

一种通用型三相无感无刷直流电机控制器设计*

Design of a universal three-phase non-inductive brushless DC motor controller

徐敬成¹ 凌云¹ 侯文浩¹ 李明²

1. 湖南工业大学电气与信息工程学院 (湖南 株洲 412007) 2. 湖南工业大学理学院 (湖南 株洲 412007)

摘要: 当电机控制应用场合需要多种无感无刷电机时, 由于不同电机换相频率和转动力矩等参数不同, 需要设计相应的控制器, 成本较高。针对该问题设计了一套通用型三相无感无刷电机控制器, 通过设置驱动芯片FT300的电机驱动模式即可合理配置控制器参数, 从而起到节能降耗的作用。实验结果表明采用该控制器驱动电机, 在设置最佳驱动模式的情况下能有效降低能耗。

关键词: 无感无刷电机; 换相频率; 转动力矩; 控制器; FT300

DOI: 10.3969/j.issn.1005-5517.2019.1.007

* 基金项目: 湖南省教育厅基金(16C0473)、湖南省自然科学基金(2015JJ5025)、电传动控制与智能装备湖南省重点实验室(2016TP1018)资助项目。

徐敬成, 1991年出生, 工学硕士, 主要研究方向为现代电力电子技术及系统、单片机及嵌入式系统应用等; 凌云, 1965年出生, 湖南工业大学教授, 主要从事复杂工业过程建模与优化控制, 单片机及嵌入式系统应用等方面的研究。

0 引言

无刷直流电机是一类具备交、直流电机众多优点的机电一体化产品^[1]。1962年首次研制成功的有感无刷电机采用霍尔效应转子位置传感器来实现换相。随后通过电机线圈反电势和其它电气参数计算转子位置技术的发现使得无感无刷电机得到不断推广。无感无刷电机结构较为简单, 随着技术的进步其换向准确度和精度不断提高, 在对噪音、寿命、效率等性能要求较高的场合有着

广泛应用。

由于不同类型的无刷直流电机在启动时要求的转矩、时间、转速范围等特性差异较大^[2], 这些参数可以反映在不同电机的转速/转矩(N/T)曲线上。在某些电机控制应用场合如综合作业或者研发测试平台等往往需要不同性能电机的配合, 另外在某些应急备用电机驱动器研发中也需要考虑到产品兼容性。针对不同无感无刷电机需要设计相应的调速控制器的方案成本较高。本文

