

# 三相全桥电路中功率 MOS 管失效原因分析

张 凯,尹长青,江建慧  
(同济大学 软件学院,上海 201804)

**摘 要:**文中针对某风扇电机驱动电路高故障率的现象进行研究,并对其中三相全桥电路的失效原因进行分析,通过对失效现象的观察,着重对电路中的功率 MOS 管的失效原因进行分析。采用示波器观察波形的方法,首先采取对电路进行负载测试,以此来确保电路设计的正确性;然后对电路进行高压测试,模拟失效现象,分析其产生失效的原因。通过实验验证,提出了相应的解决办法,为工程人员提供了一种分析 MOS 管失效原因的参考方法。该方法适用于工程中大量使用的功率器件失效的疑难分析。最后,分别从硬件电路的设计以及软件的设计上提出了改进的方法。

**关键词:**失效模式;MOS;瞬时共同导通

**中图分类号:**TP31

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2013)06-0208-03

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.06.053

## Failure Analysis of Three-phase Full-bridge Circuit in Power MOS Tube

ZHANG Kai, YIN Chang-qing, JIANG Jian-hui  
(College of Software, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** Studied the phenomenon of the high failure rate for some fan motor drive circuit and analysed the reasons for the failure of the power MOS. Through observing the waveform of oscilloscope, focus on failure cause analysis of the power MOS tube of the circuit. Adopting the oscilloscope waveform method, first take the circuit load test to ensure the correctness of the circuit design; then conduct the circuit high pressure test, simulate the failure phenomenon, analyze the causes of failure. Through the experiment, put forward the corresponding solutions, for the engineering staff provide a kind of reference method of analyzing MOS tube failure reason. This method is suitable for failure analysis for power device in engineering. Finally, respectively from the hardware circuit design and software design put forward an improving method.

**Key words:** failure mode; MOS; common ducting

### 0 引言

文中主要对某一风扇电机驱动高故障率的原因进行分析,并提出改进的措施,以增加其可靠性。该电机驱动利用数字电路处理单元,对调速 PWM 信号、换向逻辑、霍尔位置信号等输入信号进行运算处理,产生 6 路与电机换相顺序相对应的控制信号,用来控制三相全桥驱动电机负载<sup>[1,2]</sup>。其总体设计方案如图 1。

这款风扇的出货量达数十万台,经过工厂的老化测试合格后发货到商场,但在商家处会发生冒烟故障,实际测试结果表明,该电机驱动模块中三相全桥电路的无故障率为 99%,不能够达到产品设计要求,其他模块性

能良好,所以文中对该全桥电路故障原因进行了详细分析,并提出了改进的方法。

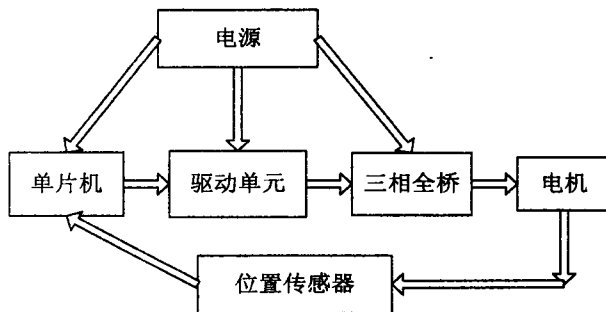


图 1 总体设计方案

收稿日期:2012-11-08

修回日期:2013-03-06

网络出版时间:2013-03-05

基金项目:国家星火计划项目(2011GA750019)

作者简介:张 凯(1986-),男,山东烟台人,硕士研究生,主要从事嵌入式系统研究;江建慧,教授,主要从事集成电路、嵌入式系统、可信计算、软件可靠性工程等研究。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130305.0829.059.html>

