

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.10.020

汽车级IGBT驱动电路设计研究*

黄 雷^{1,2}, 李唐娟²

(1. 天津大学 电气与自动化工程学院, 天津 300072; 2. 天津清源电动车辆有限责任公司, 天津 300457)

摘要:为解决绝缘栅双极性晶体管(IGBT)在实际应用中的驱动电路问题,采用汽车级功率驱动芯片1ED020I12FTA对IGBT的保护、驱动电路进行了设计与研究,开发了用于电机驱动系统的IGBT驱动与检测电路。详细阐述了保护电路的保护机制及电路原理、门极驱动电路及门极电阻选择、EMS设计等内容,最后对设计的驱动电路进行了测试,给出了测试波形图。试验结果表明,该IGBT驱动电路输出稳定,能很好地开/断IGBT,具有良好的可靠性和稳定性,其在实际电驱动系统中能可靠输出所需功率。

关键词: IGBT; 门极驱动; 汽车级芯片; 1ED020I12FTA

中图分类号: TM359.9 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2014)10-1324-04

Research on automotive standard drive and protection circuit of IGBT

HUANG Lei^{1,2}, LI Tang-juan²

(1. College of Electrical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;
2. Tianjin Qingyuan Electric Vehicle CO., Ltd., Tianjin 300457, China)

Abstract: In order to research the drive and protection circuit of insulated gate bipolar transistor(IGBT), a protection and drive scheme based on automotive standard IC 1ED020I12FTA was designed and implemented on the motor drive system. The protection principle, the gate drive circuit and the selection of gate drive resistance and the EMS design were explained in detail. Finally, a complete experimental system was built and tested. The experimental results show that the designed drive circuit has good switch performance. The motor drive system with this circuit has high reliability and stability and can output the power the motor needed.

Key words: insulated gate bipolar transistor(IGBT); gate drive circuit; automotive IC; 1ED020I12FTA

0 引 言

功率器件在电动汽车中的应用越来越多,这就对可靠性提出了更高的要求,如功率循环和温度循环特性的要求。针对汽车应用,英飞凌推出的汽车级IGBT模块具有高可靠性、长寿命的特点并广泛应用于混合动力汽车驱动场合。设计可靠的驱动电路设计对于IGBT及电机运行至关重要^[1-3]。不恰当的驱动电路可能危及器件安全,或可能引起电机系统震荡^[4-5]。

本研究针对英飞凌汽车级IGBT进行基于

1ED020I12FTA驱动芯片的驱动与检测电路设计,对驱动电路系统进行测试验证,并将该驱动电路应用于永磁同步电机控制系统中,完成台架测试。

1 IGBT驱动及保护设计

1.1 驱动芯片简介

英飞凌公司推出的HybridPACK1—400 A/650 V IGBT FS400R07A1E3,针对电机功率20 kW~30 kW左右的轻度混合动力汽车,本研究的设计中驱动芯片采用英飞凌公司的1ED020I12FTA^[6-7]。该驱动芯片为汽

收稿日期: 2014-06-20

基金项目: 国家高技术研究发展计划(“863”计划)资助项目(2011AA11A211)

作者简介: 黄 雷(1980-),男,河北定州人,博士,高级工程师,主要从事电动汽车电机控制方面的研究. E-mail:huanglei@catarc.ac.cn

车级芯片,采用了先进的 Coreless Transformer 技术。驱动芯片传输延迟时间短,共模抑制能力强,其具有可靠的 IGBT 短路保护及故障回馈功能;可实现上、下桥臂互锁的功能,可以可靠地开启和关断 IGBT;同时其两级关断的功能可靠地抑制了电压变化率的上升,使得 IGBT 的关断更加可靠。芯片为双电源供电 (V_{CC1}/V_{CC2})。由外部控制电路输出的 PWM 波输入到芯片的 IN-与 IN+ 引脚,通过内部的隔离传输机制将信号传递到芯片的输出级 OUT 引脚。芯片输出级检测到的故障信号通过隔离传输回馈到输入侧,该故障信号一方面直接停止 PWM 的输出到 OUT 引脚,另一方面将故障信号传输到 FLT 引脚。

