

无刷直流电机 RBF 磁场定向控制及监控系统设计

肖金凤¹, 肖杞铭², 曾铁军¹

(1.南华大学 电气工程学院, 湖南 衡阳 421001; 2.富士康 WLBG 事业群, 湖南 衡阳 421001)

摘要: 针对现有无刷直流电机转矩脉动抑制方法存在抑制效果不理想, 或脉动抑制效果好但学习算法复杂, 不利于推广的问题, 将 RBF 神经网络与磁场定向控制相结合, 选用 Luminary 615 微控制器和无刷电机专用芯片 MC33035, 设计了无刷直流电机磁场定向控制系统。并开发基于 Visual Basic 的配套电机上位机监控系统, 能在低成本下实现转速等参数的图形化显示及电机参数等的设置。实验结果表明, 所设计的无刷直流电机 RBF 磁场定向控制系统转矩脉动小、控制精度高。

关键词: 无刷直流电机; 磁场定向控制; RBF; 监控系统

中图分类号: TN948.64-34; TP273

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2016)20-0171-04

Design of RBF field-oriented control and monitoring system for brushless DC motor

XIAO Jinfeng¹, XIAO Qiming², ZENG Tiejun¹

(1. School of Electrical Engineering, University of South China, Hengyang 421001, China; 2. Foxconn Wireless Business Group, Hengyang 421001, China)

Abstract: The available torque ripple suppression method of brushless DC motor has unsatisfactory suppression effect, or good ripple suppression effect while owning complicated learning algorithm, and is bad for promotion. To solve these problems, the field-oriented control system of the brushless DC motor was designed, which combines the RBF neural network and field-oriented control, and uses Luminary 615 microcontroller and brushless motor dedicated chip MC33035. The Visualbasic-based upper computer monitoring system matching with the motor was developed, which can realize the graphical display of parameters such as rotate speed and setting of motor parameters with low cost. The experimental results show that the designed RBF field-oriented control system of brushless DC motor has small torque ripple and high control accuracy.

Keywords: brushless DC motor; field-oriented control; RBF; monitoring system

无刷直流电机的转矩脉动及其抑制研究是目前无刷电机领域的研究热点之一^[1-6]。现有的无刷直流电机转矩脉动抑制方法抑制效果仍不理想, 抑制效果较好的又存在学习算法复杂, 不利于产业化问题。个别文献在无刷直流电机控制系统中使用磁场定向控制策略, 能一定程度降低其转矩脉动^[4-5]。文献[5]设计了基于磁场定向控制的无刷直流电机控制系统试验平台, 电机转矩和转速脉动较小, 但其控制性能有待进一步提高。文献[6]提出利用 BP 神经网络算法抑制换相转矩脉动, 该智能控制方法转矩脉动抑制效果好, 但学习算法复杂, 收敛慢, 不利于大规模推广。本文用 RBF 神经网络速度环取代文献[5]中的普通速度环, 基于 Luminary 615 微

控制器和无刷电机专用芯片 MC33035^[7], 设计了无刷直流电机 RBF 磁场定向控制系统。现有的电机监控系统要实现实时数据图形化显示, 一般设计较复杂^[8]。本文基于 Visual Basic 开发了配套的上位机监控系统, 设计简单, 能在低成本下实现转速等实时数据的波形显示及参数设置, 具有一定的理论意义和实用价值。

1 基于 RBF 神经网络的无刷直流电机磁场定向控制策略

1.1 基于 RBF 的无刷直流电机磁场定向控制系统

与永磁同步电机磁场定向控制相比, 目前没有学者给出无刷直流电机 d - q 坐标系下的精确等效电路。本设计参照文献[5], 通过跟踪控制各相电流设定值, 实现无刷直流电机的 $ID=0$ 控制。电流的跟踪方式为滞环跟踪, 系统采用 RBF 速度环。

