

# 低速永磁无刷直流电机控制系统的研究

孙佃升<sup>1</sup>, 夏需强<sup>2</sup>, 吕秀杰<sup>2</sup>

(1. 滨州学院 自动化系, 山东 滨州 256603;

2. 中国天然气管道局设计公司东北分公司, 辽宁 沈阳 110031)

**摘要:** 叙述了低速永磁无刷直流电机控制系统的软硬件设计, 并在此基础上给出了控制低速永磁无刷直流电机运行的程序总框图。实验表明, 此系统能够很好地实现无刷直流电机的运行控制。

**关键词:** 低速; 无刷直流电机; 控制系统

中图分类号: TP271+.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)20-0081-03

## Study on control system of low speed BLDCM

SUN Dian Sheng<sup>1</sup>, XIA Xu Qiang<sup>2</sup>, LV Xiu Jie<sup>2</sup>

(1. Department of Automatization, Binzhou University, Binzhou 256603, China;

2. Northeast Subsidiary Design Company of China Petroleum Pipelion Bureau, Shenyang 110031, China)

**Abstract:** This paper introduced the hardware and software design of the low speed BLDCM control system. In this foundation, it also design the procedure total diagram of the software which control the BLDCM. The experiments show that the control system has an excellent capability to control the BLDCM.

**Key words:** low speed; BLDCM; control system

目前, 杆驱螺杆泵式抽油机普遍应用于油田生产中。由于螺杆泵式抽油机要求驱动电机提供的驱动力矩大、转速慢、运行平稳。采用异步电机通过减速机构来驱动螺杆泵, 往往存在效率低下、噪音、振动等问题, 而无刷直流电机具有效率高、转矩大、低速运行平稳等优点, 因此适合用做螺杆泵式抽油的驱动电机。而且, 专门制造的低速无刷直流电机可实现对螺杆泵式抽油机的直接驱动, 既简化了系统的传动机构, 又避免了使用减速器带来的一系列问题。另外, 由于无刷直流电机运行中需要检测的状态量较多, 控制较为复杂, 采用单片机进行数据处理与控制已经明显力不从心。近年来, 国外许多公司纷纷推出高性能的数字信号处理器 (DSP), 比如 TI 公司的 TMS320C24 以及 Motorola 公司的 DSP56F8xx 系列, 用来控制无刷直流电机的运行非常方便。采用数字信号处理器的电机控制系统, 数据处理能力强, 运行速度快, 精度高, 正处在普遍开发和应用中。

### 1 硬件设计

控制系统采用交流 380 V 整流获得的直流电作为供电电源, 使用三相桥式逆变电路作为功率主电路, 控制单元采用 Motorola 公司的 DSP56F803。

本控制系统的硬件部分主要由蓄电池及逆变电路、开关管驱动和保护电路、电源电路、系统控制单元及其外围电路、电流及电压信号检测电路等几部分组成。图 1 所示是硬件系统的示意图。图中粗箭头表示能量传送方向, 细箭头表示控制或检测信号的传送方向。系统运行后, 控制单元根据预先设定的控制指令以及检测到的有关信号发出开关管驱动信号控制无刷直流电机的运行。

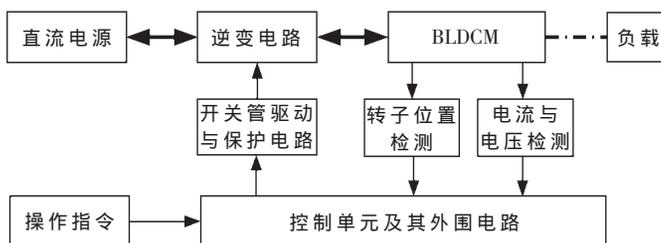


图 1 硬件系统示意图

图 2 所示为功率逆变电路以及无刷直流电机的电路连接图。电枢绕组为三相绕组, Y 接。功率逆变电路采用电压型三相全桥逆变电路。实验所用的无刷直流电机为额定功率 2.2 kW, 额定电压 300 V, 电枢绕组 Y 接; 开关管选用富士公司的 IGBT, 型号为 1MBH60-100, 额定

