

OC 门限流电路在串励电机控制中的研究

黄前华¹, 郑世芳², 钱 玮³

(1. 国网电力科学研究院 安徽继远电网技术有限责任公司, 安徽 合肥 230088;

2. 安徽英科智控股份有限公司, 安徽 合肥 230088;

3. 中国科学院 合肥智能机械研究所, 安徽 合肥 230088)

摘要:针对传统的以霍尔加磁环对电机电流进行检测再保护的电流限制的方法,提出了 OC 门硬件限流电路,该电路突破了传统的思路,不对电流进行采样,直接通过硬件电路对电机电流进行限制保护,即以设定的最大电流通过开关管所产生的压降作为 OC 门电路的参考值,以实际电流通过开关管所产生的压降作为比较值与参考值进行比较。当实际电流大于设定的最大电流时,OC 门电路的输出关闭驱动开关管的控制电路,从而关断开关管,反之,当实际电流小于最大电流时,开关管正常工作,从而实现了对过电流进行快速的限制保护,确保了保护电路中的电流不会超过设定的最大电流。应用结果表明,该电路具有响应时间短,控制精度高,成本低等特点。所以其具有较高的应用推广价值。

关键词:电流限制; 最大电流; OC 门; 开关管

中图分类号: TN911-34

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2012)02-0194-04

Research on OC gate current limiting circuit used in serial motor control

HUANG Qian-hua¹, ZHENG Shi-fang², QIAN Wei³

(1. Anhui JIYUAN Electric Power System Tech Co. Ltd., State Grid Electric Power Research Institute, Hefei 230088, China;

2. Anhui INCO Intelligent Control Co., Ltd., Hefei 230088, China;

3. Hefei Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230088, China)

Abstract: An OC gate current limiting circuit which breaks through the traditional way, limits the motor current directly without detection and protects the motor current directly by hardware circuit is proposed based on the traditional limiting method which monitors the motor current and then limits it for motor protection by Holtz and magnet ring. The voltage drop produced by letting the preset maximal current pass through the switch is taken as the reference voltage, and letting the real current pass through the switch is taken as the comparing voltage value. When the real current is greater than the preset maximal current and the comparing voltage is greater than the reference voltage, the OC gate circuit will shut off the signal control circuit which generates the control signal of the switch. Otherwise, when the real current is less than the preset maximal current, the switch works normally. Therefore, it can quickly limit the current to the preset maximal current when the current surges over the preset maximal current. The results show that the circuit has the characteristics of short response time, high control precision and low cost, etc.

Keywords: current limitation; maximal current; OC gate; switch tube

0 引言

电动车辆是目前世界上惟一能达到零排放的机动车。由于环保的要求,加之新材料和新技术的发展,电动车进入了发展高潮。其中串励电机由于其起动转矩大,控制简单等特点,在电动车辆行业,尤其是电动叉车行业占有举足轻重的地位。电动车辆的控制系統由逻辑部分和功率部分两个部分组成,其中,逻辑部分是由开关信号处理电路,故障检测电路及开关驱动信号产生电路构成的低电压、低电流的逻辑电路、功率部分是电机、电池构成回路的过大电流的电路。在电动车辆的

控制系统中,过载保护(即对功率电路的过电流保护)是最重要的一部分。当发生过流时,若不能及时保护,往往会造成整个控制系统的烧毁,从而使电动车辆不能正常运作。可以看出,过流保护做的好不好直接关系到电动车辆的发展。对于过电流保护,就是使实际电路中的电流不超过设定的最大电流,即当功率电路中的实际电流值大于设定的最大值时,立即关断功率电路,反之,当功率电路中的实际电流值小于设定的最大值时,开通功率电路,使车辆能够正常运行。

目前,电动车辆中的电流保护,通常都是采用霍尔对电流进行采样,然后进行保护控制的方法。这种方法得到的电流值虽然比较准确,但也存在一些缺陷。例

如,一方面,采样时需要霍尔和磁环等器件,这些器件的安装和固定都需要一定的空间,尤其是在大功率的电机控制中,由于电枢电流较大,使得与之匹配的磁环也较大,这样就会使得产品的体积增加,及硬件成本的提高;另一方面,由于受到电流保护时间的限制(尤其是在大电流保护,如大于 500 A 电流的保护),要求单片机完成采样和保护的时间要尽可能的短(最好是在 ns 级),这就要求单片机的等级较高,这样不仅使得成本增加,也不利于采购。