图 1 给出了基于 RBF 的无刷直流电机磁场定向控制系统框图。

收稿日期: 2016-02-23

基金项目: 湖南省自然科学基金: 电动车无刷直流电机无位置传感器控制关键技术研究(12JJ6043); 湖南省科技厅: 电动车开关磁阻电机控制系统优化控制策略研究(2013GK3160)

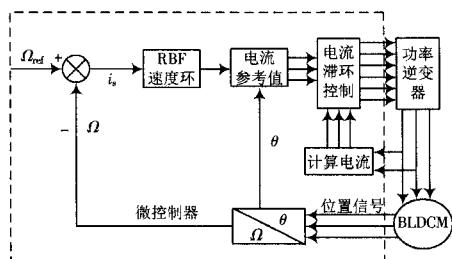


图1 无刷直流电机RBF磁场定向控制系统结构

1.2 RBF速度环

1.2.1 RBF速度环结构

RBF神经网络是三层前馈神经网络，一个隐层，函数逼近能力好、学习速度较快且无局部极小值。本设计中，磁场定向控制系统的速度环采用两输入、单输出的RBF神经网络，RBF速度环结构如图2所示。

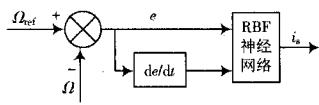


图2 RBF速度环结构

1.2.2 RBF神经网络

RBF神经网络拓扑图见图3。

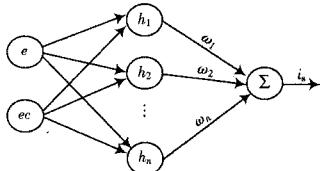


图3 RBF神经网络拓扑图

电机速度误差 e （给定速度与实际速度之差）、速度误差的变化率 $ec = de/dt$ 作为神经网络的输入，神经网络输出为定子电流。

输入层：

$$X = [e, ec]^T \quad (1)$$

隐层径向基函数选用高斯函数。

隐层径向基矢量如下：

$$H = [h_1, h_2, \dots, h_j, \dots, h_n]^T \quad (2)$$

式中：

$$h_j = \exp\left(-\frac{\|x - C_j\|^2}{2b_j^2}\right), \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中： C 为节点的中心， b 为节点宽度参数。

隐含层与输出层的权值为：

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_n]^T \quad (4)$$

输出为：

$$i_s = w_1 h_1 + w_2 h_2 + \dots + w_n h_n \quad (5)$$

本设计采用梯度搜索原理来使目标函数最小。

目标函数见式(6)：

$$J = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n e^2 \quad (6)$$

式中：

$$e = \Omega_{ref} - \Omega \quad (7)$$

$$W_j(t+1) = W_j(t) - \eta \frac{\partial J}{\partial W_j(t)} \quad (8)$$

式中， η 为神经网络的学习率。

2 RBF磁场定向无刷电机控制系统及监控系统硬件设计

2.1 系统硬件结构

本系统微控制器选择 Luminary 615，电机控制芯片采用专用无刷电机控制芯片 MC33035。微控制器单元、电源电路、串口通信电路、逻辑电路、驱动电路等为控制系统的组成部分，系统硬件结构框图如图4所示。

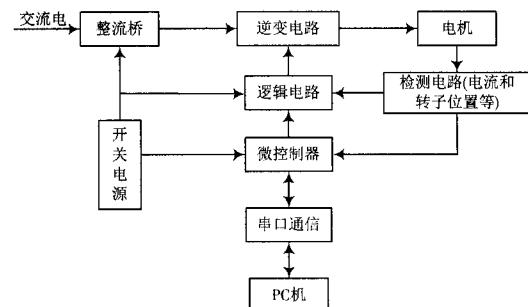


图4 系统硬件结构框图

2.2 微控制器 Luminary 615

Luminary 615微控制器是首款基于ARM® Cortex™-M3的控制器，将高性能的32位计算引入到对价格敏感的嵌入式微控制器中。Luminary 615的最小系统板原理图如图5所示。