## 1 三相全桥工作原理及故障表现

三相全桥是驱动电路中的主要部分,其主要器件是6个功率 MOS 管,其主要电路如图2所示。Q1、Q2 构成桥臂1,Q3、Q4 构成桥臂2,Q5、Q6 构成桥臂3。三个桥臂的漏极连接在一起,接280V 功率电压,3个下桥臂的源极连接在一起,作为功率极。当全桥的功率 MOS 管栅极有按照电机换相顺序的输入控制信号时,电流应遵循如下规律:1/6 周期从 Q1 经负载流向 Q4,2/6 周期从 Q1 经负载流向 Q6,3/6 周期从 Q3 经负载流向 Q6,4/6 周期从 Q3 经负载流向 Q2,5/6 周期从 Q5 经负载流向 Q2,6/6 周期从 Q5 经负载流向 Q4<sup>[3-5]</sup>。

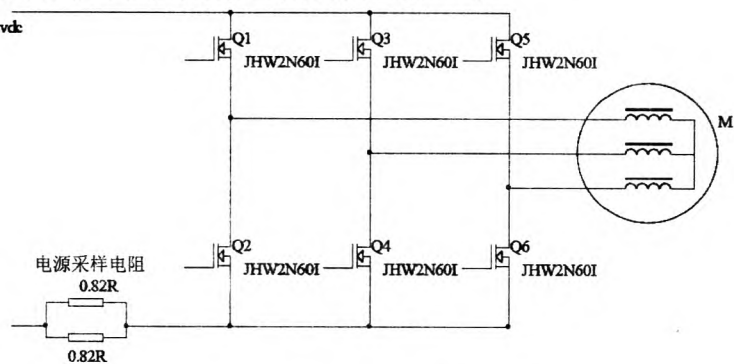


图2 三相全桥原理图

发生故障的全桥电路其现象为一支上管与三只下管同时失效,如 Q1、Q2、Q4、Q6 或者 Q3、Q2、Q4、Q6 或者 Q5、Q2、Q4、Q6 失效,另外三支失效的下管栅极电阻以及栅极分流小信号三极管均失效,图2中的电流取样电阻也烧毁,输入端保险丝烧毁<sup>[6,7]</sup>。

## 2 失效模式验证以及原因分析

首先对设计电路进行验证,在220V 电压下分别对该电路在轻负载与重负载两种情况下进行试验,根据实验结果观察出,在轻负载下,Q1 上管 ID 电流与 Q2 下管 VGS 电压之间存在约 800 $\mu$ s 的死区时间;在重负载下,两者之间仍然存在 500 $\mu$ s 的死区时间,所以 Q1 和 Q2 在参数正常的情况下不是导通的,电路本身设计的问题可以排除。所以,失效原因有可能是电压的高低引起的,下面进行具体分析。

市电正常电压220V 输入下重载时 Q2 的数据中,由图3 可以看到,1 通道为 ID 电流波形,2 通道为 GS 电压波形,3 通道为 DS 电压波形,死区时间很长,不会存在共通的情况,而且二极管恢复电流也没有产生任何影响。但是,当在253V 输入下重载时 Q2 的数据中,见图4,MOS 管关断时体内二极管开始反向导通,并且存在很大的恢复电流<sup>[8]</sup>。

将图4 进一步展开得到图5,可以看出,虽然没有 GS 驱动电压,但是 MOS 管却仍然有正反向电流,这个电流是体内二极管的正向导通电流和反向恢复电流<sup>[9]</sup>。

图6 为253V 输入下重载时的 Q1 和 Q2 的共同波形,其中3 通道为 Q1 的 GS 电压波形,2 通道为 Q2 的 DS 电压波形,1 通道为 Q1 的 ID 电流波形,该图形为上述图片的展开,是 Q2 在关断时的体内二极管的恢复电流波形,可以看到体内二极管的恢复电流还是很大的。而且体内二极管的恢复时间里,Q1 的 GS 电压已经达到开启电压,可见这段时间出现了 Q1、Q2 共通的情况,共通的影响、严重程度与 MOS 管体内二极管的恢复时间、恢复电流密切相关。

综合上述波形测试、原理分析可知,只有类似于 Q1、Q2 等同一桥臂的上下两支开关管共通的情况下,才会出现已知的表现故障<sup>[10]</sup>。其根本原因在于,该风扇整机电机驱动设计,在高压输入下,MOS 管体内二极管会出现高频导通,在高频反向恢复的过程中,输入电压越高恢复电流越大、恢复时间越长,从而导致高压输入下同一桥臂的上下管导通。这样,该全相桥输入电路保险丝烧毁,那么回路瞬间就将断开,这时三相电机还储存有一定的能量,这个能量将通过下管的栅极流出,所以当一桥臂烧毁后同时也会将剩下的两支下管烧毁<sup>[11,12]</sup>。

