

doi: 10.7690/bgzd.2016.04.019

基于 LTC4364-2 的热插拔保护电路

李坤贺, 卢 峥, 李廷凯, 王亨勇

(中国兵器工业第五八研究所武器装备信息与控制技术研究中心, 四川 绵阳 621000)

摘要: 为了提升系统的可靠性, 并有效抑制热插拔过程中的浪涌, 设计了基于 LTC4364-2 的热插拔保护电路。首先对大型系统中多模块组合结构的热插拔应用需求进行分析, 然后介绍热插拔保护电路的设计过程, 并对设计电路进行测试验证。验证结果表明: 该设计电路不仅可有效抑制热插拔过程中的浪涌电流, 而且能够有效避免 60 V/DC 持续高压对负载的损伤。该保护电路已在实际安全控制系统中投入使用, 通过系统验证了其实用性和稳定性。

关键词: LTC4364; 热插拔; 保护电路; 60 V/DC

中图分类号: TP306 **文献标志码:** A

Hot Plug Protection Circuit Based on LTC4364-2

Li Kunhe, Lu Zheng, Li Tingkai, Wang Hengyong

*(Research & Development Center of Weapon Equipment Information & Control,**No. 58 Institute of China Ordnance Industry, Mianyang 621000, China)*

Abstract: In order to improve the reliability of the system, and to effectively inhibit the surge in the hot swap process, the hot plug protection circuit based on LTC4364-2 is designed. In this paper, we analyze the demand of multi module structure in the large scale system, and then introduce the design process of the hot swap protection circuit. The verification results show that the designed circuit can not only effectively inhibit the surge current in the hot plug, but also can effectively avoid the damage of the 60 V/DC continuous high voltage to the load. The protection circuit has been put into use in the actual safety control system, and the use of the system is verified by the system.

Keywords: LTC4364; hot plug; protection circuit; 60 V/DC

0 引言

大型的控制系统、数据系统等多采用多模块组合结构, 而功能模块则需要具有热插拔保护功能, 以保证用户能在不关闭系统或不切断电源的情况下, 取出和更换模块。这样既提升了系统的可靠性, 又提高了系统的可维护性^[1-2]。

热插拔过程一般分为 2 个步骤: 一是物理及电气连接过程, 分插入和拔出 2 种情况下与系统相连的硬件层的电气连接过程; 二是软件连接过程, 主要指与系统相连的软件层的连接。

笔者主要针对某大型安全控制系统中的组合模块进行热插拔保护电路设计。所讨论的热插拔概念主要针对硬件的热插拔, 即在带电状态下安全地插拔系统中的各组合模块。其基本要求是在不影响系统运行的情况下, 完成系统的维护和重新配置^[3-8]。

1 LTC4364 功能介绍

LTC4364 是一款具有理想二极管控制器的防浪涌抑制器, 具有 4~80 V 的宽电压工作范围, 可用于热插拔、防浪涌等电路中保护负载免遭高压瞬变

的损坏。LTC4364 能够精确地监视输入电源的过压、欠压状态, 通过控制外部 N 沟道 MOSFET 两端的电压降来实现过压、欠压过程中输出的限制和调节。另外, 该器件还包含一个定时电流限制电路断路器。

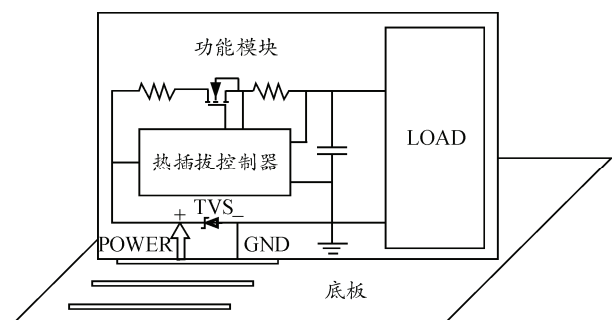


图 1 热插拔控制器应用示意图

LTC4364 又分为 LTC4364-1 和 LTC4364-2 2 种不同功能型号。一旦电路发生过压、欠压、过流等故障, LTC4364-1 将保持外部 MOSFET 的关断状态直到在故障超时之后收到外部再启动信号; LTC4364-2 将保持外部 MOSFET 的关断状态直到故障超时, 而后将在 OV 引脚电压低于门限值的情况下, 不断重复打开外部 MOSFET 直到恢复正常工