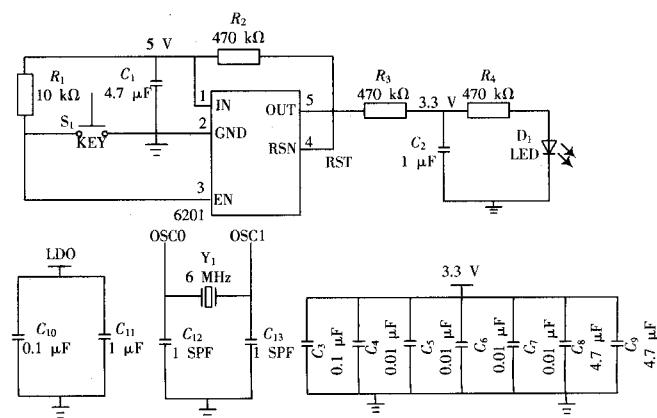


图5 最小系统板原理图

2.3 串口通信电路

下位机串行口只占用了PD2以及PD3，作为单片机

接收端RXD和发送端TXD。在计算机和下位计算机通信,只需将接收信号(TX, RX)和(GND)三线接好即可。串行接口芯片级的TTL电平,它与计算机串行接口电平不一致,因此需要电平转换。

系统选择采用MAXIM MAX232串行公司生产的接

收/发送驱动芯片,外围电路简单,只需4个0.1 μ F电容器可以实现电平转换功能。

2.4 逻辑电路

本设计选用无刷电机专用芯片MC33035^[7],稳定性高,具体电路图见图6。

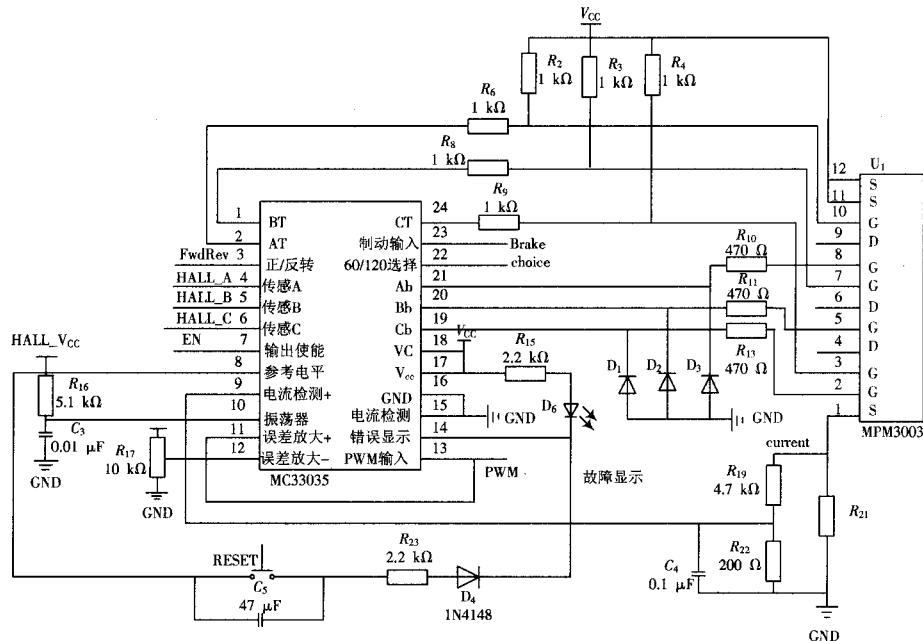


图6 MC33035 电路图

3 系统下位机软件设计

本系统的下位机软件采用模块化的方法进行设计,采用IAR编程环境,IAR编程环境风格简易方便,功能齐全,采用C语言进行编程。软件的编写流程见图7。

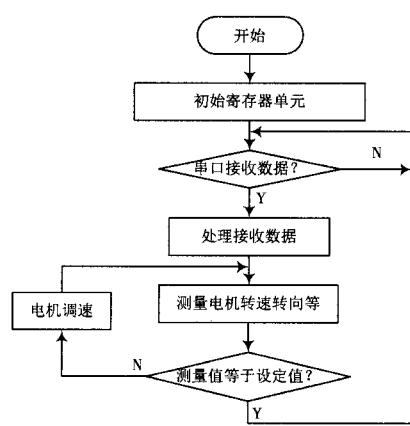


图7 下位机软件流程图

4 控制系统上位机监控软件设计结论

4.1 上位机监控软件流程

开发电机监控系统,希望能方便、灵活地选择电机

参数、进行状态监测及发送电机命令。如图8所示为本文上位机监控系统的软件流程图。

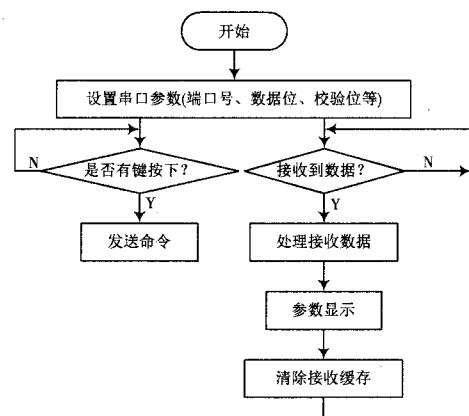


图8 上位机监控系统的软件流程