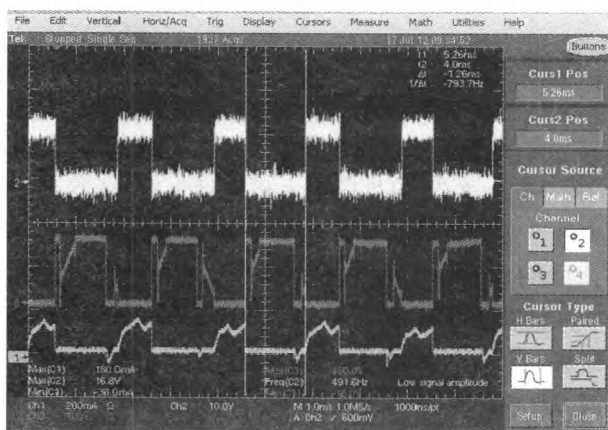


图3 220V 输入 Q2 波形图

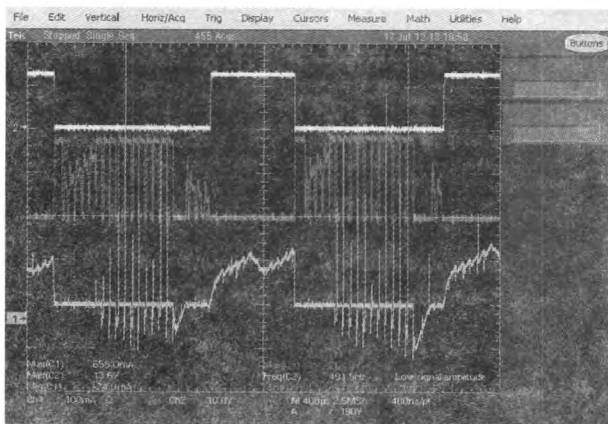


图4 253V 输入 Q2 波形图

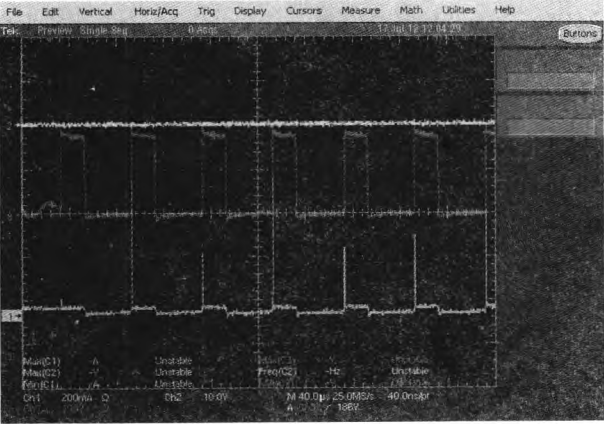


图 5 Q2 内部电流波形图

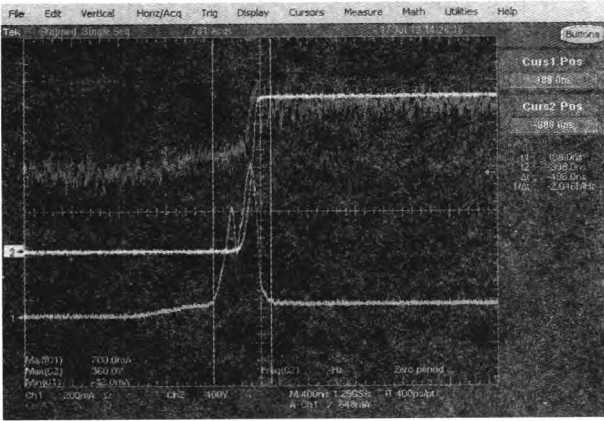


图 6 253V 输入 Q1、Q2 共同波形

3 改进方案

电路设计中,避免出现任何状态下体内二极管恢复电流过大、恢复时间过长的现象。在生产过程中进行高压 253V 输入老化,以剔除因电机特性离散、MOS 管特性离散导致的失效。在每对 MOS 管前面的驱动电路中,增加硬件互斥电路,以保证只有一个 MOS 会导通。