技术与方法 Technique and Method

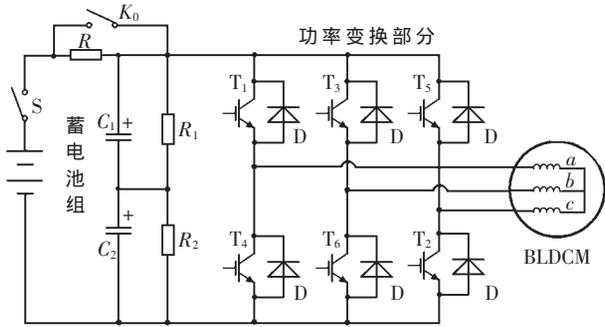


图2 蓄电池电机与功率逆变电路的电路连接图

电流 60 A, 额定电压 1 000 V; IGBT 的驱动保护模块采用了 VLA517-01R。

图3所示为控制单元各模块承担的功能示意图。

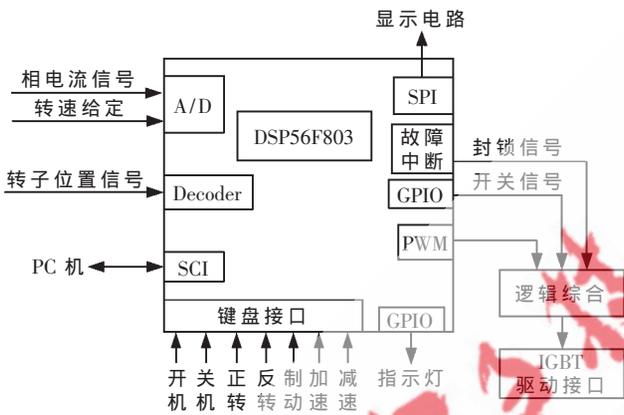


图3 控制电路原理框图

键盘接口负责接收控制指令,产生键盘中断或改变电机的运行状态。AD转换模块实时检测相电流、转速给定、相电压等信号。电机的位置检测采用电机内置的霍尔位置传感器,输出3路位置信号(矩形波)。根据电机当前转子位置信号决定 IGBT 的导通次序,输出 IGBT 的开关信号。同时,将检测到的转速和相电流信号输入 DSP,根据控制算法决定 PWM 信号的占空比。PWM 信号的占空比决定电机的速度控制,它和 IGBT 的开关信号、故障中断产生的封锁信号一起作为逻辑综合电路的输入。逻辑综合电路的输出作为 IGBT 驱动电路的输入信号。

其他功能的硬件电路比如电压和电流采集等电路的设计较为常见。

2 电动运行原理

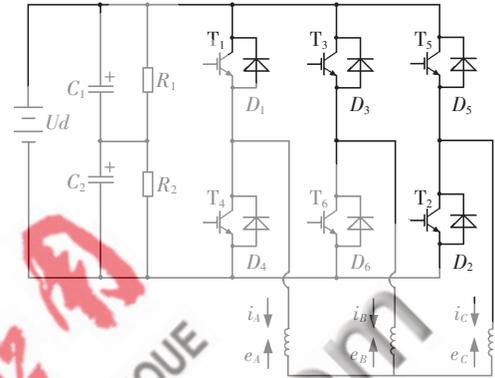
电动运行时,相电流的导通方式采用 120°导通方式,即每个功率管导通时间均为 120°电角度。调速采用的 PWM 调制方式为半桥调制,即 PWM 只对导通周期内一对元件中的一个起作用。功率管的开关状态取决于位置传感器提供的 HALL 信号。表 1 所示为测试得出的电机正向和反向电动运行时,霍尔位置传感器的 HALL 状态与开通功率管的对应关系。

图 4(a)所示为半桥调制时相电流与反电势的对应关系。以 T<sub>1</sub> 和 T<sub>6</sub> 导通的 60°时间为例,这时 e<sub>A</sub>、e<sub>B</sub>、e<sub>C</sub> 的波

