

覆冰机器人控制系统研究*

郝晓弘¹, 刘晓鹏¹, 岳和平²

(1.兰州理工大学 电气与信息学院, 甘肃 兰州 730050;

2.甘肃省电力科学研究所, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 针对覆冰机器人除冰时的电机特性, 设计一种基于DSP的全数字化控制器, 给出了硬件电路和部分软件设计方案。该控制器采用DSP对机器人行走电机进行伺服控制, 经过分析, 该控制系统不仅成本低、结构简单、方便扩展, 而且系统响应速度快、稳定性好。减少了电机体积, 符合机器人在输电线路上的工作要求。

关键词: 数字信号处理; 无刷直流电机; 伺服控制; 除冰

中图分类号: TP242.2

文献标识码: A

Research on servo control system of de-icing robot

HAO Xiao Hong¹, LIU Xiao Peng¹, YUE He Ping²

(1.College of Electrical and Information Engineering, LANZhou University of Technology, Lanzhou 730050,China;

2.Gansu Electronic Power Research Institute, Lanzhou 730050,China)

Abstract: For the de-icing robot's motor feature at the time of removing ice, this paper designs a type of full-digital controller using DSP and introduces the method of hardware electric circuit design and some software program. The controller realizes servocontrol of robot walking motor by DSP. The analysis shows that the control system has simple structure and good control function, such as good stability performance and fast response ability. At the same time, this system reduces the size of the motor and meets the requisition of working on the power lines.

Key words: DSP; brushless DC motor; servo control; de-icing

覆冰和积雪等原因时刻威胁着电力及通信网络的安全运行^[1-4]。覆冰机器人是针对去除输电线路覆冰的自动化装置。该机器人需要对行走电机、关节电机以及夹抓加紧电机等多种电机进行伺服控制。电机的种类和数量相对繁多, 因此机器人控制系统相对比较复杂。本文主要研究了覆冰机器人的行走电机伺服控制。行走电机需要带动机器人在线路上行走, 当线路有较大覆冰时要带动除冰刀完成破冰工作。机器人在作业中, 当遇到冰层厚不能连续前进时, 自动完成后退, 加速前冲, 进行断续除冰。

行走电机伺服控制采用以电机控制专用芯片TMS320LF2407为核心的全数字化无刷直流电机控制系

统。采用全数字化控制方式可以有效地避免模拟控制中不稳定因素的干扰。由于该机器人工作在强电磁环境中, 因此全数字化控制方式可以有效地避免电磁干扰。由于直流无刷电机具有结构简单、运行可靠等交流电机的一系列优点, 又具备高速度、高效率、高动态响应等直流电机的优点, 因此该系统选择直流无刷电机作为机器人轴驱动^[5]。

1 控制系统总体结构设计

通过分析直流电机的运动方程可知, 电机加速度与其转矩成正比, 而转矩又与其电流成正比, 因此, 要实现电机的高精度高动态性能控制, 就需要同时对电机的速度、电流以及位置进行检测和控制。系统中包括

* 基金项目: 甘肃省科技攻关项目(GS044-A52-001-24); 甘肃省自然科学基金项目(3ZS042-B25-012)

位置检测环节和电流检测环节，分别检测电机的转速和电流。系统的硬件电路主要包括 DSP 系统、功率驱动电路、隔离电路、位置检测电路和电流检测电路。系统的结构原理如图 1 所示。