4.2 上位机监控系统的串行通信程序设计

MSComm控件属性的程序如下:

```

SCOMml.CommPort=1           选择PC机第一个串行端口
SCOMml.Handshaking=0         握手协议
SCOMml.Settings="9 600,N,8,1"
SCOMml.hreshOld=8
SCOMml.PortOpen=True        开启通信端口

```

如图9所示,程序设计具有事件驱动和查询方式。

由OnComm捕获事件,查询的事件方式为查询事件类型(CommEvent)。

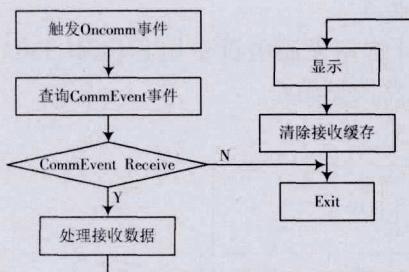


图9 串行通信程序流程

4.3 基于VB的上位机监控系统设计

Visual Basic 2005语言功能强大,易于学习。它不仅保留了原有Basic的所有功能,还新增加了面向对象编程功能。本文在Visual Basic 2005编程平台上建立了一个基于对话框的程序,完成了无刷直流电机磁场定向控制系统的运行参数监控及参数设置。图10和图11分别为开发系统的电机参数设置及通信设置界面。



图10 电机参数设置界面

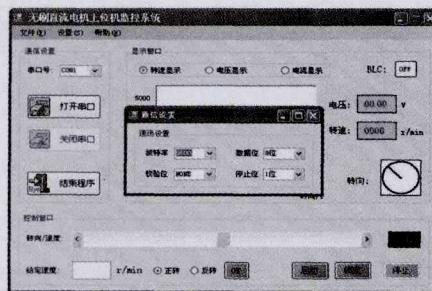


图11 通信设置界面

5 系统测试

系统测试采用的无刷直流电机型号为42BLF03,参数为额定功率78 W,额定力矩0.188 N·m,电枢绕组电阻1.8 Ω,电枢绕组电感0.54 mH,额定电压24 V,额定转速4 000 r/min。