收稿日期: 2015-12-23; 修回日期: 2016-02-01

作者简介: 李坤贺(1986—), 男, 河南人, 硕士, 助理工程师, 从事嵌入式计算机技术、高速数字信号处理研究。

作状态^[9]。根据实际需求，文中设计以 LTC4364-2 为基础。热插拔控制器应用示意图如图 1 所示。

2 5 V 热插拔保护电路设计

2.1 基于 LTC4364-2 的 5 V 热插拔保护电路

某大型安全控制系统由底板、电源模块及其他多种功能模块组合共同实现安全控制功能。电源模

块以 220 V/AC 为输入、输出 5 V/DC 供其他功能模块使用，并且该电源模块的设计符合 IEC60950 标准；各功能模块均由 5 V/DC 供电，为了保证各功能模块在热插拔的过程中免遭瞬间高电压的损坏，各功能模块电源在输入时均通过热插拔保护电路后再供给负载。各功能模块共同使用以 LTC4364-2 为基础的 5 V 热插拔保护电路，如图 2。

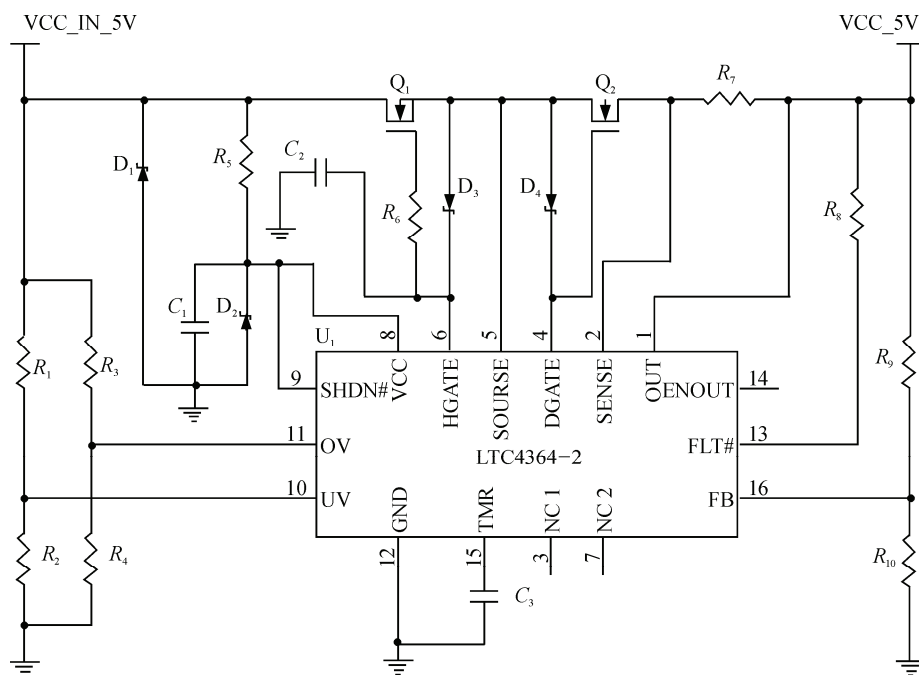


图 2 热插拔保护电路

2.2 过压、欠压保护

LTC4364-2 具有输入过压、欠压比较器，输入电压通过图 2 中的 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 组成的电阻分压网络分压后由 OV、UV 引脚输入到片内过压、欠压比较器。

过压、欠压比较器均以 1.25 V 为基准，笔者按照电源保护的要求将电源欠压、过压的保护范围设置为 [4.75 V, 5.25 V]，即当输入电压超出保护范围时将由热插拔保护电路阻断电源向后端负载供电。

设定电阻分压网络在电源电压为 5 V 时的电流为 12.5 μ A，则电阻分压网络中 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 各电阻阻值的计算分别为：

$$\left. \begin{aligned} R_2 = R_4 &= \frac{1.25 \text{ V}}{12.5 \mu\text{A}} = 100 \text{ k}\Omega \\ R_1 &= \frac{4.75 \text{ V} - 1.25 \text{ V}}{12.5 \mu\text{A}} \times R_2 = 280 \text{ k}\Omega \\ R_3 &= \frac{5.25 \text{ V} - 1.25 \text{ V}}{12.5 \mu\text{A}} \times R_4 = 320 \text{ k}\Omega \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

