

# PLC 在永磁无刷直流电机 伺服系统中的应用

曹传生, 曾文火, 卫庆军, 闫红蕾

(江苏科技大学 机械与动力工程学院, 江苏 镇江 212003)

**摘要:**交流伺服技术是研发各种先进的机电一体化设备的关键技术,在此前提下,介绍了一种基于西门子 S7-222 PLC 的永磁直流无刷电机伺服控制系统。该系统结合西门子 6SC610 型晶体管脉宽调制变频器与 1FT5 无刷伺服电机,位置环采用先进的伪微分反馈控制算法,对无刷电机进行速度和位置伺服控制,并在上位机中进行监控。试验结果表明,采用这种控制方案可以在低成本下使永磁直流无刷电机伺服系统取得良好的控制效果。

**关键词:**伺服系统;无刷直流电机;可编程控制器;伪微分反馈控制

**中图分类号:**TP273+.5

**文献标识码:**A

## Application of PLC in Permanent Magnet Brushless DC Motor Servo System

CAO Chuan-sheng, ZENG Wen-huo, WEI Qing-jun, YAN Hong-lei

(College of Mechanical and Power Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, Jiangsu, China)

**Abstract:** AC servo is a key technology to develop diversified advanced equipment with integration of mechanics and electrics. For this reason, a permanent magnet brushless DC motor servo system based on S7-222 PLC of Siemens was introduced, which combined the type of 6SC610 converter and 1FT5 brushless servo motor to control the speed and position of the brushless motor. A advanced algorithm called pseudo derivative feedback control is adopted in position ring of this system and we could watch and control it with the upper computer. The experiment result shows that at a fairly low cost and excellent control effect of the servo system is obtained with the control scheme.

**Key words:** servo system; brushless DC motor; PLC; pseudo derivative feedback control

交流伺服技术是研制开发各种先进的机电一体化设备的关键技术。本文中所建立的交流伺服系统,使用的是梯形波永磁无刷直流电动机,试验证明,采用西门子 6SC610 型晶体管脉宽调制变频器与 1FT5 系列的无刷三相伺服电机相配合,在主控制器西门子 S7-222 PLC 中采用伪微分反馈(pseudo derivative feedback control,简称 PDF)控制算法的永磁直流无刷电机伺服控制系统能够较好地达到这一目的。

## 1 系统硬件设计方案

伺服控制系统硬件设计框图如图 1 所示,其中包括死循环控制部分和操控显示部分。死循环

控制部分是系统的关键,其功能为负责接收指令信号、采集光电编码器反馈数据、进行伪微分反馈控制运算、输出控制命令、进行 D/A 转换、最终控制电机和执行机构完成相应的动作。死循环控制部分由主控制器西门子 S7-222 可编程控制器(PLC)、西门子 6SC610 型晶体管脉宽调制变频器<sup>[1]</sup>(如图 2 所示)、光电编码器等构成。操控显示部分由 PC 计算机实现。

可编程控制器(PLC)是控制主机单元的核心部件,负责实时采集光电编码器的脉冲信号,并根据所采集的脉冲使电机转动相应的角度,实现对无刷电机的运动控制。西门子公司的 S7-222 型 PLC 的内部高速计数器能够对输入的脉