利用串口线将无刷电机控制板连接到PC机,并在

监控软件上打开相应的通信串口,在PC机监控界面设定电机的转速为正转3 000 r/min(水平拖动移动块时,调的最小单位1代表50 r/min),下位机将采集的系统输入电压和实际测得的转速传回给电脑,在监控软件上显示出来,如图12所示。电脑显示电机实际转速为3 010 r/min,存在的误差为0.33%,无刷直流电机的实际转速达到上位机设定的转速值,由速度波形可见设计的无刷直流电机RBF磁场定向控制转速脉动小,说明其转矩脉动小(文献[2]提出了电机转矩脉动衡量指标,认为转速脉动小,转矩脉动肯定小)。同时上位机显示的电压与实际万用表测得的电压一致,都为23.94 V。设计的无刷直流电机RBF磁场定向控制转矩脉动小、控制精度高,监控系统功能达到设计要求。

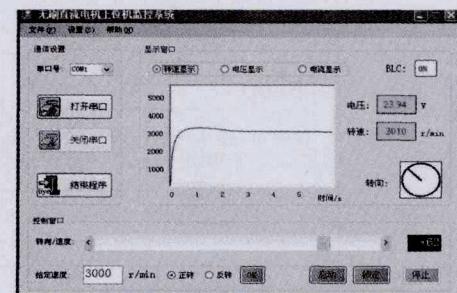


图12 电机控制系统测试结果

6 结论

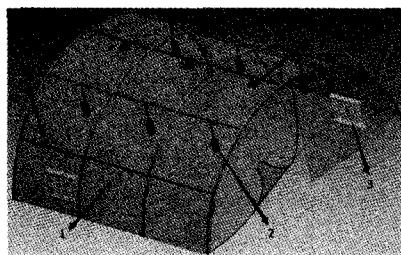
设计利用Luminary 615微控制器和无刷电机专用芯片MC33035,在无刷直流电机磁场定向控制系统中采用RBF速度环,设计了无刷直流电机磁场定向控制系统,并开发了基于Visual Basic的配套上位机监控系统,进行了42BLF03无刷直流电机实验,结果表明,设计的无刷直流电机RBF磁场定向控制系统转矩脉动小、控制精度高,开发的配套监控系统能在低成本下实现转速、电压等参数的图形化显示及参数设置。

参 考 文 献

- [1] 朱俊杰,杨龙,贤扬.基于转矩脉动特性的无刷直流电机换相转矩脉动抑制方法[J].信息与控制,2014,43(6):762-768.
- [2] 殷帅.无刷直流电机做电动汽车驱动电机时转矩脉动降低方法[D].太原:中北大学,2014.
- [3] SHI J, LI T C. New method to eliminate commutation torque ripple of brushless DC motor with minimum commutation time [J]. IEEE transactions on industrial electronics, 2013, 60(6): 2139-2146.
- [4] 吴茂刚,赵荣祥.矢量控制永磁同步电动机的转矩脉动分析[J].电工技术学报,2007,22(2):9-14.
- [5] 肖金凤,张垒,盛义发.无刷直流电机磁场定向控制策略研究与实现[J].控制工程,2013,20(1):158-162.

(下转第178页)

52%~62%之间。在能耗的对比上,热泵系统节能效果明显,通过使用变频控制,使24 h内的工作总耗电量为5.5 kW·h,节能效果明显。



1. 温度大棚;2. 温度传感器;3. 热泵热风系统;4. 喷淋器;5. 通风口

图5 实验大棚示意图

表1 水源热泵系统运行试验结果

名称	第1 h	第4 h	第8 h	第12 h	第16 h	第20 h	第24 h
温室外温度 /℃	8.4	12	22	12.5	9.5	4.3	5.5
温室内温度 /℃	21	22.5	24	21.5	22	23	22.5
压缩机电流信号 /A	6.1	4.1	0.8	5.2	6.2	8.1	7.1
温室内部湿度值 /%	52.7	56.4	61.8	62.1	61.9	60.8	60.8
耗电量 /(kW·h)	0.2	1.21	1.88	2.3	3.1	4.5	5.5