设计了一种通用型无感无刷电机驱动器, 能有效提高能源利用率, 降低能耗。

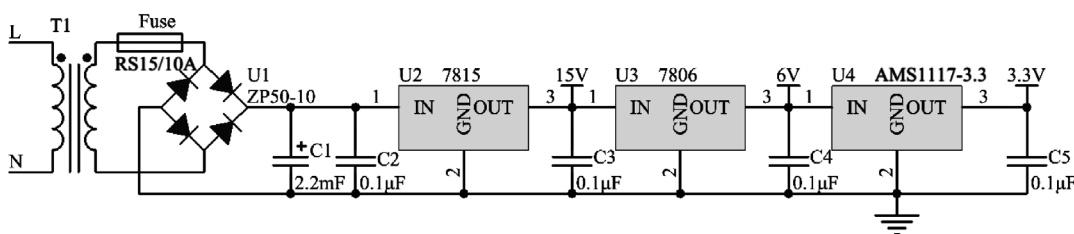


图1 供电单元电路

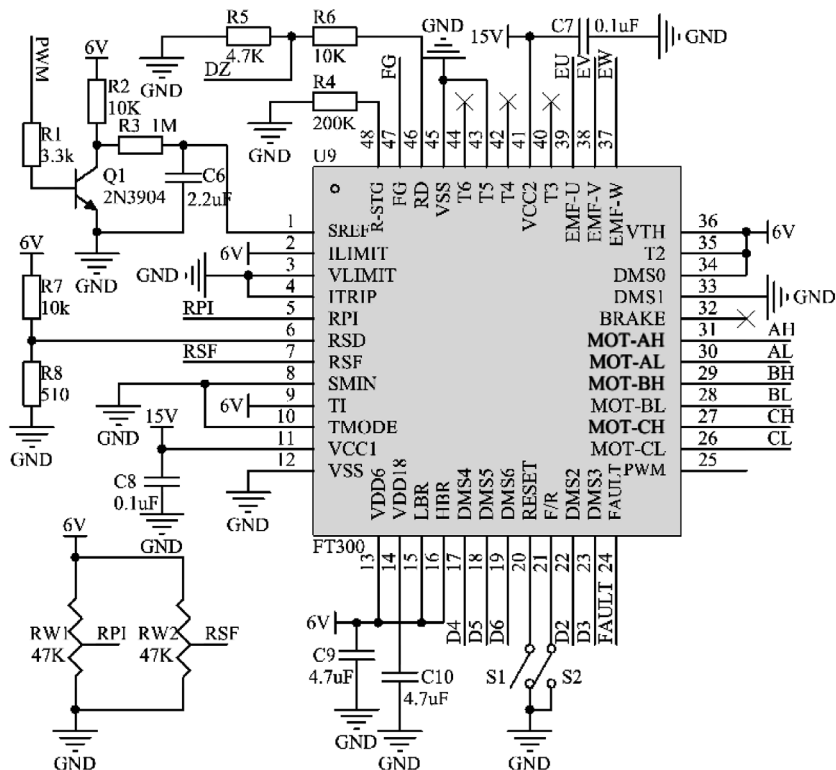


图2 驱动控制单元电路

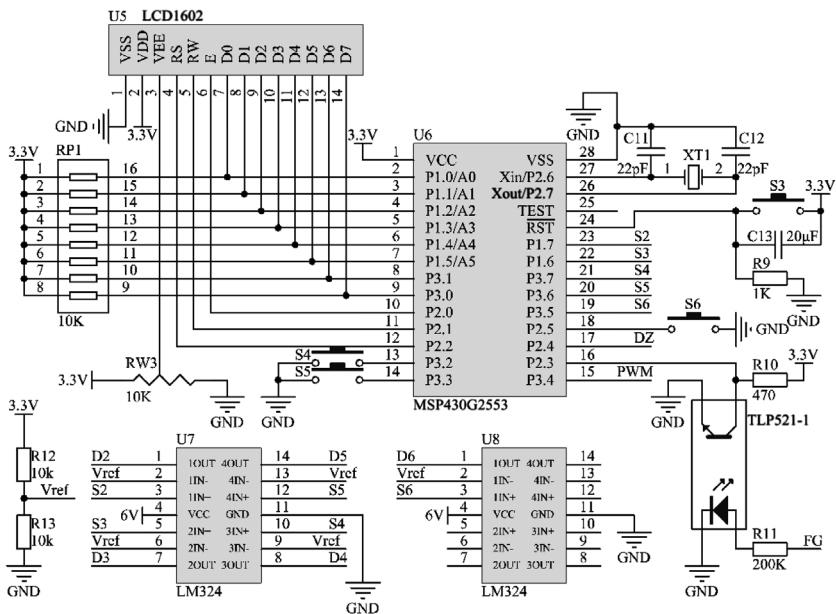


图3 辅助控制单元电路

1 硬件电路介绍

本文设计的无感无刷直流电机驱动控制器由供电单

元、驱动控制单元、辅助控制单元、预驱动及逆变器单元四部分组成，其中供电单元主要为系统各模块提供不同等级的电源电压，驱动单元用于电机驱动控制，辅助控制单元配合驱动单元实现液晶显示、闭环调速^[3]以及模式设置等功能，预驱动及逆变器单元则用于直接驱动电机。

1.1 供电单元电路设计

供电单元电路如图1所示。工频交流电经过变压、整流、滤波后，由三端稳压芯片分别得到15 V、6 V和3.3 V的正电源电压。此外针对其它额定电压的电机需要额外增加稳压模块以实现电压等级匹配。

1.2 驱动控制单元电路设计

驱动控制单元电路如图2所示。选用峰昭公司的一款三相无感BLDC驱动芯片FT300。该芯片供电电压范围为6 ~ 28 V，根据预驱动及逆变器的规格可以驱动额定电压范围在36 V~310 V的三相无感无刷电机，具有较好的启动适应性和鲁棒性^[3]。

FT300通过设置其芯片引脚DMS0~DMS6的电平（高电平标记为1，低电平标记为0）来驱动不同性能的电机，常见几种电机驱动参考模式见表1。

本文将DMS0保持高电平，DMS1保持低电平，DMS2~DMS7电平由单片机相应I/O引脚控制。

除了模式设置外，FT300还具有以下功能：

PWM调速功能：电阻 $R_1 \sim R_3$ 、三极管 Q_1 和电容 C_6 构成PWM调速电路，由单片机I/O引脚发出的PWM波经过该电路输入至FT300的SREF引脚。

软启动功能：调节电位器 RW_1 改变RPI引脚的电压

表1 电机驱动参考模式

DMS0~DMS6	典型电机应用
1000010	电动工具
1000101	泵类、打印机
1001010	按摩设备
1001110	各类风扇、风机
1011011	干手器、豆浆机、风机