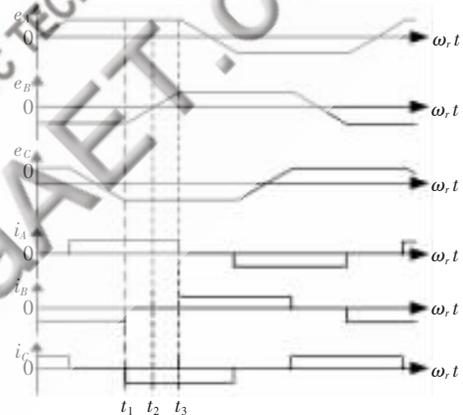
表 1 正转时 HALL 状态与开通功率管的对应关系

HALL 状态	110	100	101	001	011	010
正向电动时导通功率管	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub> T <sub>6</sub>	T <sub>5</sub> T <sub>6</sub>	T <sub>5</sub> T <sub>4</sub>	T <sub>3</sub> T <sub>4</sub>	T <sub>3</sub> T <sub>2</sub>
反向电动时导通功率管	T <sub>3</sub> T <sub>4</sub>	T <sub>3</sub> T <sub>4</sub>	T <sub>3</sub> T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub> T <sub>6</sub>	T <sub>5</sub> T <sub>6</sub>

形如图 4(b)所示的 t<sub>1</sub>~t<sub>3</sub>。图 5 所示为半桥调制下开关管导通和关断时的绕组电流情况。



(a)反电势、电流正方向



(b)反电势、电流理想波形

图4 半桥调制时相电流与反电势的对应关系

3 软件设计

本设计的控制单元采用 Motorola 公司的 DSP56F803 芯片,采用 C 语言和汇编语言混合编程,实行模块化设计。图 6 所示为系统软件设计结构框图,从图中可以看到程序的五大模块以及各模块间子程序的相互调用关系。

为保证电机平稳运行,必须保证换相平稳,即电机在换相时不发生抖动,尽量减小转矩脉动。由于电机换相信号频率较高、信号传输线需由电机引向控制器,往往较长,电机现场运行环境中的电磁因素极易对换相信号造成干扰,使换相信号畸变、紊乱。这就需要对换相信号线进行相应防干扰和滤波处理,比如通过使电机换相信号的输出与控制器之间的信号线尽量短,信号线采用绞合线以及采用外皮屏蔽式信号线等办法。程序上也可以对换相信号做干扰过滤处理,即根据电机的转速估算正常换相的位置信号出现的大体时间段,将该时间段外