1.2 驱动保护电路设计与分析

1.2.1 过流保护

当 IGBT 过流时驱动芯片提供保护电路,通过检测 IGBT 的集电极与发射极间的电压 U_{CESAT} ,间接地实现对 IGBT 的过流检测^[8]。

本研究所设计的驱动电路过流保护部分如图 1 所示。当 IGBT 由于过载或者短路过流发生时,IGBT 的集电极电流 I_c 增加,使得 IGBT 的饱和压降上升 ($I_c = U_{CESAT} \times R_{CE}$),驱动芯片 DESAT(3) 引脚为 IGBT 饱和压降检查引脚,引脚检测 IGBT 饱和压降。当发生 IGBT 过流时,芯片外部保护电路二极管 D_1 负极电压升高,使得 D_1 截止;驱动芯片由于内部上拉电压 V_{CC2} (15 V) 在 DESAT 引脚产生一个高电压;该电压与芯片内部 9 V 参考电压通过内部电压比较器 K1 进行比较。当 DESAT 引脚电压大于 9 V 时,将故障信号通过内部与门电路参与关断芯片的驱动输出,上报故障信号到芯片的 FLT(16) 引脚,引脚输出低电平。故障信号通过无芯传输技术传输给芯片低压侧的故障引脚 FLT,故障信号通常可用指示灯显示。该短路故障指示过程所需时间约 4 μ s,可及时关断 IGBT,防止 IGBT 损坏。

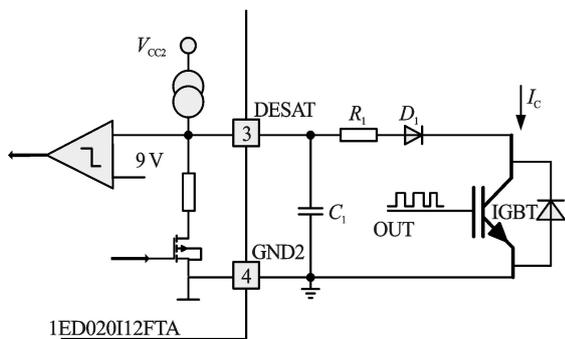


图1 1ED020I12FTA 芯片短路保护

1.2.2 两级关断特性

在 IGBT 过流时,电流越大则 IGBT 承受的短路时

间越短,但是不能立即关断 IGBT,主要原因是电流越大,在 IGBT 关断时的电流变化率就越大。由于 IGBT 漏感和引线电感的存在,IGBT 关断时会出现集电极过压,该过压会在 IGBT 内部产生锁定效应,使得 IGBT 锁定失效;另外较高的过电压会使得 IGBT 击穿。因此驱动芯片输出的关断 IGBT 的驱动电位是通过两级关断方式切断驱动输出的。本研究所设计的两级关断电路如图 2 所示。

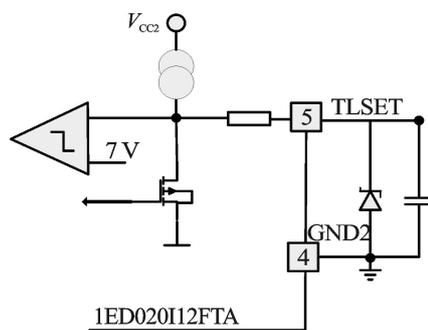


图2 两级关断电路

驱动芯片的 TLSET 引脚通过外接稳压二极管与电容实现了对驱动芯片输出的两级关断,电容的大小决定着两级关断的延迟时间,两级关断输出如图 3 所示。

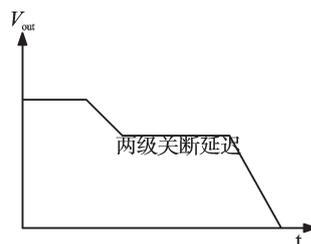


图3 两级关断输出

驱动 PWM 信号输出的最小开通上升时间与关断下降时间都必须大于 TLSET 的设置时间,否则驱动信号输出电位保持原状态不变。在关断时,如果电压下降不能保持在这个时间内,输出可能为原状态。