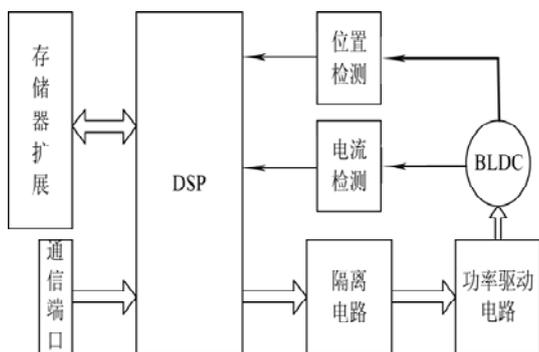


图1 系统结构原理图

2 速度闭环控制

根据输入的设定值和反馈量形成偏差，经过一系列数字化调整形成 PWM 占空比的控制量，以此控制伺服电机的转动速度或速度的变化。

速度闭环控制主要负责机器人行走速度和除冰时的速度变化控制。图 2 为无刷直流电机速度电流双闭环控制系统。对 BLDCM 形成速度闭环控制时，通过光电编码器检测电机的转动方向及转角并反馈回 DSP 系统。

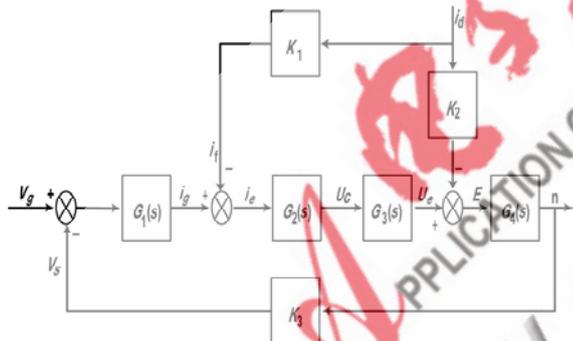


图2 BLDC 速度电流双闭环控制系统

其中， $G_1(s) = \frac{K_s(\tau_s s + 1)}{\tau_s s}$ 为速度 PI 控制的传递函数， K_s 为速度环比例系数， τ_s 为速度环时间常数； $G_2(s) = \frac{K_c(\tau_c s + 1)}{\tau_c s}$ 为电流 PI 控制的传递函数， K_c 为电流环比例系数， τ_c 为电流环时间常数； $G_3(s) = \frac{K_p(\tau_p s + 1)}{\tau_p s}$ 为 PWM 控制器的传递函数， K_p 为放大倍数， τ_p 为一阶惯性环节的时间常数； $G_4(s) = \frac{1}{C_e}$ ， C_e 为电机在额定励磁下的反电动势常数； K_1 、 K_2 分别为电流和速度反馈的比例系数； $K_3 = R$ 为电机的相电阻； v_g 为电机给定转速； v_f 为电机反馈速度； i_g 为速度调节器的输出，即电流给定值； i_f 为反馈电流； i_e 为电流误差信号； U_c 为 PWM 控制

信号； U_d 为电机直流端电压； E 为电机相反电动势幅值； i_d 为电机相电流； n 为电机的真实转速。

3 系统硬件设计

3.1 相电流检测

由于功率电子主回路采用两两通电方式。任意时刻电流仅流入三相绕组中的两相，所以只需 1 个相电流检测传感器即可完成相电流的检测。使用旁路电阻检测各相电流。该电阻位于三相全控功率变换电路的下端功率桥臂与地之间，同时起过电流保护作用。电阻上的压降信号经过放大以后，送到 TMS320F2407 片上的 A/D 转换通道，经过 A/D 转换得到合适的电流信号。A/D 转换结束以后，A/D 转换模块会向 CPU 发出中断请求信号，等待 CPU 对电流信号的检测。最后根据电流误差，在每个 PWM 周期开始时，对 PWM 脉冲的占空比进行调节^[6]。

3.2 转子位置与转速检测

选用 TMS320LF2407A 实现三相无刷直流电机调速的控制和驱动电路。使用 3 个位置间隔 120° 分布的霍尔传感器，由霍尔器件所输出的转子位置信号送到功率变换电路后，直接送至 TMS320LF2407A 的捕获单元进行处理。检测 3 个捕获口的状态可以得到当前 3 路位置信号的组合状态，从而得到转子位置。捕获口 CAP1 ~ CAP3 捕获到的每一次跳变引发一次捕获中断，转子每转过一转，产生 6 次捕获中断。通过测量相邻 2 次中断时间间隔得出电机转速。

