中串联 R_3 采样电阻，接至IR2125S芯片13引脚及12引脚，芯片内部集成比较电路，两引脚间比较参考电压为230 mV，如图2所示；若流过采样电阻的电流使得 R_3 两端的电压大于230 mV，芯片内部输出驱动器切换到线性模式与反馈放大器控制输出栅极驱动电压，以保证13引脚及12引脚两引脚间比较参考电压限制在230 mV，同时芯片内部通过比较器反馈及逻辑电路判断后，芯片4引脚ERR引脚会通过内部充电电路以100 μ A的充电电流对C1进行充电，4引脚芯片内部电路如图3所示，当4引脚通过内部电流源将C1充至1.8 V时，若13引脚及12引脚电压降至230 mV以下，则该引脚100 μ A充电电流被终止，驱动器返回到正常的开关模式，然而当4引脚通过内部电流源将C1充至1.8 V时，如果故障仍然存在，则内部ERR跳闸比较器将被触发，输出被关断，即MOSFET被关断，同时ERR跳闸比较器激活一个15 mA的上拉电流，将

ERR引脚即芯片4引脚电压拉至1引脚VCC；逻辑时序图如图4所示；读者可根据实际情况应用该故障

指示功能，并通过隔离电路将故障隔离报告给处理器，根据应用情况处理其余应用电路。

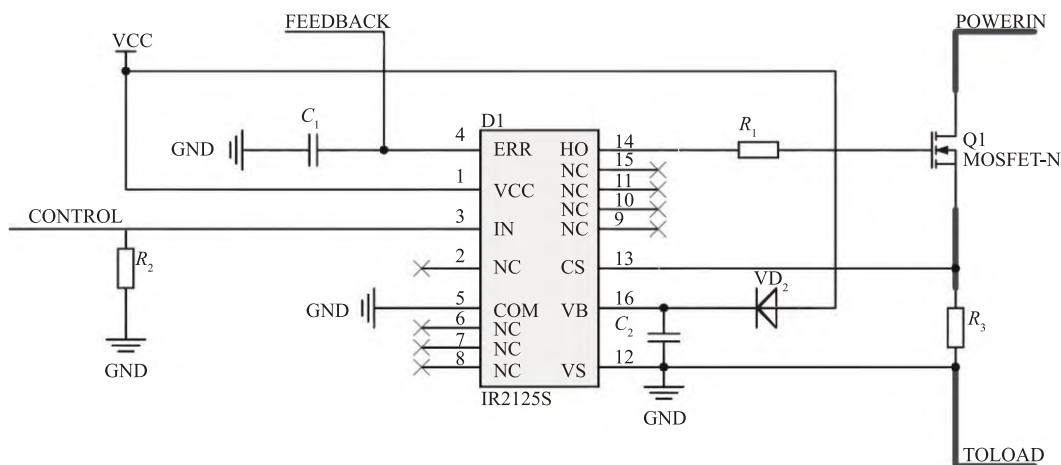


图1 基于IR2125S和MOSFET安全工作区的短路保护电路原理

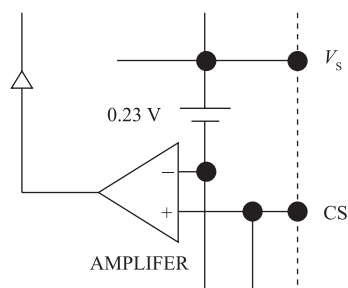


图2 13管脚及12管脚芯片内部比较电路

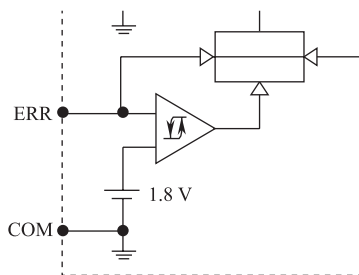


图3 4管脚芯片内部电路

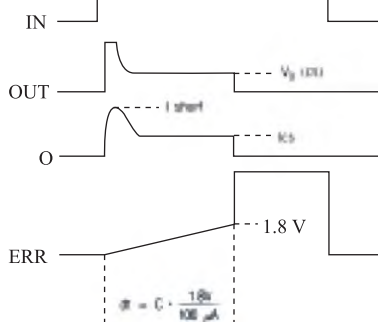


图4 逻辑时序图

MOSFET安全工作区

在短路保护时间以内，MOSFET工作在可变电阻区，若选用时不考虑MOSFET的安全工作区，则使用时很可能因为功率累积而致使MOSFET损坏。

针对功率管MOSFET的工作特性，指出了一种概念，名为安全工作区（Safe Operating Area, SOA）。常规MOSFET技术手册中的SOA示意图如图5所示，横轴为漏源电压 V_{DS} ，纵轴为漏级电流 I_D ，横轴 V_{DS} 、纵轴 I_D 与漏源最大击穿电压 BV_{DS} 、最大允许功耗 P_{max} 、最大允许电流 I_{Dmax} 及导通阻抗 $R_{DS,ON}$ 曲线所围成的区域是一个SOA。SOA还与时间有关，在不同导通时间范围内，围成的不同区域