1.2.3 箝位保护电路

(1) 芯片米勒箝位保护。

当 IGBT 在关断时门极电压开始下降,当门极电压下降到小于集电极电压时 IGBT 进入线性工作区,门极与集电极之间的米勒电容决定着饱和压降的上升,使得门极电压关断延时。为了消除这种延时,驱动芯片通过箝位电路作用,当门极电压降到 2 V 的时候,门极电压被直接拉到关断电压 V_{EE2} (-8 V)。

(2) 集电极箝位。

为了防止集电极电压过高损坏 IGBT,本研究在 IGBT 的集电极与门极之间加 D_2, D_3 进行有源钳位,所设计的电路如图 4 所示。

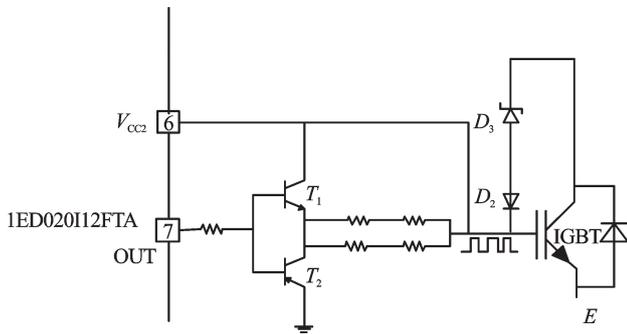


图4 驱动输出与保护

D_2 —普通快速恢复二极管; D_3 —TVS管

图4中,集电极电位被钳住,当IGBT过载或者短路时关断IGBT会产生很高很陡的电压尖峰,这些尖峰很容易损坏IGBT,当集电极电位过高时,TVS管被击穿,电流通过 D_3 , D_2 流过IGBT的门极,使得IGBT的门极电位升高,这样会使得关断的电流不会很陡,从而减小尖峰。在正常关断时的电压尖峰一般不足以损坏IGBT。因此该有源钳位一般在出现故障时动

作,在正常开启关断时不会动作。

1.3 门极驱动电路及门极电阻选择

驱动芯片的输出端接推挽电路放大驱动信号,驱动电路原理图如图5所示,在IGBT门极串联的电阻值大小的选择直接影响着IGBT的门极驱动波形,为了提高IGBT的开关频率、降低损耗,一般选择门极串联电阻越小越好。在有续流二极管产生反向恢复电流和吸收电容的放电情况下,IGBT的开通会很容易产生电压尖峰,损坏IGBT。为了降低上升速度,又需要增加串联电阻,抑制电流尖峰。门极电阻太小,会造成驱动波形脉冲振荡;门极电阻过大时,脉冲波形的上升下降沿又容易发生延迟,因此选择合适的门极串联电阻对于驱动电路的设计至关重要。

为防止过电压现象出现可以调整合适的 V_{GE}/R_G 以减小电流变化率,直流母线的支撑电容应当尽可能靠近IGBT模块,减少IGBT连接及环路的距离以减小环路电感。