本文详细介绍了一种不需要电流采样即可对电机电流进行实时保护的 OC 门硬件电路,它不仅控制速度快,控制精度高,同时控制成本也较低。有效地解决了传统控制中的问题。

1 OC 门硬件限流电路的工作原理

1.1 电路图

OC 门硬件限流电路原理如图 1 所示。

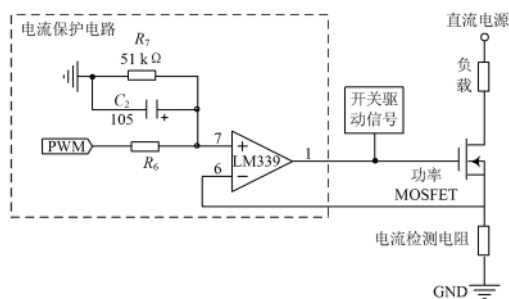


图 1 OC 门限流电路原理图

1.2 工作原理

图 1 中,OC 门限流电路原理图由电流保护电路,开关驱动信号和主电路 3 个部分组成。其中,主电路是指直流电源、负载、功率 MOSFET 和电流检测电阻构成的主回路。开关驱动信号是指经过功率放大后得到的驱动 MOSFET 的信号。当驱动信号为高时,MOSFET 导通,主电路有电流流过;当驱动信号为低时,主电路被关断,主电路中无电流流过。所以当主电路发生过流时,只需断开 MOSFET,即可实现电路保护。下面具体分析保护过程。

当驱动信号为高时,主回路有一定的电流流过(电流值=直流电压值/(负载阻值+MOSFET 阻值+电流检测电阻阻值)),如果负载是变化的,当电流值大于设定的最大电流值(设为 I_{max})时,就需要关断 MOSFET 进行保护。图 1 中的 PWM 是单片机控制的占空比可调的 PWM 信号,它经过电阻分压和电容滤波后形成一个电平信号送入运算放大器的正向输入端。通过控制 PWM 的占空比可使这个电平电压 U_0 等于 I_{max} 乘以电流检测电阻阻值。当实际电流值 I 大于 I_{max} 时, I 乘

以电流检测电阻阻值大于 U_0 ,即运算放大器的负向输入端的电压值大于正向输入端的电压值,对于输出为 OC 门电路的运放。此时当开关驱动信号为高电平,即运放的输出端有上拉电源,输出低电平,即关断 MOSFET。当实际电流值小于 I_{max} 时, I 乘以电流检测电阻阻值小于 U_0 ,即运算放大器的负向输入端的电压值小于正向输入端的电压值,此时当开关驱动信号为高电平时,即运放的输出端有上拉电源时,输出高电平,开通 MOSFET,如此循环,通过开通和关断 MOSFET,控制电流值不大于 I_{max} 。