从负载的情况来看,重载会使死区时间变短,也容易造成上下两个 MOS 管同时导通。因此,从控制软件提高可靠性角度,适当增加死区时间。在 MOS 管两端增加快速恢复二极管,以避免出现任何状态下 MOS 体内二极管恢复电流过大、恢复时间过长的现象。

4 结束语

文中针对某风扇电机驱动电路高故障率这一现象,

提出了分析故障原因的方法以及改进方案。此方法首先对原设计电路进行负载测试,然后进行高压测试,以此来达到模拟失效模式的目的,并通过示波器来观察不同外部条件下 MOS 管的电流电压变化;最后分析得出了电路高故障率的原因,并提出了改进的方法。文章所述为工程中大量出现的功率器件失效原因提供了一定的参考分析方法。

参考文献:

[1] 李伟东,唐万军,庞佑兵. 一种低功耗三相无刷电机驱动控制器的设计[J]. 微电子学,2010,40(2):252-255.

[2] 张忠会,辛玉刚,张伟成. 采用 TMS320F2812 控制并基于三相半桥逆变器的 UPS 驱动电路的研究[C]//第二十七届中国控制会议论文集. 昆明:出版者不详,2008:58-60.

[3] 沈忠兵,王 强. 三相串联整流电路在大功率传动装置中的应用[J]. 电子与自动化,1998,9(3):33-36.

[4] 秦文甫,张昆峰. 基于 IR2136 的无刷直流电机驱动电路的设计[J]. 电子设计工程,2010,20(9):118-120.

[5] 徐 申,高海翔,何晓莹. 基于 C Dv/dt 现象分析的功率 MOS 管建模[J]. 东南大学学报,2010,40(1):18-22.

[6] 张娜娜. 一种新型过流保护电路的研究[J]. 中国集成电路,2007,17(5):68-70.

[7] Rena Y,Xu M,Zhou J, et al. Analytical loss model of power MOSFET[J]. IEEE Transactions on Power Electronics,2006,21(2):310-319.

[8] Xiao Y,Shah H,Chow T P, et al. Analytical modeling and experimental evaluation of interconnect parasitic inductance on MOSFET switching characteristics[C]//Proc of the Applied Power Electronics Conf and Expo. USA:[ s. n. ],2004:516-521.

[9] Amaratunga G A J. Trench MOS-gated power devices[J]. IEE Colloquium on Devices Drive Circuits and Protection,1994,104(25):1-3.

[10] 史凌峰,王庆斌,许文丹,等. 用于 APFC 低功耗 MOSFET 驱动电路的设计[J]. 西安电子科技大学学报,2011,38(1):54-58.

[11] Tzeng R H,Chen C L. A Low-consumption Regulated Gate Drive for Power MOSFET[J]. IEEE Trans on Power Electronics,2009,24(2):532-539.

[12] 何惠森,米新泉,许文丹. 一种精简的高速功率 MOS 驱动器[J]. 西安电子科技大学学报,2012,39(2):170-174.

(上接第 207 页)

[7] He Xinwen,Wang Xuehua. Strategic Analysis and Choice for Forestry Enterprises Developing E-business[J]. Chinese Forestry Science and Technology,2007(4):80-88.

[8] 网络商品交易及有关服务行为管理暂行办法[M]. 国家工商行政管理总局,2010.

[9] 信息技术安全技术公钥基础设施在线证书状态协议[S]. 中华人民共和国国家标准,2005.

[10] 姚一兆,薛 质,李 跃. 营业执照电子副本支撑电子商务诚信环境建设[J]. 电信快报,2009(8):56-58.

# 三相全桥电路中功率MOS管失效原因分析

作者：[张凯](#)，[尹长青](#)，[江建慧](#)，[ZHANG Kai](#)，[YIN Chang-qing](#)，[JIANG Jian-hui](#)

作者单位：[同济大学软件学院, 上海, 201804](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2013, 23 (6)

本文链接：[http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201306053.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201306053.aspx)