驱动电路整体原理如图5所示。

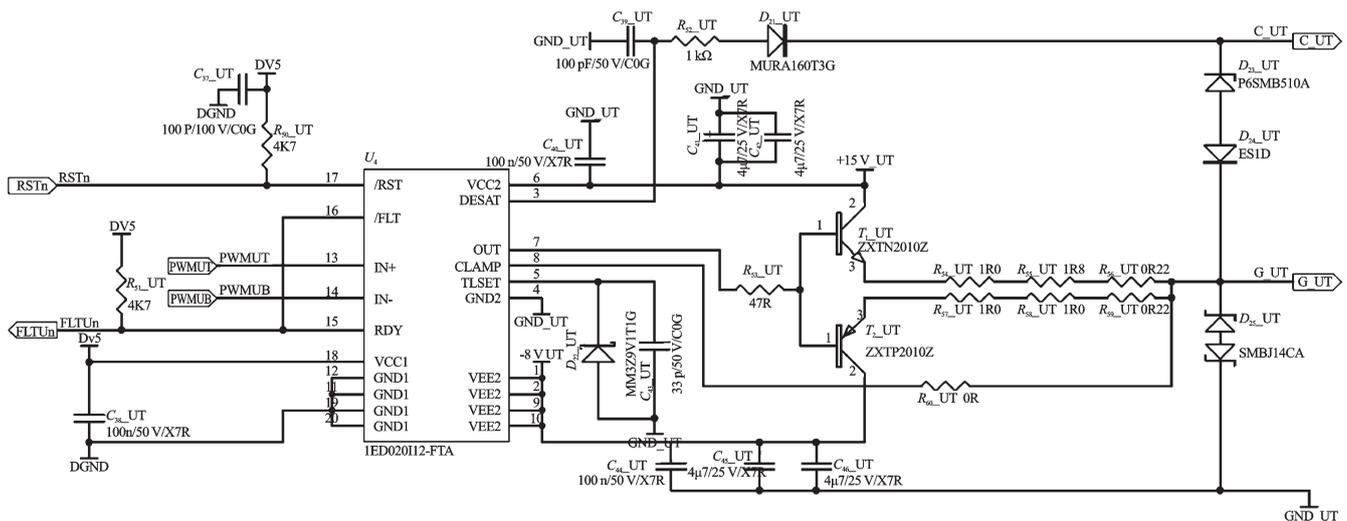


图5 驱动电路原理图

$T1_{UT}$ 管—NPN管用于开通IGBT; $T2_{UT}$ 管—PNP管用于关断IGBT

1.4 EMS设计

驱动系统所处的环境为高频较大功率的电磁场环境,合理的EMS设计有助于驱动的电路的有效工作防止IGBT模块误导通,同时也可以保护系统采样电路不会受到极大的冲击导致数据误传^[9]。根据对电磁场干扰源的分析,笔者在控制器的外壳设计时选择了屏蔽性较好的铝外壳进行设计,同时试验时保证外壳的封闭性,保证不会有天线效应产生的对外辐射,在驱动板设计上增加了接地点,有助于干扰信号的泄放。

2 驱动系统测试结果分析

应用本研究所设计的驱动电路,笔者开发了一套电机控制系统,IGBT模块采用英飞凌HP1 FS400R07A1E3模块。实验中从控制板输出到驱动板幅值为0~5 V的PWM信号,实际测得的驱动电路输出即IGBT门极驱动电压范围为-8 V~15 V,驱动电路输出波形如图6所示。可见在基于1ED020H12FTA芯片的驱动模块驱动下,驱动电路能够可靠地输出导通与关断信号。

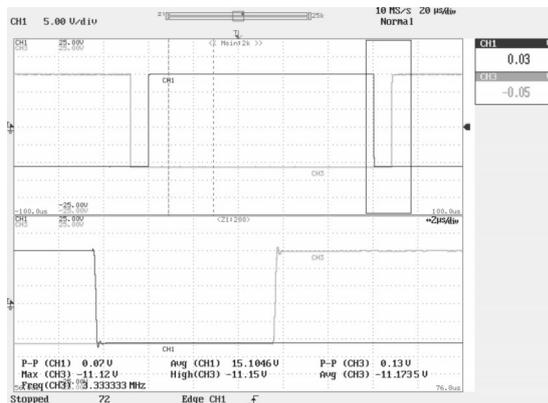


图6 驱动电路输出波形(IGBT门极电压)