2 OC 门硬件限流电路在串励电机控制中的应用

2.1 电路图

OC 门硬件电流保护电路在串励电机控制上的应用如图 2 所示。

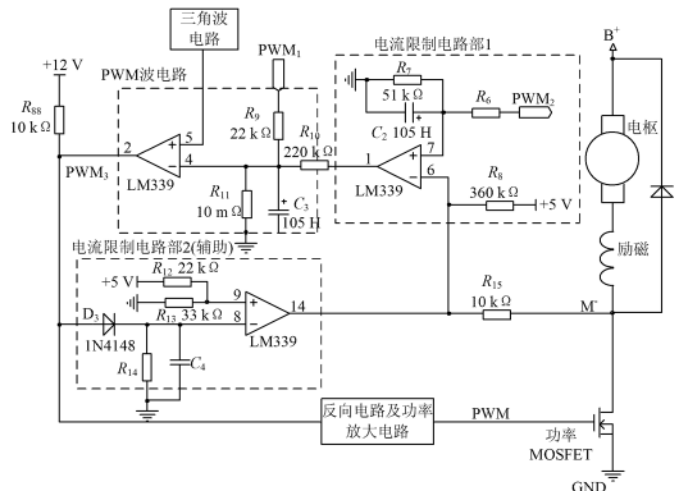


图 2 OC 门电流限制电路在串励电机控制中的应用图

2.2 工作原理

图 2 中看出,串励电机控制系统由控制部分和功率部分两个部分组成,其中功率部分由功率 MOSFET 组成,电池电压正极经过串励电机,MOSFET 到电池负极组成一个主回路。MOSFET 的驱动信号是一个频率约为 15 kHz 的 PWM 信号,通过调节该 PWM 信号的占空比,可对电机进行速度和带载能力进行调节,当电机所带负载 I 大于设定的最大带载能力 I_{max} 时,就需要降低 PWM 波的占空比对其进行过载保护。

控制部分用于产生控制 MOSFET (图中的 MOSFET 是一组 MOSFET 的并联,数量由主电流的大小决定,这里为了简化说明,只画出了一个表示)的 PWM 信号,它由电流限制电路部 1,电流限制电路部 2,PWM 电路,三角波电路和反向电路及功率放大电路组成。三角波电路中,比较器的正向输入端是一个频率约为 15 kHz,最低点的电压值为 1.73 V,最高点的电

压为 4.2 V 的三角波信号,负向输入端是一个电平信号,当电流限制电路部 1 输出高时,该电平是 PWM₁ 经过电阻 R₉,R₁₁,和电容 C₃ 滤波后得到的,由于 R₁₁ 的阻值远远大于 R₉,所以此时的电平值约为 PWM₁ 信号经过电容 C₃ 滤波后得到的电平。当 PWM₁ 的占空比由 0 增加到 100% 时,该电平的幅值由 0 逐渐增加到约 5 V,和三角波调制后得到 PWM₃ 的占空比由 100% 逐渐减少到 0,经过反向电路后得到驱动 MOSFET 的 PWM 的占空比由 0 逐渐增加到 100%。当电流限制电路部 1 中的运放输出一个低电平 0 V,从图 2 中可以看出,R₁₀(阻值为 220 Ω)和 R₁₁(阻值为 10 MΩ)此时相当于并联,通过电阻并联计算公式可算出并联的阻值约等于 220 Ω,PWM₁ 信号的正脉冲经过 220 Ω 电阻和 R₉(22 kΩ)分压后幅值接近 0,再经过电容 C₃ 滤波后是一个约为 0 的电平,即不论 PWM₁ 的占空比为多少,当电流限制电路部 1 中的运放的输出为低时,PWM 波电路部分的运放的反向输入端都是一个约为 0 的电平,小于三角波的最低电压,与三角波进行比较后得到占空比为 100% 的 PWM 波,经过反相器后得到一个占空比为 0 的 PWM 波,即关断 MOSFET,可以看出,电流限制电路部 1 的输出为低即可关断 MOSFET,同样,当电流限制电路部 1 的输出为高时,PWM 电路正常工作。

下面分析电流限制电路在串励电机控制系统中的工作原理。一个驱动 MOSFET 的 PWM 周期中,正脉冲时间段 MOSFET 导通,M⁻ 的电压 U₁ = IR_{MOSFET}。其中:I 为主回路电流;R_{MOSFET} 为 MOSFET 的内阻。图 2 中电流限制部 1 中的运算放大器的反向输入端的电压为 $U_2 = U_1 + \frac{R_{15}}{R_{15} + R_8} \cdot (5 - U_1) = U_1 + \frac{1}{37} (5 - U_1)$ 。当 I = I_{max} 时,U₁ = U_{1max} = I_{max}R_{MOSFET},负脉冲时,MOSFET 栅极驱动信号为低电平,MOSFET 关断,M⁻ 的电压为电池电压,电流限制部 2 的运算放大器正向输入信号为低电平,即小于反向输入端的比较信号,所以输出为 0,即给电流限制电路部 1 中的运放的反向输入端提供一个 0 信号,即在 MOSFET 关断时,U₂ = 0。综上所述可以看出,电流限制电路部 1 中的运放的反向输入端是一个频率和 MOSFET 的驱动 PWM 信号频率相同,正脉冲幅值为 U₂,负脉冲幅值为 0 的 PWM 信号。对于同向输入端,可通过单片机设定图中 PWM₂ 的占空比,使之经过电阻 R₆,R₇ 降压,及电容 C₂ 滤波后的电平值 $U_{2max} = U_{1max} + (R_{15}/(R_{15} + R_8))(5 - U_{1max}) = U_{1max} + \frac{1}{37} (5 - U_{1max})$,当 I > I_{max} 时,U₂ > U_{2max},电流限制电路部 1 中的运放输出一个低电平 0。由上面的分析可知,此时驱动 MOSFET 的 PWM 信号为低,MOS-