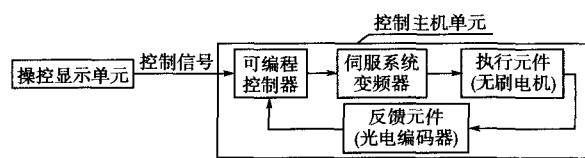


图1 控制系统硬件设计框图

Fig.1 Hardware design of control system

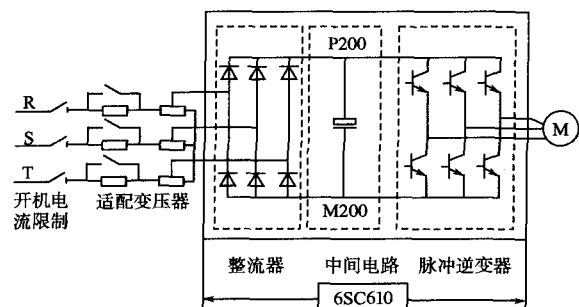


图2 西门子6SC610型交流驱动装置的功率面

Fig.2 Power parts of Siemens 6SC610 converter

冲信号进行4分频,配合3600 p/r的高精度编码器作为反馈测量组件,位置伺服精度能够达到0.025°。

## 2 控制系统分析与设计

### 2.1 永磁直流无刷电机数学模型<sup>[2,3]</sup>

忽略磁路饱和,不计涡流和磁滞损耗,转子上没有阻尼绕组,永磁体也不起阻尼作用。定子三相绕组的电压方程可表示为

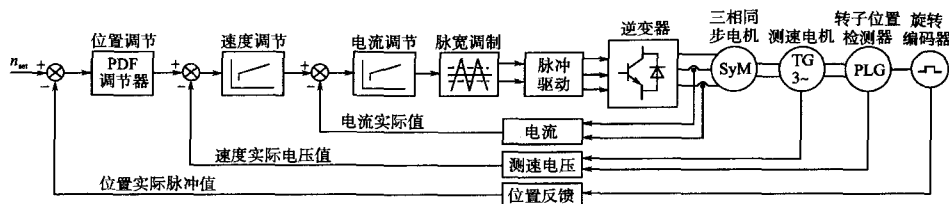


图3 控制系统总框图

Fig.3 General block diagram of control system

伪微分反馈(PDF)控制算法是由美国康奈尔大学的Richard M. Phelan首先提出的。其抗干扰能力强,负载能力大,对被控系统参数变化不敏感,结构简单且无需复杂计算,适合随动控制的实时性和精确性。

将被控系统简化成二阶系统,采用伪微分反馈控制算法的伺服控制系统如图4所示。伪微分反馈控制系统具有一套独特的参数设计方法,它保证了控制器的输出不超过末级控制单元的能量

$$\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + p \begin{bmatrix} L & M & M \\ M & L & M \\ M & M & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix}$$

式中: $u_a, u_b, u_c$  为定子相绕组电压; $i_a, i_b, i_c$  为定子相绕组电流; $e_a, e_b, e_c$  为定子相绕组电动势;假定三相绕组的电阻、自感、每两相绕组间的互感均相等,分别为 $R_s, L, M$ 。

若定子三相绕组为Y联结,无中线引出,

则有 
$$i_a + i_b + i_c = 0$$
  
 可得 
$$Mi_b + Mi_c = -Mi_a$$

则电压方程变为

$$\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L-M & 0 & 0 \\ 0 & L-M & 0 \\ 0 & 0 & L-M \end{bmatrix} p \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix}$$

电磁转矩为

$$T_e = (e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c) / \omega$$

### 2.2 控制系统设计

控制系统总框图见图3,系统由电流环、速度环和位置环3环组成,其中,电流调节器和速度调节器均为PI调节器,其在变频器中已集成,我们可以调节。位置环设计采用PDF控制器。

提供能力,使系统始终工作于线性范围内,从而提高了系统的跟踪性能,并且按照理论设计出的参数无需太大的调整即可用于实际系统。伪微分反

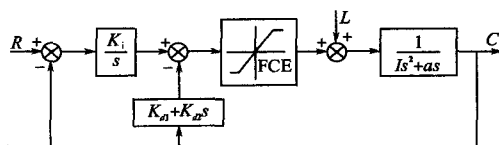


图4 伪微分反馈控制系统

Fig.4 PDF control system

馈控制系统中各项参数的确定见文献[4]。

### 3 控制系统软件设计

伪微分控制算法在 PLC 上实现的主程序流程图如图 5 所示。根据采样定理(Shannon 定理),综合考虑各方面因素,选择采样周期  $T=10\text{ ms}$ 。

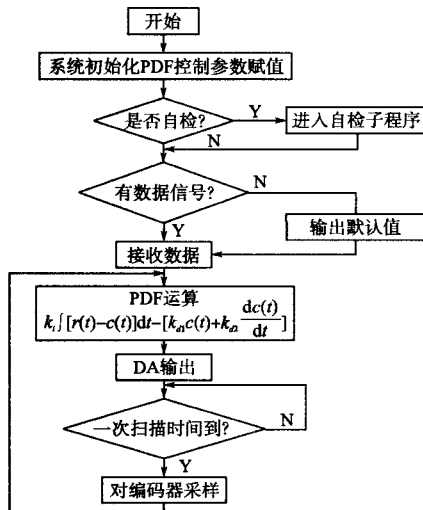


图 5 PLC 主程序流程图

Fig. 5 Main program flow diagram of PLC

程序启动时,初始化通信寄存器和 PDF 控制参数,积分累加器清零,程序中设置通信中断和定时器中断,通信中断负责上位机和 PLC 之间的数据通信,定时器中断负责进行 PDF 控制运算并输出控制量,通信中断的优先级高于定时器中断优先级。