表2 电机参数

极对数	额定电 压/V	额定电 流/A	额定功 率/W	额定转速 /rpm	额定扭矩 /n•m
2	24	10.7	180	3000	0.57

即可改变电机启动电流大小，调节电位器RW₂改变RSF引脚的电压即可改变电机启动时换相频率大小。

过流保护功能：当芯片FAULT引脚检测到电机的工作电流超过设定值时启动过流保护功能，关闭芯片输出并等待系统自动重启。自动重启的时间 t 由RSD引脚外接的分压电阻决定，具体计算公式如下：

$$t = \frac{R_8}{R_7 + R_8} \times 63 = \frac{510 \times 63}{10000 + 510} \approx 3 \text{ s} \tag{1}$$

堵转保护功能：当电机被堵转后，芯片RD引脚由正常状态时的低电平变为高电平，利用R₅和R₆分压后的信号传输至单片机的P2.4引脚，使得单片机停止输出PWM波并等待系统自动重启。另外由于电机启动后3秒

表3 实验数据

方案1		方案2		能耗降低
转速/r	功率/W	转速/r	功率/W	/W
1062.5	16.53	1061.3	16.91	0.38
1391.3	36.65	1340.2	37.46	0.81
1580.5	49.30	1581.6	50.64	1.34
1857.8	75.07	1856.2	76.89	1.82
2094.1	99.93	2093.3	101.56	1.63
2242.3	118.26	2242.7	120.79	2.53
2342.7	126.87	2340.9	129.44	2.57
2594.8	148.06	2592.4	151.19	3.13
2704.1	159.39	2702.6	163.21	3.82
2830.7	171.06	2832.1	175.15	4.09

左右RD引脚会呈现高电平，因此为了避免误检测可设置在电机正常启动4秒后开始堵转检测。

过热保护功能：当芯片内部检测到温度超过150℃时，芯片自动关闭输出直至温度降低至安全值。

欠压保护功能：当芯片VDD₆引脚电平低于3V时芯片关闭输出等待重启。

正反转功能：通过开关S₂即可切换F/R引脚电平，从而改变电机转向。由于直接切换正反转很容易导致系统电流急剧增大，故需要先断开开关S₁以关闭驱动，再实施正反转。

1.3 辅助控制单元电路设计

辅助控制单元电路图如图3所示。其控制核心选用德州仪器低功耗单片机MSP430G2553，芯片供电电压仅为3.3 V，引脚功能丰富，编程开发较为灵活^[4]。

液晶芯片选用16×2字符的LCD1602，可以通过电位器RW₁调节液晶屏显示对比度，将其D₀~D₇引脚与单片机的相关引脚相连用于显示电机工作模式、实时转

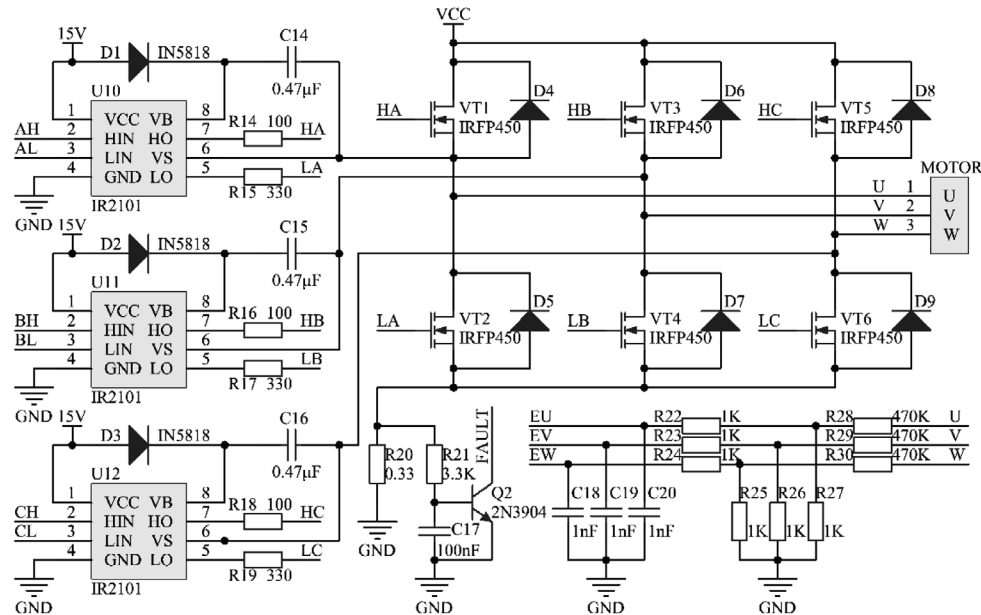


图4 预驱动及逆变器单元电路

速、调速指令等信息。

FT300的PWM调速信号波是由单片机内部定时器比较产生并通过P3.4引脚输出,通过按键 S_4 、 S_5 分别增、减PWM波的占空比来实现调速。另外将FT300芯片FG引脚的电机反电势频率通过光耦合器TLP521传输至单片机P2.3引脚可以实现闭环调速。