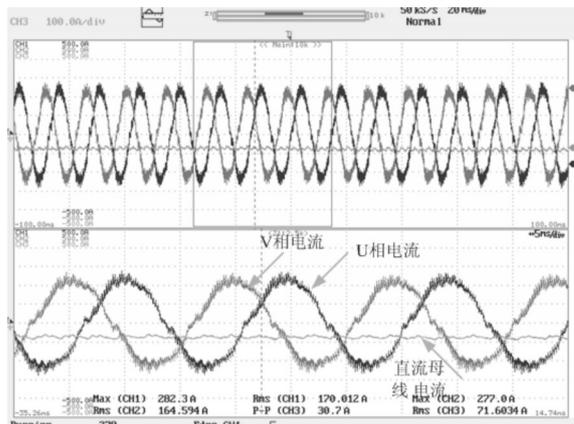


图8 电机系统输出20 kW时电流波形

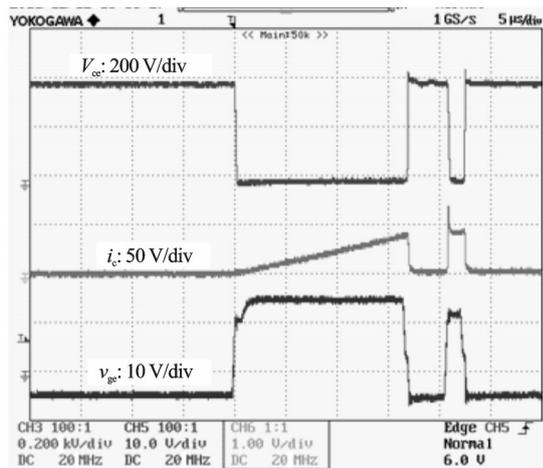


图7 双脉冲测试波形

本研究采用双脉冲测试方法得到的集电极-发射极电压 V_{ce} 、集电极电流 I_c 及门极-发射极电压 V_{ge} 波形如图7所示。从波形可看出驱动电阻的取值合适、门极没有振荡、开通时间、关断时间在合理范围之内。双脉冲测试验证了所设计驱动电路的可靠性及实用性。

将本研究设计的IGBT及驱动应用于一台额定功率为20 kW的电动汽车用永磁同步电机控制系统,并进行了台架验证。转速2 000 r/min、转矩103.5 N·m时的直流母线电流与电机相电流波形如图8所示。实验结果表明,采用所设计的IGBT驱动电路的电机系统能可靠、稳定地运行。

3 结束语

本研究设计了基于英飞凌汽车级驱动芯片1ED020112FTA的IGBT驱动电路与检测电路,该驱动电路设计可以满足应用要求,能可靠地开通、关断IGBT,在车用永磁同步电机控制系统中运行平稳。

参考文献(References):

- [1] 陈振伟,陈辉明,王正仕,等. 一种新型单电源IGBT驱动电路[J]. 机电工程,2007,24(9):33-35.
- [2] 张海亮,陈国定,夏德印. IGBT过流保护电路设计[J]. 机电工程,2012,29(8):966-970.
- [3] 施贤能,吴庚泽,朱元. 1ED020112-FA在驱动中大功率IGBT中的应用[J]. 企业技术发展,2010,29(5):4-6.
- [4] 吴耀辉,杨焦赞,魏仁灿. IGBT高频开关电源的故障分析及处理[J]. 电力电子技术,2009,43(5):61-62.
- [5] 杨斌文,胡浩,张建. IGBT的有关保护问题[J]. 电气开关,2006(6):7-9.
- [6] 闫晓金,宁武. 基于无磁芯变压器的IGBT/MOSFET隔离驱动技术[J]. 电气技术,2007(9):25-27.
- [7] 韩德火,王艳,殷天明. 基于1ED020112-FA的开关磁阻电动机驱动电路[J]. 微特电机,2013,41(9):56-59.
- [8] 胡宇,吕征宇. IGBT驱动保护电路的设计与测试[J]. 机电工程,2008,25(7):58-60.
- [9] 赵慧杰,邝乃兴,崔彬. 三电平逆变器IGBT驱动电路电磁兼容研究[J]. 电源技术应用,2007,10(2):33-37.

[编辑:洪炜娜]

本文引用格式:

黄雷,李唐娟. 汽车级IGBT驱动电路设计研究[J]. 机电工程,2014,31(10):1324-1327.

HUANG Lei, LI Tang-juan. Research on automotive standard drive and protection circuit of IGBT[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014,31(10):1324-1327.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>