2.3 过流保护

LTC4364-2 具有一个可调的电流限值，可以提供针对短路和过大负载电流的保护作用。在过流期间，通过调节 HGATE 引脚电压以把 SENSE 和 OUT 引脚两端的电流检测电压 ΔV_{SNS} 限制在不同值，当 OUT 高于 2.5 V 时， ΔV_{SNS} 限制在 50 mV；当 OUT 低于 1.5 V 时， ΔV_{SNS} 被降至 25 mV，以在输出短路时提供额外的保护。

在 SENSE 和 OUT 引脚之间设置一个电流检测电阻器 R_{SNS} (即图 2 中的 R_7)：

$$R_7 = R_{\text{SNS}} = \frac{\Delta V_{\text{SNS}}}{I_{\text{LIM}}} = \frac{50 \text{ mV}}{I_{\text{LIM}}} \quad (2)$$

考虑到实际应用的需求，文中取 $I_{\text{LIM}} = 5 \text{ A}$ ，则 $R_7 = 10 \text{ m}\Omega$ 。

2.4 功率开关选择

LTC4364-2 驱动 2 个作为被动功率器件的 N 沟道 MOSFET Q1 和 Q2，以传导负载电流。MOSFET

的重要特性包括最大漏-源极电压 ($V_{(BR)DSS}$)、导通电阻 ($R_{DS(ON)}$) 和门限电压 ($V_{GS(TH)}$)。

N-MOSFET 的选型必须满足如下 3 点要求:

1) 由于电源模块的设计符合 IEC60950 标准, 那么在电源模块损坏的最坏情况下, 供给各功能模块的电源电压有可能高达 60 V^[10]; 因此, 最大漏-源极电压额定值必须高于 60 V。

2) 导通电阻必须满足下式的要求:

$$R_{DS(ON)} \leq \frac{T_{J(max)} - T_A}{R_{\theta JA} \times I_{max}^2} \quad (3)$$

式中: $T_{J(max)} = 175$; $R_{\theta JA} = 62^\circ\text{C/W}$; $I_{LIM} = 5\text{ A}$, 取最大工作环境温度 $T_{A(max)} = 50^\circ\text{C}$, 则由式(3)可知

$$R_{DS(ON)} \leq 80.65\text{ m}\Omega$$

3) 门限电压必须小于热插拔控制器栅极-源极驱动电压 12 V。

综合以上要求, 笔者选择 N-MOSFET FDB2532 作为 5 V 热插拔保护电路的外接 MOSFET, 其 $V_{(BR)DSS} = 150\text{ V}$, $R_{DS(ON)} = 16\text{ m}\Omega$, $V_{GS(TH)} < 4\text{ V}$ 。

2.5 输出电压钳位

LTC4364-2 具有输出电压钳位的功能。输出电压经过电阻分压网络 R_9 、 R_{10} 分压后由反馈引脚 FB 输入至热插拔控制器, 通过其中的一个电压比较器形成输出控制逻辑。该电压比较器的基准电压为 1.25 V, 如果由 FB 引脚输入的反馈电压高于基准电压, 则热插拔控制器将关断功率开关 Q1、Q2, 以保证输出电压不会超过设定的输出钳位电压。

由于后端负载多为 5 V/DC 供电, 为了增强对后端负载的保护, 需设置输出钳位电压不高于 5.25 V, 文中选取电阻 $R_9 = 47.0\text{ k}\Omega$ 、 $R_{10} = 150.0\text{ k}\Omega$, 则输出钳位电压值为 $V_{CLAMP} = 5.25\text{ V}$ 。

2.6 故障定时器设置及再启动

LTC4364-2 具有一个可调的故障定时器, 在 TMR 引脚和地之间连接一个电容器, 用于设定在欠压、过压或过流故障下 MOSFET Q1 被关断之前的延迟周期 $t_{WARNING}$ 。另外, 该电容器还负责设定冷却周期, 即: 在故障消失之后到允许 Q1 重新接通之前的时间 t_{COOL} 。

$$\left. \begin{aligned} t_{WARNING} &= \frac{C_{TMR} \times 100\text{ mV}}{5\text{ }\mu\text{A}} \\ t_{COOL} &= \frac{63 \times C_{TMR} \times 100\text{ mV}}{2\text{ }\mu\text{A}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

