

一种新型电动轮自卸车无刷发电机励磁控制装置

冯 炳, 杨栋新, 刘松柏

(株洲南车时代电气股份有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘 要: 设计了一种新型电动轮自卸车无刷发电机的励磁控制装置, 选用 DSP 作为控制核心并配置 CAN 网络接口和串行通信接口, 以同时采集各类信号并进行算法处理, 从而实现对主发电机励磁电流的有效调节。试验结果表明, 该装置已达到预期的设计目标。

关键词: DSP; PWM; 电动轮自卸车; 励磁控制; 无刷发电机

中图分类号: TM31

文献标识码: A

文章编号: 2095-3631(2013)02-0053-03

A New Excitation Control Device for Brushless Alternator of Electrical Wheels Autonomous Dump Truck

FENG Bing, YANG Dong-xin, LIU Song-bai

(Zhuzhou CSR Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: It designed a new excitation control device for brushless alternator of electrical wheels autonomous dump truck. In order to control excitation current effectively, it used DSP as its control unit and function modules with serial and CAN communication to sample all kinds of signal and process algorithms for effective regulation of the excitation current. Experimental results show that this device can achieve the expected design results.

Key words: DSP; PWM; electrical wheels autonomous dump truck; excitation control; brushless alternator

0 引言

以往, 电动轮自卸车的励磁控制方式主要以三次谐波励磁控制方式为主, 这种传统的同步发电机励磁方式属于有刷励磁^[1], 是通过电刷和滑环将励磁直流电引至转子励磁绕组, 因此会带来一系列的问题。例如, 换向时引起的电火花限制了其在特殊工矿下的应用, 尤其是在可能有易爆炸气体的矿井、具有腐蚀性的化工厂等场所。随着单机容量的不断扩大, 以及碳刷磨损和碳刷粉末玷污线圈绝缘等问题的出现, 这种有刷励磁方式增加了发电机维护的工作量并降低了装置的可靠性^[2]。为了解决励磁回路存在的诸多问题, 新一代电动轮自卸车开始使用旋转整流器式无刷同步发电机,

它消除了电刷和滑环, 可靠性得以大大提高。本文针对旋转整流器式无刷同步发电机, 研制了一种新型的发电机励磁控制系统, 以实现对该类发电机励磁电流的有效调节。

1 控制系统硬件设计

旋转整流器式无刷同步发电机(图1)实际上是将一台旋转电枢式发电机作为主发电机的励磁机, 励磁

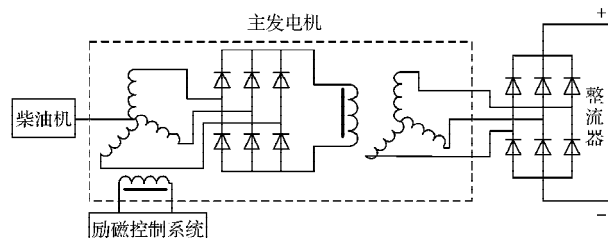


图1 电动轮自卸车无刷同步发电机励磁控制方式示意图

Fig.1 Schematic diagram of excitation control for brushless alternator of electrical wheels autonomous dump truck

收稿日期: 2012-09-27

作者简介: 冯炳(1985-), 男, 硕士, 设计师, 主要从事内燃机车微机控制系统的研究开发工作。

机的输出经三相旋转整流器整流,为主发电机提供直流励磁电源。

本文设计的励磁控制系统工作原理如图2所示。系统由车载蓄电池提供输入电源,选用定点和浮点兼用的高性能DSP(型号为TMS320F28335)为控制核心。DSP最小配置系统包括晶振、JTAG口、看门狗复位电路、EEPROM存储器电路和启动配置电路等,其功能框图如图3所示。

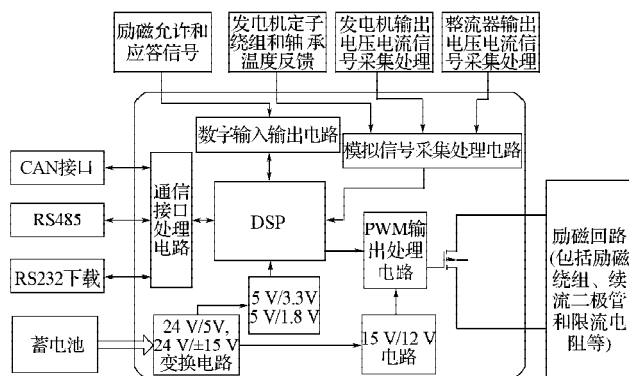


图2 电动轮自卸车励磁控制系统功能框图

Fig.2 Block diagram of the excitation control system for electrical wheels autonomous dump truck