FET 关断,实现了对主回路进行保护;

当 I < I_{max} 时,电流限制电路部 1 输出高,此电路又会自动开启驱动 MOSFET 的 PWM 波,使电机正常工作。如此循环,可控制主电路的电流 I ≤ I_{max},即实现了电机的过流保护。

3 试 验

该电路已经在 1.5 t 和 2.5 t 叉车中的泵电机控制中得到了应用。电机工作的额定电压是 48 V,最大电流限值设定为 600 A。电路中的 MOSFET 选用了 16 个 IRF8010 并联,IRF8010 的内阻 R_{DS(on)} 为 15 mΩ,这样并联后的等效内阻为 0.937 5 mΩ,通过 600 A 的电流后产生的压降为 0.561 V,由上面的公式计算可知 U₂ = 0.681 V。通过计算可知,电流限制部分 PWM 的占空比设为 17.6% 时,经 R₆(电阻选为 15 kΩ),R₇ 降压后再经 C₂ 滤波可得到比较电平值等于 0.680 V。电流限制 PWM 波及经过降压滤波后得到的电平如图 3 和图 4 所示,图中的小尖峰是“地”中的干扰造成的,相对于“地”为一个平稳的电平。20 台控制器电流限值从 200~600 A 的实验统计如表 1 所示(电路中 MOSFET 选用了 16 个 IRF8010 并联)。

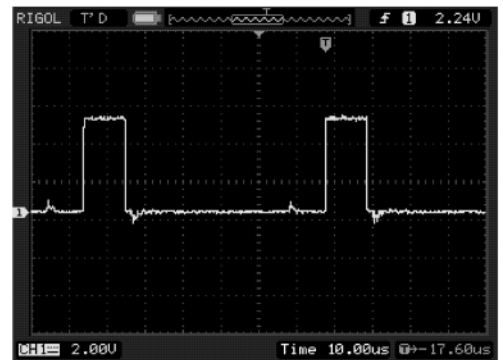


图 3 电流限制 PWM 波

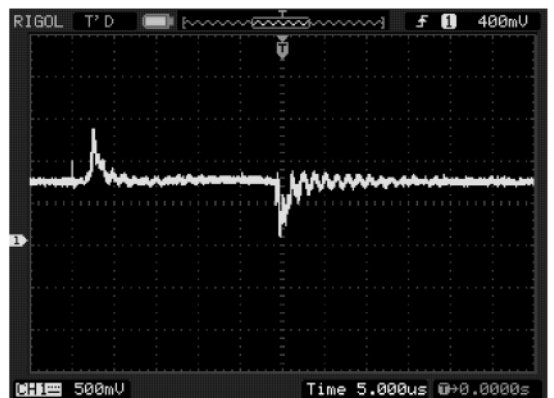


图 4 电流限制参考电压

1 000 台生产结果表明,对于同一厂家 MOSFET,经过一次测定其内阻后,确定的 PWM 占空比在以后的

生产中不需要更改,即可有效的控制最大电机电流为 600 A,误差为正负 10 V。

表 1 实验数据统计

设定的最大电流 限值 /A	实际最大 电流值 /A	PWM 的 占空比 /%
200	195~215	5.87
300	295~305	8.8
400	390~405	11.73
500	491~510	14.67
600	590~610	17.6

4 结 语

通过电平比较硬件限流电路控制驱动 MOSFET 的信号开通和关断,实现了在 ns 级的时间内完成控制,确保了主电路安全稳定工作。

这个限流电路已经在串励电机控制器中得到了应用,反馈的结果表明,该电路能够很好地对电机进行限流保护。不过,实际使用时,由于主电路中的 MOSFET,因厂家及产地的不同,其内阻略有差别,所以对不同厂家及产地的 MOSFET,都需要对其内阻进行测定,只由这样才能准确地控制限流值。

参 考 文 献

[1] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 3 版. 北京:机械工业

出版社,2003.