此外单片机还可以设置FT300的驱动模式,选用两块单电源四通道运放芯片LM324构成电压比较器,将LM324电源电压设置为6 V,通过 R_{10} 和 R_{11} 分压得到其反相端参考电平 $V_{ref}=1.65$ V,单片机的I/O引脚连接至芯片同相端即可解决MSP430G2553与FT300数字信号电平匹配问题。

1.4 预驱动及逆变器单元电路设计

预驱动及逆变器单元电路如图4所示。逆变器的6个功率开关管^[5]采用N型MOS管IRFP450,功率管驱动器选用双通道高速芯片IR2101,其栅极驱动电压范围为10 V~20 V,通过自举电容可使高压侧通道的输入信号电平高达600 V。在MOS管栅极加入100 Ω 的电阻用来防止信号振荡。

将电机电磁线圈U、V、W中的三路反电势信号分别经过固定比例降压、低通滤波后输送至FT300的反电势检测引脚EMF-U、EMF-V、EMF-W来获取转子位置信息^[6],用于位置环控制以及转速反馈^[7]。

逆变器外围保护电路由电阻 R_{20} 、 R_{21} ,电容 C_{17} 和三极管 Q_2 构成,可通过改变电阻 R_{20} 来调整电机允许电流范围,本文 R_{20} 取0.33 Ω 的1%金属碳膜电阻。

3 实验数据

(上接第28页) 大规模上的运营可以说是孤注一掷的。Open19 开发并部署了尺寸一致的硬件容器与硬件块,为商业组织提供了创新性的机架式设计。通过使用成缆背板,在部署了硬件块后可以满足多种应用对于功率和网络的要求,同时还可以解决成规模的运营问题。

本文选用无刷直流电机57BL115S18-230TF9作为实验对象,该电机具体参数见表2。

设置了两种方案进行性能对比测试。其中方案1设置FT300的DMS0~DMS6的电平状态为1001110,即设置电机驱动模式为各类风扇、风机驱动,方案2将FT300的DMS2~DMS7均置低电平,即不考虑电机驱动参考模式。通过按键 S_4 、 S_5 分别执行加、减速操作,采用测量精度为0.05%的光电型非接触式转速表进行实时测速,同时将实验装置的电源插头连接功率精度为2%的电力计量插座进行功率检测,得到的实验数据见表3。

由表3可知,在同样的操作标准下,方案1由于设置了电机驱动模式,其综合损耗较方案2少,由此表明芯片FT300的电机模式匹配设置在节能降耗方面具有明显优势。

4 结论

该通用型三相无感无刷直流电机控制器可以根据电机性能需求设置不同驱动模式,匹配电机功率输出可高达上千瓦。在提高系统效率和减少损耗方面效果显著,符合国家倡导节能及环保的要求。



参考文献:

- [1] 徐敬成,凌云,陈海东,等.无刷直流电机远程调速控制方法[J].湖南工业大学学报,2017,31(1):52-55.
- [2] 应用手册及评估板[EB/OL]. <http://www.doc88.com/p-5876861209755.html>
- [3] FT300.无感方波系列[EB/OL]. <http://www.fortitech.com/zh-cn/productshow.asp?id=26&i=1>
- [4] MSP430G2553数据手册[EB/OL]. <https://wenku.baidu.com/view/dfb29fac284ac850ad024287.html>
- [5] Brian Chu.简化三相BLDC电机控制和驱动系统的策略[J].电子产品世界,2014,21(09):14-15.
- [6] 邓少华,孙琦,高强,王铁流.采用STM8S的无刷直流电机控制系统的设计[J].电子产品世界,2013,20(01):49-50+56.
- [7] 徐敬成,凌云,侯文浩,等.一种带微分负反馈的无刷直流电机模糊优化PI控制方法[J].新型工业化,2018,8(6):1-6

在为数据中心的部署评估新的架构时,一个主要的考虑事项就是打破常规,将统一的设计与成缆背板整合起来。这种修改后的架构可使您在专注于自身业务的同时,简化大规模部署中的许多运营问题。