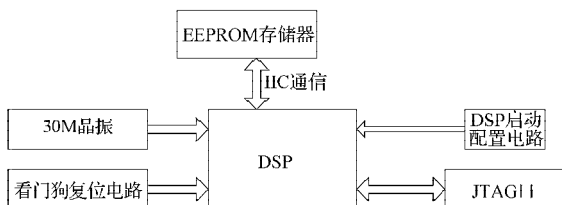


图3 励磁板最小系统功能框图

Fig.3 Block diagram of the least excitation control unit

励磁控制系统使用多种电源,包括DSP所需的3.3 V和1.8 V电源、RS485和CAN通信所需的隔离5 V电源、运算放大器和外部传感器所需提供的 ± 15 V电源以及MOS管驱动需要使用的12 V电源。控制系统中电源电路的可靠性是系统正常工作的基础,为此采取多种保护措施,如利用熔断器、电容器、二极管和电感器等器件对输入电源进行短路和反接保护,并对输出电源进行纹波处理等。其电源系统框图如图4所示。

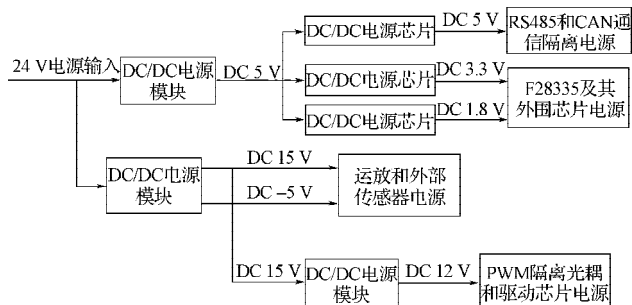


图4 励磁控制单元电源系统

Fig.4 Power supply of the excitation control unit

控制系统利用数字输入和输出电路实现与整车控制器之间励磁允许和应答信号的传递,通过CAN总线接收整车控制装置和传动控制单元(DCU)输送的指令信号和数据,并通过RS485总线与DCU进行通信。这种冗余的通信方式可保证数据和指令的可靠交换。系统还可通过RS232通信接口进行程序的在线下载和数据监视。具体接口配置如图5所示。

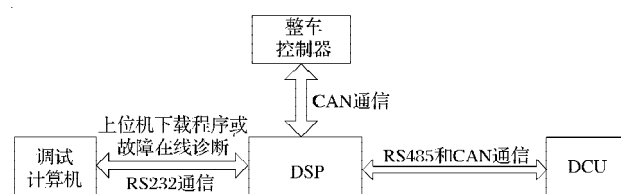


图5 通信接口配置

Fig.5 Block diagram of configuration for communications interface

数字输入回路上的励磁允许信号通过控制励磁控制电路中光电耦合器的通断来实现高低电平的转换,而DSP通过检测此信号来判断是否允许励磁(高电平,则允许励磁;低电平,则封锁励磁);DSP输出励磁反馈信号以控制数字输出回路上继电器的通断,继而通知整车控制器励磁的工作状态(图6)。



图6 数字输入和输出流程

Fig.6 Flow chart of digital input and output

传感器采集发电机输出电压和电流、整流器输出电压、励磁电流和发电机定子绕组和轴承温度等模拟信号,信号经调理及A/D转换后由DSP进行比较分析和算法处理(图7),以驱动场效应管输出PWM波,实现对主发电机励磁电流的有效调节控制。

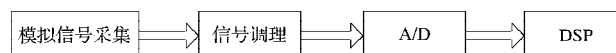


图7 模拟信号处理流程

Fig.7 Flow chart of analog signals processing

PWM输出电路结构如图8所示。DSP接收各种命令和传感器反馈信号,通过PID控制算法调节PWM输出,以控制电动轮自卸车发电机励磁回路电流的大小,实现对整流器输出电压闭环动态调节。

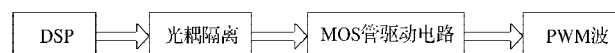


图8 PWM输出电路框图

Fig.8 Block diagram of PWM output circuit

2 控制系统软件设计

电动轮自卸车励磁控制系统软件流程图如图9所示。其关键环节流程如下:整车控制器给定工况或档位的励磁指令;软件通过查询电压限制基准曲线,并按事

先约定的电压加/减载率控制给定某一电压或电流限制值(一般为中间电压,即整流器输出电压);软件中的PID控制算法对采集的模拟量值与给定值进行算法处理,然后输出对应占空比的PWM波,实现对励磁电流的调节控制;若A/D所采集的信号(包括电压、电流和温度等)大小超出限值,则通过改变或封锁脉冲的方式进行故障处理。