技术与方法 Technique and Method

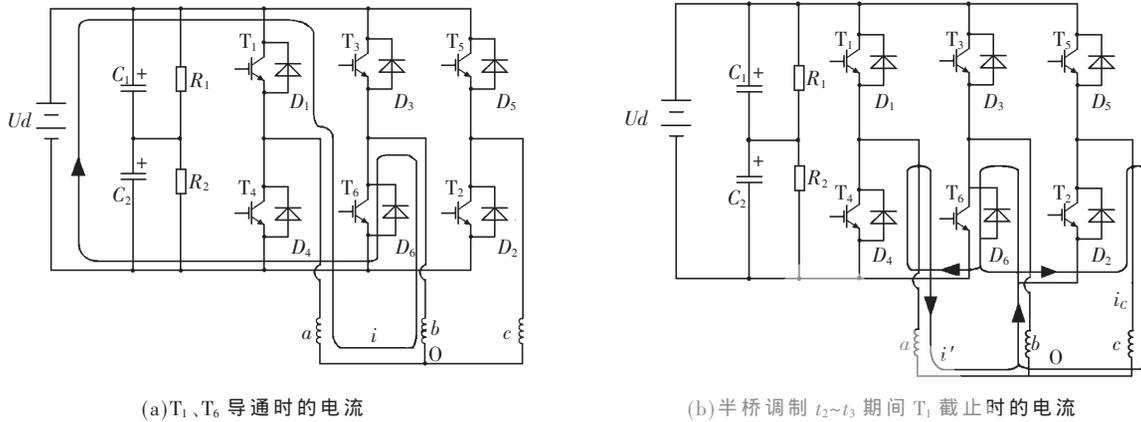


图5 半桥调制时的绕组电流

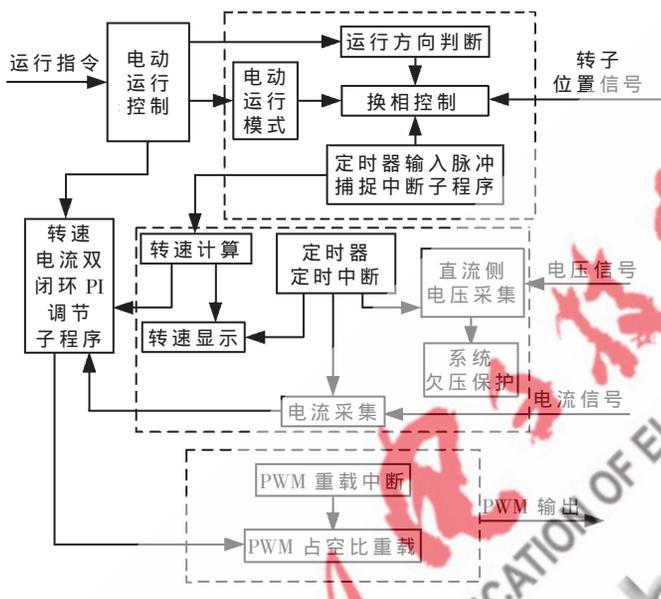


图6 软件设计框图

的干扰信号屏蔽,这样,即使转子在换相点附近干扰信号,仍能正常换相。

系统采用转速、电流双闭环控制,两调节器均采用PID调节器,控制系统如图7所示。

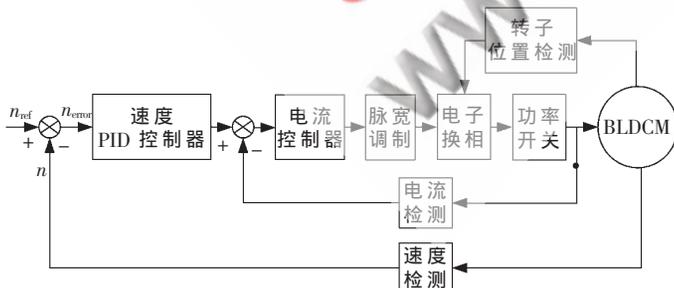


图7 双闭环控制的BLDCM调速系统

4 实验结果与结论

图8所示是实验测得的无刷直流电机空载起动转速变化曲线。可见转速响应较快,超调较小,转速波动小,具有良好的动静态特性。图9所示为本文设计的无刷直流电机控制器控制下的无刷直流电机的相电流和

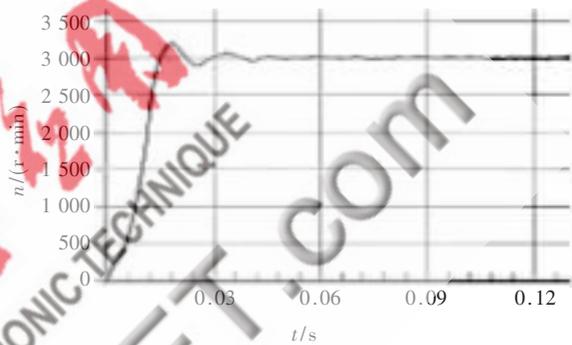


图8 起动时的转速响应曲线

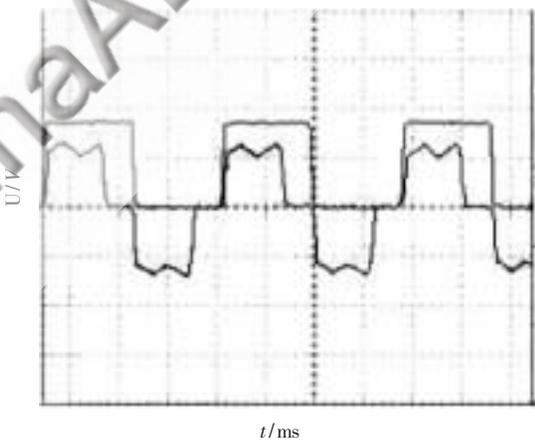


图9 电动运行下A相的位置信号和相电流波形

一相位置信号的波形,此波形较理想。总之,实验结果表明,系统运行情况较好,具有一定应用价值。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 韦鲲,林平,熊宇,等.无刷直流电机PWM调制方式的优化研究[J].浙江大学学报(工学版),2005,39(7):1038-1042.
- [3] 邵贝贝.Motorola DSP型16位单片机原理与实践[M].北京:北京航空航天大学出版社,2003.

## 技术与方法 Technique and Method

---

[4] 王爽,李铁才,王治国.无刷直流电机换相转矩波动抑制[J].电机与控制学报,2008,5(3):288-293.

(收稿日期:2010-04-23)

作者简介:

孙佃升,男,1980年生,硕士,主要研究方向:电力电子

与电力传动。

夏需强,男,1981年生,硕士,主要研究方向:网络控制系统。

吕秀杰,男,1965年生,主要研究方向:管道自动化施工与设计。