将试验前的原温室采用的电加热方式耗电量情况与增加热泵系统后的耗电量情况进行数据对比,如图6所示。从图6可知,24 h的运行时间内,热泵系统耗电量从开始的0.2 kW·h增加至5.5 kW·h;电加热系统则在24 h的运行时间段内达到了11.5 kW·h,应用热泵系统的节能效果明显。

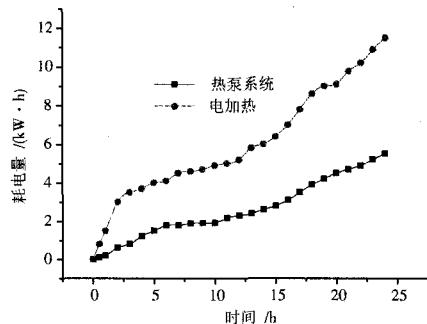


图6 耗电量对比情况

作者简介:李献灿(1981—),男,河南虞城人,讲师,硕士。研究方向为农业水土工程。

杨保存(1975—),男,甘肃镇原人,副教授,硕士。主要研究方向为盐渍土工程灾变理论与灾害防治、边坡稳定与防护工程、岩土体损伤破坏与变形监控技术。

(上接第174页)

- [6] 李春峰.基于BP神经网络无刷直流电机换相转矩脉动抑制方法的研究[J].长春大学学报,2012,22(10):1181-1185.
 [7] 吴涛,杨靖.基于MC33035的无刷直流电机电控纠偏控制系统

4 结论

针对南疆温室设施农业的现状,利用水源热泵技术,使用PLC控制技术,优化设计出可进行自动温度调节的南疆温室温度控制系统。水源热泵系统设计合理,可应用在温室的供暖处理,且温度控制稳定可靠,实用性较强;在温室的应用上,室内温度值稳定在±2 ℃之间,属于温室的较优控制范围,压缩机的电流信号较为稳定,高速与低速运行的控制性能良好;在能耗的对比上,热泵系统节能效果明显,通过使用变频控制,使24 h内的工作总耗电量为5.5 kW·h,与电加热系统相比较,节能效果明显。

注:本文通讯作者为杨保存。

参 考 文 献

- [1] 刘明池,许勇,徐刚毅,等.连栋温室水源热泵热水供暖系统[J].中国农学通报,2011,27(17):192-199.
- [2] 王吉庆,张百良.水源热泵在温室加温中的应用研究[J].中国农学通报,2005,21(6):415-419.
- [3] 陈教料,胥芳,张立彬,等.基于热平衡模型的温室地表水源热泵系统供暖设计与试验[J].农业工程学报,2011,27(11):227-231.
- [4] 蔡军,陈教料,陈晓军.基于温室预测模型的水源热泵控制系统设计[J].农机化研究,2011,33(1):207-210.
- [5] 徐猛,徐莹,孙德兴.原生水源热泵的关键技术与工程实践[J].节能技术,2009,27(1):74-77.
- [6] 丁红,费玄,刘良涛,等.农业大棚水源热泵控制系统的应用[J].内蒙古科技大学学报,2015,34(3):267-270.
- [7] 鲁敏,王洪坤,岑红蕾.设施农业中地源热泵的最佳负荷比研究[J].农机化研究,2012,34(6):207-210.
- [8] 孙先鹏,邹志荣,郭康权,等.可再生能源在我国设施农业中的应用[J].北方园艺,2012(11):46-50.
- [9] 柴立龙,马承伟,王明磊.地源热泵技术在中国温室设施中的应用探讨[J].中国农学通报,2007,23(10):150-153.
- [10] 柴立龙,马承伟,张晓蕙,等.地源热泵温室降温系统的试验研究与性能分析[J].农业工程学报,2008,24(12):150-154.

作者简介:肖金凤(1972—),女,教授,硕士。研究方向为电机智能控制。

设计[J].电气传动,2014,44(5):58-61.

- [8] 徐刚,王马林,周东辉,等.基于LabVIEW RT的交流伺服电机实时监控系统[J].自动化应用,2015(7):30-31.