3.3 驱动电路设计

电机控制驱动器采用 IR2130 芯片。IR2130 芯片控制 6 个功率管导通和关断顺序，实现控制电机的正反转。此驱动芯片本身给功率器件提供过电压保护。其内部含有逻辑保护电路，当出现对级直通逻辑，芯片立即全部输出低电平，关断所有 MOSFET 管。另外，功率回路保护器件中有检测电阻，电流过大时，检测信号经过逻辑判断，将 PDPINT 置为低电平，DSP 内部计数器停止计数，所有 PWM 输出低电平，关断驱动电路，实现过电流保护^[7]。

4 系统软件设计

主程序主要完成 DSP 初始化，流程图如图 3 所示。A/D 转换中断子程序完成速度、电流的调节，流程图如图 4 所示。实验用时钟频率为 20 MHz，PWM 频率为 20 kHz。通过定时器 1 周期匹配事件启动 A/D 转换，使每个 PWM 周期都进行 1 次电流采样，并且要在 A/D 转换中断处理程序调节电流来控制 PWM 输出。捕捉中断程序完成对位置量的计数和计算速度参考量，程序流程图如图 5 所示。转子每转过 60° 角触发一次捕捉中断，进行换相操作和速度计算^[8]。

本文应用 TI 公司的 TMS320LF2407A DSP 设计了一种针对覆冰机器人行走和除冰时的直流无刷电机控制系统。经分析，该系统不仅成本低、易于实现，且性能稳

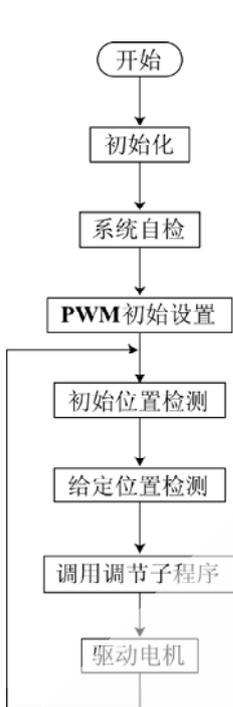


图3 主程序流程图

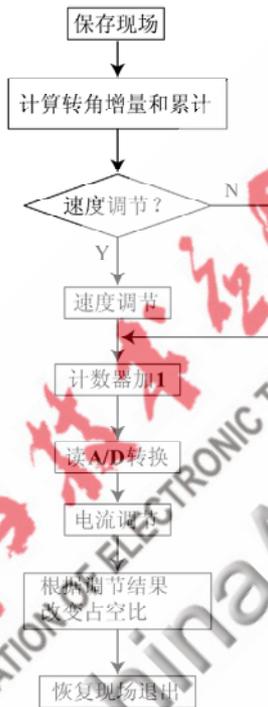


图4 A/D中断子程序流程图



图5 捕捉中断子程序流程图

定、方便扩展，对工程实践和电机调速具有重要意义。

参考文献

- [1] 蒋兴良,易辉. 输电线路覆冰及防护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [2] 蒋兴良. 输电线路导线覆冰机理和三峡地区覆冰规律及影响因素研究[D]. 重庆: 重庆大学, 1997.
- [3] 张宏志. 大面积导线覆冰舞动事故的调查与分析[J]. 东北电力技术, 2001, 22(12):15-19.
- [4] 杨树林. 四川西部及西南部导线覆冰问题分析[J]. 电力勘测, 1997(04):47-51.
- [5] 张琛. 直流无刷电动机原理及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [6] 韩学军, 侯建勋, 张根元. 基于DSP的无刷直流电机速度控制系统[J]. 现代电子技术, 2008, 31(5):121-123.
- [7] 白玉成, 吴功平, 肖晓辉, 等. 基于DSP的高压巡线机器人伺服控制系统[J]. 电力电子技术, 2005, 39(02):103-105.
- [8] 王晓明. 电动机的DSP控制—TI公司DSP应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.

(收稿日期: 2009-02-18)