LTC4364-2 还具有再启动的功能, 在冷却周期的后期(也即是当 TMR 引脚电压第 32 次降至 1.5 V 时), 如果 OV 引脚的电压高于其 1.25 V 门限值, 则禁止重试, 并将 HGATE 引脚保持在低电平; 如果 OV 引脚电压低于其门限值, 则 LTC4364-2 执行重试操作, 并将 HGATE 引脚电平拉高以使 Q1 导通。

2.7 其他元器件选型

为了避免 LTC4364-2 器件在功能模块热插拔的过程中遭受瞬态高压的损坏, 在热插拔保护电路的前端增加 TVS 二极管 D1, D1 选择 SMCJ60CA, 该 TVS 管能将输入电压钳位至 60 V。

同时在 HGATE 和 SOUSE 引脚之间、DGATE 和 SOUSE 引脚之间分别增加齐纳二极管 D4、D5, D4、D5 选择 DDZ9702S, 能够防止 HGATE 和 SOUSE、DGATE 和 SOUSE 之间的电压超过 15 V 而对 LTC4364-2 造成损坏。

3 电路测试与验证

笔者设计的正 5 V 热插拔保护电路, 在底板结构的多功能模块上应用, 需要对其进行热插拔测试和 60 V 输入电压测试^[10]。

3.1 热插拔测试

测试目的: 测试功能模块热插拔过程中是否会对自身安全或系统稳定运行造成影响。

测试方法: 将电源模块与多个功能模块同时插在底板上, 对其中一块功能模块(后文简称模块 A)执行热插拔操作, 用示波器监测底板电源电压波形的变化情况, 并观察模块 A 和其余各功能模块的工作情况。

测试结果: 在执行热插拔操作过程中, 除模块 A 以外的各功能模块均未受到影响; 模块 A 在重新插入底板插槽内后, 能正常工作。在模块 A 拔出和插入插槽时, 底板电源电压波形与功能模块热插拔保护电路后端电源电压波形分别如图 3 和图 4 所示。

结果分析: 在执行热插拔操作时, 当 LTC4364-2 的 UV 引脚检测到欠压状态后, 立即拉低 HGATE、DGATE 引脚, 使 Q1、Q2 关断, 底板电源和其他功能模块均未受到任何影响; 在执行热插入时, 当 LTC4364-2 检测到处于 [4.75 V, 5.25 V] 范围内的输入电压时, 将拉高 HGATE、DGATE 引脚, 使 Q1、Q2 导通, 在导通的瞬间, 后端负载中的电容存在瞬间充电的过程, 底板电源电压波形出现了稍微凹陷; 但是该凹陷幅度较小, 底板电源电压保持在 [4.75 V,

5.25 V]的阈值范围内,因此并未对系统中的其他模块造成影响。

端电压波形如图 6 所示;当可调电源电压恢复至 5.0V/DC 时,功能模块正常工作。

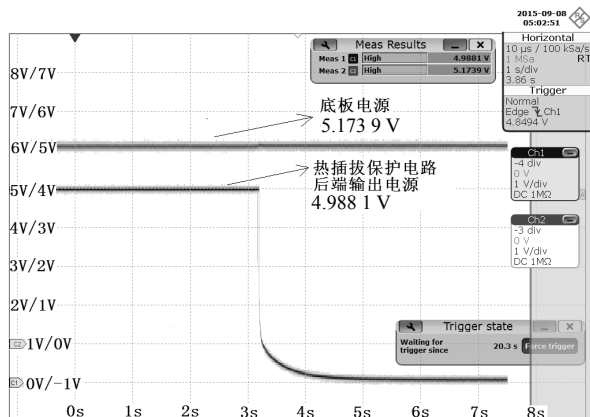


图3 功能模块拔出插槽时底板电源波形

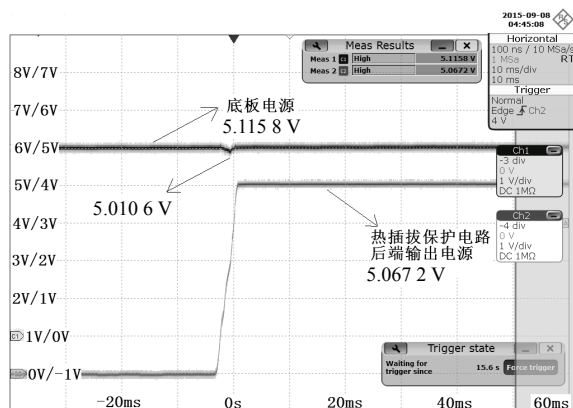


图4 功能模块插入插槽时底板电源波形

3.2 60 V 输入电压测试

测试目的:由于符合 IEC60950 标准的电源模块在最坏的故障情况下可能输出 60 V/DC 电压,因此需要测试当输入电压为 60 V 时,热插拔保护电路是否能切断电源,并且不会对功能模块造成损伤。