- [2] 李发海,王岩. 电机与拖动基础[M]. 2 版. 北京:清华大学出版社,2002.
- [3] 赵清,徐衍亮,安忠良,等. 电动汽车的发展与环境保护[J]. 沈阳工业大学学报,2000,22(5):430-432.
- [4] 阿布里提·阿布都拉,清水健一. 电动汽车的发展现状和开发动向[J]. 电工电能新技术,2000(1):49-53.
- [5] 钱立军,赵韩,高立新. 电动汽车开发的关键技术及技术路线[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2002,25(1):14-18.
- [6] UN Li-qing, BAI Wen-jie, SUN Feng-chun. State-of-the-art electric vehicle simulation technology [C]// Proceedings of EVS19. Busan; Huronix Inc., 2002; 2064-2073.
- [7] DIOXN J W, OOI B T. Indirect current control of an unity-power factor inusoidal current boost typtthree-phase rectifier [J]. IEEE Trans. on Ind. Electron., 1988, 35 (4): 508-515.
- [8] DRAOU A, SATO Y, KATAOKA T, A new state feed-back based transient control of PWM AC to DC voltage type converters [J]. IEEE Trans. on Power Electron, 1995, 10 (6): 716-724.
- [9] PAN C T, CHEN T C. Modelling and analysis of a three phase PWM AC-DC converter without current sensor [J]. IEE Proceeding-B, 1993, 140 (3): 201-208.
- [10] FUKUS S. LQ control of sinusoidal current PWM rectifiers [J]. IEE proc-Electr. Power Appl., 1997, 144 (2): 95-100.

作者简介:黄前华 男,1980 年出生,安徽怀宁人,硕士研究生,工程师。从事电力系统自动化、控制相关领域的研究工作。

郑世芳 女,1982 年出生,安徽滁州人,硕士研究生,工程师。从事电力电子及电力传动研究工作。

钱 玮 男,1965 年出生,博士生导师,研究员。

(上接第 193 页)

可见,不做接地和等电位联结是很危险的,两者应结合应用,相辅相成,从而获得最好的保护效果。

参 考 文 献

- [1] 国际电子委员会. IEC/TC64 国际电工委员会标准[S]. 北京:中国标准出版社,2001.
- [2] 曾保全. 住宅接地设计的几个问题[J]. 建筑电气,2000(4): 9-11.
- [3] PRICE W W, WIRGAU K A, MURDOCH A, et al. Luad modelling for load flow and transient stability computer studies [C]// Proceedings of IEEE PWRs. [S. l.]: IEEE, 2010:180-187.
- [4] 国家基本建设委员会. GBJ232-82 电气装置安装工程及验收规范[S]. 北京:中国标准出版社,1982.

- [5] 中国建筑东北设计院. JGJ/16-92 民用建筑电气设计规范 [S]. 北京:中国标准出版社,1993.
- [6] 中华人民共和国建设部. JGJ6-2005 施工现场临时用电安全技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [7] CMURI S. Estimation of power system load Yaramcters in TUC present systemc disturbance [M]. USA: IEEE Press, 1977.
- [8] FRANTZ T. Load behavior obsevcxl in LTLCO and RG E systems [M]. [S. l.]: TEED Traps. 1984: 819-831.
- [9] 周鸿昌. 配电系统的安全用电与漏电保护[J]. 建筑电气, 1993(1):67-69.
- [10] OHYAMA T, WATANABE A. Voltage depcndance of composite load in power systems [J]. IEEE Trans. on PAS, 2009 (11): 3064-3073.

作者简介:尹宇俊 男,1977 年出生,山西晋中人。主要从事大型建筑工程领域机电项目的研究工作。