被控参数的给定和反馈量的监控在操控显示单元(上位 PC 机)中完成,监控界面如图 6 所示。PLC 和上位机采用串口通信。由于 S7-222 PLC 串口是 RS485 标准,而上位机串口采用 RS232 标准,所以须用 RS485/RS232 转接线将两者串行口连接。在上位机中可以进行被控参数和 PDF 算法参数的给定,PLC 接受到参数后进行 PDF 运算,输出电压控制量传给变频器的 56 号端子。电机旋转产生的反馈脉冲输入 PLC,再经串口由上

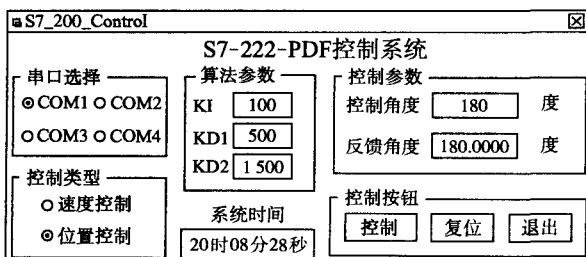


图 6 伺服系统监控界面

Fig. 6 Operation-display surface for servo system

位机读出,达到了控制系统的实时监控。通信程序采用面向对象特性的 Visual C++ 语言编写[5]。

### 4 试验结果分析

在试验中,分别对永磁无刷电机进行位置和速度伺服控制。通过对试验结果进行周期采样,得到电机的位置和速度的响应仿真曲线,如图 7、图 8 所示。

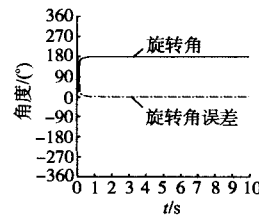


图 7 位置响应及误差曲线(虚线为误差)  
Fig. 7 Position response and error curve figure

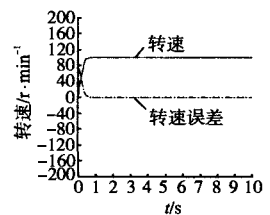


图 8 速度响应及误差曲线(虚线为误差)  
Fig. 8 Speed response and error curve

图 7 表示位置伺服控制系统在阶跃输入为  $180^\circ$  时的响应曲线。图 8 表示速度伺服系统在阶跃输入为  $100\text{ r/min}$  时的响应曲线。

由试验数据和响应及误差曲线表明,交流伺服试验系统在进行位置控制时,稳态最大误差为  $0.025^\circ$ ,在进行速度控制时,稳态最大误差为  $0$ 。本控制系统控制回路的测量误差所引起的旋转角的最大可能误差为  $\pm 0.025^\circ$ 。两者相对比,该交流伺服试验系统符合精度要求。并且可以看出伪微分反馈(PDF)控制系统具有响应速度快、无超调、抗干扰能力强、鲁棒性好、稳态误差为零等特点,其控制算法简单、实时性强、而且可以实现同时对位置、速度和加速度 3 个状态变量进行控制,完全能够满足交流伺服系统的要求。

#### 参考文献

- 1 江苏曙光光学电子仪器厂. 交流进给驱动装置说明书[Z]. 2001.
- 2 郭庆鼎,王成元. 交流伺服系统[M]. 北京:机械工业出版社,1994.
- 3 王成元,夏加宽,杨俊友,等. 电机现代控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- 4 周万里. 双动过天顶舰炮模拟装置研究[D]. 江苏科技大学,2006:21-29.
- 5 龚建伟,熊光明. Visual C++/Turbo 串口通信编程实践[M]. 北京:电子工业出版社,2004.

收稿日期:2007-04-28

修改稿日期:2008-01-17