测试方法:将功能模块插在底板上,使用可调外接电源对功能模块进行供电,将可调电源的电压从 0 升高至 60 V/DC 并保持一分钟后再降至 0,然后再将可调电源电压调至功能模块正常工作所需电压 5 V/DC,用示波器监测热插拔保护电路前端和后端电压的波形变化情况,并观察功能模块工作情况。

测试结果:当可调电源电压升高至 4.75V/DC 时,热插拔保护电路打开 Q1、Q2,功能模块开始正常工作,当可调电压继续升高至 5.25V/DC 时,热插拔保护电路关闭 Q1、Q2,后端电压迅速下降,该阶段热插拔保护电路前端和后端电压波形如图 5 所示;当继续升高可调电源电压至 60V/DC 时,热插拔保护电路中的 Q1、Q2 保持关断状态,而后当可调电源电压降至 0 时,热插拔保护电路前端和后

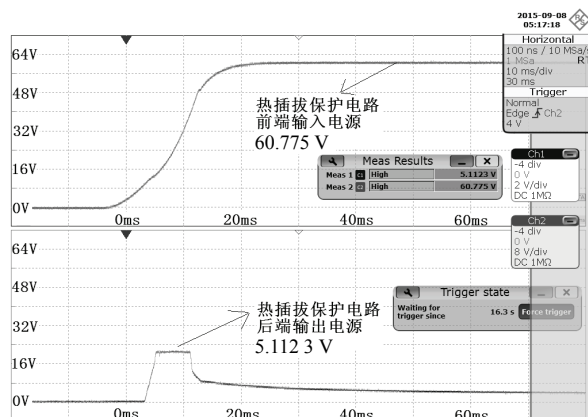


图5 电压升高过程中热插拔保护电路前、后端电压波形

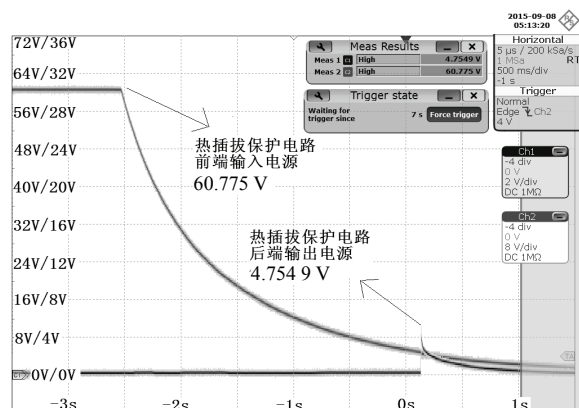


图6 电压下降过程中热插拔保护电路前、后端电压波形

结果分析:在从 0 到 60 V/DC 的升压过程中,当电压上升至 [4.75 V, 5.25 V] 范围内时, LTC4364-2 将短暂的拉高 HGATE、DGATE 引脚并保持 5 ms, Q1、Q2 随即短暂导通,由于输出嵌位的作用,热插拔保护电路后端的电压处于安全范围内,后端电路不会受到损伤;在从 60 V/DC 到 0 的降压过程中,当输入电压处于 [4.75 V, 5.25 V] 范围内时,将拉高 HGATE、DGATE 引脚,但下降过程不会使其保持 5 ms,故而 Q1、Q2 瞬间导通后立即关断,热插拔保护电路后端虽有瞬间尖峰电压,但处于安全范围内,也不会对后端电路造成损伤。

4 结束语

笔者通过 5 V 电源供电的功能模块对基于 LTC4364-2 的热插拔保护电路进行了实际验证,并分别对其进行热插拔和 60 V/DC 持续高压测试。从测试结果可以看出:该热插拔保护电路有效抑制了热插拔过程中的浪涌,并且有效避免了 60 V/DC 持续高压对负载的损伤。

(下转第 84 页)