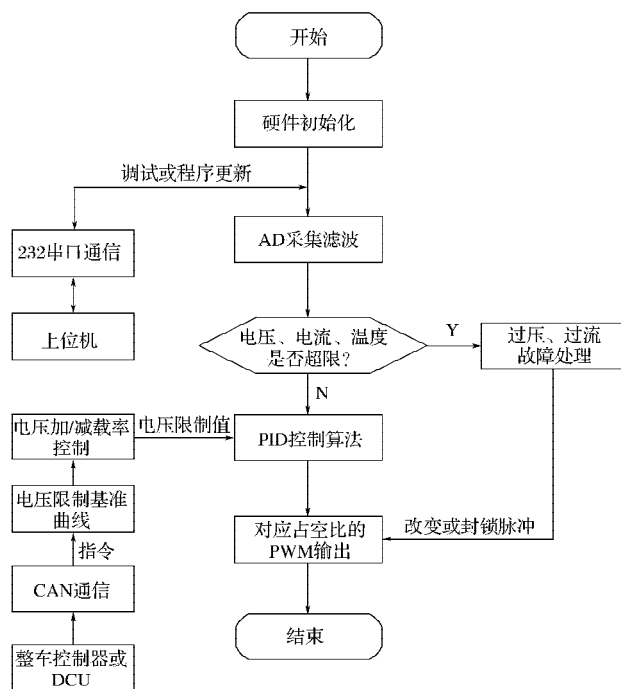


图9 励磁控制系统软件流程图

Fig.9 Block diagram of software for excitation control system

常用的数字PID控制算法又分为全量式PID控制算法和增量式PID控制算法。在全量式PID算法中,需要保存前 n 次偏差值的累加和,算法在实现过程中容易发生溢出现象,且计算机的任何计算错误和故障都会引发控制器的大幅度变化;增量式PID算法简单,只需保存上一次计算的输出电压值 $u[(k-1)T]$ 和输入电压值 $e[(k-1)T]$,易于软件实现。因此,在实际应用中,一般使用增量式PID控制算法(式(1))^[3],其软件实现流程图如图10所示。

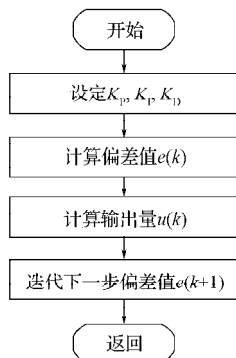


图10 增量式PID算法软件实现流程

Fig.10 Block diagram for incremental PID control algorithm

$$\Delta u(kT) = u(kT) - u[(k-1)T] = K_p \{e(kT) - e[(k-1)T]\} + K_i e(kT) + K_d \{e(kT) - 2e[(k-1)T] + e[(k-2)T]\} \quad (1)$$

式中: $e(T)$ ——PID控制器的输入电压; $u(T)$ ——PID控制器的输出电压; K_p ——比例系数; K_i ——积分系数; K_d ——微分系数; $e(k)$ ——第 k 步计算过程的偏差值; $u(k)$ ——第 k 步计算过程的控制量输出值。

3 试验

对励磁控制系统进行性能试验,发电机空载短路特性试验结果如表1和表2所示。可以看出,该系统可正常监控发电机的输出电压和励磁电流,励磁电流连续可调,系统稳定性和自适应性良好,设计裕量充足。

表1 发电机转速与励磁电流、主发输出电压(线电压均方根值)的关系

Tab.1 Relationship among alternator speed, excitation current and alternator output voltage

主发电机 转速 / $r \cdot \min^{-1}$	800	1000	1200	1400	1500	1900
励磁电流 / A	4.08	2.64	4.64	4.07	3.83	4.78
主发输出电压(线 电压均方根值) / V	445	435	752	876	916	1280

表2 发电机转速与励磁电流、主发输出电流(额定转速下)的关系

Tab.2 Relationship among alternator rated speed, excitation current and alternator output current

主发电机 转速 / $r \cdot \min^{-1}$	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
励磁电流 / A	1.69	2.17	2.65	3.13	3.61	3.84	4.08	4.55
主发输出电流 / A	167	211	250	299	343	365	395	434

在地面组合试验联调中,按照DCU控制要求进行了电机自负荷、双机对拖以及单机调速控制试验,励磁电流启动时间小于1s,稳态精度约为2%,负载突变最大超调量约为12.7%。图11示出中间电压及励磁电流波形。可以看出,励磁电流响应速率完全满足变流器各种控制要求,能实现对中间电压的有效调节。

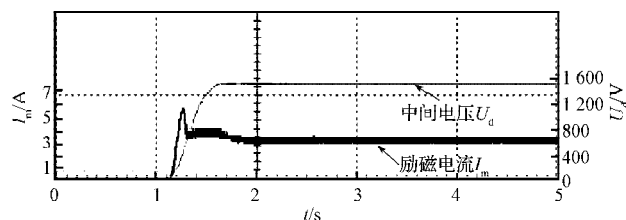


图11 组合试验中间电压和励磁电流波形图

Fig.11 Waveforms of DC link voltage and excitation current in the combination test (下转第60页)