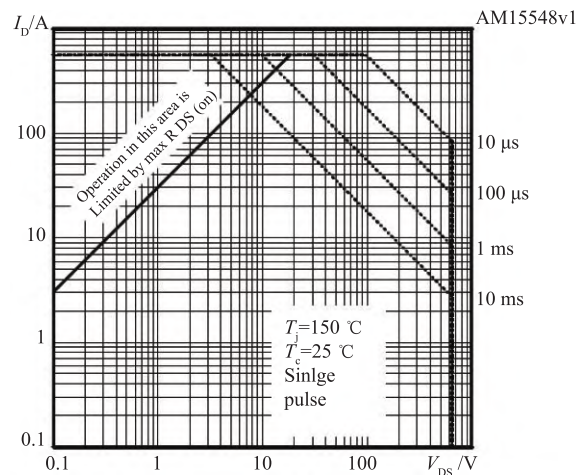


图5 常规MOSFET技术手册中的SOA示意图

就是该时间下的SOA。若MOSFET工作状态处于各时间曲线右上方且工作时间超过该曲线最大导通时间,则功率管MOSFET将被击穿烧毁。为保证MOSFET不被击穿烧毁,MOSFET的导通时间,导通电流和漏源电压应根据导通时间落在各曲线范围以内。以图5为例,该MOSFET在VDS电压为DC300 V的情况下,在导通10 μs时MOSFET可承受最大200 A的电流并且不会损坏。在选型使用时请根据实际情况选用合适的MOSFET。

相关重要参数计算

从以上介绍可得:若应用时短路电流理论值设定为 I_{short} ,根据芯片13引脚及12引脚两引脚间比较参考电压为230 mV来设定,则需配比图1中采样电阻 R_3 为

$$R_3 = \frac{230}{I_{short}} \quad (1)$$

例如理论设定短路电流 I_{short} 为50 A,则设定 R_3 为4.6 mΩ。因瞬态电流过大,使用时须考虑该电阻功率再进行电阻选型。

根据ERR端电容值,即图1中 C_1 值,决定MOSFET在关断前被线性模式驱动的持续时间,充电电流为100 μA,充至1.8 V时MOSFET随即关断,则MOSFET工作在可变电阻区的时间,即保护时间经计算约为

$$dt = C_1 \times \frac{dV}{I_{ERR}} = C_1 \times \frac{1.8 \text{ V}}{100 \mu\text{A}} \quad (2)$$

若采用 C_1 为470 pF,则保护时间约为8.46 μs,在保护时间以内,流过处于可变电阻区的MOSFET的电流即 I_{short} 短路电流以最高VDS(即供电电源POWERIN电压)计算,结合要求,选用的MOSFET安全工作区应能包含此时间、此电流及此电压的功率累积,读者可根据实际短路保护时间要求及功率的兼容性调整该电容容值。

试验验证

为扩展电压应用范围,本文基于POWERIN功率电压为DC270 V,短路电流 I_{short} 设定为150 A,短路保护时间设定为10 μs,进行短路保护试验。

根据式(1),经计算选取 R_3 电阻阻值为1.5 mΩ,经计算瞬态功率,选取 R_3 电阻瞬态功率(50 μs)为40 W,额定功率为3 W;可得 $P=I^2R=150 \text{ A} \times 150 \text{ A} \times 1.5 \text{ m}\Omega=33 \text{ W}$ 。

短路保护时间设定为10 μs,根据式(2)计算出 C_1 约为555 pF,选取容值为500 pF的电容为 C_1 ;选取安全工作区包含VDS为DC270 V时,导通20 μs的时间内可承受最大200 A的电流并且不会损坏的功率MOSFET;按图1原理搭建电路,按如上选型参数进行短路保护试验。试验波形如图6所示。

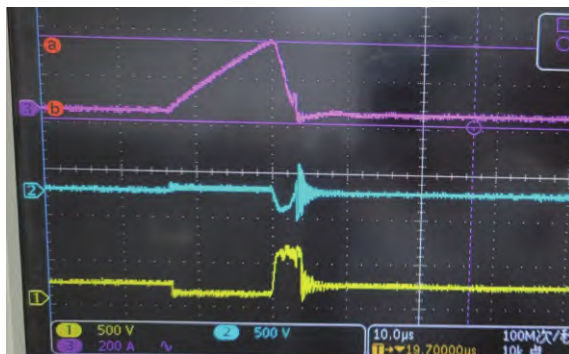


图6 短路保护试验波形

示波器3通道为回路电流波形,示波器1通道为POWERIN波形,示波器2通道为TOLOAD波形,接通瞬间,电流从0 A增长至180 A左右,整个过程保护时间约为20 μs,整个电流以及保护时间均在选用功率MOSFET的安全工作区SOA内,保护时间与理论计算有偏差,但实际仍可应用,反复短路保护5次,MOSFET均为正常状态,仍可正常控制接通关断。

结束语

本文所描述的基于IR2125S和MOSFET安全工作区的短路保护电路,采用功率回路检测电路判断功率回路状态并实时进行反馈控制,应用外围电路少,为纯硬件保护,经实际试验,保护时间可达20 μs,电路体积小,保护速度快,可广泛应用于低压DC28 V至高压DC270 V的需要短路保护的功率回路中,具有良好的精准性、实时性及安全性。EA

(收稿日期:2022-10-9)